



HAL
open science

**Impact d'un programme d'activités physiques adaptées
sur la qualité de vie et les caractéristiques
physiologiques de personnes âgées : utilisation d'un
système de visioconférence collective**

Lucile Bigot

► **To cite this version:**

Lucile Bigot. Impact d'un programme d'activités physiques adaptées sur la qualité de vie et les caractéristiques physiologiques de personnes âgées : utilisation d'un système de visioconférence collective. Education. Normandie Université, 2017. Français. NNT : 2017NORMC205 . tel-01511979

HAL Id: tel-01511979

<https://theses.hal.science/tel-01511979v1>

Submitted on 21 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Normandie Université

THESE

Pour obtenir le diplôme de doctorat

Spécialité Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS)

Préparée au sein de l'UFR STAPS de CAEN

Impact d'un programme d'activités physiques adaptées sur la qualité de vie et les caractéristiques physiologiques de personnes âgées – Utilisation d'un système de visioconférence collective

**Présentée et soutenue par
Lucile BIGOT**

**Thèse soutenue publiquement le 10 Février 2017
devant le jury composé de**

Mme Fabienne MOUGIN-GUILLAUME	MCU-HDR, UPFR des Sports, Université de Franche Comté	Rapporteur
M Nizar SOUSSI	PU, Institut Supérieur d'Education Physique, Ksar Saïd, Tunisie	Rapporteur
Mme Aline HERBINET	Dr, Directrice de la société V@SI, Montpellier	Examineur
M Nicola MAFFIULETTI	DR-HDR, Human Performance Lab, Schulthess Klinik, Suisse	Examineur
M Antoine GAUTHIER	PU, Directeur UFR STAPS, Caen Normandie	Directeur de thèse
Mme Gaëlle QUARCK	MCU-HDR, Directrice Adjointe UFR STAPS, Caen Normandie	Codirectrice de thèse

**Thèse dirigée par M. Antoine GAUTHIER et codirigée par Mme Gaëlle QUARCK
Laboratoire COMETE UMR 1075 UNICAEN / INSERM**



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE



COMETE
UMR 1075 UNICAEN / INSERM

Remerciements

Je tiens à remercier sincèrement *l'ensemble de mon jury de thèse* : Fabienne Mougin-Guillaume et Nizar Souissi pour avoir accepté de consacrer du temps afin de juger ce travail, Aline Herbinet et Nicola Maffiuletti pour avoir gentiment accepté de participer à *l'examen* de cette thèse. Merci à vous.

Je remercie également l'ensemble du consortium européen du projet MOTION pour l'expérience professionnelle, technologique et humaine que nous avons vécu ensemble. Ce projet, qui est à l'initiative de l'association Siel Bleu, n'aurait pu être mené à terme sans le travail considérable de l'ensemble des membres du consortium : Jean-Pierre Savary et Flora Gorhi (Siel Bleu), Grégory Galiana (Néolinks), Roland Heinen et Volker Denneberg (M3 Connect), Teresa Gallelli et Valentina Soluri (Cup 2000), Nico Mack (LIST), Nicola Malffiuletti (Schulthess Clinic), Rabih Chattat et Giovanni Ottoboni (UNIBO), Chokri Koussa et David Beni (Arx iT). Merci à tous et particulièrement à Nicola, tes compétences, ta gentillesse, ta disponibilité et ta réactivité, m'ont été bien précieuses.

Je souhaite remercier Pierre Denise, ancien directeur du laboratoire COMETE, pour m'avoir accueillie dans son laboratoire il y a 3 ans et pour la considération dont il fait preuve envers les étudiants.

Je tiens à remercier Damien Davenne, directeur du laboratoire COMETE, pour m'avoir fait confiance et pour avoir été à l'origine de mes premiers pas dans la recherche. Merci également à Sébastien Moussay qui a initié cette rencontre.

J'en arrive à vous Gaëlle et Antoine. Merci ! Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir si bien acceptée comme petit Padawan. Ces trois années (et quelques) ont été pour moi très enrichissantes, bien au-delà de mes espérances. J'ai beaucoup appris à vos côtés et toujours (bon, très souvent) avec plaisir et bonne humeur. Gaëlle, je me souviens de ce que tu m'as dit il y a 3 ans concernant la fin de thèse : « de toute façon Lucile tu verras, la fin de thèse c'est compliqué, ça l'est pour tout le monde, les relations entre directeur et étudiant deviennent conflictuelles, ça sera aussi le cas pour nous et tu auras très certainement des reproches à nous faire ». Et bien Gaëlle, sache que je finis cette thèse sans aucun grief ; je te dirais même que je suis ravie de la manière dont les événements se sont déroulés ces dernières années. Gaëlle, Antoine, au-delà de vos qualités scientifiques respectives qui sont indéniables et admirables, je tiens à vous dire à quel point vos qualités humaines remarquables ont été importantes pour moi et m'ont permis d'avancer. Je vous remercie sincèrement et c'est avec joie que je pense à mon avenir professionnel dans lequel je sais que tu seras impliquée, Gaëlle, et pour lequel j'espère pouvoir continuer à travailler avec toi, Antoine.

Je souhaite remercier l'entreprise V@si qui m'a accordé sa confiance et du temps, particulièrement Aline Herbinet, Sophie Naili et Gauthier Ruspini ; j'ai beaucoup apprécié nos échanges et la perspective de travailler très bientôt avec vous me ravie. Merci de m'avoir permis de finir ce travail sereinement.

Je voudrais également remercier Nicolas Bessot ; tu m'as beaucoup aidée sur cette fin de thèse. Tes remarques pertinentes et tes compétences statistiques ont été précieuses. Tu as toujours répondu présent et je t'en remercie.

Je remercie tous les membres de l'UFR STAPS de Caen et particulièrement Fabrice Dosseville et Catherine Garnarczyk. Fabrice, merci pour le temps que tu m'as consacré alors que tu étais déjà bien débordé ; je n'oublierai pas tout ce travail que tu as fourni pour m'aider à finir dans les temps. Merci.

Antoine, Junior, TwanTwane, *L'ange noir (...)*, s'il est possible d'exprimer des remerciements plus sincères que sincères, alors c'est à toi que je les adresse. Quelle chance de pouvoir travailler en « binôme » durant 3 ans. Et si en plus ton binôme est une personne brillante et incroyablement gentille alors que demander de plus. Je suis ravie d'avoir partagé tous ces moments avec toi et je te remercie pour tout le temps et les neurones que tu as mis au service de mon moral, de mes manip et de ma thèse. Nous nous en portons beaucoup mieux.

Je remercie également tous les membres du labo, particulièrement Gwenaëlle, Annick et Bruno, pour votre présence et votre bienveillance, Daniel pour ton aide technique, ta réactivité, ton pragmatisme et les pauses clopes, Yannick pour tes petits cannelés loupés.

Les post doc, futur doc, mini doc, merci pour la vie que vous amenez au labo, je suis contente de vous avoir rencontrés et je vous souhaite le meilleur pour la suite. Vous avez tous, à votre manière, participé à la réalisation de ce travail. Alors merci à Marie, Joy, Kristell, Marion, Amira, Tristan, Alice, Chandrou, Antoine, Christophe, Anne, Maroua, Emma, Florane et Houda.

Merci à mes correcteurs d'orthographe, Anne et Padré ; grâce à vous il n'y a plus une seule faute dans ce manuscrit, j'en suis sûre (pas de pression bien sûr).

Un grand merci à tous les participants du projet MOTION ; votre gentillesse et votre bienveillance m'ont beaucoup apporté et surtout, sans vous cette thèse n'aurait pas existé.

Mes amis chercheurs and co, mes supers amis, je vous ai rencontrés en même temps que la recherche et que de bons moments depuis. Joy, Marie, Mariso et Nico, merci pour votre soutien et votre amitié, vous m'êtes précieux. Joy et Nico, je n'oublie pas que si je l'ai faite, cette thèse, c'est grâce à vous, alors merci. J'ajouterai quelques mots pour Clem tine tine et Twanou ,merci pour votre présence et votre soutien. Je n'oublie pas mes amis qui ne font pas de recherche ; je vous remercie pour votre patience et votre affection malgré mes absences répétées ces derniers temps.

A ma famille, ma mère, mon père, mes frères et mes sœurs (bon ok, je n'ai pas de frères, mais pour le reste, c'est vrai). Merci d'avoir compris l'importance de ce travail pour moi, merci de m'avoir toujours soutenue, contre moi-même parfois, d'avoir toujours eu confiance en moi souvent plus que ce dont j'étais capable, merci de toujours me trouver des qualités malgré mon sale caractère et ma mauvaise humeur et merci de ne pas m'avoir reproché mes absences. Mounette et Clochette, c'est grâce à vous tout ça.

Seb et Anna, c'est à vous que je souhaite adresser mes derniers mots.

Seb, je te suis tellement reconnaissante de m'avoir encouragée et soutenue jusqu'au bout de ce travail. Je tiens à te remercier d'avoir fait passer mon travail avant tes propres aspirations professionnelles. Je sais que tu as fait beaucoup de concessions et je t'en suis reconnaissante. Je t'aime. On dit souvent que la vie s'arrête le temps d'une thèse. Pour nous ça aura été l'inverse, tout s'est accéléré. Je suis très fière de ce que nous avons construit pendant ces trois années et de la magnifique petite fille que nous avons eue, Anna. Ma Nana, tu es une petite fille merveilleuse. Ta joie, ta bonne humeur et ton bon caractère (la plupart du temps) auront été salvateurs pour moi. Tu m'as également fait vivre des moments formidables et je te remercie de m'avoir offert toutes ces premières fois. Je t'aime mon ananas.

Avant-propos

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du laboratoire COMETE (INSERM U1075) dans le cadre du projet européen « MOTION - Remote Home-Physical Training for Seniors », qui répond au 5ème appel à projet Ambient Assisted Living (AAL).

Ce travail a donné lieu à des communications dans le cadre de congrès nationaux et fera prochainement l'objet de publications.

Publications

Bigot L., Garnarczyk C., Gauthier A., Quarck G., Dosseville F., Development and validation of the Short Multidimensional Health Questionnaire (SMHQ). The Open Public Health Journal (accepté sous réserve de modifications mineures)

Langeard A., Bigot L., Chastan N., & Gauthier A., Does neuromuscular electrical stimulation training of the lower limb have functional effects on the elderly? : A Systematic Review. Experimental Gerontology (accepté sous réserve de modifications mineures)

Bigot L., Bessot N., Dupont Rocher S., Bulla J., Sesboüé B., Gauthier A., Davenne D., A multivariate training program for older adults over 60 years old: a way to improve biological rhythms? (en cours d'écriture)

Bigot L., Quarck G., Gauthier A., Comparative physical and physiological impact assessment methodology report. Livrable D2.4. MOTION - Février 2014

Bigot L., Quarck G., Dissemination Plan. Livrable D6.2. MOTION - Mars 2014

Bigot L., Gauthier A., Quarck G., Design of the adapted physical training program for end-users. Livrable D2.2. MOTION - Octobre 2014

Bigot L., Quarck G., Gauthier A., Comparative physical and physiological impact assessment report. Livrable D5.3. MOTION - Décembre 2016

Participation à des congrès scientifiques - Communication Orale

Mars 2017 : Bigot L., Langeard A., Maffioletti N., Quarck G., Gauthier A., Impact d'un programme d'activité physique adaptée sur la qualité de vie et les caractéristiques physiologiques de personnes âgées - Utilisation d'un système de visioconférence collective. Congrès francophone fragilité du sujet âgé- PARIS

Mai 2016 : Bigot L., Gauthier A., Moussay S., Quarck G., Entraînement physique à domicile pour les personnes âgées : utilisation d'un système de visioconférence. XVIII^e Journées Francophones en APA- AMIENS

Novembre 2014 : Bigot L., Moussay S., Gauthier A., Quarck G., Impact d'un programme d'activité physique adaptée (APA) à domicile sur les caractéristiques physiologiques et le bien-être des séniors : Utilisation du système de visioconférence. XVII^e Journées Francophones en APA- BESANCON

Participation à des congrès scientifiques - Communication Affichée

Mars 2017 : Langeard A., Bigot L., Loggia G., Gauthier A., Entraînement par électrostimulation des muscles mobilisateurs de la cheville de personnes âgées. Congrès francophone fragilité du sujet âgé-PARIS

Mai 2016 : Bigot L., Gauthier A., Moussay S., Quarck G., Entraînement physique à domicile pour les personnes âgées : évaluation des bénéfiques, XVIII^e Journées Francophones en APA- AMIENS

Mai 2016 : Garnarczyk C., Dosseville F., Bigot L., Gauthier A., Projet MOTION : Développement d'un questionnaire sur le bien-être psychologique. XVIII^e Journées Francophones en APA- AMIENS

Avril 2014 : Bigot L., Gauthier A., Quarck G., Remote Home Physical Training For Seniors. *Journées de l'Ecole Doctorale EDNBISE*, LE HAVRE.

Conférences invitées

Novembre 2016 : Bigot L., Quarck G., Gauthier A., Entraînement physique à domicile pour les personnes âgées : utilisation d'un système de visioconférence. Conférence SIELBLEU-CAEN

Octobre 2016 : Bigot L., Quarck G., Gauthier A., Entraînement physique à domicile pour les personnes âgées : utilisation d'un système de visioconférence. Conférence MGEN-CAEN

Table des matières

<i>Remerciements</i>	3
<i>Avant-propos</i>	5
<i>Table des matières</i>	7
Introduction	12
Contexte	17
Cadre théorique	21
1.1 EFFET DU VIEILLISSEMENT SUR LA SANTE	22
1.1.1 Effet du vieillissement sur la qualité de vie	23
1.1.2 Effet du vieillissement sur la condition physique	25
1.1.2.1 Effet du vieillissement sur le système musculaire	25
1.1.2.2 Effet du vieillissement sur la capacité aérobie	31
1.1.3 Effet du vieillissement sur la capacité d'équilibration et de marche	34
1.1.3.1 Implication des informations visuelles	35
1.1.3.2 Implication des informations somesthésiques	37
1.1.3.3 Implication des informations vestibulaires	39
1.1.3.4 Synergie et intégration des informations sensorielles.....	43
1.1.4 Effet du vieillissement sur les rythmes biologiques circadiens	45
1.1.4.1 Rappels théoriques et généralités sur la chronobiologie	45
1.1.4.2 Principes de fonctionnement des rythmes biologiques circadiens	47
1.1.4.3 Description du cycle veille-sommeil et de la température	50
1.1.4.4 Effet du vieillissement sur les rythmes veille-sommeil et la température	52
1.1.5 Résumé	55
1.2 EFFET DE L'ACTIVITE PHYSIQUE SUR LA SANTE DES PERSONNES ÂGÈES	56
1.2.1 Effet de l'activité physique sur la condition physique	57
1.2.1.1 Effet de l'AP sur les muscles vieillissants	57
1.2.1.2 Effet de l'AP sur la capacité aérobie	61
1.2.2 Effet de l'activité physique sur les capacités d'équilibration et la marche	64
1.2.2.1 Utilisation de programmes multivariés	64
1.2.2.2 Utilisation de programmes spécifiques	68
1.2.3 Effet de l'activité physique sur les rythmes biologiques	70
1.2.3.1 Effet de l'AP sur le rythme de la température	71

1.2.3.2	Effet de l'AP sur le cycle veille-sommeil	72
1.2.4	Les programmes multivariés	75
1.2.4.1	Programmation des entraînements pour personnes âgées	75
1.2.4.2	Evaluation des programmes	80
1.2.4.3	Modalités de diffusion	84
1.2.5	Résumé.....	86
1.3	PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES	87
	<i>Cadre expérimental</i>	<i>89</i>
	PARTIE I - DEVELOPPEMENT D'UN PROGRAMME D'APA.....	90
2.1	PRESENTATION GENERALE	90
2.2	DETAIL DES THEMES ABORDES	92
2.2.1	Exercices de résistance	92
2.2.2	Exercices d'équilibration	94
2.2.3	Exercices de type aérobic	95
2.2.4	Utilisation du programme.....	97
	PARTIE II- EVALUATION DES EFFETS D'UN PROGRAMME D'APA	98
2.1	METHODOLOGIE	98
2.1.1	Critères de sélection de la population expérimentale	98
2.1.1.1	Critères d'inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche	98
2.1.1.2	Critères de non inclusion	99
2.1.2	Procédure expérimentale	100
2.1.2.1	Organisation temporelle	100
2.1.3	Déroulement pratique de l'étude	101
2.1.3.1	Présélection	101
2.1.3.2	Recrutement et inclusion (visite 1)	101
2.1.3.3	Constitution des groupes	101
2.1.3.4	Phase de Pré-tests ou T1 (Visite n°2)	102
2.1.3.5	Protocole d'entraînement et gestion des groupes	103
2.1.3.6	Phase de post-tests ou T2 (Visite n°3)	103
2.2	DESCRIPTION DES TESTS EFFECTUES – RECUEIL ET ANALYSE DES DONNEES	104
2.2.1	Qualité de vie	105
2.2.1.1	Questionnaire de qualité de vie SF36	105

2.2.1.2	Questionnaire de bien-être psychologique	105
2.2.2	Condition physique	107
2.2.2.1	Fonction musculaire.....	107
2.2.2.2	Capacité aérobie	111
2.2.2.3	Composition corporelle	112
2.2.3	Fonctions d'équilibration	113
2.2.3.1	Posturographie	113
2.2.3.2	Exploration de la fonction vestibulaire	113
2.2.3.3	Paramètres de la marche et paradigme de double-tâche (DT).....	116
2.2.4	Rythmes biologiques circadiens	118
2.2.4.1	Mesure de la température.....	118
2.2.4.2	Evaluations subjectives de la somnolence et de de la fatigue	118
2.2.4.3	Le cycle activité-repos.....	119
2.3	ANALYSES STATISTIQUES.....	122
2.3.1	Qualité de vie, condition physique et capacités d'équilibration et de marche	122
2.3.2	Rythmes biologiques circadiens	122
2.4	RESULTATS.....	124
2.4.1	Effet du programme d'APA sur la qualité de vie.....	125
2.4.2	Effet du programme d'APA sur la condition physique	126
2.4.2.1	Fonction musculaire.....	126
2.4.2.2	Capacité aérobie	130
2.4.2.3	Composition corporelle	131
2.4.3	Effet du programme d'APA sur les capacités d'équilibration et la marche	132
2.4.3.1	Posturographie	132
2.4.3.2	Exploration vestibulaire	134
2.4.3.3	Marche et double tâche.....	136
2.4.4	Effet du programme d'APA sur les rythmes biologiques circadiens.....	138
2.4.4.1	Le rythme de température.....	138
2.4.4.2	Evaluations subjectives de la somnolence et de la fatigue	139
2.4.4.3	Le cycle activité-repos.....	140
	<i>Discussion.....</i>	<i>143</i>
3.1	EFFET DE L'APA SUR LA SANTE DES PERSONNES AGEES.....	145
3.1.1	Qualité de vie et bien-être	145
3.1.1.1	Qualité de vie	145

3.1.1.2	Bien-être psychologique	147
3.1.2	La condition physique	149
3.1.2.1	La fonction musculaire	149
3.1.2.2	La capacité aérobie	153
3.1.2.3	La composition corporelle	155
3.1.3	Les capacités d'équilibration et de marche	157
3.1.3.1	La posturographie	157
3.1.3.2	La fonction vestibulaire.....	159
3.1.3.3	La marche et la double tâche.....	160
3.1.4	Les rythmes biologiques circadiens	162
3.1.4.1	La température	162
3.1.4.2	Somnolence et fatigue subjectives	164
3.1.4.3	Le cycle activité- repos.....	164
 Conclusion		 166
 Références bibliographiques.....		 169
 <i>ANNEXE 1 : Programme d'APA.....</i>		 <i>201</i>
<i>ANNEXE 2 : Article Questionnaire Bien-être psychologique</i>		<i>247</i>
<i>ANNEXE 3 : Questionnaire Bien-être psychologique</i>		<i>256</i>
<i>ANNEXE 4 : Modèles statistiques utilisés pour les données relatives aux rythmes biologiques..</i>		<i>257</i>

Liste des abréviations

ADL : Activités de la vie quotidienne

AP : Activité Physique

APA : Activité Physique Adaptée

Bpm : Battements Par Minute

CERSTAPS : Comité d’Ethique pour la Recherche en STAPS

CSC : canaux semi circulaires

CT : Constante de Temps

DT : Double Tâche

FC : Fréquence Cardiaque

FCmax : Fréquence cardiaque maximale

GF : Groupe en Face à face

GT : Groupe Témoin

GV : Groupe Visioconférence

HAS : Haute Autorité de Santé

MOTION : Remote home physical training for senior

MVC : Moment de force maximal «Maximal Voluntary Contraction»

NS : Non Significatif

NSC : Noyau SupraChiasmaticque

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

Qv : Qualité de Vie

RCO : Réfexe Canaliculo-Oculaire

RFD : Vitesse de montée en force « Rate of Force Development

RM : Répétition Maximale

RVC : Réflexe vestibulo collique

RVO : Réflexe vestibulo oculaire

RVS : Réflexe vestibulo spinal

Vimax : Vitesse initiale maximale

WP : lot de travail « Work Package »

INTRODUCTION

"Vieillir, c'est organiser sa jeunesse au fil des ans »

Paul Eluard

La population mondiale vieillit et la France n'échappe pas à ce phénomène. Certaines études prévoient d'ici à 2050, que plus d'un tiers de la population française aura plus de 60 ans (± 21 millions) (Pillard et Rivière 2009; Robert-Bobée 2006) contre moins d'un quart au 1er janvier 2013 (Source Insee). Cette augmentation du nombre des plus de 60 ans tient à l'allongement de la durée de vie (Fig. 1) ainsi qu'à l'arrivée à des âges élevés des générations du baby-boom de l'après-guerre.

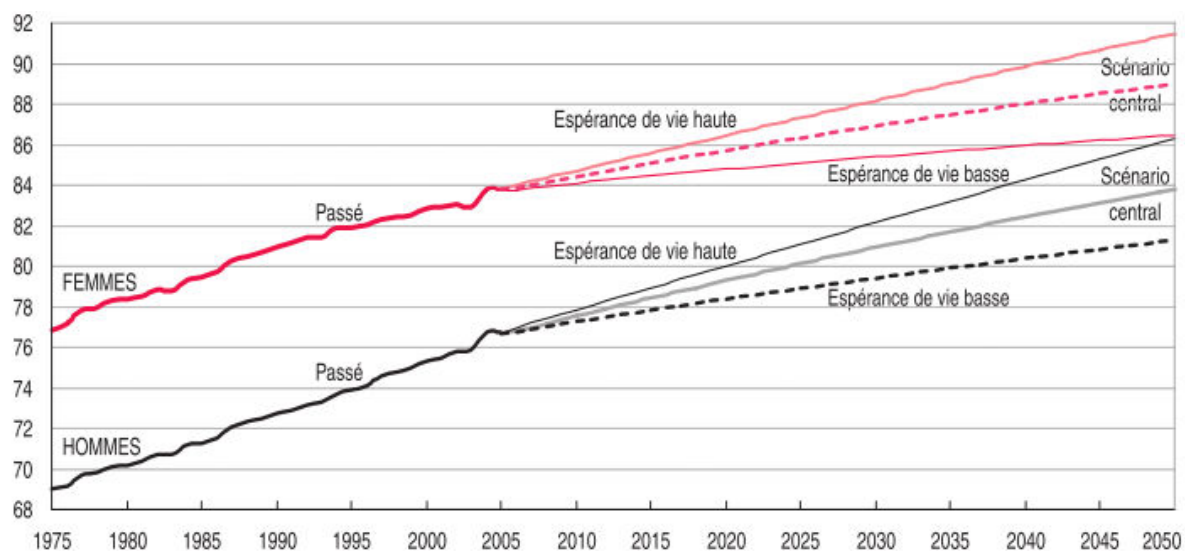


Fig. 1. Evolutions passées et futures de l'espérance de vie à la naissance des femmes et des hommes entre 2005 et 2050 (Source : Insee, projections de population 2005-2050).

De nombreux facteurs influencent l'espérance de vie. En effet, en France, l'accès aux soins et leur qualité ont progressé mais également l'intérêt que portent les individus à leur propre santé (e.g. alimentation, hygiène de vie). Cependant le vieillissement, qui est un phénomène naturel et inévitable, s'accompagne de façon systématique et ce malgré des variations interindividuelles, d'une diminution des capacités fonctionnelles de l'organisme. Ces modifications apparaissent évidentes le plus souvent dans des situations qui mettent en jeu les réserves fonctionnelles comme lors d'un effort ou encore avec la survenue de maladies aiguës. L'organisme n'est alors plus capable de s'adapter correctement et de faire face aux différentes situations d'agressions, qu'elles soient génétiques ou environnementales.

Le vieillissement humain peut alors être caractérisé par un déclin progressif généralisé. Les altérations anatomiques et fonctionnelles liées au vieillissement peuvent avoir un impact sur les capacités de la personne à être indépendante dans les activités de la vie quotidienne. Environ 88% des personnes âgées de 65 ans et plus, développent au moins une maladie chronique et un grand nombre d'entre-elles souffre d'altérations fonctionnelles (King, Rejeski, et Buchner

1998). Le risque est alors que l'individu âgé se cantonne dans ses incapacités et s'enferme dans une routine minimale entraînant rapidement un déconditionnement, l'immobilisation et la dépendance. Xue et al. en 2008 parlent d'un cycle de la fragilité.

Les marqueurs de cette fragilité ont été définis de manière consensuelle et correspondent à la baisse de la force musculaire, de la capacité aérobie, de l'équilibre et de la performance de marche (Singh, 2002; Fried et al. 2001). Des études ont montré que les personnes âgées fragiles étaient largement considérées comme étant à risque élevé d'issue défavorable sur la santé, la qualité de vie, la dépendance, l'institutionnalisation (De Vries et al. 2012; Singh, 2002). De plus, le vieillissement est souvent accompagné, notamment dans les sociétés occidentales, d'une sédentarité accrue. Celle-ci est considérée comme le quatrième facteur de risque de mortalité au niveau mondial (OMS 2010) (6% des décès) et accélère considérablement le vieillissement et l'arrivée de la dépendance (Fig. 2).

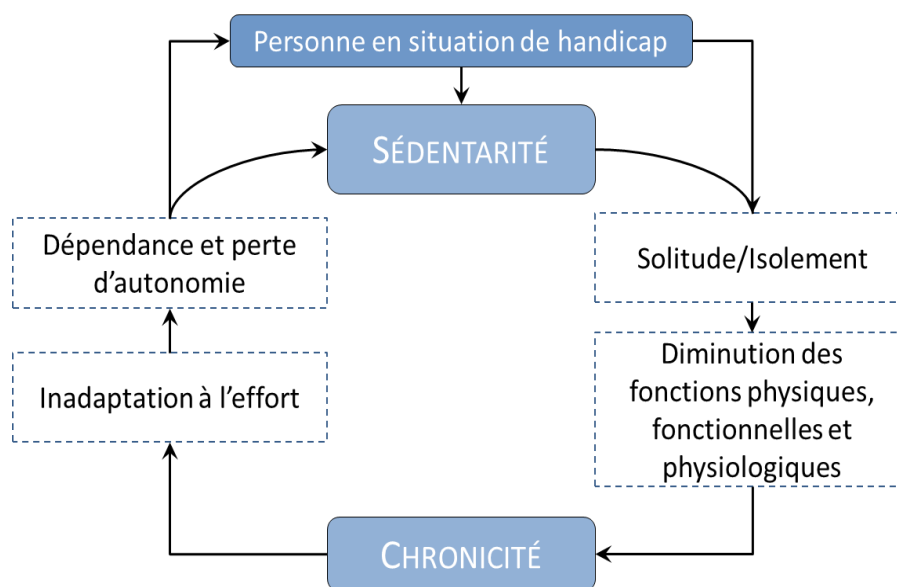


Fig. 2. Cercle vicieux de la sédentarité d'après le Groupe d'Etudes et de Recherches Appliquées à la Rééducation (Le blog du GERAR)

La baisse des capacités fonctionnelles des plus âgés et la sédentarité qui peut en résulter, n'est heureusement pas une fatalité. Il est possible de commencer une pratique physique adaptée et d'obtenir des bénéfices physiques et psychologiques à tout âge (Koeneman et al. 2011; Jette et al. 1999). En effet, plusieurs travaux de recherche ont montré qu'il était possible de limiter certains des effets du vieillissement afin de préserver la qualité de vie et l'autonomie des séniors (Hubbard et al. 2009; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000). La pratique d'une activité

physique régulière chez la personne de 65 ans ou plus est associée à un meilleur état fonctionnel, à une diminution du risque de chutes (Nitz et Choy 2004) et de leurs conséquences (Means, Rodell, et O'Sullivan 2005) (fractures, immobilisation, dépression, diminution des capacités physiques, décès). De plus, l'activité physique ralentit la sarcopénie, limite l'augmentation de la masse grasse, préserve les fonctions cardiovasculaires et respiratoires, et permet également d'améliorer la rythmicité biologique (Cherin, 2009; Huang et al. 2005; Van Someren et al. 1997). Les études proposant des programmes d'activité physique pour les personnes âgées sont en accord avec les récentes lignes directrices de l'OMS pour promouvoir le maintien de la qualité de vie lors du vieillissement.

Bien qu'il ne soit pas déconseillé de pratiquer en autonomie, il reste recommandé de pratiquer sous l'égide et/ou les recommandations d'un professionnel, notamment pour les personnes âgées sédentaires, isolées et déconditionnées. Dans ce contexte formel, les personnes âgées ont actuellement diverses offres de service à leur disposition avec notamment l'enseignant en activités physiques adaptées (APA) à domicile et les cours collectifs. Cependant, leur coût et/ou leur accessibilité ne les rendent pas adaptés à un public âgé moins aisé et/ou isolé. Depuis quelques années, un autre type de service s'est donc développé : un programme d'entraînement à domicile utilisant un support audiovisuel. Ce service offre le double avantage d'être à bas coût et accessible facilement mais connaît également quelques limites réduisant son efficacité et son utilisation (e.g. inadaptabilité du programme, isolement social). Une méthode permettant de maintenir les avantages de l'audiovisuel et de pallier à ses limites serait l'utilisation de la visioconférence.

Ainsi ce travail de thèse s'est construit autour du projet européen intitulé «MOTION - Remote Home-Physical Training for Seniors», qui dans un contexte de partenariat d'innovation pour un vieillissement actif et en bonne santé (EIPAHA), vise à évaluer la pertinence de l'utilisation de la visioconférence collective pour un public âgé. L'objectif de ce travail était donc d'évaluer les effets sur la qualité de vie, au travers de la condition physique, de l'équilibration et des rythmes biologiques, d'un programme d'activités physiques adaptées (développé au cours de ce travail de thèse), à domicile en utilisant un nouvel outil : la visioconférence.

L'identification des différents facteurs impliqués dans le maintien de la santé des personnes âgées a permis le développement d'un programme d'APA accessible, adaptable et efficace.

Ainsi le cadre théorique de ce manuscrit porte sur les effets délétères du vieillissement et sur les possibilités de réhabilitation par l'activité physique.

Le cadre expérimental s'attache dans une première partie à exposer les grandes lignes du programme d'entraînement développé au cours de ce travail de doctorat et dans une deuxième partie, à présenter la méthodologie employée, les tests utilisés ainsi que les résultats obtenus dans des conditions classiques d'entraînement à domicile mais également dans des conditions innovantes grâce à un système de visioconférence collective.

Enfin, les effets de ce programme, sur la qualité de vie, la condition physique, les capacités d'équilibration et les rythmes biologiques de personnes âgées, sont discutés.

CONTEXTE

« Aucun de nous ne sait ce que nous savons tous, ensemble. »

Euripide

Les objectifs du laboratoire INSERM U1075 COMETE sont d'une part la compréhension des mécanismes de contrôle et de régulation de la mobilité chez l'homme et d'autre part le développement de technologies et de méthodologies au service de la santé humaine. Dans notre société, la mobilité est à la fois un risque, une nécessité et un facteur déterminant de la qualité de vie. Les accidents liés à la mobilité sont très fréquents et de causes variées. Ainsi, s'ils sont fréquents chez l'adulte jeune et chez la personne âgée, ils sont néanmoins de natures différentes dans les deux populations : accidents sportifs ou de la circulation chez l'adulte jeune, chutes chez la personne âgée. Ces différents accidents constituent un important problème de santé publique car leurs conséquences sont souvent graves. Elles sont à la fois physiques (e.g. fractures, infirmité) et psychologiques (e.g. isolement, dépression) ; elles entraînent donc des soins médicaux coûteux et sont une menace importante pour l'autonomie des personnes. Malgré la diversité des circonstances de survenue de ces accidents liés à la mobilité, la part résultant de facteurs humains est prépondérante. Un des buts scientifiques des recherches entreprises au sein de ce laboratoire, est de réduire significativement le nombre de ces accidents en apportant une meilleure compréhension des circonstances amenant à la dégradation des mécanismes de contrôles de la mobilité et en proposant de nouvelles approches préventives ou thérapeutiques.

Les mobilités étudiées par l'unité sont principalement la locomotion, la conduite de véhicule et la pratique d'activités physiques et sont abordées au sein de 3 grands axes de recherche (Fig. 3).

L'axe n°1 a pour objectifs d'identifier et de comprendre les mécanismes de contrôle et de régulation encore mal connus qui sous-tendent ces mobilités (intégration sensorielle, notamment vestibulaire, mécanismes de l'équilibre, organisation temporelle, fonctionnement cognitif) et des facteurs qui peuvent les altérer, à l'aide d'approches spécifiques développées dans l'unité. Parmi ces facteurs, est évaluée plus particulièrement l'influence de facteurs intrinsèques liés au vieillissement – normal ou pathologique – et aux désynchronisations de la rythmicité biologique.

L'axe n°2 quant à lui, concerne le dépistage et le diagnostic précoce de ces troubles de la mobilité avec des méthodes et techniques issues des recherches menées au sein de l'unité.

Enfin l'axe n°3, se situe dans une dynamique concrète de prévention et de traitement de ces troubles par des interventions pharmacologiques ou non-pharmacologiques, mises au point ou évaluées dans l'unité.

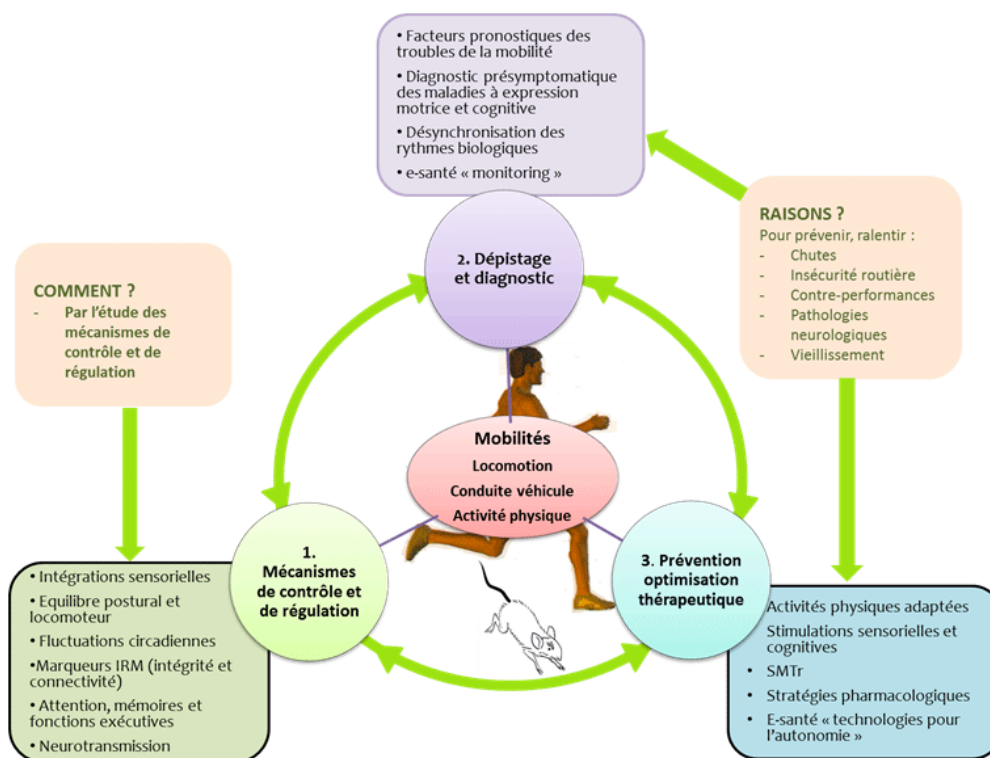


Fig. 3. Schéma des axes de recherche du laboratoire et leurs objectifs (Tiré de <http://www.comete-u1075.fr>)

Au sein de ces trois axes, plusieurs études ont été/sont/seront menées par l'unité, certaines très spécifiques et d'autres transversales. Ce qui est le cas de l'étude qui nous intéresse ici et qui fait l'objet du présent travail de thèse.

Ce travail, s'est construit autour d'un projet intitulé « **MOTION - Remote Home-Physical Training for Seniors** », qui participe au partenariat européen d'innovation pour un vieillissement actif et en bonne santé (EIPAHA) dans le cadre du 5^{ème} appel à projet Ambient Assisted Living (AAL). Ce projet vise à délivrer une offre d'activité physique adaptée à une population âgée, à distance en utilisant un outil de visioconférence collectif. L'objectif de cette étude était d'augmenter le nombre de seniors bénéficiant d'une pratique physique adaptée et régulière tout en baissant les coûts d'un tel service. Piloté par le groupe associatif Siel Bleu, un consortium de 9 partenaires européens intervenant dans leur domaine respectif s'est constitué. La plateforme technique et le développement technologique nécessaires à la mise en place de l'interface utilisateur et du système de visioconférence collectif ont été développés par les 3 entreprises présentes dans le consortium. L'évaluation, la mise en place du site pilote ainsi que la validation scientifique du projet et du programme d'entraînement adapté revenaient au partenaire universitaire, le laboratoire COMETE. Deux sites pilotes ont été mis en place, l'un à

Bologne en Italie, l'autre à Caen, en France. Le projet s'est ainsi structuré autour d'un consortium maîtrisant les domaines de l'informatique, de la technologie multimédia, de l'activité physique adaptée, tous en lien avec le public âgé.

Le projet s'organise autour de 6 lots de travail (WP)

- WP1 - le management du projet dans son ensemble,
- WP2 - les contraintes liées aux utilisateurs ainsi que la méthodologie mise en place pour l'évaluation du système,
- WP3 - le développement de la plateforme technologique de communication, support au système de visioconférence,
- WP4 - le développement de pistes exploratoires,
- WP5 - les sites pilotes et l'évaluation générale du projet,
- WP6 - la dissémination et l'exploitation des résultats ainsi que le business plan.

Chaque WP comporte des objectifs à atteindre grâce à la réalisation de tâches organisées temporellement et réparties entre les différents partenaires. Un WP se clôture après la réalisation de livrables qui doivent être validés par l'ensemble du consortium. Ainsi, chaque partenaire, même si il n'est pas concerné par le WP de par son domaine de compétence, se voit informé de l'ensemble des évolutions du projet. Au sein de ce projet, nous avons été en charge de plusieurs tâches et avons réalisé plusieurs livrables (WP2, WP5 et WP6), partie intégrante de ce travail de thèse :

✓ **WP2 - Livrable 2.2 : *Programme d'APA pour les utilisateurs finaux***

Un programme d'entraînement, adapté aux capacités d'une population âgée et en vue d'être diffusé au moyen d'un système de visioconférence collectif, a été développé.

✓ **WP2 - Livrable 2.4 : *Méthodologie d'évaluation de l'impact physique et psychologique***

La méthodologie utilisée pour évaluer l'impact physique et psychologique du programme d'entraînement a été définie en accord avec la littérature et les objectifs du projet.

✓ **WP5 - Livrable 5.3 : *Rapport d'évaluation sur l'impact physique et psychologique***

Les résultats des évaluations physiques et psychologiques effectuées avant et après le programme d'entraînement ont fait l'objet d'un rapport.

✓ **WP6 - Livrable 6.2 : **Plan de dissémination****

Au début du projet, un plan de dissémination scientifique et professionnel a été établi afin d'assurer une diffusion optimale des avancées et résultats du projet.

CADRE THEORIQUE

«Tout le monde veut vivre longtemps, mais personne ne veut devenir vieux.»

Jonathan Swift

1.1 EFFET DU VIEILLISSEMENT SUR LA SANTE

Le vieillissement, phénomène naturel et inéluctable est en fait un processus de transformation permanent qui s'installe dès le départ de la vie et se poursuit avec elle. Il s'accompagne d'une baisse progressive des capacités d'adaptation de l'individu et d'une diminution de l'efficacité des mécanismes de régulation. La vieillesse, qui représente la dernière étape du développement, est parfois perçue, souvent par les plus jeunes, non pas comme une étape qui peut s'inscrire dans la durée, mais comme une finalité, une date limite. Au cours de l'histoire et dans les sociétés occidentales, la vieillesse a souvent été malmenée, à l'exception de quelques périodes où elle fut valorisée et respectée, de par la sagesse qu'elle représentait. Cette vision terne du développement et de l'avancée en âge n'est heureusement pas partagée par tout le monde. Pour beaucoup le vieillissement représente aussi la connaissance, l'expérience et le temps de vivre autrement. Le vieillissement, qui résulte à la fois du vécu et de la génétique, présente de ce fait une hétérogénéité grandissante associée à l'allongement de l'espérance de vie. Plusieurs trajectoires peuvent cependant être prises et amènent des disparités importantes entre les individus âgés. En effet, trois modèles de vieillissement sont à distinguer : le vieillissement « réussi », sans pathologie, avec peu de risques d'en développer et une grande autonomie ; le vieillissement « normal », sans pathologie mais avec des risques d'en développer ; le vieillissement « pathologique », marqué par de nombreux facteurs de risques et des pathologies et/ou des incapacités développées très tôt (Bowling et Dieppe 2005; Rowe et Kahn 1997). Si la prévention des effets négatifs du vieillissement peut commencer dès la prime enfance, il n'est jamais trop tard pour engager des démarches permettant d'améliorer sa santé. La santé, a été définie, lors de la constitution de l'Organisation Mondiale de la Santé en 1946, comme étant « un état complet de bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. ». Un indicateur permettant d'évaluer la santé de l'individu âgé, au sens entendu par l'OMS, pourrait-être la qualité de vie (Qv).

1.1.1 Effet du vieillissement sur la qualité de vie

L'augmentation de l'espérance de vie et l'accroissement de la proportion des personnes âgées dans la population mondiale ont vu émerger un concept central dans le champ des soins de santé : la qualité de vie. Ce concept de qualité de vie est apparu dans les années 60 aux États-Unis. En effet, c'est en 1962, que Maslow a publié un livre, « Towards a Psychology of Being », et a établi une théorie, selon laquelle la Qv serait fondée sur la satisfaction des besoins fondamentaux de l'Homme. Cependant, ce concept multifactoriel ne connaît pas de définition consensuelle. Il existe trois courants permettant de définir la Qv : (i) la Qv liée à l'environnement, (ii) la Qv liée à la santé et (iii) la Qv abordant tous les domaines de la vie (Corten 1993). Le premier courant a émergé des sciences connexes à la politique et s'intéresse aux paramètres de vie objectifs tels que le revenu ou encore le lieu de vie. Le deuxième quant à lui, issu du milieu médical, se situe toujours dans une démarche d'évaluation et de mesure objective de cet indicateur de la santé. Ce courant fera naître une réflexion autour de l'implication des troubles fonctionnels sur la santé. Ce sont surtout les fonctionnalités physiques qui seront prises en compte à travers la mobilité et les capacités à assumer les activités de la vie quotidienne même si les dimensions psychiques (e.g. la capacité relationnelle) et sociales (e.g. l'incapacité à travailler) ont été appréhendées. Enfin, le dernier courant conceptuel émergent du champ de la psycho-sociologie, est parti de l'approche du bonheur exprimé (Bradburn, 1969) supposant un équilibre entre les affects positifs (e.g plaisir, dynamisme) et les affects négatifs (e.g anxiété, tristesse). En conséquence, pour définir la qualité de vie, l'acceptation d'une dimension subjective est importante puisqu'elle permet de prendre en compte l'ensemble des domaines de vie pertinents pour un individu.

Ainsi, en 1993, l'OMS a donné une définition globale de la Qv. Elle serait « la perception qu'a un individu de sa place dans l'existence, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lesquels il vit en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes ». Pour Leplège en 1999, la Qv est un concept très large qui est influencé de manière complexe par la santé physique du sujet, son état psychologique, son niveau d'indépendance, ses relations sociales ainsi que sa relation aux éléments essentiels de son environnement. La dimension physique prend alors une place importante dans ce concept de Qv. En effet, pour pouvoir s'épanouir avec son environnement, il est indispensable de pouvoir interagir avec lui, la locomotion est ainsi un facteur très important ayant une influence non négligeable sur la Qv.

En s'accordant sur une définition de la Qv liée à la santé, la santé physique (capacités fonctionnelles impliquées dans le quotidien) semble être un facteur important et pertinent à prendre en compte.

Pour comprendre l'impact du vieillissement sur la qualité de vie et de manière plus générale sur la santé, il semble alors indispensable de s'intéresser à l'évolution de la condition physique et des différentes fonctions pouvant impacter le quotidien de la personne vieillissante. Dans les parties suivantes, nous nous attacherons donc (i) à comprendre les effets que le vieillissement peut avoir sur la condition physique, mais aussi sur (ii) les capacités d'équilibration et de marche et (iii) à identifier les conséquences du vieillissement sur le rythme de la température et le cycle veille-sommeil.

1.1.2 Effet du vieillissement sur la condition physique

La mobilité et à travers elle l'autonomie de la personne vieillissante, est donc un critère très important et révélateur d'une bonne Qv (Shumway-Cook et al. 2002). Le critère de mobilité fonctionnelle est caractérisé par la capacité de l'individu à se mouvoir et à se déplacer dans son environnement et ainsi à maintenir son indépendance. Cela implique de pouvoir changer de position, marcher, monter des marches ou encore d'être capable de porter une charge (Sherrington et al. 2008; DiPietro, 1996).

Ainsi, pour maintenir une Qv acceptable, il est nécessaire de maintenir en bon état l'ensemble des mécanismes responsables de la locomotion. De nombreux systèmes impliqués dans la locomotion sont impactés par le vieillissement, parmi lesquels le système musculaire.

1.1.2.1 Effet du vieillissement sur le système musculaire

1.1.2.1.1 Modifications du système musculaire

Le muscle, effecteur de tout mouvement, est, par ce fait, au cœur de la problématique liée à la mobilité et à l'autonomie des individus. Bien qu'il existe plusieurs types de muscles, le muscle cardiaque, les muscles lisses et les muscles squelettiques, nous ne nous intéresserons qu'à ces derniers. Ainsi, le vieillissement provoque des changements importants au niveau des muscles squelettiques et leurs conséquences sont à prendre en compte car elles peuvent avoir des retombées significatives sur la santé métabolique, sur le niveau d'indépendance et la mobilité des personnes âgées et donc logiquement sur la Qv (Dionne 2012).

Chez le sujet âgé, la fonction musculaire se dégrade progressivement. L'avancée en âge s'accompagne ainsi d'une modification de la composition corporelle se traduisant par une augmentation de masse grasse et une diminution de masse maigre. La masse maigre est composée principalement de la masse osseuse, des organes, des liquides et de la masse musculaire. La diminution de la masse maigre est en grande partie due à la diminution de la masse musculaire appelée sarcopénie, qui subit des modifications quantitatives et qualitatives pouvant avoir des conséquences sur la capacité des individus âgés à réaliser les activités de la vie quotidienne (Rantanen et al. 1999). Cette diminution de la masse musculaire est la conséquence d'une atrophie des fibres musculaires, principalement des fibres dites rapides (type II) (Orr 2010).

La sarcopénie, a été initialement définie par Rosenberg en 1989, comme étant « la diminution de la masse squelettique au cours du vieillissement ». Si elle ne connaît toujours pas de définition universelle (Dawson-Hughes & Bischoff-Ferrari, 2016; Mitchell et al. 2012), la

communauté scientifique européenne en a cependant adopté une : « la sarcopénie est un syndrome associant une diminution progressive et généralisée de la masse, de la force et des fonctions musculo-squelettiques, qui peut être à l'origine d'incapacités fonctionnelles, de diminution de la qualité de vie et d'une augmentation de la mortalité » (Cruz-Jentoft et al. 2010). Ainsi la sarcopénie est reconnue comme un des processus les plus importants dans la perte des capacités fonctionnelles pouvant conduire à des incapacités motrices et augmenter la mortalité de la personne âgée (Fig. 4) et fait toujours l'objet de nombreux travaux (Angulo, El Assar, et Rodríguez-Mañas 2016; Dawson et Dennison 2016; Budui, Rossi, et Zamboni 2015).

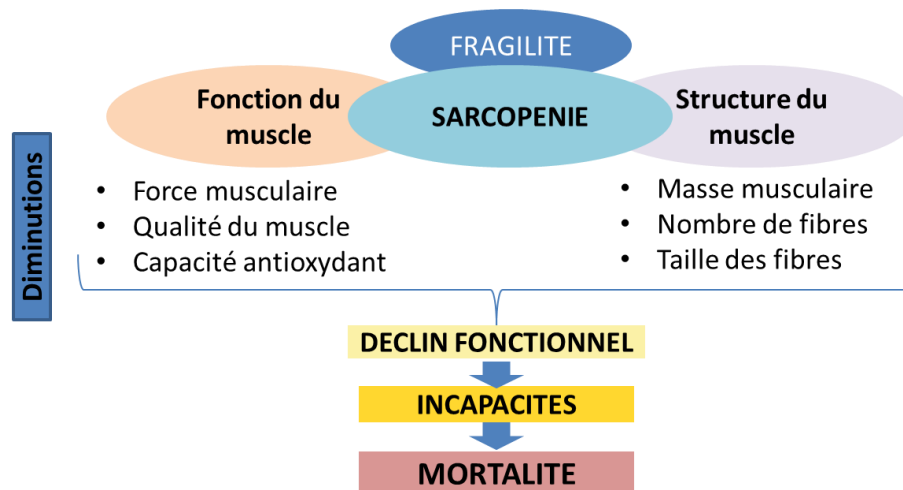


Fig. 4. Principales altérations du muscle squelettique, adapté de Angulo et al. (2016)

1.1.2.1.2 Le phénomène de sarcopénie

La diminution de la masse musculaire apparaît progressivement vers l'âge de 40 ans et s'accélère après 50 ans (Janssen et al. 2000). Elle diminue en moyenne de 1 à 2% par an après l'âge de 45–50 ans. Ainsi, à partir de 40 ans, la perte de masse musculaire enregistrée par période de dix ans est estimée à 5%, ce qui conduit à une perte estimée à 20% après 65 ans par rapport aux jeunes adultes (Iannuzzi-Sucich, Prestwood, et Kenny 2002). Ces chiffres peuvent cependant varier, ainsi d'autres études font état, à partir de 50 ans d'une perte évaluée à 14% de masse musculaire par décennie, ce qui conduirait à des pertes de 30 à 40% à l'âge de 70 ans (Roubenoff 2000). La perte de masse musculaire est associée à une diminution de la force musculaire qui décline en moyenne de 1,5% par an à partir de 45–50 ans, puis de 3% par an à partir de 60 ans (Vandervoort 2002).

Les facteurs génétiques influencent le vieillissement musculaire, impliquant ainsi des variations importantes entre les individus (Melton et al. 2000). La prévalence de la sarcopénie modérée varie entre les femmes et les hommes, elle semble comprise entre 27 et 59% chez les

femmes de plus de 60 ans et entre 20 et 45% chez les hommes de plus de 60 ans (Cherin 2009; Iannuzzi-Sucich, Prestwood, et Kenny 2002). Selon la New Mexico Aging Study, la prévalence de la sarcopénie est de 20% pour les hommes et de 35% pour les femmes de 70 à 75 ans, puis à partir de 80 ans, de 50% pour les hommes et 60% pour les femmes (Baumgartner et al. 1997).

1.1.2.1.3 Les mécanismes de la sarcopénie

Le processus normal du vieillissement implique des modifications au niveau de la structure et de la fonction musculaire. En effet, la structure du muscle, qui est principalement constituée de protéines, repose normalement sur un équilibre entre la synthèse (anabolisme) et la dégradation (catabolisme) protéique musculaire. Or avec l'avancée en âge, cet équilibre tend à disparaître avec une réduction de la synthèse et une augmentation des dégradations (Irving, Robinson, et Nair 2012). Le mode de vie actif ou sédentaire, la pratique ou non d'une activité physique, les modifications hormonales, l'alimentation et les modifications du métabolisme, participent au développement et à la progression de la sarcopénie (Castaneda et al. 1995).

Les mécanismes impliqués dans la perte de masse musculaire liée au vieillissement sont donc multifactoriels (Fig. 5) (Angulo et al. 2016), cependant nous ne nous intéresserons ici qu'à une partie d'entre eux. En effet, trois facteurs sont communément retenus : la sédentarité, l'absence d'activité physique et le statut nutritionnel (notamment avec des apports protéiques insuffisants) (Budui, Rossi, & Zamboni, 2015; Cherin, 2011; Janssen, Heymsfield, & Ross, 2002; Morley, 1997; Castaneda et al. 1995).

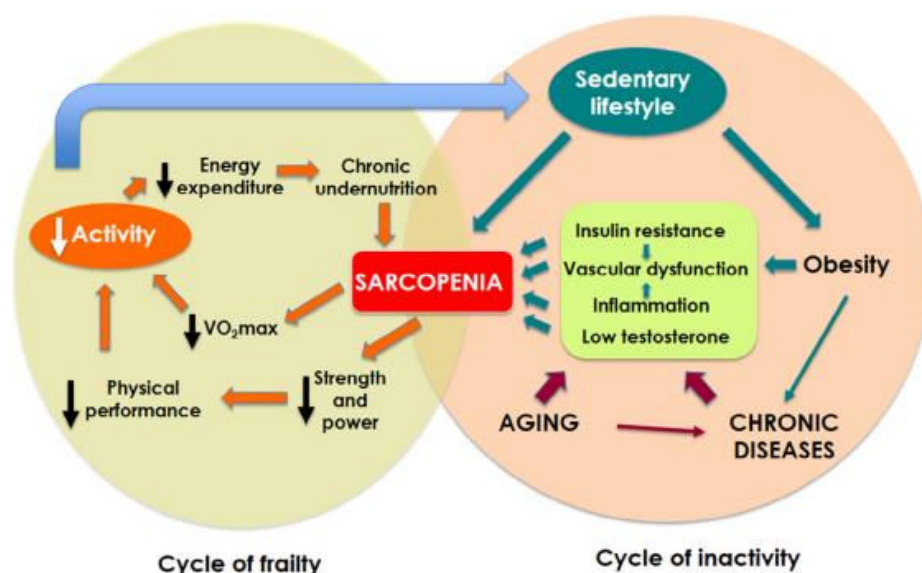


Fig. 5. Cycles de la fragilité et de l'inactivité, convergeant vers la sarcopénie (Angulo et al. 2016)

✓ Sédentarité et inactivité physique

La sédentarité est généralement définie comme un état dans lequel les mouvements sont réduits au minimum au quotidien. L'inactivité physique représente davantage une absence d'activité. Elle est souvent évaluée par l'absence d'activité physique (déplacements ou mouvements de trop faible intensité) au cours de la vie quotidienne (Inserm 2014).

Les personnes âgées sont amenées à avoir des périodes d'inactivité voire d'immobilité totale (repos au lit) importantes, notamment lors d'hospitalisations. Des études ont montré que l'inactivité, plus précisément le repos au lit, qu'il soit la conséquence ou non d'une hospitalisation, contribuait à une diminution des capacités fonctionnelles de l'individu âgé. Ainsi l'inactivité pourrait compromettre l'homéostasie métabolique musculaire (Coker et al. 2014; Moore, 2014; Kortebein et al. 2007) (Fig. 6).

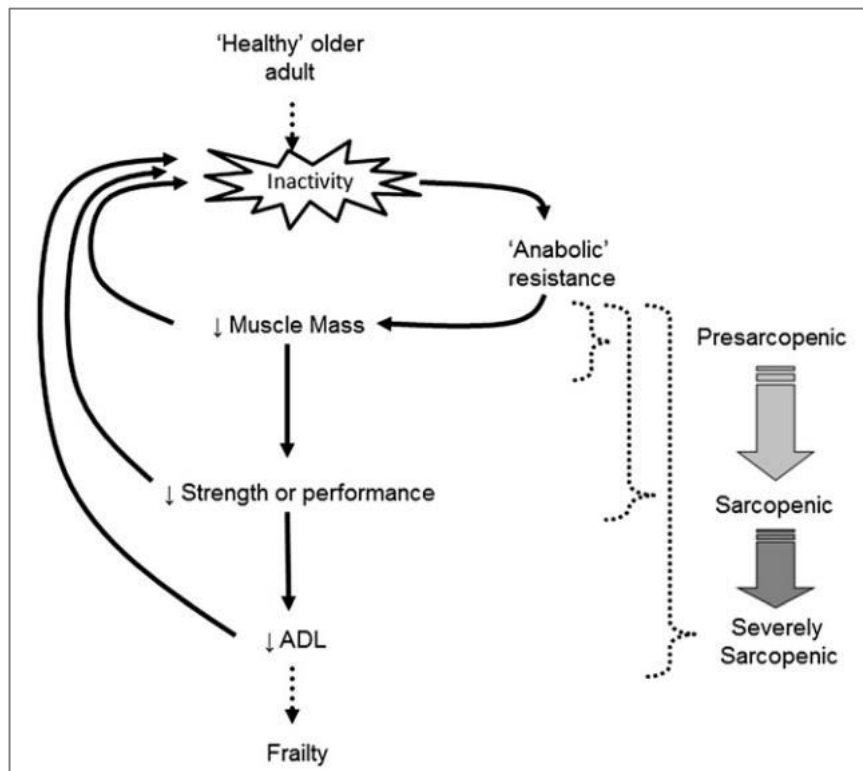


Fig. 6. Impact de l'inactivité physique en tant que principal contributeur à la progression de la sarcopénie, Moore 2014. (ADL : Activités de la vie quotidienne)

L'étude de Kortebein et al. en 2007, a montré après un repos total au lit de 10 jours (bed rest), que les participants âgés sains (moyenne d'âge 67 ans), avaient perdu près de 1 kg de masse maigre dans les membres inférieurs ce qui représente une diminution de plus de 6%. Lors de cette étude, le taux de synthèse des protéines a été mesuré sur 24 heures avant et après le bed

rest, les résultats sont prégnants puisqu'une diminution de 30% a été observée. À ces résultats s'ajoute une baisse significative de la force maximale de l'ordre de 16% lors d'un exercice d'extension de la jambe. Cette perte nette de masse musculaire était supérieure à celle observée chez des sujets jeunes (-6%) (moyenne d'âge 28 ans) en bonne santé après 28 jours de repos au lit (Paddon-Jones et al. 2006). L'absence d'activité favorise donc la perte de masse musculaire à tous les âges. En revanche, ces dégradations seraient trois fois plus rapides pour un sujet âgé en comparaison à un sujet jeune. Par ailleurs, dans le cadre d'une autre publication, Kortebein et al. (2008), ont constaté que ces 10 jours d'alitement pour des sujets âgés sains, entraînaient, en plus d'une perte significative de force en extension et en flexion lors de contractions concentriques à $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ (-13%) et de puissance des membres inférieurs (-14%), une diminution significative de leur capacité aérobie de 12%, mesurée lors d'un test d'effort maximal à charge croissante. De manière plus générale, cette période d'alitement a également conduit à une réduction de l'activité physique (utilisation d'un podomètre) après la fin de l'étude, sans impacter la performance physique. La perte de la masse musculaire et de ses fonctions est donc très rapide chez les personnes âgées, si une période de repos au lit de 10 jours a entraîné une perte de masse maigre de 6% sur les membres inférieurs (Kortebein et al. 2007), une étude plus récente sur une période plus courte, 7 jours de repos au lit, a montré une diminution significative de la masse maigre des membres inférieurs de l'ordre de 4% (Drummond et al. 2012). Ainsi, les effets du vieillissement normalement observés sur le système musculaire, sont très fortement amplifiés lors d'un alitement ; la sédentarité et l'inactivité sont donc des facteurs aggravant le phénomène de sarcopénie lié à l'âge.

✓ Le statut nutritionnel

Le maintien de la masse protéique corporelle chez l'adulte est en permanence sous l'influence de la balance entre la synthèse et la dégradation protéique musculaire. Ces composantes du métabolisme protéique dépendent également de l'apport nutritionnel, notamment en protéines et en énergie, mais aussi de l'exercice physique (Walrand et al. 2011; Short et al. 2004). La synthèse des protéines exige un substrat énergétique et des apports adéquats en acides aminés, qu'ils proviennent de l'alimentation ou de leur recyclage à la suite de la protéolyse. Le catabolisme est, comme l'anabolisme, sous l'influence de nombreux facteurs qui peuvent engendrer une perte musculaire tels que l'inactivité physique, les apports nutritionnels inadéquats ou encore les inflammations (les cytokines inflammatoires stimulent la dégradation des protéines). C'est donc cette balance, entre la synthèse protéique et la

dégradation, qui va déterminer l'augmentation ou la réduction de la masse des protéines musculaires (Glass 2005).

Une des caractéristiques physiologiques du vieillissement est la réduction de l'apport de nutriments, qui est associée à une diminution de la dépense d'énergie liée à la réduction de l'activité physique et à la perte de la masse musculaire (Morley et al. 2001; Morley & Silver, 1988). Les personnes âgées ont besoin de compenser les changements liés à l'âge qui influencent ce métabolisme protéinique. En effet, une résistance au mécanisme de synthèse protéique semble se développer avec l'âge (Shad et al. 2016; Cuthbertson et al. 2005; Dardevet et al. 2000). Le vieillissement s'accompagnerait donc d'une réponse anabolique inférieure chez des sujets âgés (moyenne d'âge 72 ans) par rapport à des sujets jeunes (moyenne d'âge 30 ans), lors d'une prise alimentaire (Fig. 7) (Volpi et al. 2000).

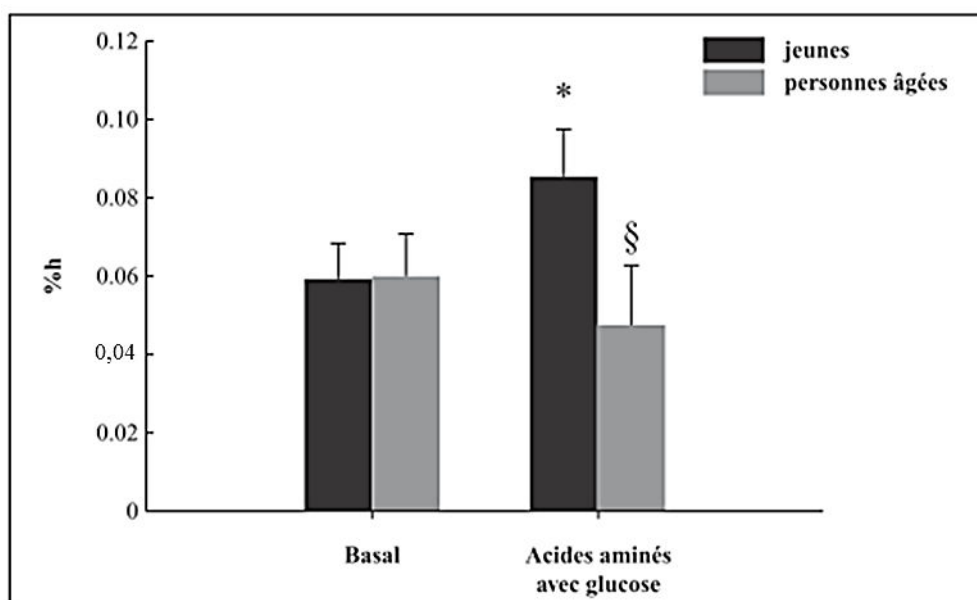


Fig. 7. Perte de l'effet anabolique du repas au cours du vieillissement. Taux de protéines musculaires chez des sujets jeunes et des sujets âgés à l'état basal et après une prise d'acides aminés et de glucose. Adapté de Volpi et al. (2000). (%h, production horaire de protéines ; *, $p < 0.01$ vs. Basal ; §, $p < 0.05$ vs. jeunes)

1.1.2.1.4 Impact de la sarcopénie sur le tissu osseux

Avec l'âge, la sénescence du système musculo-squelettique se traduit par une perte de la masse musculaire mais aussi une perte osseuse (ostéopénie). L'ostéopénie est caractérisée par une diminution de la densité de l'os, c'est un état physiologique non pathologique, précurseur de l'ostéoporose. En 2006, la haute autorité de santé a défini l'ostéoporose comme étant « une maladie diffuse du squelette caractérisée par une faible masse osseuse et une détérioration de

la micro-architecture du tissu osseux, responsables d'une fragilité osseuse, donc d'une augmentation du risque de fracture ». Le premier mécanisme expliquant la survenue d'une ostéoporose est la modification, avec l'âge, du remodelage osseux créant une baisse de formation des os. La diminution de l'activité des ostéoblastes (cellules formatrices d'os) conduit à un déséquilibre entre la quantité d'os résorbés et la quantité d'os formés. L'équilibre entre les taux de formation et de résorption osseuse est rompu, ce qui finit par causer une diminution de la masse osseuse (Timiras 2007). Passé l'âge de 40 ans, le taux d'ostéogénèse se maintient mais la résorption s'accélère. Ainsi, la masse osseuse chez l'homme diminue de 0,5 à 1% par an entre 30 et 50 ans. Chez la femme en revanche, elle commence à diminuer quelques années avant la ménopause et à partir des premiers signes de la ménopause, elle se poursuit au rythme de 1 à 2% par an durant 8 à 10 ans, puis ralentit jusqu'à ce que son rythme soit le même que chez l'homme (HAS 2006). Cette ostéopénie liée à l'âge semble donc être la conséquence de problèmes endocriniens (ménopause précoce ou corticothérapie prolongée par exemple) et nutritionnels (dénutrition, apports calciques et protéiques faibles, excès d'alcool) (El Maghraoui 2014), mais pourrait également être expliquée par la baisse de l'impact des tractions musculaires et donc de l'activité physique (Frost, 2003; Lu et al. 1997; Frost, 1987). La sarcopénie serait alors associée à une faible densité osseuse et à l'ostéoporose (Hunter, McCarthy, et Bamman 2012). Cette hypothèse est confirmée par une étude qui a montré que des sujets âgés sarcopéniques étaient plus susceptibles de développer de l'ostéoporose que des sujets âgés sains (Verschuere et al. 2013).

1.1.2.2 Effet du vieillissement sur la capacité aérobie

Responsable d'altérations du système musculo-squelettique, le vieillissement s'accompagne également d'altérations des fonctions cardiaques et respiratoires avec des retentissements sur la capacité aérobie.

Tout effort physique intense dépassant deux à trois minutes, dépend essentiellement du métabolisme aérobie. Ce métabolisme intervient en présence d'oxygène. Il permet de prélever l'oxygène de l'air et de le transporter jusqu'aux mitochondries pour pouvoir ensuite être utilisé dans les réactions chimiques d'oxydoréduction pour produire de l'ATP et libérer de l'énergie (Poortmans et Boisseau 2003). Ainsi, la capacité aérobie représente le potentiel du métabolisme aérobie à fournir l'énergie nécessaire à la réalisation d'un exercice physique. La capacité aérobie est généralement déterminée lors d'un effort maximal dont les principaux déterminants

sont la Puissance Maximale Aérobie exprimée en watts (PMA) et le débit maximal d'oxygène ($\text{VO}_2 \text{ max}$) exprimé en valeur absolue ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) ou relative au poids de corps ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$). Chez la personne âgée, la capacité aérobie est un facteur important pour le maintien de l'autonomie et de la capacité fonctionnelle lors des activités de la vie quotidienne et donc de la Qv (Gremeaux et al. 2012). Ainsi, la capacité aérobie est considérée comme l'un des plus grands prédictors de santé et de longévité (Stathokostas et al. 2004). Trois systèmes vont avoir un effet direct sur la capacité aérobie (Dionne, 2012) et seront altérés au cours du vieillissement (Ogawa et al. 1992) :

- ✓ le débit cardiaque : la capacité à transporter l'oxygène vers les muscles,
- ✓ la différence artério-veineuse : la capacité des muscles à extraire l'oxygène du sang afin de subvenir aux besoins liés à l'effort,
- ✓ la ventilation et les échanges gazeux : l'efficacité du système respiratoire à capter l'oxygène et à libérer le gaz carbonique.

Ainsi, lors de l'avancée en âge, une diminution de la fréquence cardiaque maximale et du volume d'éjection systolique maximal sont observés, entraînant une réduction du débit cardiaque maximal (Brubaker & Kitzman, 2011; Heckman & McKelvie, 2008; Harris et al. 2003). L'origine de ces dégradations, se trouve principalement pour la FCmax, dans la désensibilisation du myocarde aux catécholamines, alors que la réduction du volume d'éjection systolique serait liée à une diminution progressive de la force du myocarde. De plus, la modification de la composition corporelle liée à l'âge est également impliquée dans le déclin de la capacité aérobie en modulant l'utilisation de l'oxygène. En effet, avec l'âge une diminution de la masse musculaire est constatée, ce qui a pour conséquence de réduire la proportion de tissu musculaire impliqué dans la captation de l'oxygène (Konopka et al. 2011). En outre, l'altération du réseau capillaire musculaire induit une réduction progressive de la différence artério-veineuse (Ogawa et al. 1992). Enfin, le vieillissement entraîne une réduction de l'amplitude des mouvements respiratoires et de la ventilation maximale au cours de l'exercice ainsi qu'une dégradation progressive des échanges gazeux pulmonaires limitant l'exercice intense (Timiras 2007). L'altération de ces trois systèmes au cours du vieillissement entraîne donc une diminution de la capacité aérobie, et aura in fine, des conséquences sur les capacités fonctionnelles du sujet âgé (Lakatta et Levy 2003).

A partir de l'âge de 65 ans, la capacité aérobie est de 30 à 40% moins importante qu'à l'âge de 20 ans (Huang et al. 2005; Shephard 1987). En effet, la capacité aérobie diminue en moyenne de 10% par décennie après l'âge de 25-30 ans. Une étude de cohorte (3429 femmes et 16889

hommes âgés, de 20 à 96 ans) a montré que cette diminution s'accélérait progressivement après l'âge de 45 ans (Jackson et al. 2009) (Fig. 8).

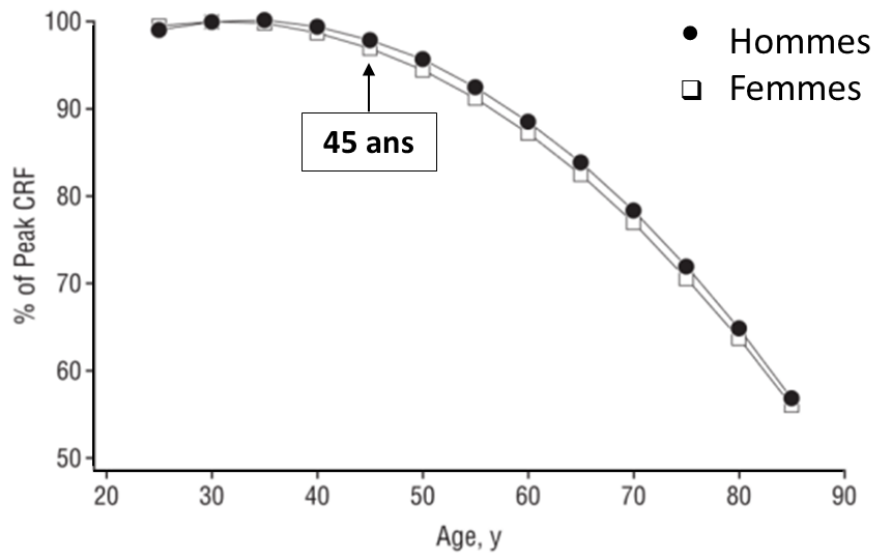


Fig. 8. Diminution de la capacité aérobie maximale (CRF) en % chez les hommes et les femmes selon l'âge, adapté de Jackson et al. (2009)

En résumé, ces altérations, notamment au niveau de la prise en charge et de l'utilisation de l'oxygène, entraînent une fatigabilité excessive des muscles locomoteurs, ce qui conduit l'individu à réduire ses déplacements (Carmeli, Coleman, et Reznick 2002) et détériore progressivement sa condition physique entraînant un déconditionnement général. Un cercle vicieux s'établit entre l'inactivité de l'individu, la perte de la masse musculaire, les troubles cardiovasculaires, la réduction des fonctions respiratoires et leur impact sur les capacités fonctionnelles de l'individu âgé (Xue et al. 2008; Paterson, Jones, & Rice, 2007; Fried et al. 2001).

1.1.3 Effet du vieillissement sur la capacité d'équilibration et de marche

Le processus de vieillissement est intrinsèquement associé à un déclin de la capacité aérobie, de la force musculaire et altère également la marche et l'équilibre, qui contribuent tous à l'incapacité fonctionnelle.

Si l'incidence sur la qualité de vie des sujets âgés, de la détérioration de la force musculaire et de la capacité aérobie, est en partie due à son impact sur la condition physique, ses conséquences potentielles sur les capacités d'équilibration et de marche, sont également à prendre en compte. En effet, le vieillissement s'accompagne d'une dégénérescence du système musculo-squelettique mais également des systèmes sensoriels (visuels, vestibulaires ou proprioceptifs) (Nitz & Choy, 2004; Lafont et al. 1991).

L'ensemble des mécanismes qui concourent au maintien de la posture (station debout ou « érigée »), constitue la fonction d'équilibration (Jeandel et Vuillemin 2000). Ainsi, la fonction d'équilibration repose principalement sur la détection et la transmission d'informations sensorielles (visuelles, vestibulaires et somesthésiques) aux systèmes intégrateurs (les noyaux vestibulaires) pour permettre la régulation de la position du corps et de l'équilibre (muscles posturaux) (Dupui, Lacour, et Montoya 2009) (Fig. 9). L'équilibration est la fonction physiologique qui permet, par la mise en œuvre de différentes boucles de régulation, le maintien de la posture (Viguiier 2009).

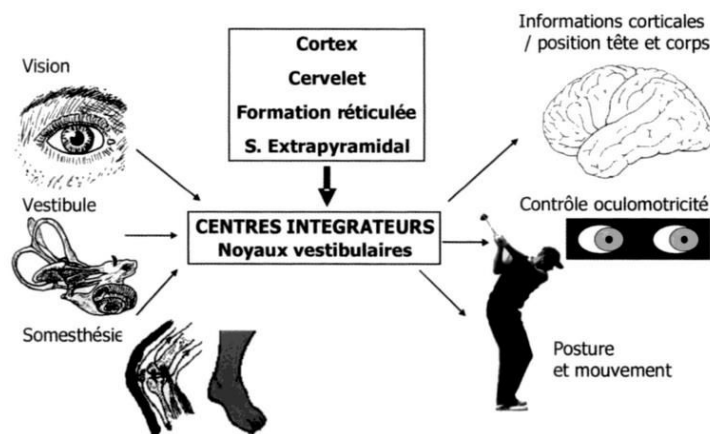


Fig. 9. Représentation des différentes structures impliquées dans la posture et l'équilibre, tiré de Dupui, Lacour, & Montoya, 2009

Viguiier en 2009 a défini la posture comme étant un agencement des différents segments corporels les uns par rapport aux autres à un moment donné. L'équilibre serait alors un état

stable de la posture à l'instant t et donc, l'aptitude au maintien de la posture en dépit des circonstances qui tendent à la perturber. Ces circonstances peuvent être des contraintes extérieures au sujet (environnement) ou bien des contraintes internes au sujet (e.g. état ostéo-articulaire).

Le vieillissement se traduit généralement par une dégradation des capacités d'équilibration liée à l'altération des fonctions sensorielles et de leur intégration qui peut entraîner une augmentation du risque de chutes (Woollacott 2000). En effet, approximativement 30% des personnes de 65 ans et plus, chutent au moins une fois par an, 15% tombent deux fois et plus par an (Stel et al. 2004; Tromp et al. 1998) et à partir de 80 ans c'est une personne sur deux qui chute dans l'année (Ambrose, Paul, & Hausdorff, 2013; Vellas et al. 1998). Les conséquences des chutes les plus graves impliquant des blessures, peuvent être dramatiques, allant de la fracture avec une restriction d'autonomie en passant par la dépression et pouvant dans les cas les plus graves entraîner la mort (Means et al. 2005). Dans une étude de cohorte récente, 27% des personnes âgées ayant eu une fracture de la hanche (moyenne d'âge 84 ans), sont décédées dans l'année qui a suivi cette fracture (Cenzer et al. 2016).

Nous nous intéresserons dans ce chapitre à comprendre l'impact du vieillissement sur les systèmes sensoriels, afin de comprendre leur importance dans le maintien des capacités d'équilibration et de marche.

1.1.3.1 Implication des informations visuelles dans le maintien de l'équilibration et de la marche au cours du vieillissement

Les informations visuelles jouent un rôle important dans la régulation posturale (Sturnieks, St George, et Lord 2008). Une vision claire et précise fournira les informations nécessaires pour naviguer efficacement à travers le monde. En effet, les récepteurs visuels vont rendre compte des déplacements de la tête et du corps par rapport à l'environnement. Ce sont des photorécepteurs (cônes et bâtonnets) de la rétine qui vont capter les informations visuelles.

Les voies optiques transmettent ensuite ces informations sensorielles au cortex occipital. C'est l'analyse corticale de ces informations qui permettra l'orientation dans l'espace en donnant des repères visuels. On peut distinguer deux types de vision, la vision centrale et la vision périphérique. La vision centrale prend son origine au niveau des récepteurs de la rétine centrale (cônes) qui ont un seuil de sensibilité à la lumière élevé et qui élaborent une vision de jour et de couleurs avec une acuité visuelle maximale permettant un ancrage visuel dans la posture. La

vision périphérique quant à elle, prend son origine au niveau des récepteurs de la rétine périphérique (bâtonnets) qui ont un seuil de sensibilité à la lumière faible et sont donc plus impliqués dans une vision de nuit, crépusculaire et achromatique (vision sans couleur). La rétine périphérique a une grande sensibilité au mouvement et est très sensible au flux visuel (déplacement de la scène visuelle sur la rétine). Elle est donc sensible soit à un déplacement de l'individu dans l'environnement, soit à un déplacement de l'environnement autour d'un individu immobile. La vision périphérique joue donc un rôle fondamental dans le contrôle de l'équilibration orthostatique et dynamique (Amblard et Carblanc 1980).

Ainsi les deux types de vision, périphérique et centrale, sont impliqués dans le contrôle de l'équilibre et de la posture (Assaiante, Marchand, et Amblard 1989; Paulus, Straube, et Brandt 1984).

D'un point de vue expérimental, pour faire varier l'entrée visuelle d'un sujet, il suffit de lui demander de fermer les yeux ou encore de modifier l'environnement visuel. On peut ainsi obtenir par stabilométrie, en condition les yeux ouverts puis les yeux fermés, une quantification de la variation apportée par cette action sur l'équilibre, que l'on appelle quotient de Romberg. Des études ont montré que les oscillations posturales augmentaient d'environ 30% lorsque les sujets fermaient les yeux tout en se tenant (Lord, Clark, & Webster, 1991; Paulus et al. 1984).

Près d'une personne de plus de 65 ans sur trois présente des problèmes d'acuité visuelle (Quillen 1999). En effet, la vision commence à se dégrader vers l'âge de 50 ans (Gittings et Fozard 1986). L'œil subit alors des changements physiologiques qui sont associés à un déclin dans de nombreux procédés visuels, tels que l'acuité visuelle, qui concernerait 3% des personnes âgées de 75 à 79 ans et près de 9% des personnes âgées de 80 à 84 ans (Buch et al. 2004; Jack et al. 1995), mais aussi la perception de profondeur (Nevitt et al. 1989) ou encore la sensibilité aux contrastes et à l'éblouissement (Coleman et al. 2007).

En plus des changements liés à un vieillissement « normal », les personnes âgées sont particulièrement sensibles au développement de déficits visuels associés à des pathologies oculaires courantes (Fig. 10), telles que la cataracte avec 38% des personnes âgées de 65 à 84 ans atteintes et la dégénérescence maculaire liée à l'âge pour 36% de cette même population (Buch et al. 2004; Kahn et al. 1977). Les personnes âgées atteintes de diabète et d'hypertension peuvent aussi avoir la charge supplémentaire des rétinopathies associées (9%). Ces déficits visuels liés à l'âge entraînent une diminution des capacités de contrôle de l'équilibre dynamique en raison d'une mauvaise évaluation des distances et une mauvaise interprétation de

l'information spatiale. La faible perception de profondeur est un facteur de risque de chutes chez les personnes âgées (Lord, 2006).

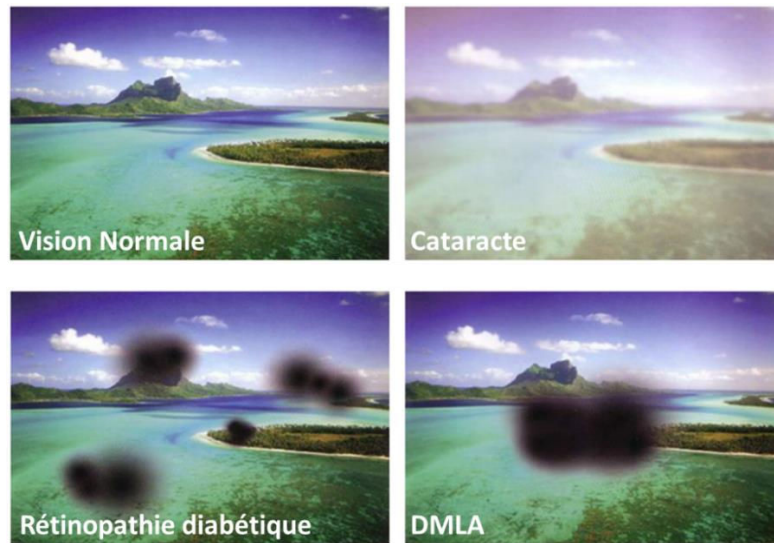


Fig. 10. Les principales déficiences (adapté de Scherlen 2008)

Les détériorations, qu'elles soient liées à l'âge ou à une pathologie spécifique, des informations visuelles, impliquent principalement la vision centrale et peuvent être diminuées par le port de lunettes correctives. Ainsi l'incidence sur la survenue des chutes et le contrôle postural est faible car si les deux visions sont impliquées, c'est la vision périphérique, moins altérée lors du vieillissement, qui est fondamentale dans la régulation posturale (Aartolahti et al. 2013; Paulus, Straube, et Brandt 1984).

1.1.3.2 Implication des informations somesthésiques dans le maintien de l'équilibration et de la marche au cours du vieillissement

Le système somatosensoriel ou somesthésique est un système qui collecte toutes les informations sensorielles provenant du corps. Ce système s'appuie sur trois sensibilités :

- la sensibilité viscérale qui provient des récepteurs de l'appareil digestif, du cœur, des poumons et des glandes endocrines par les intérocepteurs,
- la sensibilité superficielle (ou extéroceptive) dont les informations proviennent de la peau par les extérocepteurs,

- la sensibilité profonde (proprioceptive) qui nous renseigne sur notre posture (position dans l'espace) et nos sensations musculaires et squelettiques (tonus) par les propriocepteurs.

Les informations somesthésiques impliquées dans le contrôle de l'équilibre et de la posture sont issues des mécanorécepteurs de la voûte plantaire et des propriocepteurs principalement. Les informations cutanées plantaires issues des mécanorécepteurs jouent un rôle prépondérant (Roll, Kavounoudias, et Roll 2002), en indiquant la pression différentielle entre les voûtes plantaires. Ils permettent également de percevoir les irrégularités du sol et d'y adapter les réflexes d'équilibration. Lorsque le sujet est debout, la force de pesanteur fait naître des sensations de pression et de contact au niveau de la sole plantaire et donnent des renseignements sur la position du corps par rapport à son support et par rapport au vecteur gravitationnel.

La sensibilité musculaire renseigne sur le sens du mouvement (kinesthésie), le sens de la position et le sens de la force. Différents récepteurs, d'origine articulaire (corpuscules de Ruffini pour les capsules articulaires et corpuscules de Golgi pour le tissu ligamentaire), musculaire ou musculo-tendineuse, rendent compte de l'état et des changements de longueur des muscles et ils renseignent notamment sur la position de la tête par rapport au tronc. Les fuseaux neuromusculaires qui se situent dans les corps musculaires, renseignent principalement sur la longueur et la vitesse d'allongement des muscles. Les récepteurs tendineux de Golgi informent des forces développées par les muscles lors de leur contraction (Palluel 2008).

Les déclinés structuraux et fonctionnels du système somatosensoriel surviennent avec l'avancée en âge et sont associés à une instabilité posturale (Sturnieks, St George, et Lord 2008). En effet, avec l'âge, le nombre et la taille des fuseaux musculaires diminuent, et ainsi la sensibilité kinesthésique. Au niveau plantaire, le nombre de récepteurs cutanés diminue, le revêtement cutané et le capiton plantaire s'amincissent. Enfin, le nombre de récepteurs musculo-tendineux et articulaires diminue.

Ainsi, lors du vieillissement, les informations tactiles en provenance des pieds et de leur contact avec le sol se détériorent et peuvent nuire à la capacité de rétablir le contrôle debout après une perturbation inattendue de l'équilibre (Do, Bussel, et Breniere 1990). De la même façon, la capacité à détecter la position et la direction des mouvements des articulations diminue (Proske et Gandevia 2012). Une diminution de la conscience kinesthésique peut également affecter l'équilibre d'une personne âgée, en particulier lorsque les informations visuelles sont appauvries (Paterson, Jones, et Rice 2007). Ces altérations peuvent être accentuées par différentes atteintes tendineuses ou articulaires. Une dégénérescence au niveau des cervicales,

indépendamment de sa provenance (blessure ou arthrite), est un fait assez commun lors de l'avancée en âge et peut perturber le contrôle postural et prédisposer les gens à la chute (Sturnieks, St George, et Lord 2008).

1.1.3.3 Implication des informations vestibulaires dans le maintien de l'équilibration et de la marche au cours du vieillissement

Organe sensoriel dédié au sens de l'équilibre, le système vestibulaire se situe dans l'oreille interne. Il informe en permanence le système nerveux central, des accélérations et décélérations de la tête, au moyen de messages nerveux provenant de la partie périphérique du système vestibulaire. Ses principales fonctions sont de détecter la position de la tête dans l'espace et de déclencher les mouvements compensatoires assurant la stabilisation du regard lors du mouvement. Les informations vestibulaires, associées aux informations visuelles et somesthésiques, permettent également au système de réguler l'équilibre, notamment en déclenchant les réflexes vestibulo-colliques et vestibulo-spinaux.

1.1.3.3.1 Généralités sur le système vestibulaire

D'un point de vue anatomique, le système vestibulaire est constitué d'une partie périphérique et d'une partie centrale. La partie centrale est localisée dans le tronc cérébral, il s'agit des noyaux vestibulaires qui reçoivent et intègrent les informations vestibulaires générées en périphérie mais également les afférences des systèmes visuel et somesthésique. La partie périphérique, appelée le labyrinthe vestibulaire (Fig. 11), se situe, avec la cochlée, à l'intérieur du labyrinthe osseux.

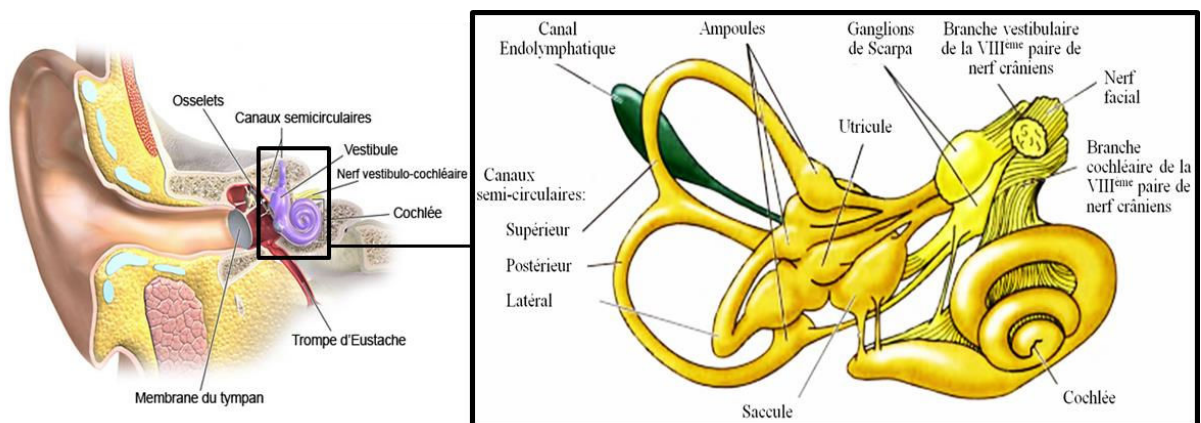


Fig. 11. Anatomie du labyrinthe vestibulaire (Adapté de Purves 2008)

Le système vestibulaire périphérique (ou oreille interne) est composé au niveau de chaque oreille de deux types de capteurs d'accélération :

- les canaux semi-circulaires, qui sont au nombre de trois (supérieur, postérieur et latéral), orientés dans les trois dimensions de l'espace (x, y et z) et sensibles aux accélérations angulaires,
- les organes otolithiques, l'utricule et le saccule, qui sont orientés perpendiculairement l'un à l'autre et sont sensibles aux accélérations linéaires et à la gravité terrestre.

Les cellules sensorielles de ces capteurs sont constituées de cellules ciliées qui vont coder les accélérations de la tête. Ils vont ensuite transmettre l'information au système nerveux central via le nerf vestibulo-cochléaire.

Ainsi, le système vestibulaire va détecter les accélérations modifiant la position et les mouvements de la tête et ces informations vont contribuer à l'équilibre grâce à des mouvements d'ajustement. Ces ajustements sont possibles grâce à la mise en jeu de différents réflexes : les réflexes vestibulo-oculaires et vestibulo-colliques faisant intervenir les muscles cervicaux ainsi que les réflexes vestibulo-spinaux faisant intervenir les muscles posturaux (Fig. 12).

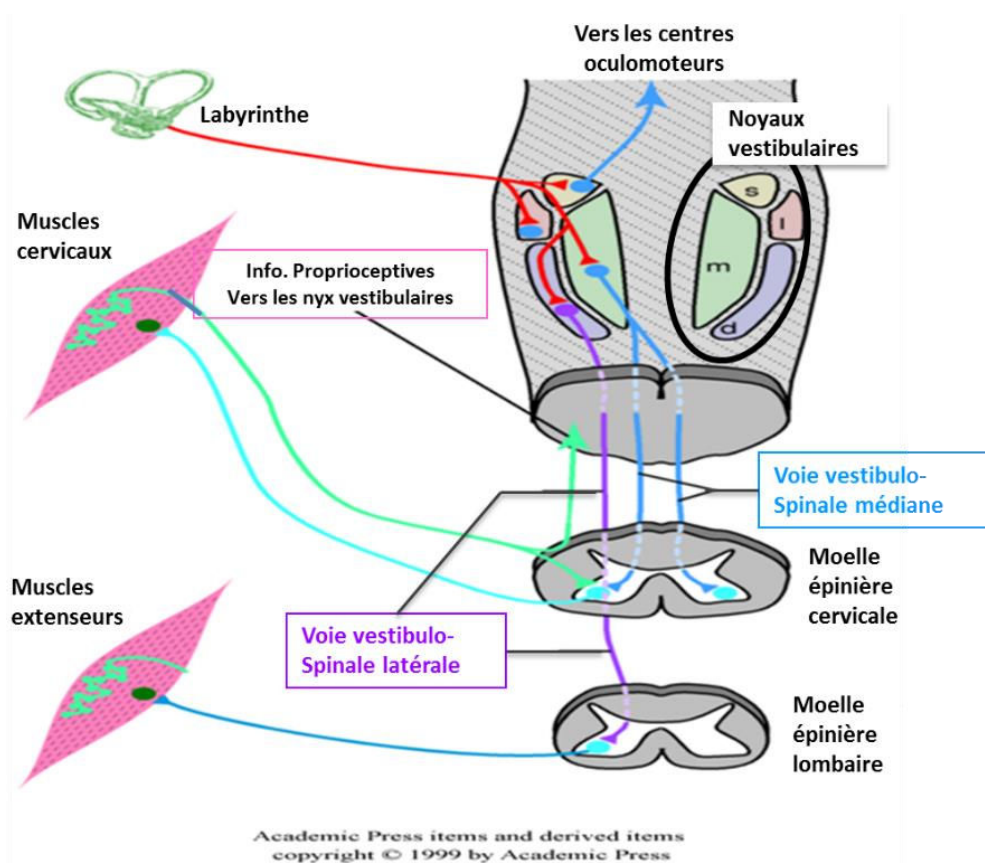


Fig. 12. Transmission des informations par le système vestibulaire (Baker, 1999).

Lors d'un déplacement de la tête, le système vestibulaire va mettre en place un mécanisme permettant la coordination entre les mouvements de la tête et les mouvements des yeux. Ce mécanisme, appelé réflexe vestibulo-oculaire (ou RVO) va permettre, en générant des mouvements oculaires compensatoires, de maintenir une image nette et stable sur la rétine (Purves et al. 2001). Le principe de fonctionnement des compensations oculaires du RVO, est simple et inconscient. En effet, chaque mouvement linéaire ou angulaire de la tête entraînera un mouvement des yeux dans le sens opposé. Le RVO permet ainsi de maintenir le regard fixé sur des cibles visuelles (fixes ou mobiles) lorsque la tête est en mouvement, par exemple lorsque l'on marche tout en lisant les panneaux de signalisation ou encore lorsque l'on danse tout en regardant quelqu'un.

Selon les situations, d'autres réflexes interviennent comme le réflexe vestibulo-collique (ou RVC) qui va aider à stabiliser la tête dans la position verticale en déclenchant les mouvements du cou en fonction de ceux des yeux. Dans le cas d'une inclinaison inopinée de la tête vers le bas, le RVC permettra via les muscles cervicaux, un mouvement compensatoire vers le haut afin de redresser la tête. Le réflexe vestibulo-spinal (ou RVS), permettra lui aussi de stabiliser la tête et aidera à maintenir la position debout en déclenchant l'activité musculaire du cou, du tronc et des extrémités (Sturnieks, St George, et Lord 2008) notamment pour compenser un déséquilibre du corps entier.

Le RVO est un réflexe simple à étudier en laboratoire et il fournira des informations pertinentes sur la qualité des réponses du système vestibulaire à des stimulations visuelles et/ou rotatoires. Le RVO est alors caractérisé par un nystagmus vestibulaire, mouvement oculaire réflexe, qui se définit par une alternance de phases lentes de glissement de l'œil dans le sens opposé à la rotation de la tête permettant de fixer l'image sur la rétine, et de phases rapides de recentrage de l'œil dans la direction du mouvement (Fig. 13). L'étude du RVO est une exploration complémentaire à la compréhension du contrôle postural qui dépend en partie des informations vestibulaires.

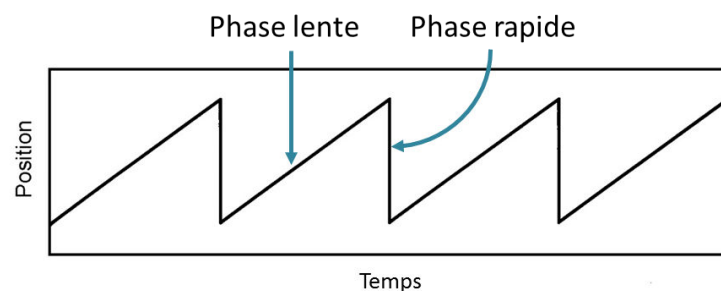


Fig. 13. Nystagmus vestibulaire. À vitesse linéaire ou constante, on observe des phases lentes suivies de phases rapides. Adapté de Abadi, 2002

1.1.3.3.2 Effet du vieillissement sur le système vestibulaire

Le système vestibulaire comme les autres organes sensoriels, subit une altération structurelle naturelle au cours du temps. Les principaux changements liés à l'âge, affectant le système vestibulaire, ont pour effet une altération des capacités d'équilibration statique et dynamique ainsi qu'une perturbation des influences vestibulo-spinales qui sont responsables de l'activation des muscles antigravitaires (Inserm, 2015; Lacour et al. 2009).

De nombreuses études ont mis en évidence que le nombre de cellules ciliées vestibulaires était réduit chez des sujets âgés par rapport à des sujets jeunes (Anson & Jeka, 2016; Park et al. 2001; Johnsson & Hawkins, 1972). Cette diminution n'est pas uniforme. En effet, l'utricule et le saccule subissent une baisse de nombre d'environ 25% alors que les canaux semi-circulaires perdent environ 40% de leurs cellules ciliées avec l'âge (Matheson, Darlington, et Smith 1999). Cependant, l'étude de Kvetter sur l'animal contredit ces affirmations, puisqu'elle a mis en évidence que le nombre de cellules ciliées des canaux semi-circulaires ne diminuait pas, entre des gerbilles jeunes et âgées (Kvetter, Zimmerman, et Leonard 2005). Cette observation a également été rapportée pour les organes otolithiques (Gopen et al. 2003). Chez l'homme, cela semble confirmé par l'étude de Lopez et al. en 2005, qui montre néanmoins une perte de cellules ciliées plus importante à partir de 80 ans, phénomène qui s'accentuerait à partir de 90 ans. Finalement cette dégénérescence du système vestibulaire serait due à une diminution de la fonctionnalité du vestibule liée à la mort de neurones primaires (Park et al. 2001) altérant la transmission des informations vestibulaires au système nerveux central. La dégénérescence du système vestibulaire est difficile à caractériser et à détecter, car les conséquences sont moins nettes que la dégénérescence d'un autre organe sensoriel tel que la vision. Cependant, ces altérations semblent impliquées dans l'augmentation de l'instabilité posturale et du risque de chute du sujet âgé. En effet, une étude récente sur des personnes âgées de 65 ans et plus, a montré que 80% des chuteurs, avaient une déficience vestibulaire (Liston et al. 2014). De plus, le vieillissement du système vestibulaire peut altérer la rapidité de détection des changements dans l'accélération de la tête et ainsi contribuer à ralentir la marche. Une stratégie d'autoprotection pour prévenir les chutes chez les personnes âgées serait alors mise en place (Anson & Jeka, 2016).

Un élément complémentaire permettant d'expliquer la dégradation de l'équilibre au cours du vieillissement, est que les personnes âgées semblent peu ou moins utiliser les informations vestibulaires (Dupui, Lacour, et Montoya 2009). Une étude a montré qu'entre 20 et 60 ans, les scores vestibulaires dans des situations mettant en jeu l'ensemble des entrées sensorielles,

diminuaient progressivement (Ionescu, Dubreuil, & Ferber-Viart, 2005), réduisant ainsi les capacités à réguler le contrôle postural. Parallèlement à ces résultats, les auteurs ont montré que la dépendance visuelle augmentait avec l'âge, parlant ainsi de personnes visuo-dépendantes (Ionescu et al. 2005; Borger et al. 1999) (Fig. 14). En effet, suite à des déficiences proprioceptives et/ou vestibulaires, le sujet âgé semble développer une dépendance importante à l'égard du champ visuel impliquant une modification des stratégies d'équilibration (Menz et Lord 2005).

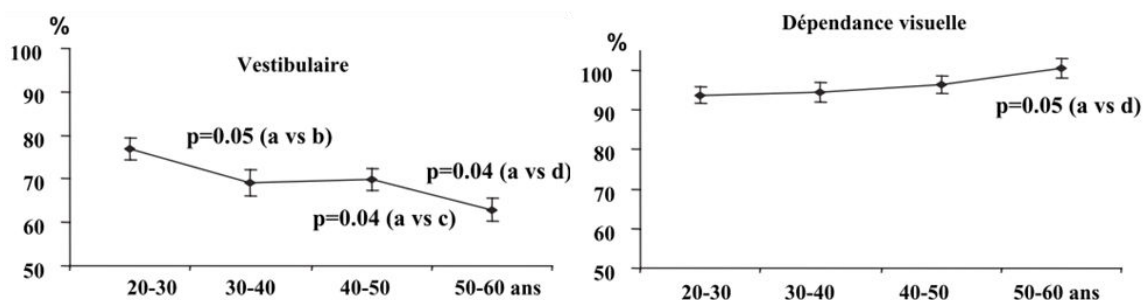


Fig. 14. Scores sensoriels (moyenne et écart type) tiré de Ionescu et al. (2005)

Groupe « a » : de 20 à 30 ans, (n = 37) ; groupe « b » de 30 à 40 ans, (n = 19) ; groupe « c » de 40 à 50 ans (n = 33) ; groupe « d » de 50 à 60 ans (n = 19). Une valeur $p \leq 0.05$ montre une différence significative entre les deux groupes cités.

1.1.3.4 Synergie et intégration des informations sensorielles impliquées dans l'équilibration et la marche

Si les informations sensorielles impliquées dans les capacités d'équilibration nécessitaient d'être développées séparément les unes des autres pour bien comprendre leurs mécanismes respectifs, il n'en reste pas moins qu'elles sont intégrées en synergie dans les structures du système nerveux central (tronc cérébral, cervelet et structures corticales) permettant ainsi d'améliorer la perception de la verticalité, le codage des déplacements et le contrôle postural (Tableau 1). Les informations sensorielles (visuelles, somesthésiques et vestibulaires) sont ainsi traitées dans les centres moteurs puis transmises au système musculo-squelettique, effecteur de mouvement, ce qui permettra donc une adaptation aux perturbations posturales.

Tableau 1- *Contribution des systèmes sensoriels et moteurs au maintien de l'équilibre et altérations au cours du vieillissement (Inserm, 2015)*

Systèmes sensoriels	Capteurs	Participation au maintien de l'équilibre	Altération
Visuel	Rétine	Acuité visuelle	↓
	Muscles oculomoteurs	Sensibilité aux contrastes	↓
		Perception de la profondeur	↓
		Perception des objets dans l'environnement	↓
		Perception du mouvement dans l'environnement	↓
Vestibulaire	Oreille interne	Orientation de la tête	Oui
		Perception du mouvement de la tête	↓
		Stabilisation de la tête et du corps	↓
		Stabilisation des images sur la rétine	↓
Somesthésique (proprioception et toucher)	Muscles Tendons Articulations Peau	Orientation des segments corporels entre eux	Oui
		Perception de la position des articulations	↓
		Perception du mouvement du corps	↓
		Perception du contact avec le sol	↓
		Sensibilité tactile	↓
Systèmes effecteurs	Effecteurs	Participation au maintien de l'équilibre	
Système musculo-squelettique	Commandes motrices	Temps de réaction	↑
		Force musculaire	↓
	Muscles	Vitesse de contraction des muscles	↓
		Os	Synergies musculaires (activation d'un groupe de muscles)
		Densité osseuse (conséquences sur la gravité des chutes)	↓
		Résistance mécanique	↓

Si les changements physiologiques des systèmes sensoriels et effecteurs liés à l'âge ont un rôle indiscutable dans la survenue des chutes, une perturbation de la gestion de l'attention et de certaines fonctions exécutives (Albinet, Fezzani, et Thon 2008) influence également le maintien de l'équilibre et la marche. Le maintien de l'équilibre pour les sujets âgés semble entraîner une dépense d'énergie plus importante que pour des sujets jeunes, qui serait la conséquence d'une augmentation de la charge attentionnelle (Teasdale et al. 1991). De même, les situations de stress semblent avoir un impact important sur l'équilibre de la personne vieillissante (Woollacott 2000; Alexander 1994). Les modifications des processus d'intégration sensorielle et l'altération des processus cognitifs sont alors évoquées pour expliquer cette involution de la capacité d'adaptation. Ainsi, des situations de double-tâche, cognitive et motrice, qui nécessitent un partage des ressources attentionnelles normalement destinées au contrôle de la posture, permettent de révéler des troubles posturo-locomoteurs (Prado, Stoffregen, et Duarte 2007). Si la littérature concernant la part cognitive dans la gestion du contrôle postural est très étendue et diverse, lors de ce travail, nous nous sommes principalement intéressés à l'implication des mécanismes fondamentaux (musculaires et sensoriels).

1.1.4 Effet du vieillissement sur les rythmes biologiques circadiens

L'avancée en âge entraîne donc une diminution des capacités physiques et fonctionnelles qui a un impact sur la qualité de vie. Cette dernière peut également être altérée par un autre phénomène important dans le quotidien de chacun, le temps.

1.1.4.1 Rappels théoriques et généralités sur la chronobiologie

Composante essentielle de l'environnement humain, le temps rend compte des changements à l'échelle du monde tout autant qu'à l'échelle de la cellule. Ainsi, l'étude du temps chez les êtres vivants, animaux ou végétaux, et des mécanismes contrôlant leur organisation temporelle de même que leurs altérations, a été définie comme étant la chronobiologie (Accary et al. 1987).

La reconnaissance scientifique de la chronobiologie date des années 50, suite aux travaux de Bünning, qui a mis en évidence le caractère héréditaire de certains phénomènes biologiques ainsi que l'existence d'une horloge biologique interne mais également à ceux de Aschoff et Halberg, qui ont montré que les rythmes biologiques étaient influencés par les variations périodiques de certains facteurs de l'environnement (Aschoff 1954; Halberg, Visscher, et Bittner 1954).

La chronobiologie est alors caractérisée par les rythmes biologiques qui la composent. Ces rythmes biologiques, qui sont organisés autour d'une série d'évènements se produisant dans le même ordre avec un même intervalle de temps, persistent généralement quand l'organisme, quel qu'il soit, est maintenu dans un environnement constant.

Les rythmes biologiques sont donc le plus souvent modélisés par une fonction sinusoïdale ajustée aux valeurs observées grâce à la méthode dite du "simple cosinor" ou méthode des moindres carrés (Nelson et al. 1979; Bingham et al. 1982).

Cette méthode est représentée par une fonction mathématique de type :

$$Y_{t_i} = M + A \cos (\omega t_i + \varphi)$$

→ t_i = temps ; ω = fréquence angulaire égale à $2\pi / t$, t est la période du rythme à évaluer

Cette méthode d'approximation du rythme permet de détecter et d'identifier un rythme biologique et de le caractériser grâce à l'estimation de quatre paramètres : la période, l'acrophase, l'amplitude et le MESOR (Reinberg & Smolensky, 2012; Accary et al. 1987) (Fig. 15).

- **La période (t)** correspond à la durée d'un cycle complet de la variation rythmique.
- **L'acrophase (ϕ)** correspond au sommet de la variation de ce rythme par rapport à une phase de référence.
- **L'amplitude (A)** est la moitié de la variabilité totale d'un rythme soit la moitié de la différence entre les valeurs de pics (acrophase) et les valeurs de creux (batyphase).
- **Le MESOR (Midline Estimating Statistic of Rhythm) (M)** correspond au niveau ajusté du rythme pour une période donnée, soit à la moyenne des valeurs par unité de temps.

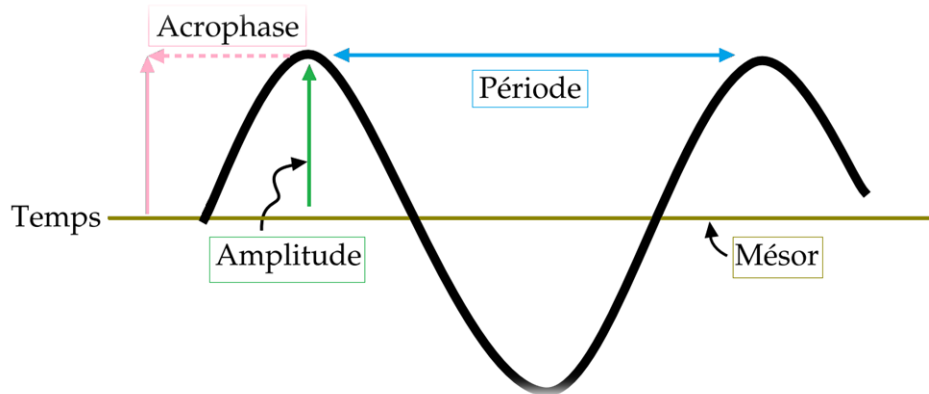


Fig. 15. Paramètres caractéristiques d'une fonction rythmique, adapté de Toutou & Haus, 2012

Les rythmes biologiques n'ont pas tous la même période, ainsi une classification a pu être établie en fonction de la durée de leur période. Trois types de rythmes sont alors distingués :

- ✓ les rythmes de haute fréquence qui ont une période inférieure à 30 minutes,
- ✓ les rythmes de moyenne fréquence dont la période est comprise entre 30 minutes et 2,5 jours,
- ✓ les rythmes de basse fréquence avec une période supérieure à 2,5 jours.

Parmi les rythmes à moyenne fréquence, trois rythmes sont distingués : ultradien, circadien et infradien (Tableau 2).

Tableau 2 - Classification des rythmes biologiques en fonction de leur période
(h : heure, j : jour) d'après Halberg et Reinberg, 1967

Hautes fréquences	Moyennes fréquences			Basses fréquences
$t < 0,5 \text{ h}$	$0,5\text{h} < t < 20\text{h}$	$20\text{h} < t < 28\text{h}$	$28\text{h} < t < 2 \text{ j}$	$t < 2 \text{ j} \text{ } t > 2,5 \text{ j}$
Rythmes électroencéphalographiques Rythmes cardiaques <i>Rythmes respiratoires...</i>	Rythmes ultradiens	Rythmes circadiens	Rythmes infradiens	Rythmes circaseptans (env. 7 j) Rythmes circamensuels (env. 28 j) Rythmes circannuels (env. 1 an)

Les rythmes s'observent dans les métabolismes cellulaires et les grandes fonctions vitales ou encore dans le système nerveux et la motricité. Ils peuvent durer quelques minutes, plusieurs heures, jours, mois ou même plusieurs années. Cependant, ce sont les rythmes circadiens, au sens de Halberg et Reinberg en 1967 (d'origine latine, circa dies : environ un jour), soit avec des périodes autour de 24 heures, qui sont actuellement les plus étudiés et qui ont retenu notre attention dans ce travail.

1.1.4.2 Principes de fonctionnement des rythmes circadiens

Si la rythmicité circadienne a souvent été mise en relation avec l'alternance de lumière et d'obscurité due à la rotation de la Terre sur elle-même, elle subsiste en l'absence de facteurs environnementaux. En effet, chaque rythme biologique possède des caractéristiques temporelles qui lui sont propres. Ainsi, le contrôle de cette rythmicité se fait par des horloges biologiques internes situées au sein de l'organisme (les facteurs endogènes), qui oscillent en phase avec des signaux issus de l'environnement (les facteurs exogènes) (Minors, Folkard, et Waterhouse 1996) (Fig. 16).

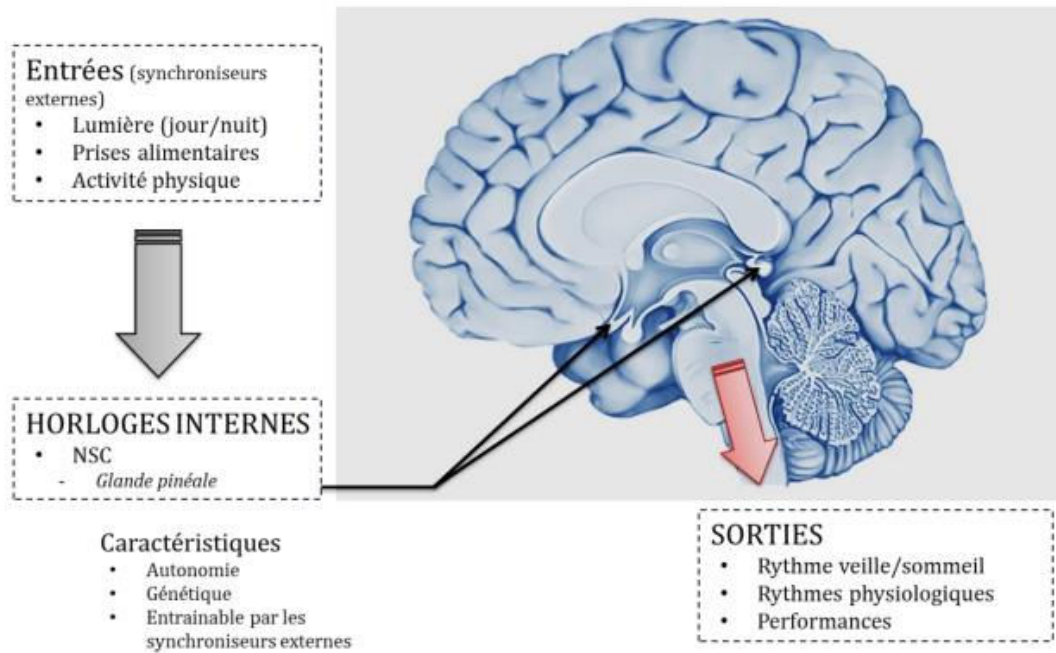


Fig. 16. Propriétés endogènes et exogènes de l'horloge biologique. Tiré de Martin 2016, adapté de Davenne 2004

1.1.4.2.1 Composante endogène des rythmes circadiens

Les premières preuves de l'existence d'une composante endogène des rythmes circadiens ont été apportées en biologie végétale au début du 18^{ème} siècle. En 1729, l'astronome De Mairan rapporte que les mouvements d'un héliotrope (plante qui se tourne vers le soleil) placé en condition permanente d'obscurité persistent. Les fluctuations journalières de la plante sont maintenues malgré l'absence de signaux issus de l'environnement tels que la lumière et l'alternance "jour/nuit", laissant ainsi supposer l'existence d'un générateur interne des rythmes. D'autres études en biologie végétale ont confirmé cette hypothèse mais c'est en 1866 que Ogle a décrit pour la première fois un phénomène circadien chez l'Homme en enregistrant la température corporelle.

Depuis, de façon à connaître l'impact réel de l'environnement sur ce phénomène, de nombreuses études d'isolement temporel ou dites "en libre cours", ont été menées. Ces expériences consistent à placer un individu, de manière prolongée, dans un milieu totalement isolé des facteurs cycliques de l'environnement en supprimant les facteurs externes susceptibles de donner une notion de temps, comme la lumière ou la température ambiante. Au cours de ces expériences, il a été observé que les rythmes circadiens, tels que l'alternance veille-sommeil et donc activité-repos ou encore celui de la température corporelle, pouvaient perdurer en l'absence de toute influence de facteurs externes (Wever 1979). Les rythmes biologiques

circadiens sont alors le produit de l'activité d'horloges biologiques internes capables d'organiser temporellement l'ensemble des processus physiologiques et comportementaux d'un organisme vivant. D'après Reinberg et Ghata, 1957, une horloge biologique, appelée également "horloge interne" oscille selon une périodicité d'environ 24 heures indépendamment d'information temporelle ou de signal extérieur. Chez les mammifères, l'horloge biologique interne principale, responsable de la genèse et de la synchronisation des rythmes biologiques, a été localisée au niveau du noyau suprachiasmatique (NSC) (Moore et Eichler 1972). Le NSC constitue donc un oscillateur endogène circadien majeur contrôlant les variations journalières de nombreuses variables physiologiques telles que la température corporelle, la tension artérielle, les activités hormonales et la vigilance.

1.1.4.2.2 Composante exogène des rythmes circadiens

Plusieurs auteurs ont permis de vérifier l'origine endogène des rythmes en observant leurs persistances malgré l'absence d'influence des variations environnementales. Bien que le caractère endogène des fluctuations circadiennes soit fondamental, les variations périodiques observées résultent en grande partie de la combinaison des influences endogènes et exogènes. La notion de synchroniseurs, amenée suite à des expérimentations en biologie animale (Halberg, Visscher, et Bittner 1954), désigne les facteurs d'origine exogène dont les variations périodiques sont susceptibles de modifier la période et/ou l'acrophase d'un rythme biologique (Reinberg et Ghata, 1957). Les horloges biologiques sont suffisamment modulables et adaptables pour permettre une remise à l'heure (e.g. travail posté, privation de sommeil) par des synchroniseurs externes. Chez l'Homme, l'alternance repos/activité liée aux impératifs de la vie sociale peut jouer le rôle de synchroniseur dominant en prenant le relais de l'alternance "jour/nuit" (Halberg & Reinberg, 1967). L'activité physique peut ainsi intervenir dans la synchronisation de ces rythmes (Atkinson et al. 1993).

1.1.4.2.3 Facteur de variabilité

Les caractéristiques temporelles des rythmes circadiens humains peuvent être influencées par de nombreux facteurs à l'origine de variabilités intra-individuelles, tels que l'âge du sujet et le niveau d'activité physique (Dietmar Weinert et Waterhouse 2007), mais aussi de variabilités inter-individuelles, tels que le chronotype (Horne et Ostberg 1976).

L'identification du chronotype est le plus souvent basée sur les réponses au questionnaire de Horne et Östberg (1976). Ces auteurs ont ainsi proposé un classement en cinq catégories "définitivement du matin", "modérément du matin", "d'aucun type", "modérément du soir" et "définitivement du soir". Les différences de chronotypes se traduisent par un décalage dans le temps des heures de lever et de coucher et traduisent un décalage de phases des rythmes circadiens. Ainsi, les sujets "du matin" ont tous une avance de phase de l'ensemble de leurs phénomènes biopériodiques de quelques heures par rapport aux sujets "du soir".

Le chronotype d'un individu peut aussi être connu grâce à un relevé de température régulier au cours des 24 heures. Ce paramètre, montrant une oscillation très stable au cours de périodes successives de 24 heures, est considéré comme un marqueur de la chronobiologie (Reilly 1989).

1.1.4.3 Description du cycle veille-sommeil et de la température

1.1.4.3.1 Cycle veille-sommeil

L'alternance veille-sommeil est régie par deux mécanismes biologiques distincts, qui interagissent ensemble et s'équilibrent. Ce modèle de régulation, proposé au préalable par Borbély dans les années 80 (Borbély 1982), a ensuite été complété par Daan et al. (1984) et désigné comme modèle à deux processus. Ainsi, la propension au sommeil est régulée par deux grands mécanismes, l'un circadien (processus C) et l'autre homéostatique (processus S) (Fig. 17) :

- ✓ le processus C organise le temps de manière à ce que le sommeil se produise la nuit. Il est dépendant du fonctionnement des horloges internes et des « donneurs de temps » qui les influencent ;
- ✓ le processus S est un processus accumulatif qui a pour origine le réveil et dont l'évolution dépend de la durée de l'éveil et des différentes tâches qui se sont produites pendant cet éveil. Dès l'entrée dans le sommeil, ce processus est dégradé proportionnellement à la durée du sommeil.

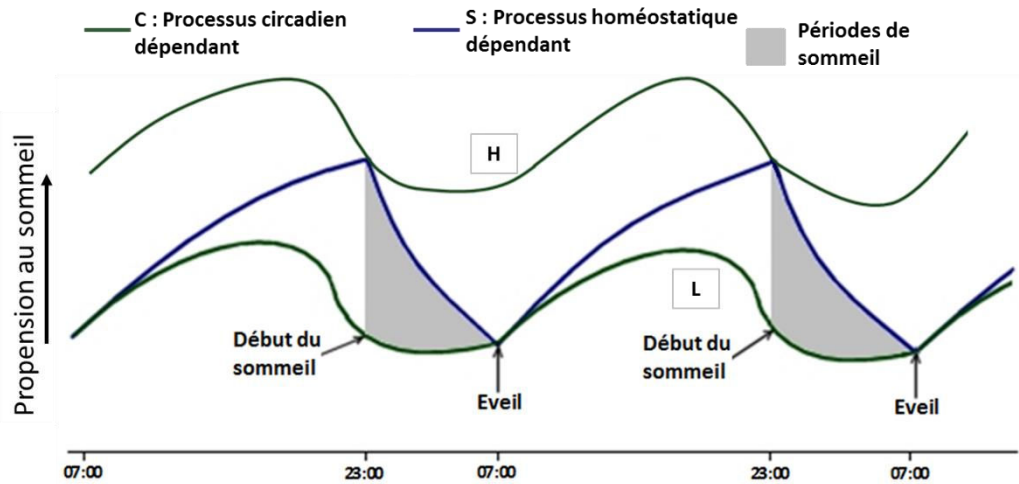


Fig. 17. Modèle adapté à 2 processus, adapté de Daan et al 1984 ; les variations de S se font entre le seuil haut (H) et le seuil bas (L)

Ces deux processus qui semblent influencés par les gènes de l'individu, peuvent par ailleurs, être influencés par des facteurs externes (e.g. la nourriture, les médicaments, la température ambiante, les siestes, le stress, l'activité physique) ayant un effet direct ou indirect sur le cycle veille-sommeil et l'alternance activité/repos.

1.1.4.3.2 Rythme de température

La thermorégulation est régie par l'hypothalamus qui agit donc comme un thermostat chargé de maintenir la température centrale constante en dépit du caractère hétérogène de l'enveloppe corporelle. En effet, chez l'Homme, la température interne est régulée par les cellules nerveuses situées dans l'hypothalamus et se maintient au repos autour des 37°C de façon relativement constante, indépendamment de la température ambiante (Waterhouse et al. 2005). Les mécanismes de thermogénèse (la production énergétique des cellules, le métabolisme basal et l'activité physique) interviennent lors de la chute de température et inversement, ceux de la thermolyse agissent lors de la montée de température (le rayonnement, la conduction, la convection et l'évaporation) (Weinert 2010).

De manière générale, le rythme de la température a une forme sinusoïdale. La température présente une période endogène moyenne de 24,18h (Czeisler et al. 1999), l'acrophase du rythme se situe aux alentours de 16-18h, et la batyphase aux alentours de 4-6h et une amplitude d'environ 1°C pour les sujets qualifiés d'« aucun type » (Gauthier et al. 1996).

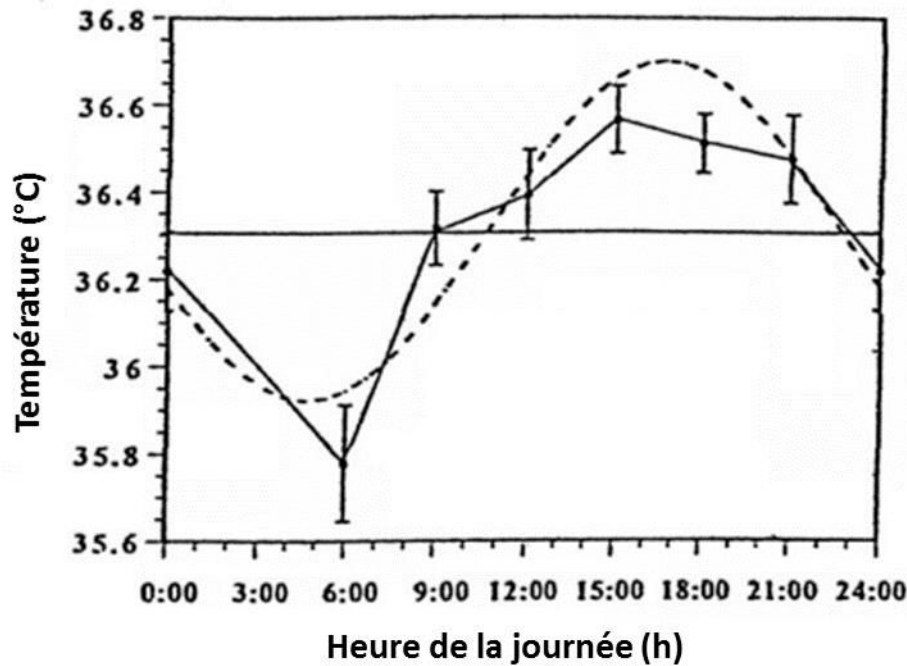


Fig. 18. Modélisation par la méthode du cosinor (....) du rythme circadien de la température (—) chez des sujets dits "d'aucun type" (extrait de Gauthier et al. 1996)

1.1.4.4 Effet du vieillissement sur les rythmes veille-sommeil et la température

Phénomène naturel menant à la diminution progressive des différentes aptitudes d'un organisme à assurer ses fonctions, le vieillissement s'accompagne de perturbations d'ordre chronobiologique. En effet, en dehors de toute pathologie, le vieillissement s'accompagne fréquemment d'une désynchronisation interne liée à la diminution des capacités d'adaptation de l'organisme du sujet âgé (Touitou, 2006). Cela se traduit notamment par des perturbations du sommeil, avec une avance de phase marquée par rapport au sujet jeune et corrélée aux heures de lever et coucher, elles aussi avancées (Czeisler et al. 1992). Autre point important, il est généralement admis que les rythmes circadiens des organismes vieillissants présentent une diminution de l'amplitude (Gubin et al. 2006; Hofman, 2000; Weitzman et al. 1982). Celle-ci est généralement due à une chute moins importante des valeurs nocturnes de température par rapport à des sujets jeunes (Fig. 19) (Duffy et al. 1998).

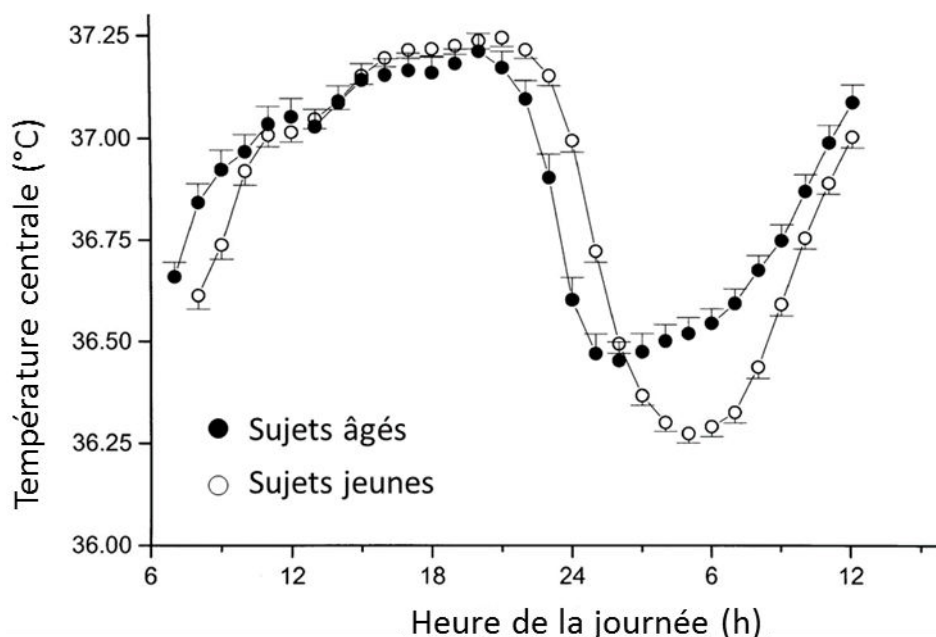


Fig. 19. Représentation graphique du rythme circadien de la température centrale sur 24 heures chez des sujets âgés et jeunes, moyenne \pm écart type (adapté de Duffy et al. 1998)

Ces désordres chronobiologiques sont généralement associés à des altérations du rythme veille-sommeil (Dijk et al. 2000, Van Someren 2000). Les troubles de la veille et du sommeil résulteraient du couplage entre le processus homéostatique et le processus circadien (Beersma 1998; Dijk et Czeisler 1995) (pour rappel voir Fig. 17 p51).

Les troubles du sommeil sont fréquents chez les personnes âgées avec moins de 20% de la population estimant bien dormir (Foley et al. 1995). Les personnes âgées rapportent généralement un sommeil plus léger, des éveils nocturnes, notamment à cause de nocturies fréquentes (Bliwise et al. 2009) et une propension à dormir en journée (Van Someren, 2000; Foley et al. 1995). L'analyse polysomnographique du sommeil chez les sujets âgés, montre une augmentation des stades de sommeil légers au détriment du temps total de sommeil, du sommeil lent profond (2% jusqu'à 60 ans) et de l'efficacité du sommeil (Ohayon et al. 2004). Parmi les facteurs de perturbation, on rapporte généralement une apnée du sommeil plus importante chez les personnes âgées ainsi qu'une insomnie souvent associée à d'autres pathologies d'ordre articulaire, cardiovasculaire ou respiratoire impliquant une polymédication lourde (Neikrug et Ancoli-Israel 2010).

Marqueur important de la chronobiologie, la température corporelle présente une avance de phase chez les personnes vieillissantes (Weinert, 2000; Czeisler et al. 1992) ainsi que des différences inter-individuelles plus marquées en terme d'acrophase, reflétant la perte de stabilité

et de synchronisation avec l'alternance jour/nuit de ce rythme avec le vieillissement (Gubin et al. 2006). Le rythme anticipé de température semble corrélé aux heures préférentielles de lever et de coucher (Czeisler et al. 1992), ce qui pose la question de la causalité entre ces deux phénomènes. En l'absence d'alternance jour/nuit, dans le cas de constante routine, cette avance de phase n'est pas toujours observée supposant que l'avance de phase de la température pourrait être due à un changement de rythme de vie (Gubin et al. 2006). Une étude menée sur 50 personnes âgées en constante routine montre que seul le creux de température est avancé par rapport aux jeunes et qu'elles se réveillent peu après la batyphase de température. Le creux de température apparaît donc plus tard chez des personnes âgées par rapport aux jeunes si on prend comme référence l'heure habituelle de réveil (Duffy et al. 1998).

Ces résultats suggèrent que le vieillissement entraîne une altération du couplage entre système circadien et cycle veille-sommeil (Dijk et Czeisler 1995) qui mènerait à une augmentation des troubles du sommeil avec l'âge (Duffy & Czeisler, 2002). Ce changement de timing entre sommeil et système circadien mènerait à des modifications des comportements avec des éveils anticipés par rapport à l'horloge interne et à l'heure de la journée, s'accompagnant alors d'un changement d'exposition lumineuse qui renforcerait l'avance de phase des sujets âgés (Khalsa et al. 2003). C'est un phénomène de désynchronisation classiquement observé lors du vieillissement (Duffy, Zitting, et Chinoy 2015).

1.1.5 Résumé

L'allongement de l'espérance de vie s'accompagne d'une augmentation de la proportion du nombre de séniors dans la population mondiale. Les effets du vieillissement sur l'organisme et les capacités fonctionnelles de l'individu sont nombreux et multifactoriels. Dans une vision de santé globale de l'individu âgé, les déterminants de la qualité de vie sont à prendre en compte. Ainsi les effets du vieillissement sur la condition physique, les capacités d'équilibration et les rythmes biologiques, doivent être identifiés. La condition physique largement représentée par la fonction musculaire et la capacité aérobie subit des dégradations importantes lors du vieillissement. La masse, la force et la puissance musculaires sont diminuées ainsi que la capacité aérobie. Ces modifications entraînent une diminution des capacités fonctionnelles de l'individu réduisant ainsi sa capacité à se déplacer et à réaliser des tâches de la vie quotidienne. Les capacités d'équilibration se dégradent également avec l'avancée en âge en augmentant l'instabilité posturale et le risque de chutes dont les conséquences peuvent être tragiques. Le risque est alors que l'individu âgé, pour se préserver, adopte un mode de vie plus sédentaire notamment en limitant les déplacements et les activités au minimum. Ce mode de vie entraînera une diminution de l'utilisation des informations vestibulaires rendant ainsi l'individu âgé plus fragile par rapport aux déséquilibres et aux chutes (cercle vicieux). Enfin, les rythmes biologiques circadiens sont altérés par le vieillissement, cela se traduit entre autres par des perturbations de la rythmicité biologique avec un aplatissement voire une disparition de l'amplitude des rythmes, une avance de phase et des désynchronisations. Le cycle veille-sommeil se trouve modifié avec des fragmentations du sommeil conduisant à des périodes d'éveils nocturnes et de somnolences diurnes favorisant ainsi l'isolement social et la sédentarité.

Les conséquences de ces dégradations peuvent être dramatiques, puisqu'elles peuvent entraîner l'individu âgé déjà fragilisé, dans une spirale négative de déconditionnement et d'isolement social dont il sera difficile de sortir.

Ainsi, l'objectif principal de santé publique du 21^{ème} siècle est l'éducation à la santé qui promeut une vie saine et active. Cela implique de trouver des solutions permettant de limiter et d'inverser certains effets du vieillissement. La pratique d'une activité physique peut être un formidable outil pour accéder à un vieillissement réussi dès lors que celle-ci est adaptée à l'individu.

1.2 EFFET DE L'ACTIVITE PHYSIQUE SUR LA SANTE DES PERSONNES ÂGÈES

Nous avons vu dans le chapitre précédant que la qualité de vie et au travers d'elle, la condition physique, les capacités d'équilibration ainsi que les rythmes circadiens, étaient très impactés par le vieillissement. Toutefois, cette involution des capacités fonctionnelles des personnes vieillissantes et la sédentarité qui peut en résulter, ne sont heureusement pas une fatalité. En effet, il est toujours possible de commencer une pratique physique adaptée et d'obtenir des bénéfices physiques et psychologiques à tout âge (Koeneman et al. 2011; Jette et al. 1999).

Les études sur l'AP et la qualité de vie ne sont pas nouvelles. En effet, en 1987, le National Institute of Mental Health publiait un consensus sur les bienfaits de l'AP sur la santé mentale. Dès lors, de nombreuses études ont montré que la pratique appropriée et adaptée d'une AP avait des effets bénéfiques sur la santé générale des individus et notamment sur la Qv (Penedo et Dahn 2005). Ces pratiques, pourraient ainsi permettre aux personnes âgées de ralentir, voire de compenser en partie les effets délétères du vieillissement.

En effet, de nombreux travaux de recherche se sont attachés à montrer qu'il était possible de limiter certains des effets du vieillissement afin de préserver la qualité de vie et l'autonomie des séniors (Hubbard et al. 2009; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000). La pratique d'une activité physique régulière chez les personnes âgées est ainsi associée à un meilleur état fonctionnel, à une diminution du risque de chutes et de leurs conséquences (Comans, Brauer, et Haines 2010; OMS 2010).

Si les programmes d'entraînement, peu importe le modèle (intensité, fréquence, durée, moyen de diffusion), semblent avoir des effets positifs sur les personnes âgées (comprenant l'augmentation de la force musculaire, de la capacité aérobie et de la vitesse de marche, la réduction des chutes, l'amélioration de l'équilibre et l'augmentation de la densité minérale osseuse), quelques études ont montré, notamment chez des personnes âgées très fragiles, que l'AP n'entraînait pas d'améliorations de la santé et qu'elle pouvait au contraire augmenter les risques de chutes et de blessures musculo-squelettiques (Faber et al. 2006; Latham et al. 2003). Par conséquent, il s'avère primordial de comprendre les effets spécifiques de chaque AP sur les systèmes impactés par le vieillissement. Ainsi, dans le chapitre qui suit, nous étudierons les effets de l'AP sur l'involution des capacités fonctionnelles des personnes âgées.

1.2.1 Effet de l'activité physique sur la condition physique

1.2.1.1 Effet de l'AP sur les muscles vieillissants

1.2.1.1.1 AP et Sarcopénie

L'inactivité physique et la sédentarité, jouent un rôle important dans la perte de masse et de force musculaire lors du vieillissement. L'AP permet, à tous les âges de la vie, de développer la force, la puissance et l'endurance musculaire. Ces fonctions musculaires sont sollicitées et donc peuvent être développées par le travail musculaire. Il a été montré que la mesure la plus efficace pour prévenir, ralentir, voire inverser le processus de sarcopénie, était l'entraînement en résistance (Martone et al. 2015). Ainsi, un travail en résistance peut se faire lors d'activités de la vie quotidienne (monter et descendre des escaliers, porter des charges lourdes ...) ou, lors de séances dédiées (utilisation de machines spécifiques, de bandes élastiques, d'haltères ou tout simplement du poids de corps). La littérature démontrant que les programmes de réentraînement en résistance permettent de maintenir la masse et la force musculaire lors du vieillissement, est aujourd'hui très étoffée (Cvecka et al. 2015; Van Roie et al. 2013; Pillard et Rivière 2009; Bean et al. 2004; Latham et al. 2004; Latham et al. 2003; Binder et al. 2002; Chandler et al. 1998).

Il est depuis plusieurs années établi que, pour une croissance musculaire optimale, le travail en résistance devrait se faire à une intensité modérée voire élevée lors d'exercices contre résistance. En effet l'American College of Sports Medicine recommandait en 2006, de pratiquer à 70-85% d'une répétition maximale (1RM) lors de contractions de type concentrique (Whaley et al. 2006). Néanmoins, les praticiens semblent réticents à prescrire des exercices qui sollicitent le système musculo-squelettique des personnes âgées en utilisant des résistances externes très élevées (Abellan van Kan et al. 2009). Ainsi, de nombreuses études ont suggéré qu'une intensité faible lors d'exercices de résistance, pouvait induire des gains de volume et de force musculaire tout aussi intéressants qu'avec une intensité élevée (Radaelli et al. 2013; Loenneke et al. 2012; Karabulut et al. 2010).

Afin d'éclairer ce débat et de statuer sur la question de l'intensité, l'étude de Van Roie et al. en 2013, a proposé d'évaluer les effets sur le système musculaire, d'un programme

d'entraînement de 12 semaines en résistance à raison de 3 séances par semaine pour trois groupes travaillant chacun avec une intensité différente. L'intensité de travail, lors de mouvements d'extension des jambes, était (i) soit élevée (HIGH) avec 2 séries de 10-15 répétitions à 80% d'1RM par séance, (ii) soit faible (LOW) avec 1 série de 80-100 répétitions à 20% d'1RM par séance, (iii) soit mixte (LOW+) avec 1 série de 60 répétitions à 20% d'1RM suivie de 1 série de 10-20 répétitions à 40% d'1RM par séance. Dans cette étude, le volume des muscles entraînés a augmenté indépendamment de l'intensité de travail (HIGH + 3.2%, $p = 0.003$; LOW $\pm 2.4\%$, $p = 0.002$ et LOW+ $\pm 2.6\%$, $p = 0.016$). De plus, les trois groupes ont amélioré leur force lors d'une extension de la jambe ($p = 0.003$ avec HIGH $\pm 30\%$, LOW $\pm 19\%$ et LOW+ $\pm 30\%$). Toutefois, la force des groupes HIGH et LOW+ a augmenté davantage que la force du groupe LOW ($p < 0.02$) (Fig. 20).

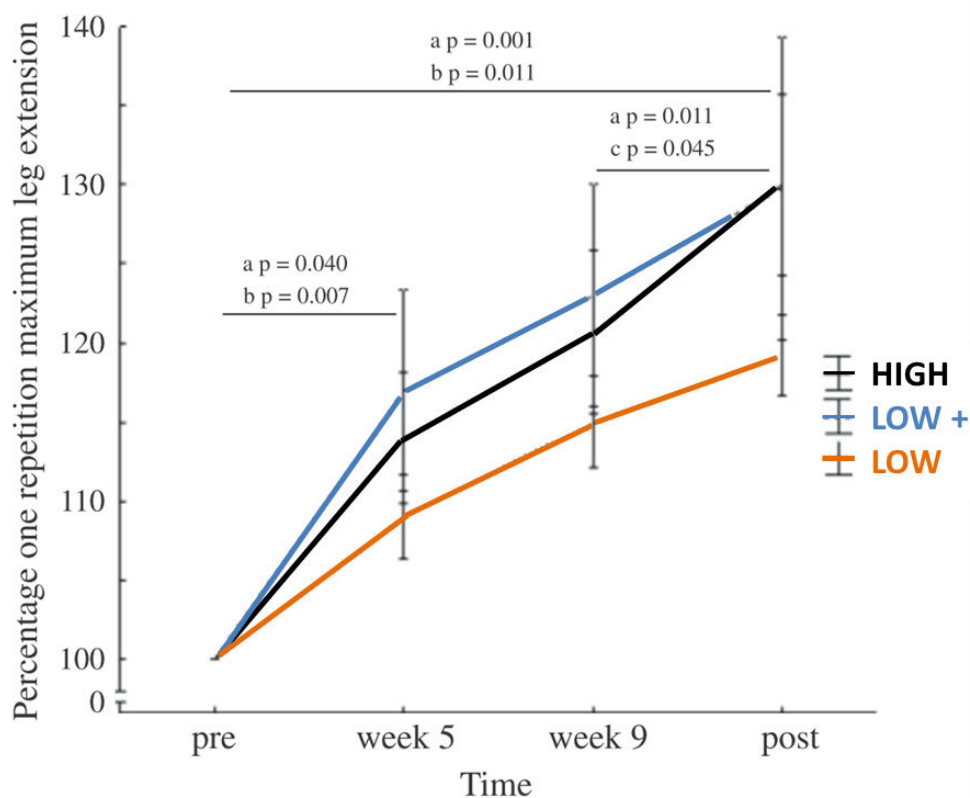


Fig. 20. Extension de la jambe sur 1RM avant, en cours et après l'entraînement (moyenne \pm écart-type) (Van Roie et al. 2013)

HIGH = le groupe d'entraînement contre résistance levée, LOW = le groupe d'entraînement contre résistance faible, LOW+ = le groupe d'entraînement contre résistance mixte. La RM effectuée avant l'entraînement a été assimilée à 100%. ^a Différence entre HIGH et LOW ($p < 0,05$) ; ^b Différence entre LOW et LOW+ ($p < 0,05$) ; ^c Différence entre HIGH et LOW+ ($p < 0,05$).

Les auteurs expliquent que ces différences pourraient être liées au stimulus mécanique supplémentaire pour le groupe LOW+ par rapport au groupe LOW qui lui n'aurait pas atteint lors des séances un effort suffisant pour obtenir des gains semblables aux deux autres groupes. Cette étude montre donc que le travail en résistance, qu'il soit à intensité faible ou élevée, peut être tout aussi efficace pour augmenter le volume et la force musculaire de base, du moment où l'effort maximal a été atteint au cours des exercices. Ceci avait déjà été abordé par Carpinelli en 2008, qui avait développé un argumentaire soutenant le fait que la littérature des dernières décennies était incorrecte et contestable, quand elle soutenait qu'un travail en résistance à intensité élevée permettait un gain de force et de masse plus important qu'à des intensités faibles (Carpinelli 2008). Ainsi, il ne serait pas nécessaire d'exposer les sujets âgés à des résistances extérieures élevées et potentiellement traumatisantes, puisque la réalisation de l'effort maximal pourrait être d'une plus grande importance pour les gains de force et de masse musculaire (Mitchell et al. 2012; Burd et al. 2010; Jungblut 2009). Il convient alors de s'accorder sur la définition d'un effort maximal, celui-ci serait généralement atteint lorsque la réalisation de la série de répétitions entraîne une fatigue musculaire importante (Van Roie et al. 2013).

Si le travail contre résistance semble le plus pertinent pour obtenir des gains rapides et intéressants en masse et en force musculaire, le travail en endurance, dans une moindre mesure, aura également une place. Short et al. en 2004 ont montré qu'après un entraînement de type aérobie de 4 mois, composé de 3 séances par semaine de 20 minutes (minimum) de pédalage sur ergocycle à 70% (minimum) de la fréquence cardiaque maximale, la balance protéique du groupe entraîné avait progressé de 22% alors qu'il n'y avait pas eu de changement pour le groupe contrôle (Fig. 21). En effet, suite à un entraînement de type aérobie, l'augmentation de la masse musculaire va notamment résulter de l'accumulation de stimuli mécaniques qui permettent ainsi une augmentation de la synthèse des protéines. La balance protéique sera alors positive.

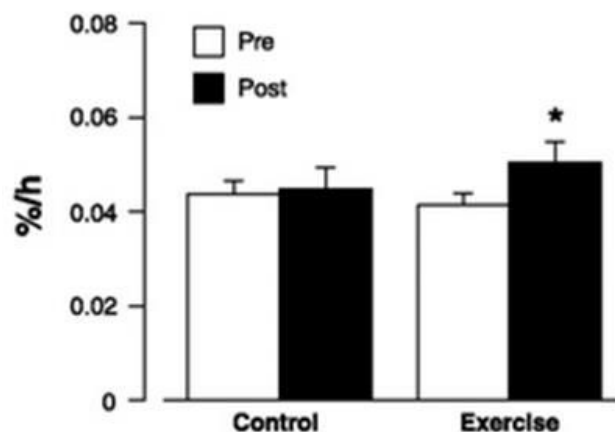


Fig. 21. *Effet de l'exercice en endurance sur la synthèse protéique. (Short et al. 2004)*

De plus, il a été montré que l'AP potentialise l'impact positif d'une supplémentation en acides aminés (substrats énergétiques anaboliques puissants) sur la synthèse protéique (Boirie 2008; Biolo, Fleming, et Wolfe 1995).

1.2.1.1.2 AP et Ostéoporose

S'il est généralement admis que l'entraînement peut avoir un effet bénéfique sur l'ostéoporose (Chodzko-Zajko et al. 2009; Kelley, Kelley, et Tran 2000), le gain osseux obtenu après un programme d'entraînement de type aérobie ou contre résistance semble faible et de courte durée après l'arrêt de l'entraînement (McCartney et al. 1995). En effet, dans le cas d'exercices à faible intensité comme par exemple la marche, l'effet sur la densité minérale osseuse semble très modeste (0 à 2% au niveau de la hanche), et ce, malgré une pratique régulière (3-5 fois par semaine) sur une longue période (± 1 ans) (Kohrt et al. 2004). Cependant, on considère que ces activités sont bénéfiques puisqu'elles permettent de contrer voire d'inverser les effets de l'âge (rappel : à partir de 40 ans, perte de 0.5 à 2% par an pour la population générale, HAS 2006).

Les études portant sur des AP avec des intensités plus élevées (monter et descendre des escaliers, la marche rapide ou le jogging), montrent généralement des effets plus importants sur la densité minérale osseuse, notamment chez les femmes ménopausées (+3.8% après 5 mois d'entraînement contre -1.9% pour le groupe sans entraînement), qui perdurent 1 à 2 ans après l'arrêt de l'entraînement (Chodzko-Zajko et al. 2009; Kohrt et al. 2004). Ces résultats semblent confirmés par une méta-analyse portant sur 14 essais contrôlés, exclusivement sur des femmes,

qui montre une augmentation significative de la DMO de la colonne lombaire après un entraînement de résistance à haute intensité. (Martyn-St James et Carroll 2006). Une autre méta analyse s'est intéressée cette fois à l'évolution de la DMO du col du fémur chez des femmes ménopausées depuis au moins 8 ans, et a montré une augmentation de 0,89% pour les groupes entraînés tandis que les groupes contrôle montraient une diminution de 0,58%(Kelley et Kelley 2006).

Ainsi une activité physique adaptée et régulière permettra à l'individu âgé de préserver son capital osseux et même de l'augmenter grâce à une pratique en résistance à intensité élevée.

1.2.1.2 Effet de l'AP sur la capacité aérobie

L'étude longitudinale de (Paterson et al. 2004) a été la première à fournir la preuve que la capacité aérobie était un facteur déterminant dans le développement de la dépendance. Lors d'un suivi de 8 ans de 297 femmes et hommes indépendants (moyenne d'âge 70 ans), 43 étaient devenus dépendants ou avaient des limitations de la mobilité. Les variables prédictives comprenaient le poids de corps, les maladies chroniques, le VO_2 max (échange de gaz mesuré au cours des essais sur tapis roulant), la force, la souplesse des articulations, la vitesse de marche et l'activité physique de loisir. Une régression logistique a permis de montrer que le VO_2 max était étroitement lié à la dépendance (Fig. 22).

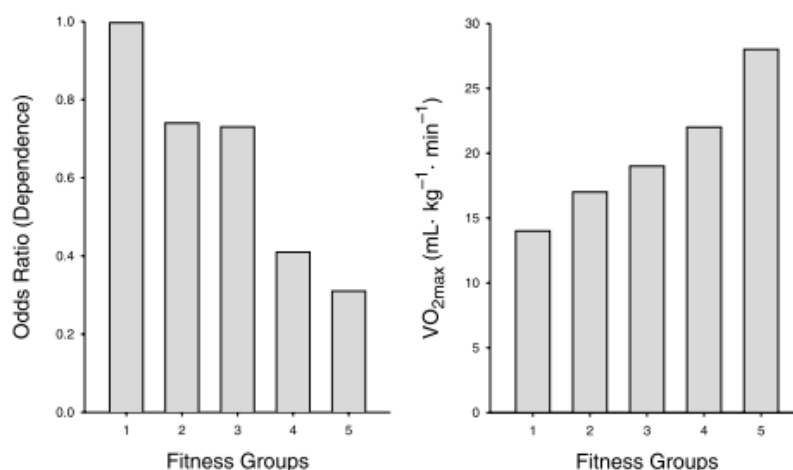


Fig. 22. Probabilité de devenir dépendant en fonction de la forme cardiorespiratoire (du plus dépendant « 1 » au moins dépendant « 5 » ; du moins entraîné « 1 » au plus entraîné « 5 ») tiré de Paterson et al. 2007

Les programmes d'entraînement de type aérobie, avec une intensité ($\geq 60\%$ du VO_2 max), une fréquence (≥ 2 fois par semaine) et une durée (≥ 16 semaines) suffisante, permettent

d'augmenter de manière significative le $\dot{V}O_2$ max des personnes âgées en bonne santé (Huang et al. 2005; Jeandel, Bernard, et Seynnes 2005; Kohrt et al. 2004). L'augmentation moyenne du $\dot{V}O_2$ max rapportée dans les études d'une durée de 16 à 20 semaines est d'environ 20% par rapport à des sujets témoins qui n'ont pas eu d'entraînement. Des améliorations plus importantes du $\dot{V}O_2$ max sont généralement observées lorsque les périodes d'entraînement sont plus longues (20 à 30 semaines), mais pas nécessairement avec des intensités plus élevées ($\geq 70\%$ de $\dot{V}O_2$ max) (Huang et al. 2005). Cependant, dans le cas d'entraînements intermittents, plusieurs études ont montré, qu'avec une intensité élevée sur de courtes durées, entrecoupées de périodes de récupération, et répétées, ceux-ci avaient des effets aussi importants que lors d'un entraînement avec une intensité inférieure mais maintenue plus longtemps (Gibala et al. 2012; Gunnarsson et al. 2012; Chodzko-Zajko et al. 2009) (Fig. 23). Le format intermittent permet donc de réduire la durée des sessions.

Indépendamment du mode d'entraînement, qu'il soit à faible ou haute intensité, la durée des bénéfices obtenus sur l'adaptation à l'effort des sujets âgés semble décroître rapidement après l'arrêt de l'exercice (Jeandel, Bernard, et Seynnes 2005), la poursuite de l'activité dans le temps est donc très importante.

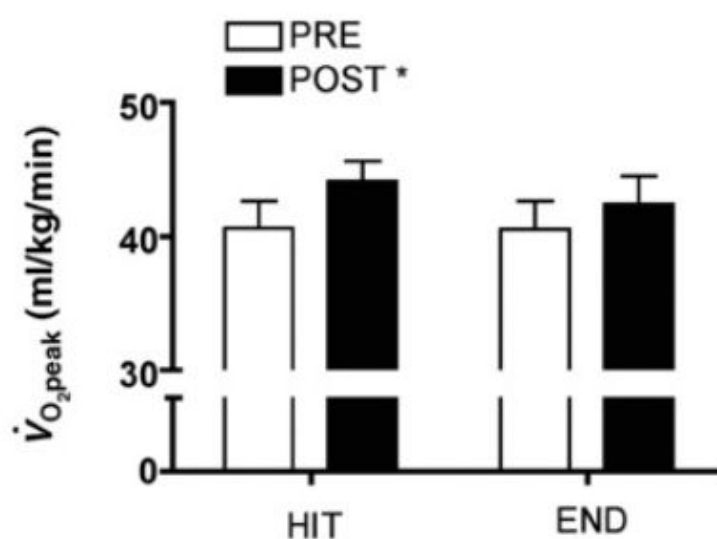


Fig. 23. Valeur du $\dot{V}O_2$ max obtenue avant (PRE) et après (POST) 6 semaines d'entraînement intermittent à haute intensité (HIT), ou traditionnel à intensité modérée (END) (Gibala et al. 2012)

Ces augmentations de la valeur du $\dot{V}O_2$ max ont également été montrées, dans une moindre mesure chez des sujets très âgés (Malbut, Dinan, et Young 2002; Evans 2000). Si l'étude de Malbut et al. a montré une augmentation d'environ 15% du $\dot{V}O_2$ max chez des femmes âgées de 79 à 91 ans suite à un programme d'entraînement mixte de 24 semaines à intensité modérée

(selon l'échelle de Berg), l'étude n'a pas révélé d'augmentation pour des hommes âgés de 80 à 87 ans (Fig. 24). La différence de VO_2 max avant l'entraînement, $14,5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour les femmes et $22,5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ pour les hommes pourrait expliquer l'absence de modification pour les hommes.

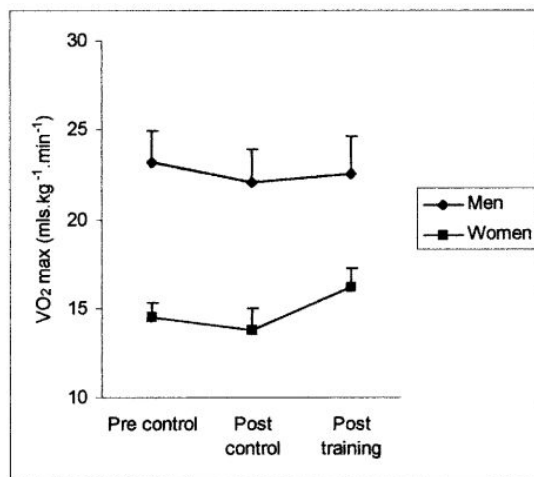


Fig. 24. Valeur du VO_2 max (Malbut et al. 2002)

Dans cette étude, une période de suivi a commencé 12 semaines avant le début de l'entraînement, des tests ont donc été effectués au début de la prise en charge (pre control), à l'issue des 12 semaines de suivi (post control) et après les 24 semaines d'entraînement (post training). Pour les deux groupes, hommes et femmes, l'étude a révélé une diminution de la FC lors d'un effort à intensité contrôlée à un VO_2 max de $10 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Fig. 25), ce qui suggère que l'entraînement a eu, pour les femmes aussi bien que pour les hommes un effet positif sur les capacités d'adaptation des sujets, malgré l'absence de modifications de VO_2 max des hommes.

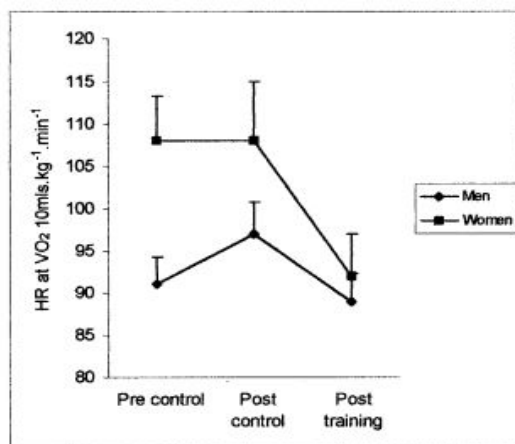


Fig. 25. Valeurs de Fréquence cardiaque à une VO_2 max de $10 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Malbut et al. 2002)

1.2.2 Effet de l'activité physique sur les capacités d'équilibration et la marche

Chaque déplacement perturbe notre équilibre. Notre capacité à répondre avec succès à ces perturbations, déterminera si nous restons debout ou si nous chutons (Maki et McIlroy 2006). L'équilibre permet ainsi d'assurer le maintien de la posture contre la gravité, en statique et en dynamique ; il est donc fondamental pour la réalisation de tous les mouvements de la vie quotidienne. Rappelons que l'équilibre peut être fortement impacté au cours du vieillissement. Les modifications de l'équilibre et de la marche liées au vieillissement normal (sans pathologie spécifique) associent, en plus des dégénérescences sensorielles (visuelles, proprioceptives et vestibulaires) et musculo-squelettiques, une diminution de la vitesse de marche, de la longueur et de la cadence des pas ainsi qu'une augmentation des oscillations posturales (Jeandel et Vuillemin 2000). Tous ces facteurs contribuent largement à augmenter le risque de chutes. La prévention des chutes est indispensable du fait de la restriction d'autonomie et de la mortalité qu'elles engendrent (Dargent-Molina et Breart 1995). Les perturbations neurologiques, la polymédication et la diminution des capacités d'équilibration sont les principaux facteurs de risque de chute mais c'est sur ce dernier facteur que les individus âgés vont pouvoir agir, grâce à l'entraînement (Woollacott 2000). Ainsi de nombreux auteurs se sont attachés à montrer que des programmes d'exercices visant à améliorer la stabilité et l'équilibre, constituaient un bon moyen de prévention. Cependant, les résultats des études s'intéressant aux effets de l'entraînement sur les capacités d'équilibration ne sont pas toujours concordants et dépendent à la fois de l'entraînement proposé mais aussi du type de mesures effectué. Dans le but d'améliorer les capacités d'équilibration des séniors, la littérature rapporte principalement l'utilisation de programmes spécifiques à l'équilibre et de programmes multivariés.

1.2.2.1 Utilisation de programmes multivariés

Les programmes d'entraînement multivariés, qui conjuguent du travail en résistance, des exercices d'équilibre et de souplesse, sont très efficaces pour améliorer les capacités fonctionnelles des personnes âgées (Baker, Atlantis, et Fiatarone Singh 2007; Delbaere et al. 2006; Pahor et al. 2006; Brown et al. 2000). De nombreuses études témoignent d'effets positifs significatifs sur l'équilibre statique et/ou dynamique suite à ce type d'entraînement, indépendamment de l'intensité de la pratique. En effet, Brown et al. en 2000, ont proposé à des

personnes âgées (moyenne d'âge 83 ans) un programme multivarié de 3 mois combinant des exercices de résistance, de souplesse, d'équilibre et de travail aérobie, l'ensemble à des intensités faibles. Les résultats ont montré des bénéfices considérables sur l'équilibre statique (temps de maintien de l'équilibre unipodal +85%) et dans une moindre mesure sur l'équilibre dynamique (temps réalisé lors d'un parcours d'obstacle -10%) (Fig. 26).

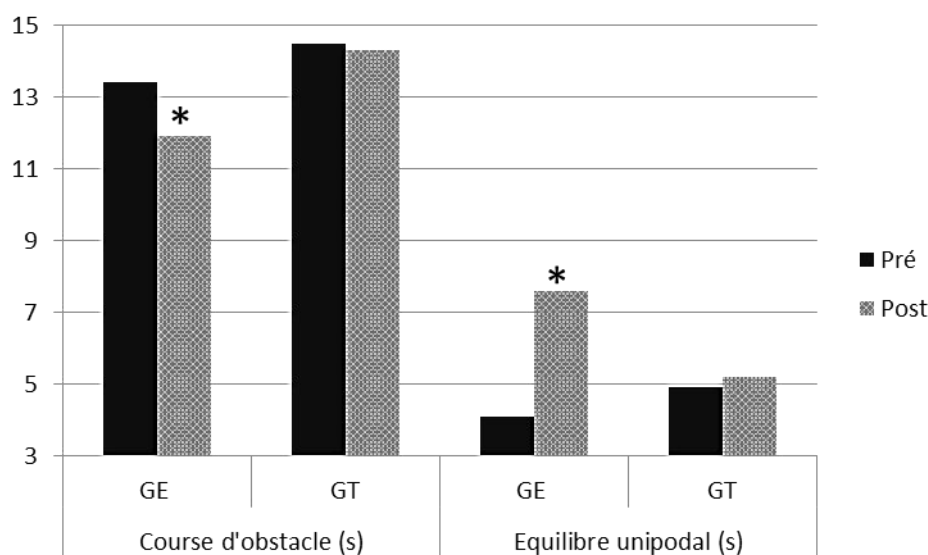


Fig. 26. Valeurs moyennes obtenues en secondes après 3 mois d'entraînement à basse intensité (GE) en comparaison à un groupe témoin inactif (GT), d'après Brown et al. (2000). * $p < .05$

L'étude de Binder et al. en 2002, montre également des résultats significatifs sur l'équilibre de sujets âgés de plus de 78 ans suite à un programme d'exercices à domicile à basse intensité. Cette étude va plus loin puisqu'elle compare l'effet d'un programme peu varié (exercices de souplesse principalement), d'intensité faible et se déroulant en autonomie au domicile, à un programme multivarié (souplesse, résistance, équilibre, aérobie) et intensif se déroulant en salle, sur les mesures de la fragilité. Les groupes d'entraînement à domicile, comme en salle, ont amélioré leurs performances fonctionnelles (notamment lors de mesures de force d'extension de la jambe et d'équilibre grâce à l'échelle de Berg qui propose d'évaluer 14 tâches quotidiennes d'équilibre) après 3 mois d'entraînement. Néanmoins, les améliorations des participants du groupe en salle sont significativement plus importantes que celles du groupe à domicile. Le programme durait 9 mois (3 phases de 3 mois entrecoupées d'évaluations pour une durée totale de 108 heures) et les bénéfices pour le groupe en salle ont perduré au contraire du groupe à domicile notamment lors du test de performances physiques (PPT) qui évalue les

individus dans des tâches de la vie quotidienne (écrire, s'habiller, monter des marches, marcher, se tourner, se baisser, se lever) (Fig. 27).

L'intérêt de cette étude réside, au-delà de l'aspect strictement scientifique, dans le fait qu'elle démontre l'importance pour les personnes âgées d'avoir une pratique physique adaptée et régulière, sur le long terme. La participation à ces études, devrait être, au moins pour les sédentaires, un tremplin pour un mode de vie actif.

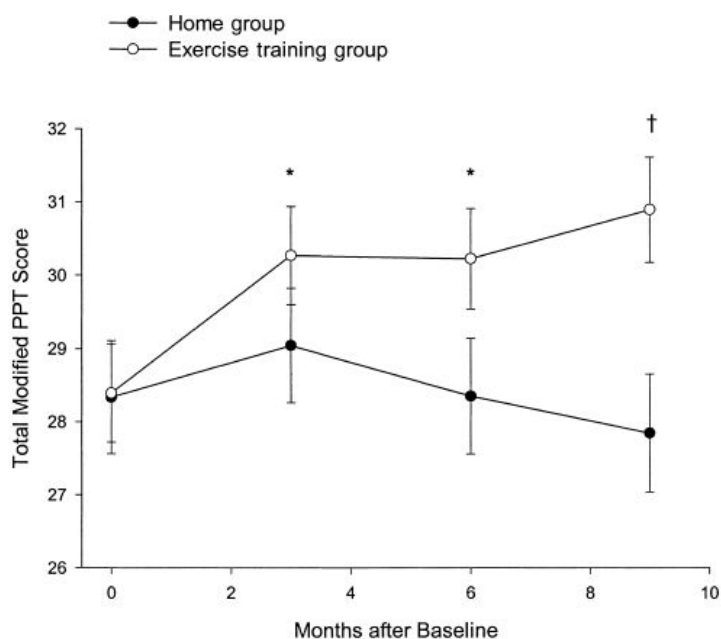


Fig. 27. Scores au test de performance physique modifié (PPT Score) entre le début et la fin de l'étude. Valeurs en moyennes \pm écart type.

Différences significatives, * $p < .05$; † $p < .01$. Tiré de Binder et al. (2002).

Si les études à moyen et long terme (de 3 à 9 mois) semblent avoir fait preuve de leur efficacité et de leur utilité pour un public âgé, les programmes multivariés plus courts (inférieurs à 3 mois) peuvent se montrer tout aussi efficaces sur les capacités d'équilibration.

En effet, Means et al. en 2005, ont rapporté des améliorations de l'équilibre dynamique sur des chuteurs de 65 ans et plus, lors d'un programme court de 6 semaines, similaires à des programmes de 3 mois (Brown et al. 2000). Ainsi, dans cette étude, des sujets chuteurs ont amélioré leurs performances de 10% lors d'un parcours d'obstacle et ces résultats se sont maintenus 6 mois après la fin de l'entraînement. Il est cependant à noter que lors de ce programme court de 6 semaines, la fréquence et la durée d'entraînement étaient importantes puisque 3 séances hebdomadaires de 90 min étaient programmées (soit 18 séances pour 27h d'activité). Si une fréquence élevée ne semble pas obligatoire pour obtenir des résultats

satisfaisants, la somme totale de travail que cela représente, semble donner de meilleurs résultats que pour une étude plus longue (10 semaines) mais comprenant moins de séances (1 h par semaine soit 10h au total) (Nitz et Choy 2004). Lors de la programmation de l'entraînement, il est donc important de prendre en compte la somme totale de travail proposée mais également le public ciblé. En effet, des personnes âgées actives et en bonne santé auront certainement besoin de plus de séances qu'un public fragile chuteur pour progresser sur l'équilibration. Suite à un programme de 5 semaines à raison de 2 séances d'1h par semaine (seulement 10h d'activité), des personnes âgées (moyenne d'âge 75 ans) à mobilité réduite (e.g. difficulté à marcher, à se lever ou à monter un escalier) ont amélioré leur équilibre lors d'un step test sur la jambe dominante et non dominante (respectivement +19% avec $p = .006$ et +40% avec $p = .005$) en comparaison à un groupe témoin (Sherrington et al. 2008).

D'autre part, la vitesse d'exécution des exercices ne semble pas impacter les résultats d'un programme multivarié sur les mesures de l'équilibre. Bean et al. en 2004, ont voulu déterminer si l'utilisation d'une veste lestée (avec des poids) pouvait, associée à une augmentation de la vitesse d'exécution des exercices, augmenter les effets d'un entraînement traditionnel. Les résultats de cette étude n'ont pas été concluants puisque les mesures de l'équilibre statique (appui unipodal) et de la mobilité (vitesse de marche) n'ont pas été améliorées.

La défaillance du contrôle de l'équilibre dynamique étant fréquemment impliquée dans les mécanismes de la chute chez le sujet âgé, il semble intéressant de porter un regard particulier sur les interventions comprenant des exercices d'équilibre dynamique (par exemple avec passage d'obstacles) et sur les études mesurant les stratégies de contrôle de l'équilibre dynamique. L'équilibre dynamique correspond à la capacité à contrôler la position du corps alors que le centre de masse est déplacé au-delà de la base de sustentation (Inserm 2015).

Ainsi, dans l'étude de Weerdesteyn et al. en 2008, 95 sujets chuteurs de plus de 65 ans ont bénéficié d'un programme de 5 semaines, à raison de 2 séances d'1h par semaine, associant des exercices assis-debout, des exercices de double-tâche motrice et cognitive ainsi que des exercices de marche, avec variations de vitesse et de direction. L'évaluation de ce programme a été réalisée sur tapis roulant lors de la marche avec passage d'obstacles : la mesure des temps de réaction, des stratégies et des caractéristiques du pas lors du passage d'obstacles montrait un effet de l'entraînement susceptible d'intervenir favorablement sur le risque de chute.

Bien que parfois partiels, avec des améliorations en condition statique ou dynamique mais rarement dans les deux situations, les effets des programmes d'entraînement multivariés sur l'équilibre statique et/ou dynamique restent très satisfaisants. Il semble cependant que des programmes spécifiques (concentrés sur une thématique) puissent également être utilisés en vue d'améliorer l'équilibre des personnes âgées.

1.2.2.2 Utilisation de programmes spécifiques

L'étude de Nitz et Choy (2004), avait pour ambition de déterminer, si un programme d'entraînement spécifiquement axé sur l'équilibre et sur les stratégies mises en place pour maintenir celui-ci, était plus efficace qu'un programme multivarié (principalement force, équilibre et coordination), pour prévenir les chutes chez des sujets âgés. Ainsi, soixante-treize sujets chuteurs âgés (moyenne d'âge 76 ans) répartis en deux groupes (programme d'équilibre ou programme multivarié) ont participé à 1 heure hebdomadaire d'AP pendant 10 semaines. Le programme d'équilibre proposait six thématiques de travail : assis-debout, marches dans toutes les directions, atteinte des limites de stabilité, monter et descendre d'un step, stratégies de hanches et de chevilles, tâches d'atteinte latérale. Les résultats de cette étude ne montrent pas de différence entre le programme d'équilibre et le programme multivarié sur les mesures d'équilibre réalisées (tests cliniques e.g. TUG, step test ; tests de laboratoire sur plateforme de force e.g. plateforme instable les yeux ouverts et les yeux fermés). Aucun effet n'a été observé suite à l'entraînement sur les tests de laboratoire ; en revanche, les deux groupes ont amélioré leurs performances lors du TUG. La somme de travail réalisée par les sujets de cette étude reste faible et pourrait expliquer l'absence de différence significative entre les groupes ainsi que le manque de résultats sur les tests de laboratoire. Néanmoins, qu'il soit spécifique à l'équilibre ou non, l'entraînement reste bénéfique pour le maintien du contrôle postural des sujets âgés. Les études ne proposant que des exercices d'équilibre restent rares puisqu'il est largement reconnu que la perte de force est fortement impliquée dans la capacité d'équilibration du sujet âgé (Paterson, Jones, et Rice 2007), ainsi de nombreux programmes proposent de travailler en résistance.

Une revue de 2010 a synthétisé les résultats des études ayant testé l'effet d'exercices de résistance sur l'équilibre (Orr 2010). Seule la moitié des 50 études qui ont été incluses dans cette revue, rapporte une amélioration significative de l'équilibre après l'entraînement en

résistance. La relation entre une force accrue et un meilleur équilibre n'a été évaluée que dans deux de ces études et les résultats n'ont pas été probants (Orr et al. 2006 ; Chandler et al. 1998). Il semble que les méthodologies d'évaluation utilisées soient assez disparates (statique, dynamique, tests cliniques comme le step test, test de laboratoire comme la posturographie) et que cela rende les comparaisons difficiles. Fait intéressant cependant, 73% des études notant un effet bénéfique de l'entraînement sur l'équilibre (mesuré principalement avec des tests cliniques, e.g. step test, marche en tandem, appui unipodal les yeux ouverts et fermés), proposaient un travail ciblé sur la puissance musculaire.

Ainsi, l'association d'exercices d'équilibre et d'exercices de résistance pourrait être une alternative à prendre en compte pour améliorer l'équilibre statique et dynamique des personnes âgées.

D'autres pratiques spécifiques semblent avoir un impact favorable sur l'équilibre des séniors. Dans la revue Cochrane de 2011 (Howe et al. 2011), parmi les 94 essais cliniques analysant les effets des exercices sur l'équilibre, 15 études se sont intéressées au Tai Chi Chuan (TCC), au qi gong, à la danse et au yoga. Ces études montrent des effets bénéfiques pour l'équilibre dynamique (TUG), la station unipodale et l'échelle d'équilibre de Berg. En effet, la pratique régulière du TCC s'est avérée efficace chez les personnes âgées et a conduit à des améliorations de l'équilibre (Zhou et al. 2015; Hass et al. 2004). La revue récente de Huang et Liu, 2015, a montré des effets significatifs de la pratique du TCC sur différents tests d'équilibre cliniques en statique et en dynamique (e.g. appui unipodal, TUG et Berg) en comparaison à des sujets témoins.

1.2.3 Effet de l'activité physique sur les rythmes biologiques circadiens

Avec l'âge, les troubles du sommeil augmentent, entraînant avec eux une détérioration de la qualité de vie. L'étude de Morin et Gramling en 1989, a montré que les personnes âgées avec des troubles du sommeil étaient plus sujettes à la dépression et à l'anxiété que des personnes âgées estimant avoir un bon sommeil. Ces modifications des rythmes biologiques, liées au sommeil, se caractérisent par des éveils anticipés et plus fréquents, des latences d'endormissement plus longues ainsi qu'une somnolence diurne excessive (Bliwise et al. 2009; Dijk, Duffy, et Czeisler 2000; Van Someren 2000). Afin de lutter contre ces effets, qui peuvent être désocialisants, le recours aux hypnotiques est fréquemment employé chez les séniors. Cependant, cette approche pharmacologique ne semble pas satisfaisante de par plusieurs aspects. Une méta-analyse de Glass en 2005, caractérisant les risques et les bénéfices des hypnotiques chez les sujets de 60 ans et plus, a montré que seule une personne sur treize ($\pm 8\%$), trouve que la qualité de son sommeil a été améliorée par ces traitements. La durée totale du sommeil est toutefois augmentée de 25 à 34 min selon les traitements. De plus, une personne sur six ($\pm 17\%$) se plaint d'effets secondaires importants tels que des somnolences diurnes, des pertes d'équilibre ou encore des chutes (Glass et al. 2005). Les alternatives non médicamenteuses sont peu nombreuses et visent généralement à améliorer la rythmicité circadienne. Les plus courantes sont la luminothérapie, les thérapies cognitives et comportementales ainsi que la pratique d'une activité physique (Gauriau et al. 2007; Montgomery et Dennis 2004). Ainsi, l'activité physique diurne réduirait la latence d'endormissement et pourrait améliorer le sommeil en termes de qualité et de quantité et renforcerait ainsi le cycle veille-sommeil notamment au travers de l'alternance activité/inactivité (Montgomery et Dennis 2004; Tworoger et al. 2003).

Plus récemment, il a été montré que les rythmes circadiens des sujets âgés ayant une AP, étaient plus marqués (avec une plus grande amplitude et MESOR) que ceux de sujets âgés sédentaires (Mauvieux et al. 2007). Chez la personne âgée, les bienfaits de l'activité physique passent par un effet direct sur l'horloge biologique interne (facteur C) ainsi que par un effet indirect sur le sommeil (facteur S) (Daan, Beersma, et Borbély 1984) (Fig. 17, p51). L'effet direct de l'AP sur l'horloge biologique interne repose sur l'amélioration du contraste jour/nuit et donc de l'augmentation de l'amplitude des rythmes par la pratique régulière d'AP. L'étude de Gruau et al en 2003 a montré que la qualité de la vigilance pendant la journée pouvait être nettement améliorée chez des sédentaires âgés de plus de 60 ans après seulement 3 mois d'AP

modérée à raison de trois séances par semaine (Gruau et al. 2003). L'effet homéostatique de l'AP sur la qualité et la quantité de sommeil a été montré dans plusieurs études. Ainsi, il a été mis en évidence que les personnes de 60 ans et plus, pratiquant un AP régulièrement, avaient, en comparaison à des sédentaires, une meilleure qualité de sommeil et signalaient moins de troubles du sommeil (Gauriau et al. 2007; Montgomery et Dennis 2004; Tworoger et al. 2003).

1.2.3.1 Effet de l'AP sur le rythme de la température

Pour des personnes âgées, ayant des rythmes circadiens non marqués (aplatis) et désynchronisés (avance de phase), participer à un programme d'entraînement progressif semble augmenter l'amplitude des rythmes de la température corporelle et de la vigilance (Davenne 2004; Gruau et al. 2003; Mauvieux et al. 2003) (Fig. 28). L'étude de Mauvieux et al. (2003) a montré, suite à un programme d'entraînement en endurance de 4 mois à raison de 3 séances d'1h par semaine, une augmentation significative de l'amplitude de température en comparaison à des sujets sédentaires. Cette étude a également montré que, pour des sujets âgés (± 65 ans), l'AP pouvait réduire voire supprimer l'avance de phase liée au vieillissement.

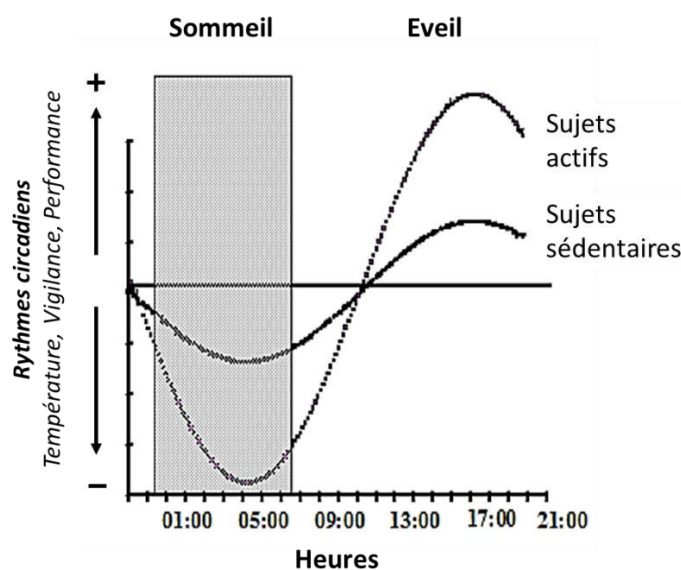


Fig. 28. Représentation de la courbe de température obtenue chez des personnes actives et des personnes sédentaires (d'après Davenne 2004)

Une étude plus récente a observé, chez des sujets âgés de 60 ans, que l'amplitude de température était étroitement liée à la capacité aérobie (VO_2 max) (Dupont Rocher et al. 2016). En effet, les participants de cette étude ont été répartis en 3 groupes, en fonction de leur VO_2 max (valeurs du groupe 1 : moins de 20mL/min/kg ; valeurs du groupe 2 : entre 20 et 30mL/min/kg ; valeurs du groupe 3 : plus de 30mL/min/kg) enregistrés lors d'un test d'effort sur ergocycle

isocinétique. Les résultats ont montré des différences d'amplitude significatives entre les groupes, notamment avec une amplitude plus grande pour le groupe 3 en comparaison au groupe 1.

L'augmentation d'amplitude du rythme semble donc fortement corrélée au niveau d'entraînement. Ainsi, plus l'amplitude du rythme de la température est grande, plus le système circadien sera stable (Waterhouse et al. 2005; Vitiello 2000).

1.2.3.2 Effet de l'AP sur le cycle veille-sommeil

Avec l'avancée en âge, la sédentarité, très commune chez la personne âgée, renforce les troubles liés au sommeil et perturbe l'équilibre entre la veille et le sommeil. Plusieurs études se sont attachées à montrer que l'AP pouvait inverser ce phénomène apparenté à un cercle vicieux du déconditionnement et du vieillissement inactif.

Chez l'Homme de 60 ans et plus, lorsque les interactions sociales sont renforcées et que le style de vie est régulier, la diminution des troubles du cycle veille-sommeil (objectivés soit lors d'un enregistrement polysomnographie, soit par agenda du sommeil) s'observe dans un cas sur trois (Monk et al. 2006; Okawa et al. 1991). Ainsi, concernant le cycle veille-sommeil, la pratique d'une activité physique entraîne et renforce les effets positifs des interactions sociales.

Il apparaît aujourd'hui clairement que la pratique régulière d'une AP influence la stabilité des rythmes circadiens et augmente l'amplitude de ses oscillations (Rocher et al. 2015; Gauriau et al. 2007; Mauvieux et al. 2007; Waterhouse et al. 1999; Atkinson et al. 1993). Les effets de l'AP sur le cycle veille-sommeil (objectivés par des enregistrements actimétriques en continu et complétés par des agendas de sommeil), ont été mis en évidence par des études comparant des sujets âgés sportifs à des sédentaires (Rocher et al. 2015; Mauvieux et al. 2007; Atkinson et al. 1993), mais aussi par des études proposant un programme de réentraînement physique régulier de type aérobie à des sujets initialement sédentaires (Gruau et al. 2003; Van Someren et al. 1997). Ces études rapportent des améliorations de la qualité et de la quantité de sommeil, une diminution de la somnolence diurne, ainsi qu'une amplitude des rythmes exacerbée par l'AP. L'AP diurne permet donc d'augmenter le niveau d'activité journalier tout en réduisant l'activité nocturne, ce qui est le reflet d'une meilleure qualité de sommeil et par conséquent renforce le cycle veille-sommeil (Léger et Ogrizek 2012).

L'étude de Singh en 1997, a montré qu'un entraînement en résistance comprenant trois séances d'1h par semaine, induisait une amélioration de la qualité subjective du sommeil

(objectivée par l'index de qualité du sommeil de Pittsburg qui permet une auto évaluation de l'efficacité du sommeil) et de la qualité de vie chez des sujets âgés dépressifs en comparaison à un groupe témoin (Fig. 29) (Singh, Clements, et Fiatarone 1997).

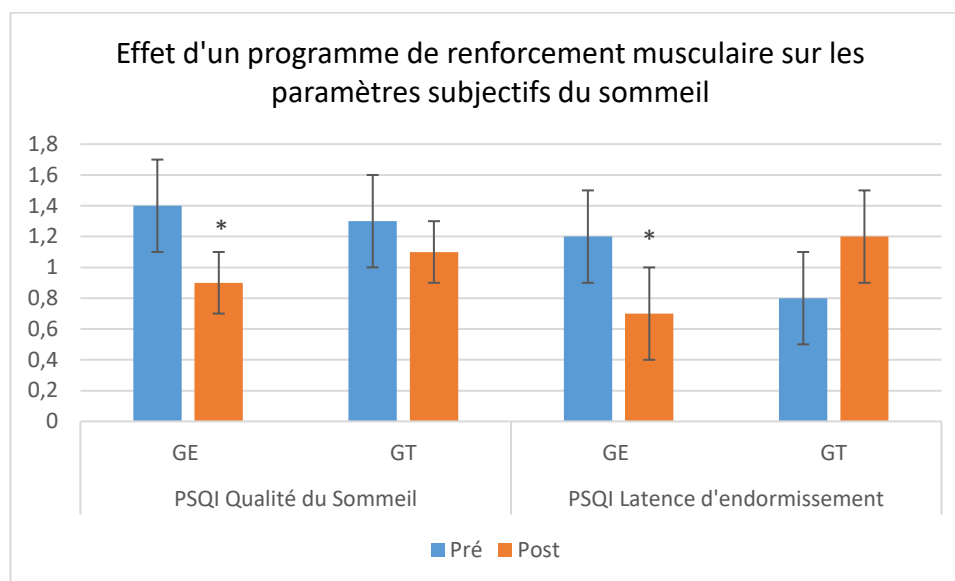


Fig. 29. Effet d'un programme de renforcement musculaire sur les paramètres subjectifs du sommeil. Valeurs moyennes \pm écart type.

GE : groupe entraîné ; GT : groupe témoin ; PSQI : Index de qualité du sommeil de Pittsburg ; * : $p < 0,05$: d'après les données de Singh et al. (1997).

Néanmoins, la littérature concernant le travail en résistance chez la personne âgée est beaucoup moins étoffée que celle sur l'activité physique à dominante aérobie qui a montré une influence sur les stades de sommeil, notamment avec un allongement de la durée du sommeil ainsi qu'une diminution de la latence d'endormissement (Kubitz et al. 1996; Trinder et al. 1985). Au regard de ces études à dominante aérobie concernant l'intensité de la pratique, il semblerait que des niveaux de pratique faibles (2-3 fois 1 heure à 50% ou moins de la FC de réserve) soient suffisants (Benloucif et al. 2004). Ces conclusions ont été confirmées par les études de Li et al. (2004) puis de Chen et al. (2009), lors de pratiques douces telles que le yoga et le Taï Chi lors d'évaluations subjectives du sommeil et de la vigilance diurne (questionnaires). Il est toutefois à noter que lors de ces deux études, le programme de Taï Chi a duré 6 mois avec un minimum de 180 minutes d'activité par semaine (au moins 78 heures de travail). De plus, ces résultats, bien que très intéressants et encourageants, n'ont pas été observés lors d'évaluations objectives du sommeil (e.g. polysomnographie, actimétrie) mais lors d'échelles d'évaluations subjectives (e.g. PSQI).

Des mesures objectives de la qualité et de la quantité de sommeil ont été effectuées dans l'étude récente de Melancon et al. (2015). Un enregistrement polysomnographique a été mis en place, avant et après un programme d'entraînement aérobie de 16 semaines, à raison de 3 séances d'1h par semaine de marche rapide (6km/h) sur tapis incliné (48 heures de travail). Ces enregistrements ont été faits avant et après l'entraînement dans deux conditions, (i) suite à un exercice aérobie d'intensité modérée (30 minutes de marche à 70% de VO₂max) et (ii) suite à une journée sans activité physique. Ainsi, cette étude a pu montrer qu'un entraînement aérobie permettait d'augmenter la qualité et la durée du sommeil, particulièrement après une journée active. La méta-analyse de Yang a étudié les effets de l'AP sur la qualité du sommeil au travers de 6 essais cliniques (Yang et al. 2012). Seule une étude a utilisé la polysomnographie comme méthode d'évaluation (King et al. 2008). Dans cette étude, le groupe entraîné a diminué sa latence d'endormissement et augmenté la qualité de son sommeil après 12 mois d'entraînement en endurance à intensité modérée et à fréquence élevée (5 fois par semaine). Cette étude n'a pas montré d'autres différences pour la polysomnographie. En revanche, lors d'évaluations subjectives, le groupe entraîné a déclaré moins de perturbations et un meilleur sommeil général que le groupe témoin.

Si les effets objectifs de l'AP sur le sommeil ne semblent pas univoques, il semble toutefois que la qualité de sommeil ressentie soit clairement améliorée suite à un programme d'entraînement.

1.2.4 Les programmes multivariés

Il apparaît maintenant clairement que l'AP peut avoir des effets très positifs sur la qualité de vie au travers des améliorations de la condition physique, des capacités d'équilibration et de la rythmicité circadienne. Afin d'obtenir des effets sur l'ensemble de ces paramètres, la combinaison de plusieurs types d'exercices au sein d'un même programme semble pertinente.

Les programmes d'entraînement multivariés, qui peuvent ainsi combiner des exercices de résistance, d'équilibre et de souplesse ainsi que du travail aérobic, sont très efficaces pour améliorer les capacités fonctionnelles des personnes âgées. (De Vries et al. 2012; Ho et al. 2011; Koeneman et al. 2011; Hubbard et al. 2009; Baker, Atlantis, et Fiatarone Singh 2007; Delbaere et al. 2006; King et al. 2002). Toutefois, les études qui ont utilisé ce type d'entraînement multivarié, ont du mal à montrer que les bénéfices puissent porter sur l'ensemble des paramètres de force musculaire, d'équilibre, de souplesse, ainsi que sur les capacités cardiovasculaires (Sherrington et al. 2008; Means, Rodell, et O'Sullivan 2005; Barnett et al. 2003; Brown et al. 2000). Cependant ces programmes multivariés permettent systématiquement des effets sur plusieurs paramètres, ce qui n'est que plus rarement le cas pour les programmes spécifiques. Identifier les déterminants de l'AP qui permettent à l'entraînement multivarié d'être le plus efficace possible semble alors nécessaire pour pouvoir proposer un programme optimal et efficace en vue d'améliorer les capacités fonctionnelles et la qualité de vie de l'individu âgé.

1.2.4.1 Programmation des entraînements pour personnes âgées

Pour rappel, l'activité physique est définie comme tout mouvement du corps produit par la contraction des muscles du squelette qui augmente considérablement la dépense énergétique au-dessus du niveau de base (Caspersen, Powell, et Christenson 1985). Généralement, l'activité physique se caractérise par son type, sa durée, sa fréquence, son intensité ainsi que son contexte (en groupe, à domicile ...). C'est la gestion de l'ensemble de ces paramètres qui constitue la programmation de l'entraînement. Ce dernier doit respecter certains principes pour que les différents systèmes impliqués lors de l'effort s'adaptent et qu'il y ait progression. Les caractéristiques de plusieurs programmes d'entraînements multivariés ont été rassemblées et synthétisées dans le Tableau 3. Les études prises en compte dans cette analyse non exhaustive de la littérature ont permis de montrer des résultats positifs significatifs dans au moins un des

paramètres évalués et impliqués dans la qualité de vie des personnes. Ces programmes d'entraînement ont été proposés à des personnes dont la moyenne d'âge allait de 73 ans (Means, Rodell, et O'Sullivan 2005) à 83 ans (Gill et al. 2004; Gill et al. 2003; Gill et al. 2002; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000).

Tableau 3- Modalités et effets d'un programme d'entraînement multivarié chez une population âgée

Etudes	Population	Groupes	Durée, Fréquence, Intensité, Contexte	Travail total	Contenus	Evaluations et Résultats
Brown et al. 2000	N 87, M 83 ans	GE et GT	3 mois, 3x1h/sem, Int faible, Cours collectifs	36 heures	Force, Equilibre, Souplesse et Endurance	Fragilité* + Force* (!) + Equilibre C* † (!) + Marche* † (!) + Sensations ø + Coordination ø + ROM* † (!)
Means et al. 2005	N 205, M 73 ans	GE et GT	6 semaines, 3x90min/sem, Int Faible à Modérée, Cours collectifs	27 heures	Force, Equilibre, Souplesse, Endurance et Coordination	Force * (!), Chute †, Troubles de l'équilibre * (!)
Gill et al. 2002, 2004, 2003	N 188, M 83 ans	GE et GT	6 mois, 3xNP/semaine, Int faible, Domicile	NP ± 60 heures	Force et Equilibre	Fragilité ø, Equilibre statique ø, Mobilité †(!)
Binder et al. 2002	N 119, M 83 ans	GE et GTE (entraîné à très faible Int à domicile)	9 mois (3 phases), 3x1h/sem, Int Faible à Elevée Cours collectifs	108 heures	<u>Phase 1</u> : Equi, Sou, Coor et Force <u>Phase 2</u> : Force + Ph1 allégée <u>Phase 3</u> : End + Ph1 et 2 allégées	Force* , Endurance C* , Equilibre* (!), Fragilité*
Brovold et al. 2013	N 115 M 78 ans	GE et GTE (entraîné à très faible Int à domicile)	3 mois 2x1h/sem à l'hôpital Puis 1-2x1h/sem à Int Modérée à Elevée Domicile	NP ± 20 heures	Force, Endurance et Souplesse	Qualité de vie †(!), Endurance C* (!), Niveau de pratique* (!)
Sherrington et al 2008.	N 159 M 75 ans PA à mobilité réduite	GE et GT	5 semaines 2x1h/sem Int Faible Cours collectifs	10 heures	Force, Equilibre, Souplesse et Endurance	Equilibre C* (!), Force ø, Mobilité* (!), Endurance C*

Rubenstein et al. 2000	N 59 (♂) M 74 ans	GE et GT	3 mois 3x90min/sem Int Faible à Modérée Cours collectifs	54 heures	Force, Endurance et Equilibre	Force* (!), Endurance C*, Equilibre C* (!), Qualité de vie* (!)
Pahor et al. 2006	N 424 M 77 ans	GE et GT	12 mois 3*1h/sem Int Progressive En centre et à domicile	± 150 heures	Force, Endurance, Equilibre et Souplesse	SPPB*, Marche*, Composition corporelle ø
Nelson et al. 2004	N 72 M 78 ans	GE et GT	6 mois 3x ?/sem Int Faible Domicile	± 54 heures	Force, Equilibre et Encouragements à entreprendre toute AP	Fragilité*, SPPB*, Equilibre C†, Marche ø, Endurance ø, Force ø et Qualité de vie ø
Barnett et al. 2003	N 163 M 75 ans	GE et GT	12 mois 1x1h/sem + Exo à domicile en autonomie Int Faible à Modérée Centre	± 52 heures	Equilibre, Force, Coordination et Endurance	Force ø, Equilibre* (!), Coordination*, Marche ø, Qualité de vie ø, Chutes* (évaluations réalisées après 6 mois de programme)
King et al. 2002	N 155 M 77 ans	GE et GTE (exercices d'endurance à faible int)	18 mois 3x75min/sem Faible à Modérée 10 mois en centre et 8 mois à domicile	± 300 heures	<u>Mois</u> 1 à 6 : - 1 à 3 : Force et End - 4 à 6 : Equi et Sou + maintien <u>Mois</u> 7 à 18 : Objectif de maintien	Fragilité ø, Endurance ø, Equilibre C*(!), Marche*(!), Qualité de vie ø Attention : ces améliorations ne sont pas maintenues lorsque les exercices ont été effectués au domicile et en autonomie.

N, Echantillon ; M, Moyenne d'âge, **GE**, Groupe entraînement ; **GT**, Groupe témoin ; **GTE**, Groupe témoin ayant suivi un programme d'entraînement de base ; **Sem**, Semaine ; **Int**, Intensité ; **Force**, Renforcement musculaire ; **Equi**, Equilibre ; **Sou**, Souplesse, **End**, Endurance, **Coor**, Coordination ; **SPPB** Short Physical Performance Battery (équilibre, marche et levé de chaise), **C**, tests cliniques ; **S**, Evaluations subjectives par des questionnaires ; **O**, Evaluations objectives (quand ce n'est pas précisé on retient O) ; **ROM**, amplitude des mouvements ; **NP**, Non précisé (on estime alors un temps moyen de 45 min par séances) ; * différence significative groupe x temps ($p < .05$) ; † différence significative avant/après entraînement mais pas d'effet groupe ($p < .05$) , (!), toutes les évaluations de cette dimension ne sont pas significatives, ø, pas d'effet.

Il ressort de cette analyse plusieurs informations importantes sur les paramètres de la programmation de l'entraînement pour les personnes âgées.

Ces programmes combinaient des exercices de résistance, d'équilibre, de type aérobie, de souplesse et de coordination. Une seule étude ne proposait que deux types d'AP, à savoir résistance et équilibre (Gill et al. 2004; Gill et al. 2003; Gill et al. 2002), toutes les autres en proposaient au moins trois.

La fréquence d'entraînement variait, passant d'une séance par semaine au minimum (Barnett et al. 2003), à trois séances au maximum (Pahor et al. 2006; Means et al. 2005; Gill et al. 2004, 2003, 2002; Binder et al. 2002; King et al. 2002; Brown et al. 2000; Rubenstein et al. 2000). La durée des séances variait également mais dans une moindre mesure, passant de 60 minutes (Sherrington et al. 2008; Pahor et al. 2006; Barnett et al. 2003; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000) à 90 minutes (Means, Rodell, et O'Sullivan 2005; Rubenstein et al. 2000).

La durée de l'entraînement s'étendait de 5 semaines pour la plus courte (Sherrington et al. 2008) à 18 mois pour la plus longue (King et al. 2002). Il faut néanmoins noter que le programme de 5 semaines (2 x 1h pendant 5 semaines soit 10 heures) a été proposé à des personnes âgées à mobilité réduite. Les effets positifs des 10 heures d'entraînement réalisées n'auraient probablement pas été observés avec une population âgée ayant une bonne mobilité. Toutefois, un autre programme court a montré des effets positifs sur la santé des personnes âgées après seulement 6 semaines d'entraînement (Means, Rodell, et O'Sullivan 2005). La somme totale de travail était cependant largement supérieure (3 x 90min pendant 6 semaines soit 27 heures). Ainsi, comme le suggère la méta analyse de De Vries et al. (2012), que les interventions soient de courte durée (≤ 3 mois) ou de longue durée (≥ 3 mois), elles semblent traduire un effet positif sur la santé.

Cependant, il semblerait que ce n'est pas tant la durée ni même la fréquence qui soient importantes mais plutôt la combinaison des deux, c'est-à-dire « la dose » ou somme totale de travail exprimée en heures (Inserm 2015). Ainsi, la somme totale de travail s'étendait de 10 heures (Sherrington et al. 2008) à ± 300 heures (King et al. 2002). Une revue Cochrane de 2012 a montré un effet sur la prévention des chutes nettement plus marqué dans les essais où la somme totale de travail était de 50 heures et plus, sur la durée totale de l'intervention (Gillespie et al. 2012).

Les études proposant un programme d'entraînement multivarié sont très nombreuses et les méthodes d'évaluation utilisées le sont tout autant. Afin de répondre aux hypothèses posées

dans le cadre de ces études, la méthodologie d'évaluation employée doit être rigoureuse et adaptée. Le choix des tests utilisés est donc fondamental.

1.2.4.2 Evaluation des programmes

Afin de mesurer les effets de ces programmes d'entraînement multivariés, des outils de mesures objectifs et subjectifs peuvent être mis en place mais leurs utilisations, si elle ne fait pas figure de consensus, doit être justifiée en fonction des objectifs et du public cible.

1.2.4.2.1 Qualité de vie

Dans l'objectif d'amélioration de la santé globale de l'individu âgé, des outils de mesure de la qualité de vie sont régulièrement mis en place. Des questionnaires auto administrés sont ainsi régulièrement proposés aux participants et permettent d'évaluer plusieurs dimensions de la qualité de vie : santé globale, santé physique, santé mentale (...). Il en existe plusieurs mais le SF36 reste le plus largement utilisé (Brovold, Skelton, et Bergland 2013; Bean et al. 2004; Nelson et al. 2004; Barnett et al. 2003; Binder et al. 2002; King et al. 2002; Rubenstein et al. 2000; Chandler et al. 1998). Ce questionnaire, bien que très intéressant, n'a pas été développé spécifiquement pour un public âgé et propose de ce fait des questions sur la vie active et professionnelle qui ne sont pas en cohérence avec le public âgé. À notre connaissance, aucun questionnaire n'a été développé spécifiquement pour évaluer le bien-être psychologique du sujet âgé, dans une approche globale.

1.2.4.2.2 Condition Physique

✓ Force du membre supérieur

Afin d'évaluer la force des membres supérieurs, la poignée de force est depuis de nombreuses années le principal outil employé (Nelson et al. 2004; Mathiowetz et al. 1985; Mathiowetz et al. 1984) du fait de sa simplicité d'utilisation mais surtout pour les informations objectives qu'elle apporte sur la force d'agrippement de la main, qui est représentative des capacités musculaires globales, notamment chez les personnes âgées (Wang et Chen 2010; Mälkiä 1993).

✓ Force et puissance du membre inférieur

La mesure de la force des membres inférieurs est plus diversifiée puisqu'elle est fonction des muscles évalués mais également des exercices et des contractions réalisés (concentrique,

excentrique, isométrique). On retiendra cependant les groupes musculaires permettant l'extension et la flexion du genou (représentatif de la force globale du membre inférieur) ainsi que ceux responsables de la flexion plantaire et de la dorsiflexion de la cheville (largement impliqués dans la survenue des chutes). Pour ces évaluations les dynamomètres (manuel ou isocinétique) sont les plus utilisés car ils permettent d'évaluer plusieurs types de contractions et plusieurs articulations dans des conditions de sécurité importantes (de Araujo Ribeiro Alvares et al. 2015; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000; Rubenstein et al. 2000; Jette et al. 1999; Chandler et al. 1998; Li et al. 1996).

La puissance du membre inférieur, qui n'est que peu évaluée, est un paramètre important à prendre en compte, particulièrement chez la personne âgée, puisqu'elle serait un meilleur indicateur de l'état fonctionnel que le VO_2 max (Foldvari et al. 2000). L'étude de Foldvari et al en 2000, a montré que de toutes les mesures physiologiques effectuées (force, puissance, endurance musculaire et capacité aérobie via la détermination de VO_2 max), la puissance d'extension de la jambe était la mesure la plus fortement corrélée à l'état fonctionnel des individus âgés ($p < .0001$).

✓ Capacité aérobie

L'évaluation de la capacité aérobie d'un individu peut être réalisée par des méthodes directes ou indirectes. Elle est effectuée par le biais d'exercices triangulaires (paliers et constante augmentation de l'intensité) ou rectangulaire (absence de paliers et intensité stable) d'une durée supérieure à 3 minutes. Parmi ces évaluations, les tests dits sous-maximaux (le test est sous-maximal lorsque la fréquence cardiaque atteinte au maximum de l'effort ne dépasse pas 85% de la FCmax théorique) et les tests maximaux (performance maximale et notion d'épuisement du sujet) sont à distinguer.

La fréquence cardiaque maximale qui est en relation avec la consommation d'oxygène est souvent déterminée de manière indirecte par la formule de Astrand et al. (1973) qui est la suivante : $220 - \text{âge}$, on parle alors de FCmax théorique. Certains auteurs remettent en cause cette formule, encore très largement utilisée, qui semble sous-estimer la FCmax réelle de l'individu, ainsi une nouvelle équation plus fortement liée à l'âge a été proposée : $208 - 0,7 \times \text{âge}$ (Tanaka, Monahan, et Seals 2001).

L'outil optimal pour mesurer la capacité aérobie d'un individu réside dans le passage d'un test d'effort maximal de type triangulaire sur ergocycle en laboratoire (Gosselin et Troosters 2005). L'utilisation de l'ergocycle est privilégiée par rapport au tapis roulant avec une

population âgée car elle facilite la prise de mesures tout en augmentant la sécurité du sujet. Ce test permet, entre autres, d'évaluer la tolérance à l'effort des individus, de détecter la source de limitation à l'exercice, de saisir d'éventuels dysfonctionnements cardiovasculaires et ainsi de discerner la présence de potentielles pathologies.

De nombreux outils sont disponibles pour effectuer des mesures indirectes (l'épreuve d'Astrand-Ryhming, le step-test de Harvard, le test de marche de 6 minutes (6MWT), le test Cooper). Le 6MWT reste le plus utilisé et le plus adapté pour les personnes âgées (Brovold, Skelton, et Bergland 2013; Sherrington et al. 2008; Nelson et al. 2004; King et al. 2002; Rubenstein et al. 2000). Il s'agit d'un test rectangulaire de haute intensité mais sous-maximal, en dessous du seuil ventilatoire.

1.2.4.2.3 Capacités d'équilibration

✓ Evaluations subjectives des capacités d'équilibration

Il existe des échelles spécifiques comme la « Falls-related Efficacy Scale » (FES) ou encore l'« Activites-specific Balance Confidence scale » (ABC scale) qui sont adaptées à la gérontologie et aux pathologies vestibulaires et neurologiques (Pérennou et al. 2005). Elles permettent d'évaluer la confiance que la personne a dans son équilibre pour lui permettre de réaliser des tâches de la vie quotidienne (10 items dans la FES pour un score total de 0 à 100, 16 dans l'ABC scale) mais ne reflètent pas leur capacité d'équilibration.

✓ Evaluations objectives des capacités d'équilibration

Afin de pouvoir adapter la pratique aux capacités de l'individu, les évaluations objectives sont à privilégier. Ces évaluations regroupent les examens cliniques et les examens de laboratoire. Les principaux tests cliniques sont le « Time up and go » (TUG), le test de Tinetti, le test d'appui unipodal et l'échelle d'équilibre de Berg (BBS). Si la BBS, très largement utilisée, fait partie du gold standard en matière d'équilibration, son utilité et sa sensibilité dans le dépistage des personnes âgées à risque de chute est aujourd'hui discutée. Pour la réalisation des examens de laboratoire, on utilise la posturographie qui est une technique d'investigation posturale fondée sur l'idée que les oscillations du centre de gravité reflètent l'instabilité posturale. Comme il n'est pas possible de mesurer les variations du centre de gravité, on utilise ses projections au sol qui sont possibles par la mesure des oscillations du centre de pression plantaire. La posturographie permet également de différencier la part des différentes entrées sensorielles (visuelles, vestibulaires et proprioceptives) lors du maintien de l'équilibre en

modifiant les conditions de réalisation de passation des tests (e.g. les yeux fermés, sur sol dur ou mou, stable ou instable). Bien qu'il n'existe pas de consensus sur les paramètres enregistrés, on retrouve classiquement la longueur et la surface totale ainsi que le quotient de Romberg. (Njiokiktjien et Van Parys 1976)

✓ Evaluation du système vestibulaire

Afin d'évaluer le reflexe vestibulo-oculaire (RVO), le réflexe canaliculo-oculaire (RCO) ou RVO angulaire est le plus classiquement étudié. Une épreuve sur fauteuil rotatoire permet d'étudier le RCO sur un large panel de fréquences au moyen d'une rotation continue à vitesse constante, ou d'oscillations pendulaires, permettant d'observer l'amplitude et la vitesse des phases lentes, ainsi que le rapport entre la vitesse de la rotation et la vitesse du mouvement compensatoire de l'œil, qui définit le gain du RCO. Ce gain reflète la capacité du système à compenser efficacement une rotation de la tête. On définit aussi la phase comme la correspondance entre le mouvement des yeux et le mouvement de la tête. On considère qu'une phase parfaite de 180°, associée à un gain de 1, compenserait parfaitement le mouvement de la tête, les yeux tournant de manière synchronisée dans le sens opposé (Fife et al. 2000).

1.2.4.2.4 Rythmes biologiques circadiens

Afin d'évaluer le cycle veille-sommeil, l'agenda du sommeil est le moyen le plus simple (Léger & Ogrizek, 2012), qui permet de connaître les horaires de sommeil, les délais d'endormissement, les éveils nocturnes et la qualité du sommeil des individus. Généralement, l'actimétrie vient compléter les renseignements donnés par l'agenda du sommeil. Sachant qu'il existe une bonne corrélation entre le rythme activité-repos et le cycle veille-sommeil (Léger et Ogrizek 2012), l'appareil composé d'un accéléromètre donne des indications (nombre de mouvements par minute) sur les horaires de coucher et de lever, le temps passé au lit, le nombre et la durée des éventuels réveils nocturnes et siestes. Cet outil permet également l'enregistrement continu de l'activité motrice durant une période donnée. Les paramètres les mieux étudiés sont la durée totale de la période d'inactivité, les éveils en cours de nuit et la moyenne d'activité diurne. En complément, l'utilisation d'échelles visuelles analogiques, permet une évaluation subjective intéressante d'un ensemble de paramètres associés à la vigilance (fatigue diurne, somnolence diurne). Enfin, la température, marqueur de la chronobiologie, peut être évaluée en continu sur plusieurs jours (ingestion d'une gélule

transmettant la température par télémétrie) ou plus simplement en discontinu au moyen d'un thermomètre.

1.2.4.3 Modalités de diffusion

Bien qu'il soit conseillé aux personnes âgées de pratiquer une AP régulière, il est recommandé de pratiquer sous l'égide et/ou les recommandations d'un professionnel. En effet, le fait qu'un programme se fasse à domicile est plus rassurant pour la personne, le problème est qu'à domicile et en autonomie les progrès ne sont pas aussi importants que dans un lieu dédié avec des personnels qualifiés (Gill et al. 2003). Ainsi, dans ce contexte formel, les seniors ont actuellement divers services à leur disposition, le coach à domicile d'une part et les cours collectifs d'autre part. Le service de coaching à domicile en face à face consiste en un programme d'entraînement individualisé, ce service est efficace mais onéreux. Concernant les cours collectifs, ils sont proposés sous forme de cours de niveaux. Ce service est proposé à des tarifs raisonnables, mais nécessite que la personne se déplace et/ou que ses capacités physiques soient adaptées aux programmes d'entraînements.

Malgré de nombreux travaux sur les bénéfices de programmes d'entraînement chez une population âgée, peu d'études ont tenté de proposer, dans le domaine de l'APA, une solution efficace et généralisable pour atteindre une population âgée isolée.

Ainsi en réponse aux recommandations et aux attentes des populations âgées, un nouveau type de service s'est développé : le programme d'entraînement à domicile utilisant un support audiovisuel. Ce service offre le double avantage d'être à bas coût et d'être accessible permettant ainsi de toucher des populations isolées. Jette et al. (1999) ont montré qu'un programme d'entraînement de renforcement musculaire effectué à domicile en utilisant un support audiovisuel (cassettes) présentait des bénéfices pour la santé. Les résultats ont montré des améliorations de la force, de l'équilibre et de la mobilité. Des études plus récentes ont évalué l'impact d'un programme d'entraînement à domicile utilisant le dvd comme support (Kingston et al. 2013; McAuley et al. 2013; McAuley et al. 2012). Ces travaux ont mis en évidence des effets bénéfiques pour les participants puisqu'ils ont obtenu des gains de souplesse des membres inférieurs et de force des membres supérieurs.

Suite à des programmes diffusés exclusivement via un support audiovisuel, il est donc possible d'obtenir des bénéfices pour la santé. Ces différents travaux montrent donc la faisabilité, l'acceptabilité et l'efficacité de ces programmes sur supports audiovisuels.

Cependant, ces études présentent un certain nombre de limites. En effet, le support utilisé pour l'administration des programmes ne permet pas d'adapter les séances aux capacités de l'individu et aucune correction ne peut être apportée lors de l'exécution des exercices, ce qui limite leur bénéfice et peut éventuellement faire courir un risque au pratiquant. De plus, un des atouts de la pratique d'une activité physique réside dans le fait qu'elle génère automatiquement des relations sociales par les échanges qu'elle impose entre l'entraîneur et l'entraîné et entre les entraînés. L'utilisation de l'audiovisuel (cassettes ou dvd) comme moyen de diffusion d'un programme d'APA rend ces échanges inexistantes. Enfin, ce type de programme oblige les individus à être autonomes dans leur pratique ce qui peut constituer une difficulté avec l'avancée en âge.

Une méthode permettant de maintenir les avantages du support audiovisuel (bas coût et accessibilité du service) tout en palliant aux limites (e.g. inadaptabilité du programme, isolement social) serait l'utilisation de la visioconférence collective. Seulement, à l'heure actuelle et à notre connaissance, aucune étude publiée n'a utilisé le système de visioconférence collectif et interactif comme moyen de transmission d'un programme d'activité physique pour les personnes âgées.

1.2.5 Résumé

Afin de lutter contre les effets délétères liés au vieillissement et afin de rendre l'individu âgé acteur de sa santé, l'utilisation adaptée de l'AP constitue une approche écologique très efficace. Tout d'abord, l'AP permet de maintenir et de développer les fonctions musculaires et cardiovasculaires de sorte qu'elles ne participent plus au déclin général de la condition physique. En effet, le VO_2 max semble refléter les adaptations cardiovasculaires et métaboliques résultant de l'entraînement. Les personnes âgées peuvent ainsi espérer retarder les complications liées au vieillissement et réduire le risque de maladie coronarienne, d'hypertension artérielle et de mortalité, toutes causes confondues (Paterson, Jones, et Rice 2007). Pour cela, il faudra toutefois que l'activité physique soit supérieure aux activités quotidiennes habituellement pratiquées par l'individu. Par ailleurs, l'équilibre, largement altéré lors du vieillissement, est essentiel pour la mobilité en toute sécurité. Des activités spécifiques ciblant les multiples dimensions de l'équilibre et de la mobilité devraient ainsi faire partie intégrante de tout programme d'exercice. S'il y a des déficits moteurs (e.g. des faiblesses musculaires), l'activité devrait être modifiée pour réduire ou inverser cette involution. Si le problème résulte de déficits sensoriels, des stimuli sensoriels variés (e.g. des changements d'éclairage, des obstacles) peuvent être introduits pour modifier les stratégies et la prise d'information dans l'environnement des individus. Ces exercices peuvent également être enrichis de tâches cognitives telles que la lecture ou le décompte de nombres de manière à rendre ces tâches plus difficiles (situation de double tâche). Les personnes âgées devraient envisager d'effectuer ces exercices dans des environnements différents et dans des conditions différentes, pour former et maintenir les compétences globales de l'équilibre (Paterson, Jones, et Rice 2007).

Enfin, la littérature indique que l'application d'un programme d'activité physique, proposé à des sédentaires pendant plusieurs semaines, aiderait à synchroniser la rythmicité circadienne en particulier chez des personnes vieillissantes (Davenne 2015). Son action serait celle d'un donneur de temps capable de renforcer la synchronisation de l'horloge interne entraînant ainsi une amélioration de qualité de sommeil et, au travers d'elle, de la qualité de vie.

L'utilisation de programmes multivariés adaptés au public âgé devrait permettre d'obtenir des effets bénéfiques sur l'ensemble de ces paramètres.

1.3 PROBLEMATIQUE ET HYPOTHESES

La part mondiale des plus de 60 ans connaît une croissance exceptionnelle. En 2015, il y avait 901 millions de personnes âgées de 60 ans ou plus dans le monde et ce nombre devrait approcher 1,4 milliard en 2030. La population française n'échappe pas à ce phénomène, puisqu'en 2050, plus d'un tiers de la population aura plus de 60 ans (moins d'un quart en 2013). Le vieillissement s'accompagne de façon systématique et ce malgré des variations interindividuelles, d'une diminution des capacités fonctionnelles de l'organisme. Selon l'OMS (2010), de manière à prévenir et à limiter les effets délétères liés au vieillissement, il est recommandé d'avoir une pratique physique adaptée et régulière dont l'utilité et les avantages ont été largement démontrés par les travaux de la littérature. Plus particulièrement chez les personnes de 65 ans et plus, l'activité physique adaptée est associée à un meilleur état fonctionnel, à une diminution du risque de chutes et de leurs conséquences. L'activité physique et plus spécifiquement l'APA aux séniors est donc un outil permettant d'améliorer la qualité de vie de ce public notamment en favorisant et en prolongeant l'indépendance fonctionnelle.

Malgré de nombreux travaux sur les bénéfices de programmes d'entraînement chez une population âgée, aucune étude publiée n'a tenté de proposer dans le domaine de l'activité physique adaptée, une solution novatrice, efficace, peu onéreuse et généralisable pour atteindre les séniors souhaitant pratiquer à domicile tout en maintenant le lien social grâce au caractère collectif de la prise en charge et de la conduite de séance.

Dans le contexte du partenariat européen d'innovation pour un vieillissement actif et en bonne santé (EIPAHA), le présent projet qui a obtenu l'accord du Comité d'Éthique sur la Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (CERSTAPS) vise à évaluer un nouvel outil permettant de proposer des activités physiques adaptées à domicile : un système collectif de visioconférence.

Les objectifs sont de démontrer la faisabilité, l'acceptabilité et d'évaluer les bénéfices apportés par un programme d'APA multivarié à domicile pour des personnes âgées utilisant un système de visioconférence.

L'hypothèse principale est la suivante : le programme d'APA développé spécifiquement lors de cette étude permettra aux séniors d'améliorer leur qualité de vie que le programme soit diffusé de façon classique en face à face ou de façon novatrice en visioconférence.

L'hypothèse secondaire est la suivante : le programme d'APA utilisé, aura des effets bénéfiques sur la condition physique, les capacités d'équilibration et la marche, ainsi que les rythmes biologiques circadiens des séniors, indépendamment du mode de diffusion.

CADRE EXPERIMENTAL

"Tout obstacle renforce la détermination. Celui qui s'est fixé un but n'en change pas."

Léonard De Vinci

PARTIE I - DEVELOPPEMENT D'UN PROGRAMME D'ACTIVITES PHYSIQUES ADAPTEES

2.1 PRESENTATION GENERALE

De nombreuses études ont donc montré que l'AP pouvait améliorer la qualité de vie des personnes âgées (Binder et al. 2002; Brown et al. 2000; Hubbard et al. 2009). Idéalement, la prescription d'activité physique pour ce public, au regard des recommandations, devrait inclure des exercices de résistance, de souplesse et d'équilibre ainsi que des exercices à dominante aérobie (OMS 2010; Chodzko-Zajko et al. 2009).

L'objectif poursuivi lors de l'élaboration de notre programme d'APA, était de définir un programme adapté et ajustable aux capacités physiques des personnes âgées de manière générale et à terme, des utilisateurs finaux du système de visioconférence développé dans le cadre du projet MOTION.

En accord avec la littérature exposée précédemment et en vue d'améliorer la qualité de vie des individus âgés, le programme d'APA proposé a donc été orienté autour de trois thématiques : (i) la fonction musculaire, (ii) la capacité d'équilibration et (iii) la capacité aérobie.

La première partie contient du travail en résistance qui est composé d'exercices spécifiques des membres supérieurs et inférieurs, la deuxième partie propose des exercices permettant de travailler la coordination, la souplesse et l'équilibre et enfin la troisième partie propose des exercices à dominante aérobie réalisés alternativement sur ergocycle et sur step.

La composition des séances de ce programme est la suivante (Fig. 30) : 10 minutes d'échauffement, suivies de 15 minutes de travail en résistance puis après une courte pause, 10 minutes de travail d'équilibration suivies de dix minutes de travail à dominante aérobie pour finir par dix minutes de relaxation et d'échanges entre l'entraîneur et les entraînés.

Séance type 60 minutes	Echauffement	10 minutes
	Renforcement	15 minutes
	Pause	5 minutes
	Equilibre	10 minutes
	Endurance	10 minutes
	Relaxation	10 minutes

Fig. 30. Séance type

Ce programme dure 16 semaines et propose 2 séances hebdomadaires d'une heure chacune. Il est composé de 4 cycles de 4 semaines chacun, incluant 3 semaines de travail progressif (augmentation de la quantité avec une intensité stable) et 1 semaine de travail dégressif (la quantité et l'intensité sont diminuées) afin de permettre à l'organisme de récupérer (Fig. 31). Ce programme d'APA multivarié est donc composé de 32 séances, soit une somme de travail totale de 32 heures.

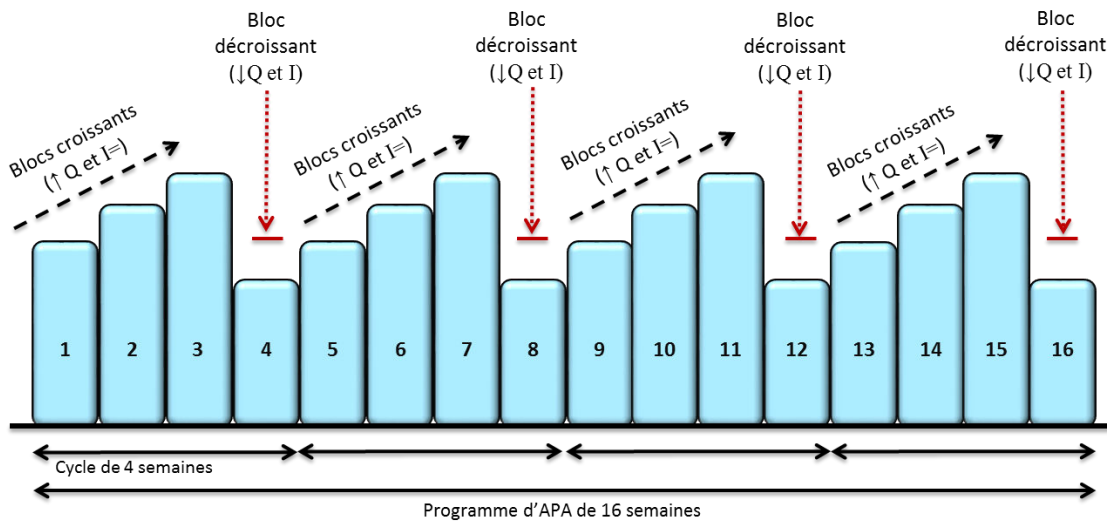


Fig. 31. Planification générale de l'entraînement (Q : Quantité ; I : Intensité)

2.2 DETAIL DES THEMES ABORDES

Chaque thématique abordée, qu'il s'agisse (i) de la fonction musculaire, (ii) de la capacité d'équilibration ou (iii) de la capacité aérobie, est composée de plusieurs situations de départ pour lesquelles sont déclinées des variantes permettant ainsi de se prémunir d'une certaine redondance entre les séances mais surtout pour augmenter la difficulté/complexité de l'exercice proposé. L'ensemble des séances est présenté dans l'annexe 1 (p201).

2.2.1 Exercices de résistance

La partie sur le travail en résistance est composée de 5 thématiques composées de plusieurs situations de départ elles-mêmes déclinées en variantes. Les 5 thématiques sont :

- ✓ Assis/debout
- ✓ Travail des membres inférieurs avec bandes élastiques
- ✓ Debout, travail de squats
- ✓ Debout travail en fentes avant
- ✓ Travail de gainage

La déclinaison d'une situation de départ en variantes est illustrée à titre d'exemple ci-dessous :

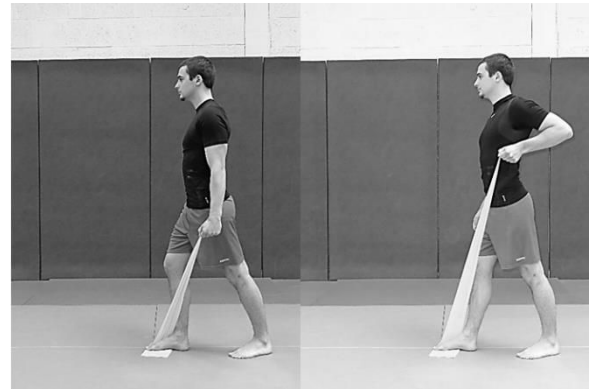
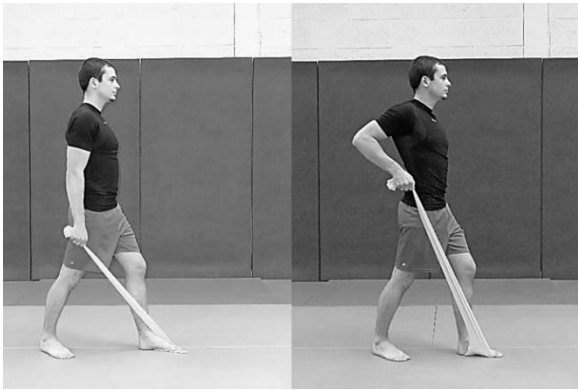
Thématique : Travail des membres inférieurs avec bandes élastiques

Situation de départ : En fente avant, le pied avant sur l'élastique, le tenir avec la main opposée et tirer pour amener le coude derrière la ligne des épaules puis effectuer le même mouvement avec l'autre bras (cf illustrations ci-après).

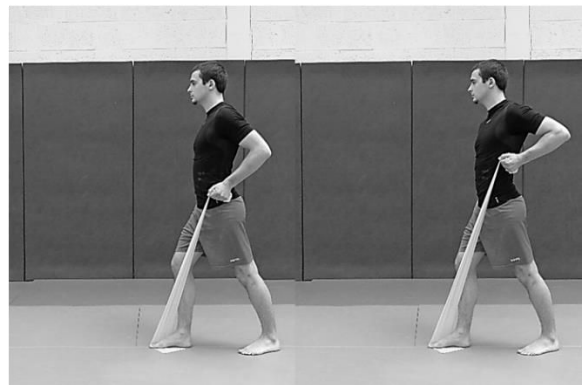
Variante 1 : Idem mais démarrer avec la main au niveau du bassin et le coude déjà fléchi (cf illustrations ci-après).

Variante 2 : Idem mais les deux mains en même temps (cf illustrations ci-après).

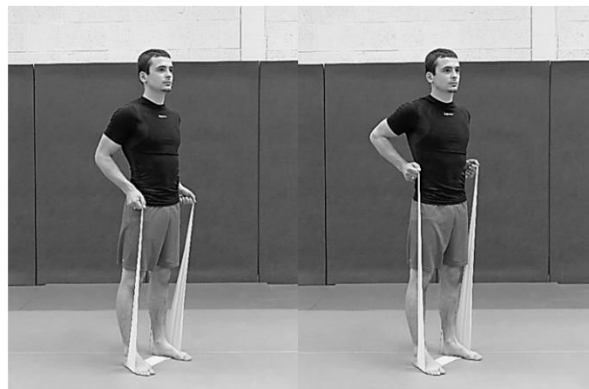
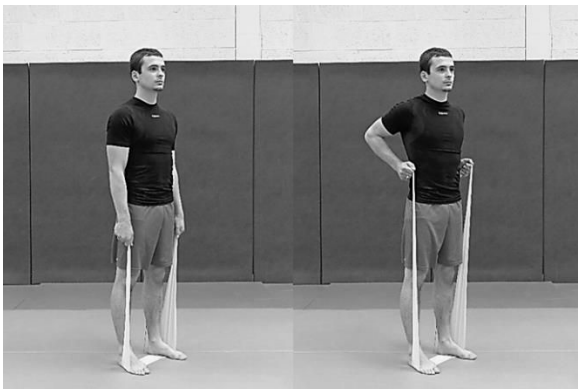
Situation de départ :



Variante 1



Variante 2



2.2.2 Exercices d'équilibration

La partie sur la capacité d'équilibration est composée de 8 thématiques composées de plusieurs situations de départ elles-mêmes déclinées en variantes. Les 8 thématiques sont :

- ✓ Assis-Debout
- ✓ Sauts
- ✓ Modification des entrées sensorielles (e.g. exercices les yeux fermés)
- ✓ Passage au sol
- ✓ Montées de genoux
- ✓ Ramasser un objet au sol
- ✓ Travail avec ballon
- ✓ Mouvement sur plateforme de step

La déclinaison d'une situation de départ en variantes est illustrée à titre d'exemple ci-dessous :

Thématique : Mouvement sur plateforme de step

Situation de départ : Debout sur la plateforme, tendre les bras à gauche puis à droite.

Variante 1 : Idem avec les pieds joints.

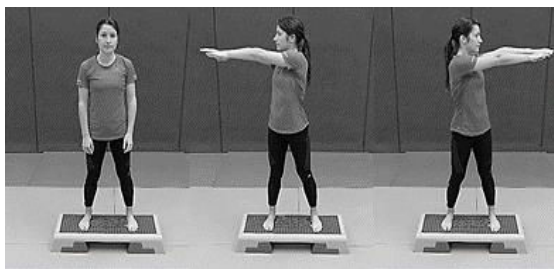
Variante 2 : Idem avec les pieds en tandem.

Variante 3 : Idem avec les pieds écartés et les yeux clos.

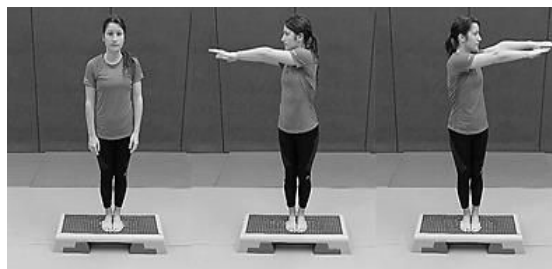
Variante 4 : Idem avec les pieds joints et les yeux clos.

Variante 5 : Idem avec les pieds en tandem et les yeux clos.

Situation de départ



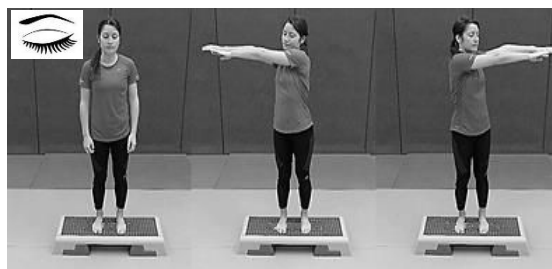
Variante 1



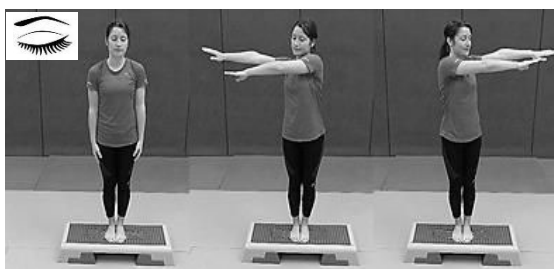
Variante 2



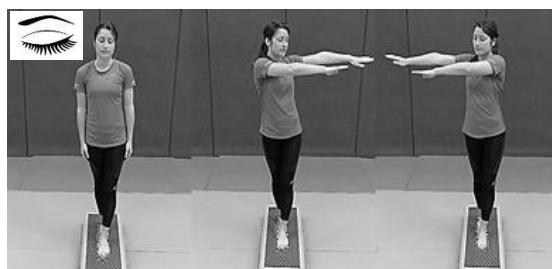
Variante 3



Variante 4



Variante 5



2.2.3 Exercices de type aérobie

La partie sur la capacité aérobie est composée de 2 thématiques effectuées alternativement à chaque séance. Les 2 thématiques sont :

- ✓ Séances sur step
- ✓ Séances sur vélo

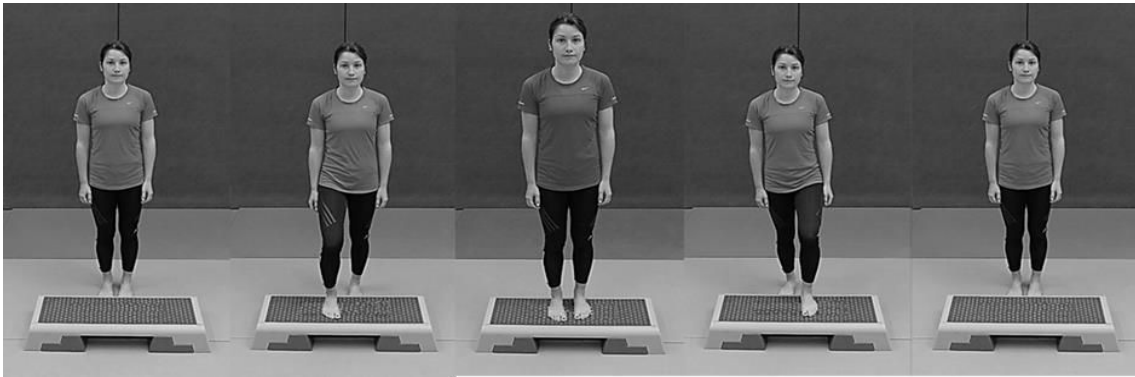
La déclinaison d'une situation de départ en variantes est illustrée à titre d'exemple ci-dessous :

Thématique : Séance sur step

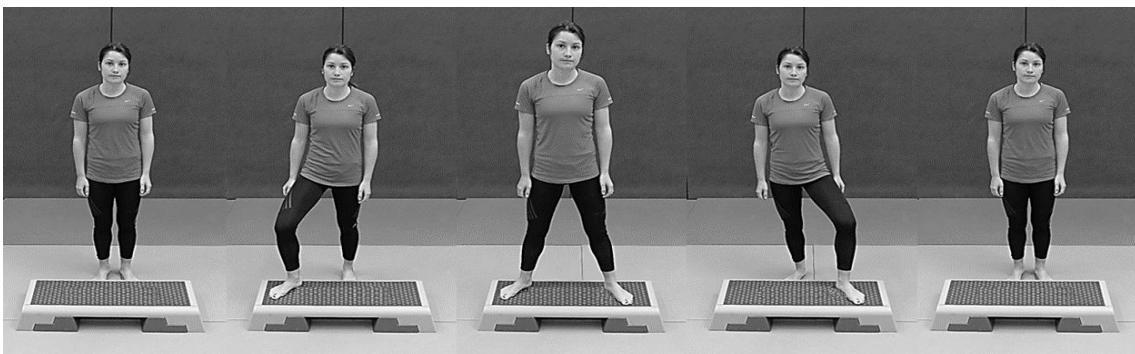
Situation de départ : Mouvement « Basic »

Variante 1 : Mouvement « V Step »

Situation de départ : Mouvement « Basic »



Variante 1 : Mouvement « V Step »



La programmation des séances sur ergocycle est proposée sur un modèle intermittent allant de 60% à 85% de la FC de travail selon le principe de Karvönen illustré par Pillard en 2006 (Fig. 32).

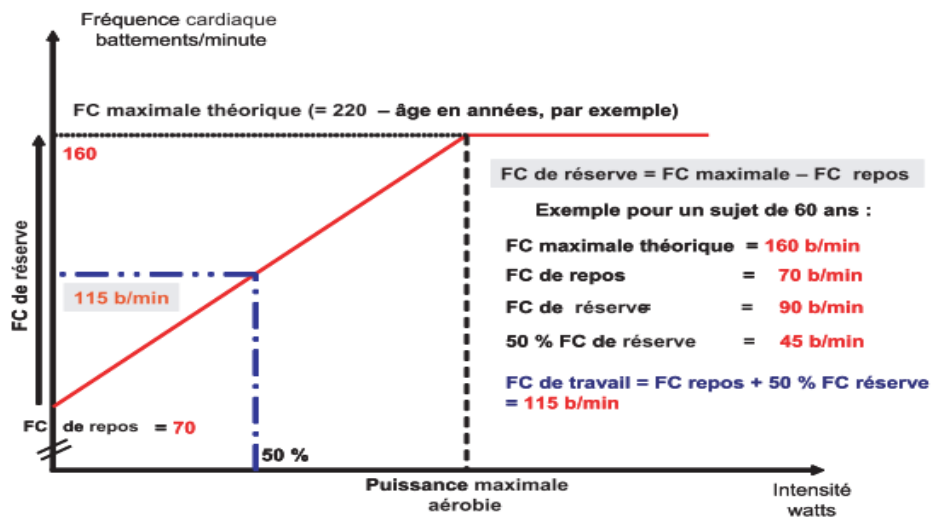


Fig. 32. Principe de l'utilisation de la fréquence cardiaque de réserve pour l'entraînement Pillard (2006).

L'exemple est illustré pour une intensité de travail choisie (en fonction de la capacité en endurance du sujet) correspondant à 50% de la fréquence cardiaque de réserve.

2.2.4 Utilisation du programme

Afin de standardiser ce programme d'entraînement utilisé pour les deux sites pilotes (sites français et italiens) de MOTION, un livret a été réalisé. Initialement publié en anglais, cette brochure a également été traduite en français et en italien afin que les enseignants en APA français et italiens puissent proposer le même programme. Couplé à cette brochure, une formation sur site (Bologne et Caen) a été menée. Certains exercices, identifiés par des pictogrammes pouvaient nécessiter des modifications pour être adaptés aux capacités des participants (Fig. 33).

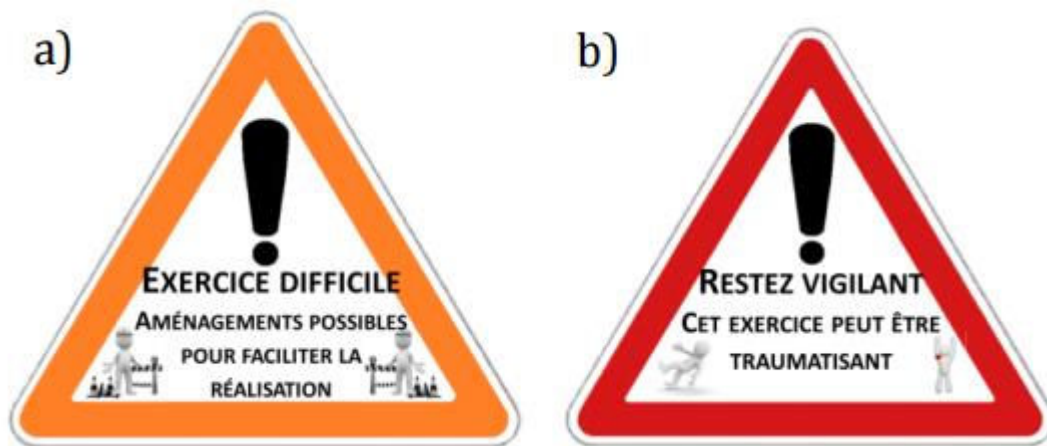


Fig. 33. Pictogrammes extraits de la brochure française.

a) Exercices difficiles, l'enseignant doit être vigilant et peut adapter l'exercice si besoin. b) Rester vigilant car ces exercices peuvent être traumatiques, l'enseignant peut donc décider de les simplifier s'il estime que c'est nécessaire.

PARTIE II- EVALUATION DES EFFETS D'UN PROGRAMME D'APA

2.1 METHODOLOGIE

Ce travail de thèse s'effectue dans le cadre du projet MOTION, qui participe au partenariat européen d'innovation pour un vieillissement actif et en bonne santé (EIPAHHA). Un consortium de 9 partenaires européens a été mis en place (Fig. 34) (SielBleu : organisation à but non lucratif ; Cup 2000, M3Connect, Neolinks, Arx iT : entreprises chargées du développement technologique adapté aux seniors, Schultess Klinik et LIST : centres de recherche, COMETE et Unibo : centres de recherche universitaires), organisé autour de deux sites pilotes en Italie et en France. Ce projet a débuté en septembre 2013 et s'est terminé en décembre 2016.

Différents critères permettent la sélection de sujets âgés volontaires ; notons que cette méthodologie est différente pour les deux sites pilotes du projet MOTION. Nous nous intéressons ici au site pilote français.



Fig. 34. Consortium européen de 9 partenaires

2.1.1 Critères de sélection de la population expérimentale

2.1.1.1 Critères d'inclusion des personnes qui se prêtent à la recherche

- ✓ Sujet volontaire
- ✓ Sujet âgé de 68 à 82 ans

- ✓ Ayant une typologie du sommeil « intermédiaire » ou « modérément du matin » ou « modérément du soir »
- ✓ Ayant des capacités cognitives permettant la compréhension de consignes orales, objectivées par un score au MMS supérieur ou égal à « 26 »

2.1.1.2 Critères de non inclusion

- ✓ Pratique physique encadrée supérieure à 1h30 hebdomadaire
- ✓ Illettrisme
- ✓ Troubles de la vigilance diurne ou du sommeil : insomnies, parasomnies ou hypersomnies,
- ✓ Traitements bradycardisants (bétabloquants, digitaliques, antiarythmiques, inhibiteurs calciques bradycardisants),
- ✓ Anomalie(s) vestibulaire, neurologique, oculomotrice, auditive et/ou visuelle non corrigée(s),
- ✓ Pathologies démentielles (maladie d'Alzheimer, démence vasculaire),
- ✓ Affection neurologique évolutive (tumeur cérébrale, épilepsie, migraine, accident vasculaire cérébral, sclérose, myoclonie, chorée, neuropathie, dystrophies musculaires, dystrophie myotonique, maladie de Parkinson),
- ✓ Pathologies cardiovasculaires (hypertension artérielle non contrôlée, maladie coronarienne, insuffisance cardiaque, arythmie cardiaque par fibrillation auriculaire),
- ✓ Insuffisance respiratoire,
- ✓ Hospitalisation récente (< 30 jours),
- ✓ Pathologie engageant le pronostic vital à court terme (cancer évolutif généralisé),
- ✓ Affection psychiatrique instable (psychose, dépression caractérisée ou troubles bipolaires),
- ✓ Pathologie endocrinienne (hypothyroïdie, hyperthyroïdie, diabète de type 1)
- ✓ Présenter une toxicomanie, une dépendance à l'alcool pendant les 6 derniers mois

2.1.2 Procédure expérimentale

2.1.2.1 Organisation temporelle

Lors de la visite médicale et selon les différents critères exposés précédemment, le médecin a décidé de l'inclusion de la personne au sein du protocole. Une fois recrutés (avis CERSTAPS n° 2015_06_07_10, lettre d'information et consentement signés), les sujets ont été affectés soit à un groupe d'entraînement en face à face (GF), soit à un groupe d'entraînement en visioconférence (GV), soit à un groupe témoin sans entraînement (GT). Ils ont ensuite participé à une procédure expérimentale comprenant différentes évaluations avant (pré-tests ou T1) et après (post-tests ou T2) la période dédiée à l'entraînement (Fig. 35).

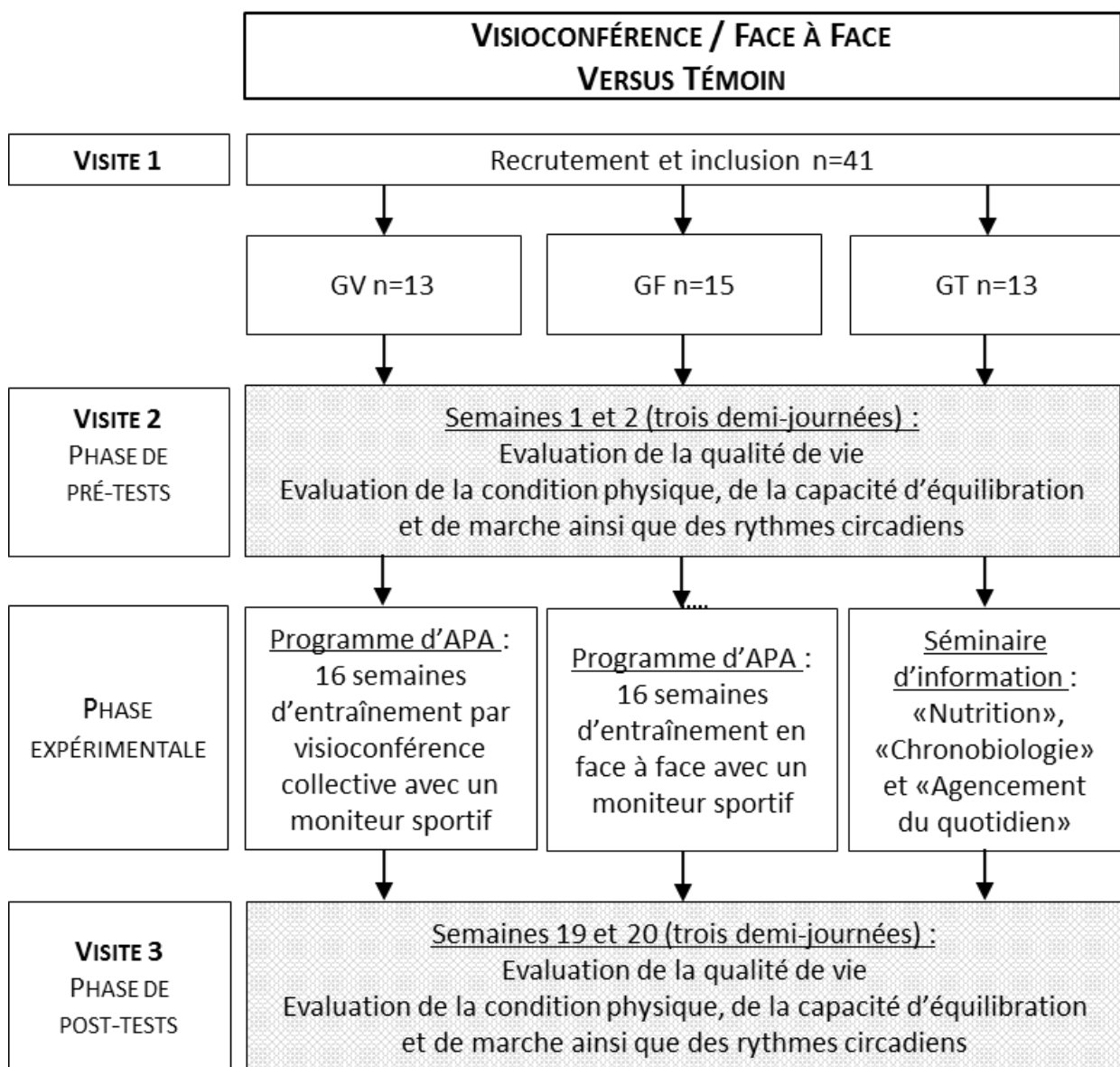


Fig. 35. Organisation du protocole de recherche pour le groupe en visioconférence (GV), le groupe témoin (GT) et le groupe en face à face (GF)

2.1.3 Déroutement pratique de l'étude

2.1.3.1 Présélection

Une présélection géographique a été effectuée par l'association Siel Bleu. La localisation géographique des potentiels participants devaient les placer à proximité d'un multiplexeur d'accès à la ligne d'abonné numérique (DSLAM) assurant ainsi une qualité de débit suffisante à l'utilisation d'un système de visioconférence collectif.

Un autre critère de présélection a été la tranche d'âge comprise entre 68 et 82 ans.

2.1.3.2 Recrutement et inclusion (visite 1)

La période de recrutement des 48 personnes a débuté en mai 2015 et s'est terminée en février 2016 pour tous les groupes (GV, GT et GF) avec 41 personnes recrutées. Une visite d'inclusion a été programmée à l'Institut Régional de Médecine du Sport (IRMS) de Caen. Elle était composée d'un examen clinique général, de la vérification des critères de sélection et de non inclusion ainsi que du questionnaire de Horne et Östberg (1976) afin de déterminer la typologie circadienne. Lors de cette visite, le médecin investigateur a informé le participant et a répondu à ses questions concernant l'objectif, la nature des contraintes, les risques prévisibles et les bénéfices attendus lors de cette recherche. Il lui a également exposé les droits du participant dans le cadre d'une recherche biomédicale. Un exemplaire de la note d'information et du formulaire de consentement a alors été remis au participant.

Les contraintes techniques et géographiques imposées par le fonctionnement de la visioconférence (accès internet haut débit) ne permettaient pas d'effectuer une randomisation.

2.1.3.3 Constitution des groupes

A la fin de la période de recrutement, 45 personnes avaient été incluses dans l'étude. La constitution des groupes était la suivante : un GV de 16 participants, un GF de 16 participants et un GT de 13 participants. Pour des raisons d'ordre médical ou personnel, 4 participants ont retiré leur consentement impactant les groupes de la manière suivante : un GV de 13 participants (3 personnes), un GF de 15 participants (1 personne) et un GT avec 13 participants. Les résultats présentés dans ce manuscrit concerneront les 41 sujets ayant participé à l'intégralité de la procédure expérimentale.

2.1.3.4 Phase de Pré-tests ou T1 (Visite n°2)

Les participants ont effectué une phase de pré-tests avant le début de la période expérimentale (Fig. 36). Cette phase a été organisée en trois demi-journées (4 heures) appelées JT1 (journée de test), JT2 et JT3 réparties sur deux semaines consécutives.

Déroulement de JT1 (2h) :

- Composition corporelle
- Posturographie
- Mesure de la force

Déroulement de JT2 (1h):

- Fonction vestibulaire
- Paramètres de la marche

Déroulement de JT3 (1h) :

- Capacité aérobie

Les JT1 et JT2 ont été contrebalancées. Un participant sur deux a démarré par JT1. Entre ces deux demi-journées de tests, les mesures d'actimétrie et de température, ainsi que les échelles de fatigue et de somnolence ont été réalisées par les participants à leur domicile. Ils ont également répondu au questionnaire de qualité de vie SF-36 ainsi qu'au questionnaire sur le bien-être psychologique développé dans le cadre du projet MOTION. Les tests se sont déroulés entre 13h30 et 17h30.

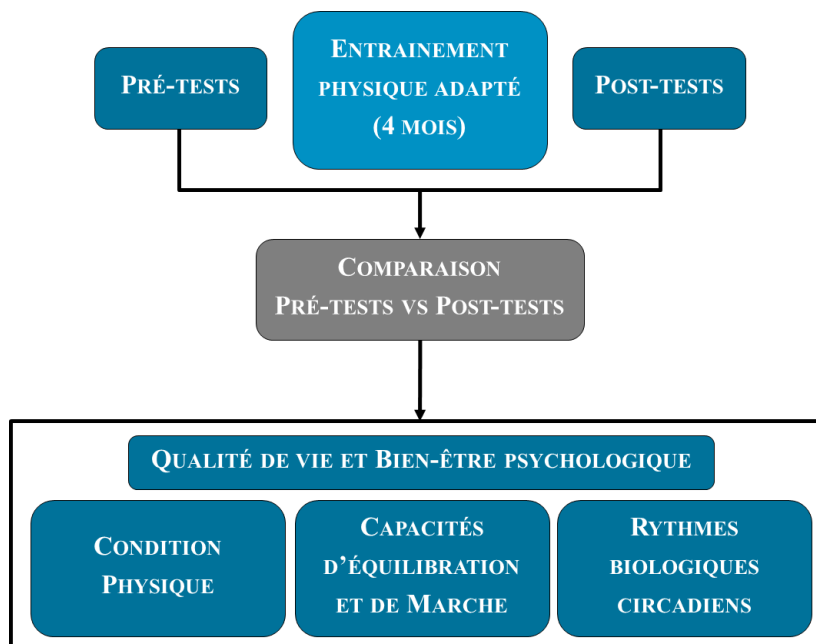


Fig. 36. Déroulement du protocole

2.1.3.5 Protocole d'entraînement et gestion des groupes

Les groupes GV et GF ont suivi le même protocole d'entraînement dans des conditions d'administration différentes et le groupe témoin GT a été convié à un séminaire d'information.

Les groupes en face à face et en visioconférence ont suivi un programme d'entraînement sur une période de 16 semaines. Ils ont été sollicités deux fois une heure par semaine afin d'effectuer leur séance d'entraînement à domicile. Ces séances ont été dispensées entre 14h et 17h par des moniteurs sportifs du groupe associatif Siel Bleu qui propose depuis 1997 des programmes utilisant l'activité physique adaptée comme un outil de prévention, de santé et de bien-être. Les horaires et jours de séances fixés pour chaque participant ont été maintenus sur l'ensemble du programme. Six moniteurs sportifs sont intervenus (quatre en face à face et deux en visioconférence), ainsi chaque participant a été suivi par le même moniteur sur l'ensemble du programme.

Afin de motiver et de donner un intérêt à la participation des témoins, il leur a été proposé un séminaire d'information sur les effets de l'activité physique lors du vieillissement. Ce séminaire ayant eu lieu en fin d'expérimentation, les résultats préliminaires de l'étude leur ont été présentés.

2.1.3.6 Phase de post-tests ou T2 (Visite n°3)

La phase de post-tests s'est déroulée selon un protocole identique à celui des pré-tests. L'ordre et l'heure de passation des tests ont été respectés entre les pré-tests et les post-tests.

2.2 DESCRIPTION DES TESTS EFFECTUES – RECUEIL ET ANALYSE DES DONNEES

En vue d'améliorer les caractéristiques physiologiques et le bien-être des participants et ainsi contrer les effets de la vie sédentaire, des exercices de résistance, d'équilibre et des exercices à dominante aérobie ont systématiquement été proposés durant le programme d'entraînement. Afin d'analyser les effets de cet entraînement, il était essentiel de procéder à une évaluation de la fonction musculaire, de la capacité d'équilibration et de la capacité aérobie. Ces trois dimensions sont généralement utilisées afin de comprendre les effets d'un entraînement physique sur les personnes âgées (Binder et al. 2002, Rubenstein et al. 2000, Nelson et al. 2004).

En plus de ces trois fonctions, les rythmes biologiques impliqués dans la qualité de vie et la fonction vestibulaire largement impliquée dans l'équilibration, sont modifiés par le vieillissement et peuvent également être influencés par l'activité physique. En effet, des études antérieures ont montré que les rythmes biologiques qui étaient altérés chez les personnes âgées (Myers et Badia 1995, Monk 2005) pouvaient être améliorés par l'activité physique adaptée (Gruau et al 2003). Il est également connu que la sensibilité vestibulaire diminue avec le vieillissement, mais peut être améliorée par l'activité physique (Gauchard et al. 2004). En conséquence, la fonction vestibulaire et les rythmes biologiques ont également été évalués.

Enfin, l'objectif principal de ce programme d'entraînement étant l'amélioration de la qualité de vie des participants, incluant donc le bien-être psychologique (Hughes 1984, Hicks et al. 2003), leurs évaluations ont donc été mises en place.

2.2.1 Qualité de vie

2.2.1.1 Questionnaire de qualité de vie SF36

Pour évaluer la qualité de vie nous avons utilisé le questionnaire SF-36 (Leplège et al. 2001). Cette échelle d'auto-évaluation de la qualité de vie est dérivée de la Medical Outcome Study (Ware et Sherbourne 1992). Elle s'articule autour de 36 items répartis en 11 questions destinées à obtenir une mesure générique de l'état de santé perceptuel. Huit dimensions de la santé physique, émotionnelle et sociale sont évaluées (fonctionnement physique, limitation physique, douleur physique, santé générale, vitalité, fonctionnement social, limitation émotionnelle et santé mentale). Pour chacune, un score variant de 0 à 100 est obtenu; les scores tendant vers 100 indiquant une meilleure qualité de vie. A partir de ces huit échelles, il est possible de calculer deux scores synthétiques qui ont été identifiés par analyse factorielle : un score de santé physique générale et un score de santé psychique.

Au travers de l'auto-évaluation de la qualité de vie, le SF-36 permet une appréciation subjective de la santé physique générale qui a été objectivée par des mesures de la condition physique, de l'équilibre, de la marche et du cycle veille-sommeil des individus.

2.2.1.2 Questionnaire de bien-être psychologique

De nombreux questionnaires évaluant la qualité de vie, l'estime de soi, le sentiment d'auto-efficacité ou la valeur physique perçue, existent. Selon les disciplines, les auteurs, les populations cibles et les objectifs alloués aux études, l'utilisation des questionnaires diffère. Ces questionnaires ont parfois été validés avec des populations distinctes de la population participante au projet MOTION et se révèlent peu adaptés. De plus, certains abordent peu ou pas la dimension physique et corporelle. Par conséquent, il était nécessaire de développer un outil évaluant les différents concepts du bien-être psychologique au sein d'un même questionnaire.

Ainsi, dans le cadre du projet MOTION, un questionnaire permettant d'évaluer le bien être psychologique des sujets âgés a été développé et est en cours de validation (Bigot et al soumis, Annexe 2 p247 et Annexe 3 p256). Ce questionnaire auto administré est composé de 23 items associés à une échelle de Likert en 5 points (de 1 « pas du tout d'accord » à 5 « tout à fait d'accord ») et permet de mesurer quatre dimensions (la perception physique, la socialisation, les réactions émotionnelles et les perceptions de soi). Pour chacune, on obtient un score variant de 0 à 30 ; les scores tendant vers 30 indiquant l'accomplissement psychologique

de la dimension évaluée. A partir de ces quatre dimensions, il est possible de calculer un score global indiquant un bien-être global, score synthétique ayant été identifié par analyse factorielle.

2.2.2 Condition physique

2.2.2.1 Fonction musculaire

2.2.2.1.1 Force d'agrippement

La force développée en isométrie par les membres supérieurs (la force d'agrippement de la main) a été enregistrée avec un dynamomètre à main (modèle TK-200®) (Fig. 37).



Fig. 37. Dynamomètre à main TK-200®

Des mesures (main dominante et non dominante) ont été recueillies dans une position normalisée standard afin d'obtenir de meilleurs résultats et de limiter la variation de force recueillie (Boadella et al. 2005; Watanabe et al. 2005). Les sujets étaient debout, les bras le long du corps et ces conditions étaient maintenues entre chaque session afin d'éviter les variations de force liée à la posture (Balogun, Adenlola, et Akinloye 1991).

Il était demandé au sujet d'exercer une pression maximale pendant 3 à 5 secondes pour chaque mesure (main dominante et non dominante). Un intervalle d'une minute entre chaque mesure de la même main était respecté afin d'éviter les effets de la fatigue. Les sujets disposaient de 3 essais par main, la valeur maximale de la main dominante et de la main non dominante, exprimée en kilogrammes, ont été retenues.

2.2.2.1.2 Extension du dos

Pour ce test, les participants devaient se tenir sur la plateforme du dynamomètre (Fig. 38) avec les pieds écartés d'environ 15 cm et les jambes droites. Ils devaient tenir la poignée avec les deux mains alors que la longueur de la chaîne avait été ajustée de façon à ce que leur dos soit incliné d'environ 30° vers l'avant par rapport à la verticale et ces conditions étaient maintenues entre les deux sessions de tests afin d'éviter les variations de force liées à la posture. Il leur était demandé de tirer sur la poignée en se redressant tout en gardant les jambes tendues

pendant environ 5 secondes. Trois mesures, exprimées en kilogrammes, ont été recueillies dans cette position avec un repos d'1 minute entre chaque essai. Le meilleur des trois essais a été retenu.



Fig. 38. Dynamomètre à dos TK300

2.2.2.1.3 Puissance des membres inférieurs

Afin de déterminer la puissance d'extension de la jambe des participants, la Nottingham Power Rig a été utilisée (Fig. 39). Il s'agit d'une plateforme spécifiquement conçue pour être utilisée avec une population âgée (Bassey et Short 1990).



Fig. 39. Nottingham Power Rig

Cette plateforme est composée d'un siège et d'un repose-pied qui est relié à un volant d'inertie par l'intermédiaire d'un levier et d'une chaîne. Les participants étaient assis sur le siège et devaient étendre leur jambe testée (jambe droite) le plus rapidement possible en poussant le repose-pied vers l'avant jusqu'à atteindre la position finale. La distance entre le siège et le repose pied était mesurée afin d'effectuer les deux sessions de tests dans les mêmes conditions. Les participants ont effectué 8 essais incluant 30 secondes de pause entre chaque.

La puissance développée, exprimée en watts, a été ramenée au poids de l'individu à chaque session. Pour chacune des deux sessions de test, le meilleur des huit essais réalisés a été retenu.

2.2.2.1.4 Force des extenseurs et fléchisseurs du genou

Le dynamomètre isocinétique de type Cybex NORM® (CYBEX International, Belton, USA) a été utilisé pour l'évaluation de la force des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou droit. Ce dynamomètre permet de réaliser des actions musculaires isométriques et dynamiques lors de mouvements mono-articulaires, mono-axiaux et à vitesses constantes et prédéfinies.

Les participants ont été installés en position assise sur le siège du dynamomètre, de manière à aligner l'axe de rotation du genou avec l'axe de rotation du moteur (Fig. 40). La jambe testée (jambe droite) était fixée au bras de levier au moyen d'une sangle placée 2 à 3 cm au-dessus de la malléole. La jambe non testée (jambe gauche) a été positionnée en flexion contre un butoir et le buste était maintenu fixe par un système de harnais fixe afin de limiter les mouvements de compensation.



Fig. 40. Positionnement des participants lors de l'évaluation des propriétés des muscles extenseurs et fléchisseurs du genou.

Dans cette position, les participants devaient réaliser des actions isométriques et dynamiques en concentrique :

- ✓ à la position de 45° de flexion du genou, les participants devaient effectuer 3 actions isométriques maximales de 5 secondes avec une pause de 30 s entre chaque essai en extension et flexion du genou, le peak torque (moment de force maximal) ou MVC du meilleur essai exprimé en Newton-mètre a été retenu,
- ✓ à la position de 45° de flexion du genou, les participants devaient effectuer 3 actions isométriques avec pour objectif d'atteindre le niveau de force maximale le plus rapidement possible, le pic positif de la dérivée du signal (ou pic RFD), exprimé en Newton-mètre par seconde a été retenu sur le meilleur essai,

- ✓ aux vitesses angulaires de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ (3 répétitions) et $240^{\circ} \cdot s^{-1}$ (5 répétitions), les participants devaient réaliser des actions dynamiques concentriques maximales d'extension et de flexion du genou entrecoupées d'un temps de repos de 60 secondes, le peak torque (moment de force maximal) ou MVC du meilleur essai exprimé en Newton-mètre, en extension et en flexion, a été retenu,
- ✓ avec un angle de 45° de flexion du genou, les participants devaient réaliser un test d'endurance musculaire isométrique en maintenant une intensité équivalente à 50% du moment musculaire maximal isométrique pendant 30 secondes. La précision et la stabilité des 5 premières secondes (segment 1) et des 5 dernières secondes (segment 2) ont été calculées, les valeurs sont exprimées en pourcentage.

Précision calculée ainsi : $\frac{Mean\ Torque\ 5s - Target\ Torque\ 50\% MVC}{Target\ Torque\ 50\% MVC} \times 100$

Stabilité calculée ainsi : $\frac{SD\ Torque\ 5s}{Mean\ Torque\ 5s} \times 100$

2.2.2.1.5 Force des fléchisseurs plantaires et dorsaux de la cheville

Les participants étaient assis sur un ergomètre « WELIENCE » (Fig. 41) permettant l'évaluation de la force développée par les muscles fléchisseurs plantaires et dorsaux de la cheville droite en position isométrique standard (soit un angle de 90° entre le pied et la jambe, genou fléchi entre 5° et 15° , 0° représentant l'extension totale). Le membre controlatéral était laissé libre. Les participants avaient pour consigne de pousser (« comme sur une pédale d'accélérateur ») aussi fort que possible durant 5 secondes, puis de tirer vers eux aussi fort que possible pendant 5 secondes. Trois essais pour chaque mesure ont été effectués avec une période de repos de 30 secondes entre les différents essais. Le pic de force ou MVC, exprimé en newtons, du meilleur essai dans chaque condition a été retenu.



Fig. 41. Ergomètre « WELIENCE »

2.2.2.2 Capacité aérobie

Pour évaluer la condition physique, un test d'effort a été réalisé sur bicyclette ergométrique (Ergoline er900®) (Fig. 42.) sous le contrôle d'un médecin responsable de l'examen et d'une infirmière spécialisée. Le test d'effort a été de type triangulaire et continu par mesure directe avec une puissance de départ de 30 watts. Les sujets devaient pédaler le plus longtemps possible alors que toutes les 2 minutes la charge était augmentée d'un palier de 20 watts.



Fig. 42. Bicyclette ergométrique utilisée pour la réalisation du test d'effort.

Avant le début de l'épreuve (valeurs de repos), à chaque palier (valeurs relatives), jusqu'à la fin de l'épreuve (valeurs maximales) et pendant les trois minutes de récupération passive sur le vélo qui ont suivi (valeurs de récupération), la puissance développée, le débit d'O₂ et de CO₂ ont été enregistrés en continu. La fréquence cardiaque ainsi que l'ECG étaient également enregistrés en continu et la tension artérielle à la fin de chaque palier. Ces mesures permettaient au médecin suivant le déroulement de l'épreuve d'effort, de détecter d'éventuelles anomalies dans le déroulement du cycle cardiaque et de prononcer l'arrêt de l'effort, si nécessaire.

Le régime ventilatoire et les échanges gazeux ont été mesurés cycle à cycle en continu grâce à un pneumotachographe. En parallèle, un capillaire amenait aux analyseurs d'oxygène et de dioxyde de carbone les échantillons gazeux inspirés et expirés prélevés à la bouche. Les paramètres tels que, la ventilation, la consommation d'oxygène et le quotient respiratoire ont été pris en compte.

L'atteinte des critères du VO₂ max proposés par Åstrand et al. (1994), était appréciée par le médecin qui considérait à la fois l'apparition d'un plateau sur les enregistrements en continu de la FC et du VO₂, l'incapacité à suivre la puissance imposée et une dégradation du pédalage. Le

critère majeur est que l'augmentation de la consommation d'oxygène du dernier palier ne dépasse pas 100 ml/min^{-1} malgré l'augmentation de la puissance (Di Prampero et al. 1993).

Les valeurs retenues pour notre étude étaient la consommation maximale en oxygène ($\text{VO}_2 \text{ max}$), la puissance maximale aérobie (PMA), la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}) et le quotient respiratoire ($\text{QR}=\text{VCO}_2/\text{VO}_2$).

2.2.2.3 Composition corporelle

Le moniteur BIA 101 (Fig. 43) est un impédancemètre permettant l'analyse de la composition corporelle.



Fig. 43. Moniteur BIA101®

Deux électrodes étaient placées sur la main droite des participants, et deux autres sur le pied droit comme le montre le schéma ci-dessous (Fig. 44). Les jambes étaient écartées entre elles de 45° et les bras de 30° par rapport au tronc. La distance inter-électrode était de 5 cm minimum. L'analyse de la composition corporelle a commencé après un repos allongé de 5 min minimum. Les pourcentages de masse grasse et de masse maigre par rapport au poids de corps ont été enregistrés.

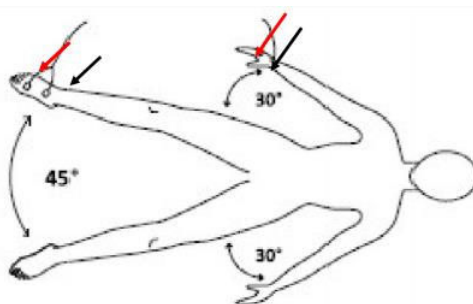


Fig. 44. Position du participant et des électrodes

2.2.3 *Fonctions d'équilibration*

2.2.3.1 **Posturographie**

La posturographie est un outil d'analyse de l'équilibre, qui peut-être de type statique ou dynamique. La plateforme de force est donc l'outil le plus fréquemment employé. La capacité des individus à maintenir leur équilibre a été évaluée à partir de mesures réalisées sur la plateforme Synapsys (Fig. 45).



Fig. 45. Plateforme posturographique SPS Synapsys ®

Les participants devaient se tenir droit sur la plateforme avec les pieds écartés selon un angle de 30° et garder les bras le long du corps tout en regardant droit devant eux. Dans cette position, les participants devaient maintenir leur équilibre dans les conditions suivantes :

- ✓ Statique avec les yeux ouverts puis fermés,
- ✓ Dynamique sur translateur trapézoïdale avec les yeux ouverts puis fermés,
- ✓ Dynamique sur translateur sinusoïdale avec les yeux ouverts puis fermés.

Les paramètres de surface (exprimée en mm²) et de longueur (exprimée en mm) du centre de pression ont été retenus dans les conditions statique et dynamique. Afin d'évaluer la place des informations visuelles dans le maintien de la posture en statique, le quotient de Romberg a été calculé avec la formule suivante : $\left(\frac{Surface\ YO}{Surface\ YF}\right) * 100$.

2.2.3.2 **Exploration de la fonction vestibulaire**

Le RVO et ici plus particulièrement le réflexe canaliculo-oculaire (RCO) provient de la mise en jeu simultanée des deux canaux semi-circulaires horizontaux (stimulation du CSC du côté

de la rotation et inhibition de l'autre). Le réflexe canaliculo-oculaire a été évalué lors d'un échelon de vitesse (Fig. 46). Les phases d'accélération et de décélération constituent la stimulation des CSC horizontaux et entraînent des mouvements oculaires qui compensent les mouvements de tête.

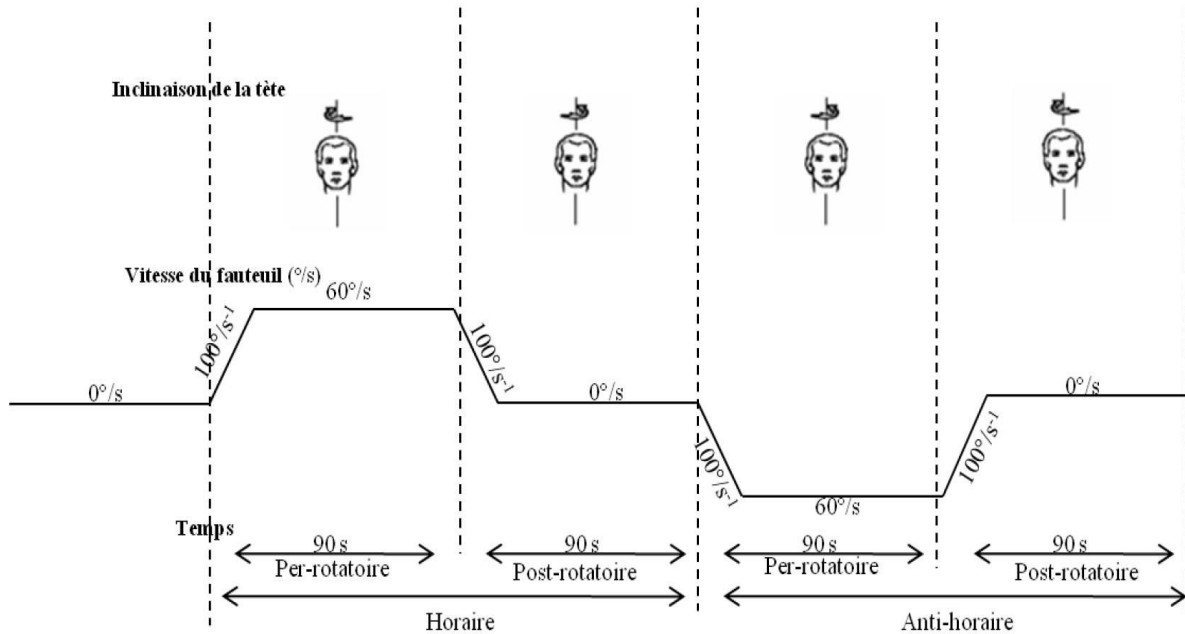


Fig. 46. Echelon de vitesse

L'exploration vestibulaire a été effectuée sur fauteuil rotatoire GigaTorque (Fig. 47). Le fauteuil rotatoire est placé au centre d'une pièce dans l'obscurité complète. Les participants étaient installés dans le fauteuil, puis sécurisés au moyen d'un harnais. Afin d'enregistrer les mouvements oculaires, un masque équipé du système de vidéonystagmographie NysStar1 a été installé et réglé à la tête des participants.



Fig. 47. Fauteuil rotatoire GigaTorque et système de vidéonystagmographie NysStar1

Un test d'échelon de vitesse de type trapézoïdal composé de deux rotations de 90 secondes (rotation à vitesse constante selon l'axe vertical, stimulation des canaux semi-circulaires) a été effectué. La vitesse de rotation angulaire du fauteuil est de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ et les accélérations et décélérations étaient de $60^{\circ}/s^{-2}$. Ce protocole était réalisé en rotation horaire (stimulation CSC droit) et antihoraire (stimulation CSC gauche) de façon alternée à chaque participant pour ne pas introduire d'effet « ordre de passage ». Les paramètres retenus étaient la constante de temps et la vitesse du mouvement de l'œil.

La première étape de l'analyse du nystagmus du RVO angulaire est le calcul de la vitesse des mouvements oculaires, effectué numériquement par un filtre différentiateur (pas de 50 ms). Puis le repérage des phases lentes (Fig. 48) sur le tracé de la position oculaire se fait en deux étapes : une détection automatique par le logiciel Disoft II et une correction manuelle. Les phases rapides sont repérées par un algorithme utilisant un seuil en vitesse et en accélération. Enfin, les marqueurs de phases lentes qui ont été posés automatiquement sont vérifiés manuellement et corrigés si nécessaire.

Les paramètres du RCO sont donc la constante de temps (CT) et la vitesse initiale maximale (Vimax). La Vimax est déterminée comme la phase lente qui présente la vitesse la plus élevée, une fois détectée, elle est "marquée" manuellement. Les phases lentes qui la précèdent sont éliminées. Le logiciel Disoft II conserve alors la vitesse de cette phase lente la plus "rapide"

sous le nom de vitesse initiale maximale (Fig. 48). Les phases lentes sont repérées jusqu'à l'extinction ou l'inversion du nystagmus (il est fréquent d'observer une phase secondaire, mais elle n'est pas prise en compte).

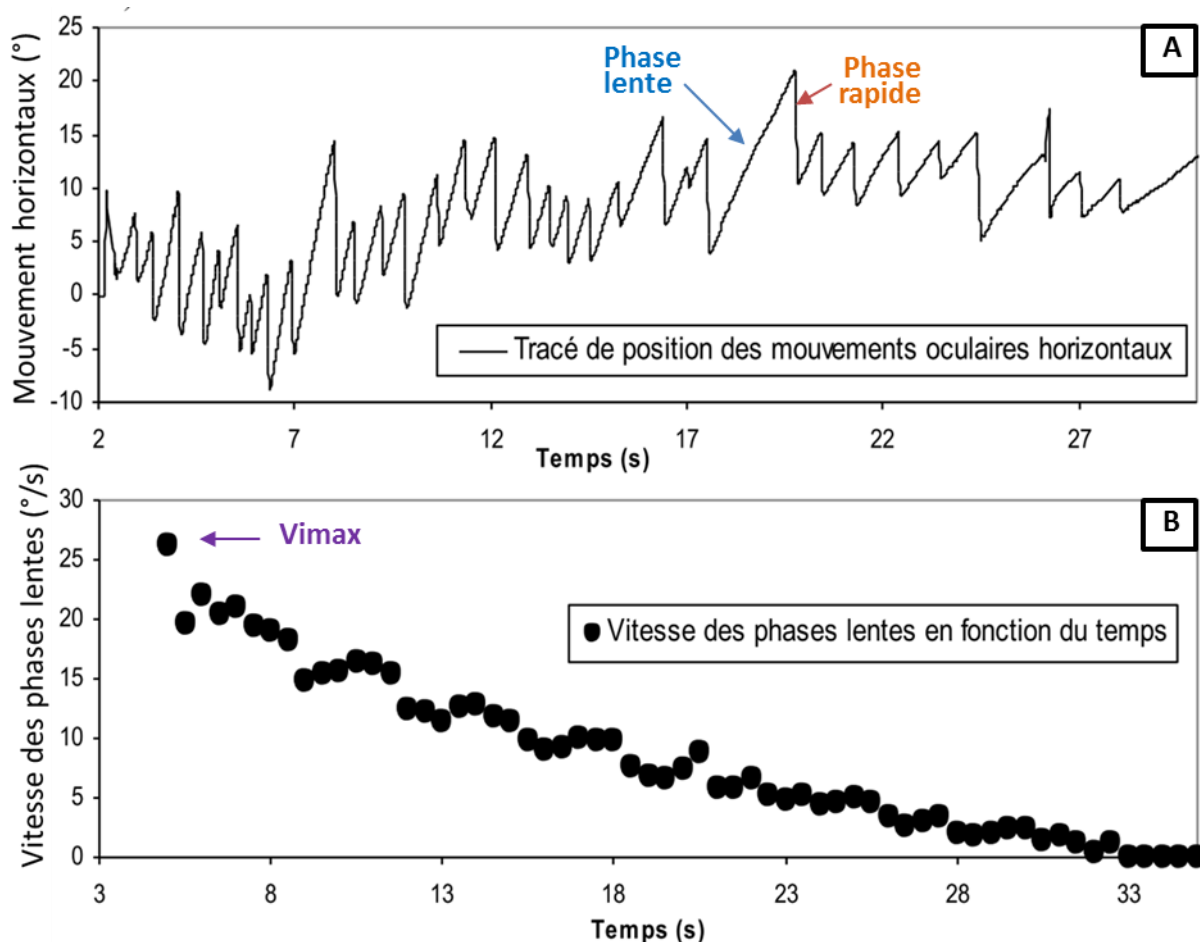


Fig. 48. Exemple de traitement des données pour un per rotatoire pour un sujet.

A) Le tracé de position des mouvements oculaires horizontaux en fonction du temps. B) Représentation de la vitesse des phases lentes ($^{\circ}\cdot s^{-1}$) des nystagmus vestibulaires en fonction du temps. En théorie, cette fonction décrit une exponentielle décroissante. A partir de ce tracé, le logiciel Disoft II calcule la constante de temps à 63% de surface totale sous-tendue par cette courbe. La vitesse initiale maximale est déterminée manuellement. (Tanguy 2008)

2.2.3.3 Paramètres de la marche et paradigme de double-tâche (DT)

2.2.3.3.1 Marche simple

La vitesse de la marche et la variabilité du pas ont été mesurés à l'aide d'un système d'analyse OptoGait de 8 mètres de long (Fig. 49). Les participants devaient parcourir une distance de 8 mètres en adoptant une allure de marche normale (2 essais). La vitesse moyenne ainsi que la variabilité moyenne du pas sur ces deux essais ont été les paramètres retenus.



Fig. 49. Couloir de marche de 8 mètres de long

2.2.3.3.2 Marche et paradigme de la double tâche (DT)

Les participants devaient effectuer une tâche visuo-spatiale (MOT) en statique et lors de la marche. Lors de cette tâche informatisée, les participants devaient suivre du regard des cibles se déplaçant au sein de distracteurs (Pothier et al. 2015).

L'expérimentateur démarrait l'épreuve lorsque le participant était prêt, les objets se déplaçaient alors au sein d'un rectangle blanc (une vitesse lente, une vitesse rapide). La (les) cible(s) (de 1 à 3) à suivre étaient en jaune lors de la phase d'acquisition. Au bout d'une seconde, la (les) cible(s) devenaient rouges lors de la phase de poursuite de cible(s), comme les objets distracteurs. 10 secondes après le début de l'épreuve, les objets s'arrêtaient de bouger ; le participant devait alors pointer la (les) cible(s) qu'il avait suivie(s) du regard. Un feed-back était alors inscrit à l'écran. La combinaison du MOT et de la marche constituaient le paradigme de DT « MAR-MOT » (Fig. 50).

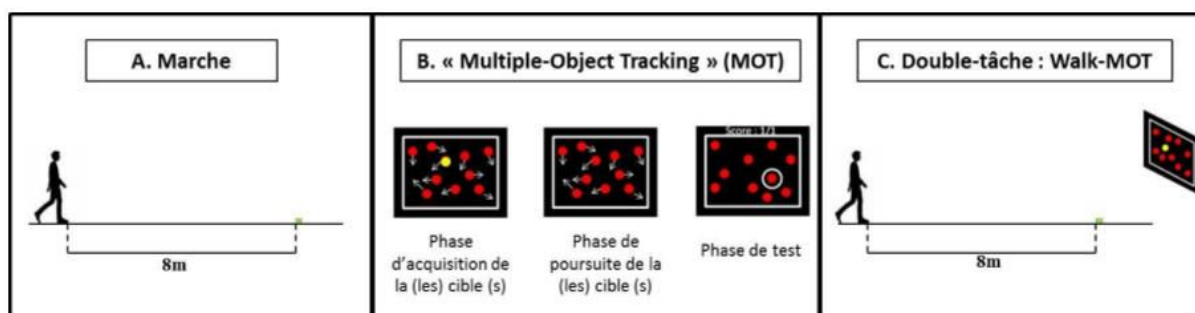


Fig. 50. Tâches utilisées au sein du paradigme de DT (Tiré de la thèse de K.Pothier, 2014) ;

La réalisation de la marche simple, de la tâche visuo-spatiale seule et de la marche en condition de DT ont permis de calculer le coût de la DT sur la marche ($\text{Coût DT}_{\text{Marche}}$), le coût de la DT sur les performances visuelles ($\text{Coût DT}_{\text{Visuelle}}$)

$$\text{Coût DT}_{\text{Marche}} = \frac{\text{Tps en Marche Simple} - \text{Tps en DT}}{\text{Tps en Marche Simple}}$$

$$\text{Coût DT}_{\text{Visuelle}} = \frac{\% \text{ de réussite ST} - \% \text{ de réussite DT}}{\% \text{ de réussite ST}}$$

2.2.4 Rythmes biologiques circadiens

2.2.4.1 Mesure de la température

La température orale a été enregistrée par un relevé individuel. Les participants devaient effectuer à leur domicile et en autonomie sept relevés de température sur 24 heures (6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 22h, 00h), du réveil jusqu'au coucher. Chaque mesure devait commencer par un repos allongé de 15 minutes (Birch et Reilly 2002; Souissi et al. 2007) sans prise de boisson ni aliment, puis une prise de température orale était réalisée à l'aide d'un thermomètre digital (digital Hartmann-Larochette, précision : 0,01 °C), inséré sous le chanfrein de la langue, durant 3 minutes (Moran et Mendal 2002). Les valeurs de la température ont été reportées par les sujets dans leur agenda en indiquant l'heure exacte de la mesure réalisée.

Afin d'identifier l'existence d'un rythme circadien de la température et après une première analyse visuelle permettant d'enlever les valeurs aberrantes ($35 < x > 37.5$), nous avons utilisé la méthode du COSINOR permettant, en fournissant les données relevées sur 24h, de déterminer le MESOR (M), l'Amplitude (A), l'Acrophase (θ) de chaque participant qui ont ensuite été moyennés dans les GV, GF et GT.

2.2.4.2 Evaluations subjectives de la somnolence et de la fatigue

La somnolence et les fatigues subjectives ont été évaluées en autonomie au domicile des participants sur 24 heures (6h, 9h, 12h, 15h, 18h, 22h, 00h), du réveil jusqu'au coucher.

2.2.4.2.1 Le Karolinska Sleepiness Scale (KSS)

Pour évaluer la vigilance et le degré de somnolence, les participants passaient le test de KSS (Akerstedt et Gillberg 1990) qui consistait à entourer un numéro allant de 1 « très éveillé » à 9 « très somnolent » qui correspond le mieux l'état de somnolence ressenti au moment de la passation. La cotation s'effectuait directement par la valeur correspondant au numéro entouré par le participant (Fig. 51).

KAROLINSKA

Veillez indiquer votre degré de somnolence au cours des 10 minutes précédant ce test en entourant le terme correspondant à votre état. Vous pouvez aussi utiliser les états intermédiaires :

1 = TRES EVEILLE
2
3 = EVEILLE, NIVEAU NORMAL
4
5 = NI EVEILLE, NI SOMNOLENT
6
7 = SOMNOLENT, MAIS SANS EFFORT POUR RESTER EVEILLE
8
9 = TRES SOMNOLENT, AVEC DE GRANDS EFFORTS POUR RESTER EVEILLE, LUTTANT CONTRE LE SOMMEIL

Fig. 51. Présentation du KSS

2.2.4.2.2 Echelle Visuelle Analogique (EVA)

La fatigue subjective des participants était également évaluée à partir d'une Echelle Visuelle Analogique (EVA) où les participants devaient indiquer, en barrant une ligne de 10 cm, à quelle distance ils se considéraient subjectivement des deux bornes prédéfinies (Fig. 52):

- ✓ la gauche correspondant à "très fatigué" et la droite à "en excellente forme physique"

La cotation s'effectuait en mesurant la distance en millimètres entre la borne gauche et le trait des participants.

ECHELLE VISUELLE ANALOGIQUE

Mettez une barre verticale à l'endroit qui vous paraît le mieux correspondre à votre état :

très fatigué en excellente forme physique

physique

Fig. 52. Présentation de l'EVA Fatigue

2.2.4.3 Le cycle activité-repos

Le cycle activité-repos des participants a été évalué grâce au port d'un actimètre (Actiwatch®, Neurotechnology, Cambridge, Royaume-Uni) (Fig. 53a). L'actimétrie est un

moyen qui permet de mesurer l'activité motrice. C'est un accéléromètre portable, de la taille d'une montre, constitué d'un capteur piézo-électrique permettant de détecter les accélérations liées aux mouvements. À chaque accélération supérieure à 0,1 g, le capteur envoie une impulsion électrique qui est comptabilisée électroniquement sur une période donnée (1 min) et stockée en mémoire. Cet outil permet l'enregistrement continu de l'activité motrice d'un individu durant une période donnée, soit 3 à 6 jours consécutifs dans le cadre de notre étude. L'actimètre se porte au poignet non dominant, ceci afin d'éviter les enregistrements des mouvements spécifiques du poignet dominant (écriture etc...). Cette mesure présente de nombreux avantages dont le plus important est de ne pas modifier les habitudes du sujet. Associé à un agenda du sommeil, l'actimètre permet de quantifier et contrôler les modifications d'activité et de repos de chaque participant engagé dans l'expérimentation (Fig. 53b).

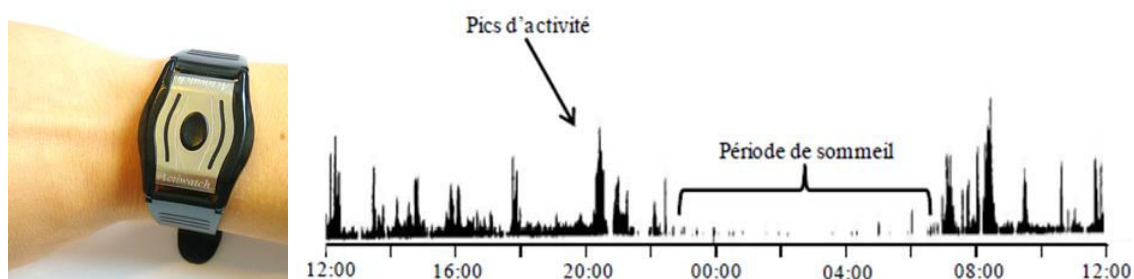


Fig. 53. (a) Actimètre Actiwatch pour mesurer les mouvements et quantifier les patterns d'activité veille-sommeil (b) Actogramme d'un participant représentant les modifications d'activité et de repos

Une fois l'enregistrement réalisé, les données ont été transférées par une interface à un micro-ordinateur PC compatible, et traitées à l'aide du logiciel sleep analysis® 7.

Le logiciel, à l'aide de l'outil NPCRA (Fig. 54) permet d'évaluer le rythme circadien du cycle veille-sommeil sur l'ensemble de la période d'enregistrement. La fonction NPCRA applique sur un ensemble de jours déterminés une analyse non linéaire, afin de déterminer le rythme activité/repos. Une fois les jours à analyser sélectionnés, le logiciel calcule les paramètres du rythme activité-repos, à savoir : l'activité sur les 5 heures les moins actives (L5), l'activité sur les 10 heures les plus actives (M10), l'amplitude absolue du rythme (différence entre M10 et L5). L'avantage de cet outil réside dans l'impartialité et l'objectivité d'un traitement totalement informatisé.

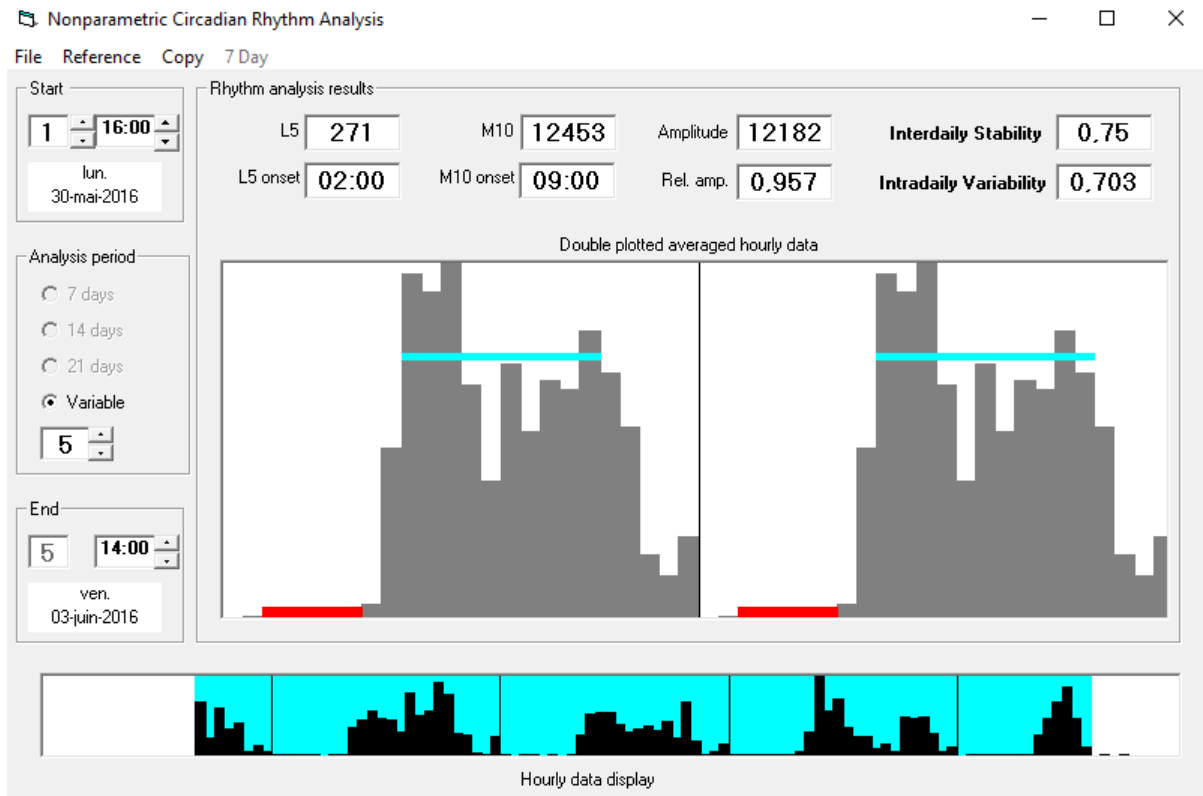


Fig. 54. Paramètres calculées à l'aide de l'outil NPCRA.

Le logiciel sleep analysis® 7 permettait également de calculer les différents paramètres spécifiques au sommeil : la latence d'endormissement, l'heure d'endormissement, la durée totale du sommeil et le pourcentage correspondant, le temps d'éveil après l'endormissement et le pourcentage correspondant, la fragmentation et l'efficacité du sommeil. Pour procéder à cette analyse, l'utilisation des agendas de sommeil était nécessaire or le recueil de ces derniers n'a pas pu être réalisé dans des conditions optimales. Le choix a donc été fait d'utiliser uniquement les données les plus objectives, celles calculées avec l'outil NPCRA présenté précédemment.

2.3 ANALYSES STATISTIQUES

2.3.1 Qualité de vie, condition physique et capacités d'équilibration et de marche

L'ensemble des tests statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel Statistica (Statsoft®, USA). Les données collectées pour évaluer la qualité de vie, la condition physique et les capacités d'équilibration ne suivant pas une loi normale (test de Shapiro-Wilk), les variations entre les pré-tests et les post-tests ont été étudiées groupe par groupe en utilisant un test statistique non paramétrique, le test signé des rangs de Wilcoxon sur échantillons appariés. Afin de vérifier qu'il n'existait pas de différence à la base entre nos groupes, un test de Kruskal-Wallis a été effectué sur l'ensemble des données recueillies en pré-tests. Lorsque des différences ont été observées, elles ont été indiquées directement dans les tableaux de résultats à l'aide du symbole : Ø. Les valeurs sont exprimées en valeurs moyennes (\pm SD). Le seuil de significativité est fixé à $p < 0,05$.

Une correction de Bonferroni a été appliquée lorsque le nombre de paramètres testés pour une même hypothèse était supérieur à 2. Cette correction permet de réduire l'erreur type ($\alpha = 0,05$) augmentée lors de comparaisons multiples ; la formule est la suivante : $\alpha = 0,05/\text{nombre de paramètres} = \text{nouveau de seuil de significativité}$.

2.3.2 Rythmes biologiques circadiens

L'analyse statistique des données collectées pour évaluer les rythmes biologiques a été effectuée à l'aide du logiciel R 3.1.2 (www.r-project.org). Pour saisir l'effet de session (pré-tests et post-tests) et de groupe (GF, GV et GT) sur le rythme circadien de la température, des échelles de somnolence et de fatigue subjectives ainsi que des variables d'actigraphie, nous avons sélectionné un modèle général non linéaire (GNLS). La période a été fixée à 24 h. Nous avons utilisé la fonction COSINOR commune paramétrée par :

$$Y(t) = \text{MESOR} + \text{ampl} \cdot \cos\left(\frac{(t - \text{phase}) \cdot \pi}{12}\right)$$

L'interprétation des paramètres de cette fonction est la suivante :

MESOR: le niveau moyen

Amplitude: amplitude (acrophase - MESOR)

Phase: le temps de l'acrophase.

Nous avons d'abord évalué l'homogénéité du groupe en ajoutant progressivement (un par un) les effets de groupe sur le MESOR, l'amplitude et la phase. Après cela, nous avons évalué de la même manière les effets de session (avant et après la session de test) pour chaque groupe. Afin d'évaluer quel modèle était le plus approprié pour les données, nous avons examiné diverses spécifications du modèle et les avons comparées avec les critères de sélection du modèle : critère d'information Akaike (AIC), critère d'information bayésien (BIC) et tests de vraisemblance Pinheiro et Bates, 2000. Les résultats présentés sont les valeurs des paramètres obtenus expérimentalement (valeurs moyennes \pm ES) et les valeurs de significativité ($p < 0,05$) sont celles obtenues par l'utilisation des modèles sélectionnés.

Tous les modèles sont présentés en annexe 4 (p257).

2.4 RESULTATS

Il est à noter qu'entre la passation des pré-tests (T1) et la passation des post-tests (T2), trois participants du GF et un participant du GV ont signalé des événements négatifs ayant un impact sur leur quotidien : deux pour des raisons de santé et deux pour des raisons familiales. Dans la mesure où les problèmes familiaux ne semblent pas avoir eu *d'impact sur les réponses* physiques lors des tests, seuls les résultats de ces participants aux questionnaires ayant une dimension psychologique et/ou sociale *n'ont pas été pris en compte*. *En revanche, pour les deux participants (1 GF et 1 GV) ayant eu un problème de santé en cours lors des tests (cervicalgie et zona), leurs résultats à l'intégralité des tests n'ont pas été pris en compte dans les analyses*. Ainsi, pour les questionnaires, les analyses portent sur 12 participants pour le GF, 12 participants pour le GV et 13 participants pour le GT. Pour le reste des évaluations, les analyses portent sur 14 participants pour le GF, 12 participants pour le GV et 13 participants pour le GT. Cependant, certains participants *n'ayant pu réaliser l'ensemble des tests* pour des raisons techniques, *l'effectif sera précisé et justifié le cas échéant*.

Les 39 participants (dont 26 femmes) inclus dans nos analyses étaient âgés en moyenne de 74.0 ± 3.68 ans, et présentaient un indice de masse corporelle (IMC) de 26.7 ± 4.1 . Les caractéristiques détaillées de chacun des groupes sont présentées dans le Tableau 4 ci-dessous :

Tableau 4- Caractéristiques en pré-tests des sujets inclus dans les analyses

	Groupe Face à Face	Groupe Visioconférence	Groupe Témoin
Âge	72.4 ± 3.3 ans	74.8 ± 3.7 ans	75.0 ± 3.7 ans
Sexe	9 Femmes 5 Hommes	9 Femmes 3 Hommes	8 Femmes 5 Hommes
IMC	26.0 ± 3.7	28.8 ± 4.2	25.4 ± 3.8
Chronotype	Matin : 4 Intermédiaire : 7 Soir : 3	Matin : 2 Intermédiaire : 7 Soir : 3	Matin : 4 Intermédiaire : 6 Soir : 3

2.4.1 Effet du programme d'APA sur la qualité de vie

Le programme d'entraînement a permis d'améliorer la qualité de vie des participants puisque les scores des deux groupes entraînés ont augmenté tandis que les scores du GT ont diminué (Tableau 5).

Questionnaire SF36 : La plupart des scores calculés pour les groupes entraînés ont significativement augmenté. Le **score physique** augmente significativement pour les deux groupes entraînés puisqu'il passe de 78.07 ± 12.19 à 82.80 ± 8.79 ($p = 0.050$) pour le GF et de 70.97 ± 16.22 à 79.98 ± 14.16 ($p = 0.005$) pour le GV. Pas de modification significative pour le GT. Le **score mental** augmente significativement pour le GF ($p = 0.034$) en passant de 75.67 ± 12.37 à 81.06 ± 8.82 tandis qu'il n'y a pas de modification pour le GV. Cependant, il diminue significativement pour le GT ($p = 0.021$) en passant de 78.64 ± 11.98 à 65.42 ± 21.85 . Enfin, le **score global** augmente significativement pour le GF ($p = 0.034$) et le GV ($p = 0.028$) en passant respectivement de 76.87 ± 10.90 à 81.93 ± 7.64 et de 74.38 ± 13.35 à 79.78 ± 12.65 . Pour le GT, le score global diminue significativement ($p = 0.023$) en passant de 76.28 ± 11.21 à 67.70 ± 18.03 .

Questionnaire de bien-être psychologique : Le **score global** de bien-être psychologique ne connaît pas de modification significative pour l'ensemble des groupes (GF, GV et GT).

Tableau 5- Données relatives aux questionnaires SF36 et Bien-être (moyenne \pm écart type)

		Groupe Face à Face n=12		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
SF36	Score Physique	78.07 \pm 12.19	82.80 \pm 8.79	70.97 \pm 16.22	79.98 \pm 14.16	73.93 \pm 12.74	69.98 \pm 16.61
		$\nearrow p = 0.050$ Gain : +7 \pm 11%		$\nearrow p = 0.005$ Gain : +14 \pm 14%		NS	
	Score Mental	75.67 \pm 12.37	81.06 \pm 8.82	77.78 \pm 14.39	79.57 \pm 11.99	78.64 \pm 11.98	65.42 \pm 21.85
	$\nearrow p = 0.034$ Gain : +9 \pm 15%		NS		$\searrow p = 0.021$ Gain : -18 \pm 19%		
	Score Global	76.87 \pm 10.90	81.93 \pm 7.64	74.38 \pm 13.35	79.78 \pm 12.65	76.28 \pm 11.21	67.70 \pm 18.03
		$\nearrow p = 0.034$ Gain : +8 \pm 12%		$\nearrow p = 0.028$ Gain : +8 \pm 12%		$\searrow p = 0.023$ Gain : -12 \pm 15%	
Bien-être	Score Global	82.00 \pm 9.92	86.27 \pm 9.47	82.92 \pm 12.11	85.15 \pm 12.11	86.85 \pm 12.40	84.31 \pm 9.94
		NS		NS		NS	

2.4.2 Effet du programme d'APA sur la condition physique

2.4.2.1 Fonction musculaire

Le programme d'entraînement a permis d'améliorer la fonction musculaire des participants puisque les résultats des deux groupes entraînés ont augmenté tandis que ceux du GT n'ont pas été modifiés.

Membre supérieur (Tableau 6) :

La force de préhension de la **main droite** et de la **main gauche** ont augmenté significativement suite à l'entraînement pour le GF en passant respectivement de 31.39 ± 10.17 kilos à 33.45 ± 10.40 kilos ($p = 0.006$) et de 29.66 ± 9.63 kilos à 31.51 ± 10.45 kilos ($p = 0.014$). En revanche, aucune modification significative n'est à noter pour le GV et le GT.

La **force d'extension du dos** n'a semble-t-il pas été améliorée en post-tests même si l'on peut noter une tendance à l'amélioration pour le GF avec une valeur de p proche de la significativité ($p = 0.069$).

Tableau 6- Données relatives à la fonction musculaire des membres supérieurs (moyenne \pm écart type)

	Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13		
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Membre Supérieur	Main Droite (Kg)	31.39 \pm 10.17	33.45 \pm 10.40	28.83 \pm 9.49	29.81 \pm 9.93	31.29 \pm 9.35	31.75 \pm 10.01
		↗ $p = 0.006$ Gain : +8 \pm 9%		NS		NS	
	Main Gauche (Kg)	29.66 \pm 9.63	31.51 \pm 10.45	28.53 \pm 8.66	29.20 \pm 8.22	28.65 \pm 9.52	29.15 \pm 10.39
	↗ $p = 0.014$ Gain : +7 \pm 8%		NS		NS		
Dos (Kg)	78.50 \pm 32.64	82.18 \pm 33.11	77.50 \pm 35.01	77.56 \pm 33.34	73.45 \pm 31.54	69.69 \pm 31.40	
	$p = 0.069$ Gain : +6 \pm 12%		NS		NS		

Membre inférieur :

La **puissance** développée lors de *l'extension de la jambe* évaluée sur la Power Rig a fortement augmenté suite à l'entraînement (Tableau 7). Ainsi, tandis que les valeurs du GT n'ont pas été modifiées, les valeurs du GF et du GV sont passées respectivement de 122.71 ± 57.36 W à 142.64 ± 62.38 W ($p = 0.002$) et de 105.75 ± 44.89 W à 121.42 ± 48.56 W ($p = 0.026$). Rapportées au **poids de corps**, ces valeurs sont toujours améliorées pour les groupes entraînés, alors qu'elles restent inchangées pour le GT.

Tableau 7- Données relatives à la puissance des membres inférieurs (moyenne ± écart type)

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Puissance Jambe	Ext Jambe D (Watts)	122.71 ± 57.36	142.64 ± 62.38	105.75 ± 44.89	121.42 ± 48.56	118.62 ± 53.14	115.54 ± 52.29
		↗ p = 0.002 Gain : +19 ± 19%		↗ p = 0.026 Gain : +17 ± 22%		NS	
Puissance Jambe	Ext Jambe D (Watts/Kg)	1.66 ± 0.51	1.95 ± 0.55	1.39 ± 0.58	1.62 ± 0.70	1.64 ± 0.56	1.62 ± 0.62
		↗ p = 0.004 Gain : +19 ± 19%		↗ p = 0.009 Gain : +18 ± 22%		NS	

Les résultats obtenus au cours des évaluations isocinétiques des fléchisseurs et extenseurs du genou ont permis de mettre en évidence une relation entre le moment de force et la vitesse angulaire (Fig. 55). Pour chaque groupe musculaire, le moment de force développé à 60°.s⁻¹ est significativement moins important que lors de l'isométrie (p<0.001), le moment de force développé à 240°.s⁻¹ est significativement moins important que lors de l'isométrie (p<0.001) et enfin le moment de force développé à 240°.s⁻¹ est significativement moins important qu'à 60°.s⁻¹ (p<0.001).

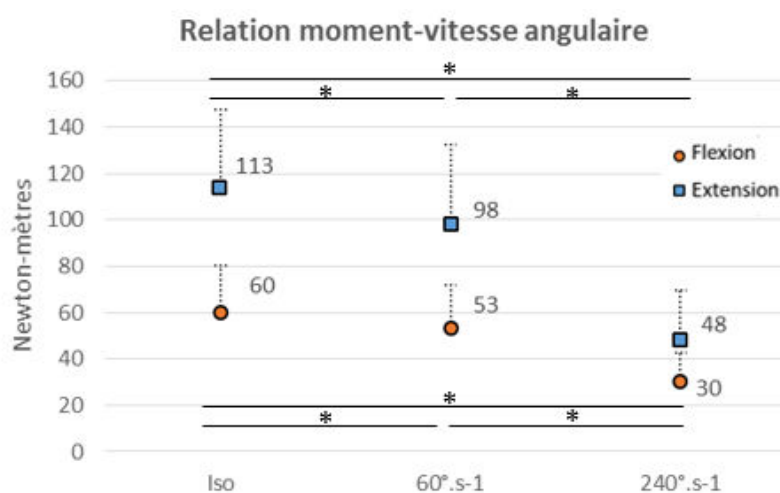


Fig. 55. Relation moment de force et vitesse angulaire des fléchisseurs et extenseurs du genou (*p<.001)

Le Tableau 8 présente les données relatives aux moments de force des fléchisseurs et extenseurs du genou. Lors des exercices de type **isométriques**, le **moment de force maximal ou MVC** développé lors de **l'extension et de la flexion du genou** a été largement amélioré pour les deux groupes entraînés alors qu'il n'a pas évolué pour le GT. En effet, pour l'extension, les valeurs du GF passent de 121.57 ± 42.27 Nm à 135.93 ± 46.57 Nm (p = 0.002) et les valeurs du GV passent de 103.58 ± 30.18 Nm à 115.50 ± 29.80 Nm (p = 0.005). Pour la flexion en

revanche, seules les valeurs du GF ont augmenté, passant de 64.86 ± 20.07 Nm à 70.21 ± 23.58 Nm ($p = 0.023$).

Lors de la **vitesse de montée en force ou RFD**, aucune modification significative n'est à noter. Il en est de même pour l'exercice de **fatigue**, qui ne présente aucun changement significatif.

Tableau 8- Données relatives aux moments de force des fléchisseurs et extenseurs du genou (moyenne \pm écart type)

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13		
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Exercices Isométriques - Genou	MVC Ext (Nm)	121.57 \pm 42.27	135.93 \pm 46.57	103.58 \pm 30.18	115.50 \pm 29.80	113.92 \pm 29.75	116.00 \pm 33.97	
		$\nearrow p = 0.002$		$\nearrow p = 0.005$		NS		
		Gain : +12 \pm 12%		Gain : +13 \pm 15%				
	MVC Flex (Nm)	64.86 \pm 20.07	70.21 \pm 23.58	55.58 \pm 19.82	56.92 \pm 20.59	59.69 \pm 21.10	65.23 \pm 31.77	
		$\nearrow p = 0.023$		NS		NS		
		Gain : +8 \pm 13%						
	Pic RFD (Nm.s ⁻¹)	784.71 \pm 469.73	935.93 \pm 446.22	973.58 \pm 392.10	899.25 \pm 396.10	1051.77 \pm 577	925.77 \pm 521.25	
		NS		NS		NS		
	Fatigue extension (%)	Précision Segment 1	89.84 \pm 8.96	93.94 \pm 3.91	90.49 \pm 4.84	93.38 \pm 5.11	92.81 \pm 6.51	93.72 \pm 4.63
			NS		NS		NS	
Précision Segment 2		90.88 \pm 7.58	94.11 \pm 5.20	89.32 \pm 4.95	94.31 \pm 5.21	94.16 \pm 6.97	94.58 \pm 5.98	
		NS		NS		NS		
Variabilité Segment 1		4.23 \pm 5.79	3.04 \pm 7.86	3.19 \pm 1.51	3.02 \pm 0.74	2.33 \pm 0.96	2.04 \pm 0.91	
	NS		NS		NS			
	Variabilité Segment 2	2.88 \pm 1.31	2.95 \pm 1.97	3.48 \pm 2.25	3.73 \pm 2.48	2.42 \pm 2.53	2.26 \pm 0.97	
		NS		NS		NS		
Exercices Concentriques - Genou	60°s	Ext (Nm)	100.43 \pm 42.97	109.93 \pm 38.42	94.08 \pm 24.78	94.33 \pm 22.47	98.15 \pm 35.05	96.46 \pm 36.51
			$p = 0.056$		NS		NS	
		Gain : +24 \pm 57%						
	Flex (Nm)	54.57 \pm 22.03	60.14 \pm 19.47	53.33 \pm 18.45	54.67 \pm 19.05	52.00 \pm 17.28	53.77 \pm 19.45	
		$p = 0.064$		NS		NS		
		Gain : +23 \pm 47%						
240°s	Ext (Nm)	51.92 \pm 24.48	55.43 \pm 22.02	44.17 \pm 16.69	49.08 \pm 14.26	47.54 \pm 22.96	48.69 \pm 19.79	
		$\nearrow p = 0.021$		$\nearrow p = 0.025$		NS		
	Gain : +13 \pm 20%		Gain : +15 \pm 22%					
Flex (Nm)	32.31 \pm 15.06	34.36 \pm 14.40	27.92 \pm 10.84	31.75 \pm 10.39	29.54 \pm 12.89	30.08 \pm 13.51		
	$p = 0.071$		$\nearrow p = 0.012$		NS			
	Gain : +11 \pm 14%		Gain : +18 \pm 22%					

Où, Ext = extension ; Flex = flexion, MVC = Maximal Voluntary Contraction ; RFD : Rate of Force Development ; Nm = Newton-mètre; Nm/s = Newton-mètre par seconde. La moyenne des augmentations est présentée lorsque $p < 0.075$.

Lors des exercices de type **concentrique**, seules des améliorations sont à noter pour les groupes entraînés (GF et GV). À la **vitesse de 60°.s⁻¹**, aucun changement significatif pour les trois groupes. Cependant, si les valeurs du GF ne montrent pas de changements significatifs clairs, une tendance à l'amélioration peut toutefois être notée en extension ($p = 0,056$), et dans une moindre mesure en flexion ($p = 0.064$). À la **vitesse de 240°.s⁻¹**, les valeurs pour l'extension augmentent pour le GF ($p = 0.021$) et le GV ($p = 0.025$), passant respectivement de 51.92 ± 24.48 Nm à 55.43 ± 22.02 Nm et de 44.17 ± 16.69 Nm à 49.08 ± 14.26 Nm. Pour la flexion, seules les valeurs du GV augmentent significativement ($p = 0.012$), passant de 27.92 ± 10.84 Nm à 31.75 ± 10.39 Nm, tandis que le GF montre une tendance à l'amélioration ($p = 0.071$).

Pour terminer sur la fonction musculaire, le Tableau 9 présente les données relatives aux fléchisseurs et extenseurs de la cheville. Les deux groupes entraînés montrent des améliorations lors de la **flexion plantaire**, avec des valeurs pour le GF passant de 81.52 ± 31.20 N à 94.84 ± 36.89 N ($p = 0.005$) et des valeurs pour le GV passant de 67.29 ± 35.00 N à 80.13 ± 26.05 N ($p = 0.034$). En revanche, aucune modification n'est observée lors de la **dorsiflexion**.

Tableau 9- Données relatives aux fléchisseurs et extenseurs de la cheville (moyenne \pm écart type)

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Isométrique - Cheville	Flexion plantaire (N)	81.52 \pm 31.20	94.84 \pm 36.89	67.29 \pm 35.00	80.13 \pm 26.05	69.08 \pm 27.13	77.24 \pm 32.04
		$\nearrow p = 0.005$ Gain : +19 \pm 26%		$\nearrow p = 0.034$ Gain : +36 \pm 49%		NS	
	Dorsiflexion (N)	47.67 \pm 18.93	46.72 \pm 19.24	42.24 \pm 19.57	39.64 \pm 18.79	37.26 \pm 16.30	39.19 \pm 15.92
		NS		NS		NS	

2.4.2.2 Capacité aérobie

Le programme d'entraînement a permis d'améliorer la capacité aérobie des participants puisque les résultats des deux groupes entraînés ont augmenté tandis que ceux du GT n'ont pas été modifiés (Tableau 10).

Capacité aérobie : La **puissance maximale aérobie (PMA)** des deux groupes entraînés a été augmentée significativement suite à l'entraînement, contrairement au GT. En effet les résultats du GF sont passés de 104.62 ± 32.82 W à 113.08 ± 35.68 W ($p = 0.012$) et pour le GV de 93.33 ± 24.98 W à 101.67 ± 23.29 W ($p = 0.028$). La fréquence cardiaque maximale (FCmax) n'a quant à elle pas été modifiée, tout comme le quotient respiratoire (QR). En revanche, le volume maximum d'oxygène (VO_2 max) a été significativement amélioré pour le GV en passant de 19.42 ± 5.37 ml·min⁻¹·kg⁻¹ à 21.82 ± 4.54 ml·min⁻¹·kg⁻¹ ($p = 0.041$) mais n'a pas évolué pour les deux autres groupes.

Tableau 10- Données relatives à la capacité aérobie (moyenne \pm écart type)

	Groupe Face à Face n=13		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=11		
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Capacité aérobie	PMA (Watts)	104.62 \pm 32.82	113.08 \pm 35.68	93.33 \pm 24.98	101.67 \pm 23.29	99.09 \pm 37.27	93.63 \pm 30.75
		$\nearrow p = 0.012$ Gain : +8 \pm 9%		$\nearrow p = 0.028$ Gain : +10 \pm 12%		NS	
	FCmax (Bpm)	154.15 \pm 14.78	155.00 \pm 12.51	143.75 \pm 8.32	146.50 \pm 16.45	146.45 \pm 18.85	142.27 \pm 16.38
		NS		NS		NS	
	VO_2 max (ml·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	21.25 \pm 5.55	22.25 \pm 5.72	19.42 \pm 5.37	21.82 \pm 4.54	22.46 \pm 5.08	21.56 \pm 5.46
		NS		$\nearrow p = 0.041$ Gain : +16 \pm 21%		NS	
	QR	1.18 \pm 0.08	1.22 \pm 0.05	1.21 \pm 0.07	1.21 \pm 0.06	1.20 \pm 0.09	1.20 \pm 0.11
		NS		NS		NS	

NB1 : les analyses du GF ne portent que sur 13 participants car un participant n'a pu effectuer le test dans les mêmes conditions lors des T1 et T2.

NB2 : les analyses du GT ne portent que sur 11 participants car deux participants n'ont pu réaliser le test lors du T2.

2.4.2.3 Composition corporelle

Le programme d'entraînement a permis de modifier la composition corporelle de certains participants puisque les résultats du GV ont évolué tandis que ceux du GF et GT n'ont pas été modifiés (Tableau 11).

Pourcentage de masse grasse : Le **pourcentage de masse grasse** a diminué significativement pour le GV ($p = 0.010$) en passant de $34.09 \pm 8.43\%$ à $32.28 \pm 8.85\%$. En revanche, pas de modification pour le GF et le GT.

Pourcentage de masse musculaire : Le pourcentage de masse musculaire n'a pas évolué entre T1 et T2 pour les trois groupes.

Tableau 11 - Données relatives à la composition corporelle (moyenne \pm écart type)

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Composition corporelle	% Masse grasse	30.24 \pm 7.28	29.67 \pm 6.92	34.09 \pm 8.43	32.28 \pm 8.85	27.65 \pm 7.89	27.63 \pm 7.00
			NS	$\searrow p = 0.010$ Gain : -6 \pm 7%			NS
	% Masse musculaire	45.19 \pm 6.15	45.47 \pm 6.54	42.57 \pm 7.01	42.95 \pm 10.17	47.44 \pm 8.01	47.74 \pm 7.15
			NS		NS		NS

2.4.3 Effet du programme d'APA sur les capacités d'équilibration et la marche

2.4.3.1 Posturographie

Le programme d'entraînement ne semble pas avoir permis d'améliorer les capacités d'équilibration lors des tests de posturographie, cependant les stratégies d'équilibration mises en place par le GV semblent avoir été modifiées (Tableau 12).

Plateforme statique :

La surface et la longueur du centre de pression sont significativement plus importantes en condition les yeux fermés par rapport à la condition les yeux ouverts ($p < 0.05$).

La **surface** et la **longueur** du centre de pression, en condition statique, avec les **yeux ouverts** (YO) et avec les **yeux fermés** (YF) n'évoluent pas entre T1 et T2 pour les trois groupes. Le **quotient de Romberg** du GV a diminué entre T1 et T2, passant de 1.35 ± 0.58 à 1.09 ± 0.37 ($p=0.41$).

Plateforme dynamique RAMP :

La longueur du centre de pression est significativement plus importante en condition les yeux fermés par rapport à la condition les yeux ouverts ($p < 0.005$). La surface et la longueur du centre de pression sont significativement plus importantes en condition dynamique RAMP par rapport à la condition statique ($p < 0.001$).

Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence significative en pré-test entre GV et GT dans la condition les YO. En effet la surface du GT (2343 ± 815.53) est significativement plus importante ($p=0.016$) que celle du GV (1509 ± 524.17).

La **surface** et la **longueur** du centre de pression, en condition dynamique lors d'un déplacement en RAMP, avec les **YO** et avec les **YF** n'évoluent pas entre T1 et T2 pour les trois groupes.

Plateforme dynamique SINUS :

La surface et la longueur du centre de pression sont significativement plus importantes en condition les yeux fermés par rapport à la condition les yeux ouverts ($p < 0.001$). La surface et la longueur du centre de pression sont significativement plus importantes en condition dynamique SINUS par rapport à la condition statique ($p < 0.001$).

La **surface** et la **longueur** du centre de pression, en condition dynamique lors d'un déplacement en SINUS, avec les **YO** et avec les **YF** n'évoluent pas entre T1 et T2 pour les trois groupes.

Tableau 12- Données relatives à la posturographie (moyenne ± écart type)

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Statique	YO Surf (mm ²)	241.91 ± 161.93	208.23 ± 91.29	289.54 ± 196.51	306.15 ± 234.48	205.51 ± 87.02	218.84 ± 142.70
		NS		NS		NS	
	YO Long (mm)	318.15 ± 125.45	296.34 ± 113.01	338.11 ± 175.61	348.50 ± 178.79	309.92 ± 95.27	343.04 ± 187.06
		NS		NS		NS	
YF Surf (mm ²)		291.82 ± 158.96	249.45 ± 100.97	370.45 ± 268.31	324.27 ± 252.32	303.20 ± 295.80	225.88 ± 144.98
		NS		NS		NS	
YF Long (mm)		417.03 ± 155.31	415.13 ± 199.24	464.02 ± 326.05	557.23 ± 374.71	394.70 ± 122.90	373.21 ± 138.70
		NS		NS		NS	
Quotient de Romberg		1.36 ± 0.65	1.32 ± 0.66	1.35 ± 0.58	1.09 ± 0.37	1.38 ± 0.65	1.07 ± 0.26
		NS		↘ p = 0.041		NS	
Dynamique RAMP	YO Surf (mm ²)	1724 ± 677.17	1462 ± 364.84	1509 ± 524.17	1627 ± 1119.53	2343 ± 815.53	1731 ± 316.13
		NS		NS		NS	
	YO Long (mm)	2999 ± 712.15	2745 ± 847.72	2785 ± 693.80	2911 ± 1090.50	3467 ± 1059.64	3630 ± 2350.14
		NS		NS		NS	
YF Surf (mm ²)		2263 ± 985.30	1851 ± 1145.46	1755 ± 697.25	1811 ± 842.19	2244 ± 1317.97	1934 ± 734.93
		NS		NS		NS	
YF Long (mm)		3255 ± 740.51	3217 ± 1019.36	3301 ± 1184.41	3601 ± 1340.37	4204 ± 2419.54	3869 ± 2293.55
		NS		NS		NS	
Dynamique SINUS	YO Surf (mm ²)	1846 ± 752.56	1532 ± 453.89	2118 ± 855.29	1848 ± 608.89	2053 ± 587.59	1829 ± 550.00
		NS		NS		NS	
	YO Long (mm)	1593 ± 432.45	1472 ± 397.10	1609 ± 284.16	1606 ± 391.27	1777 ± 335.02	1719 ± 687.66
		NS		NS		NS	
YF Surf (mm ²)		3258 ± 1723.57	3015 ± 1220.45	4145 ± 2904.71	4298 ± 3939.48	4161 ± 1916.08	3544 ± 1639.48
		NS		NS		NS	
YF Long (mm)		2244 ± 978.89	2283 ± 644.14	2527 ± 886.96	2476 ± 762.55	2719 ± 1126.43	2604 ± 1399.40
		NS		NS		NS	

NB : Au regard du grand nombre de tests statistiques réalisés pour évaluer l'effet de l'entraînement sur ces paramètres, une correction de Bonferroni a été réalisée, ce qui diminue le seuil de significativité du p à 0.0125 pour l'ensemble des tests à l'exception du quotient de Romberg. Ø Les valeurs en pré-tests entre le GV et GT étaient différentes

2.4.3.2 Exploration vestibulaire

Le programme d'entraînement semble avoir modifié la réponse oculaire lors du test sur fauteuil rotatoire pour le GV uniquement (Tableau 13).

Nous avons vérifié que les données étaient homogènes quand la stimulation concernait le même CSC (accélération horaire et décélération anti horaire stimulent le CSC horizontal droit et accélération anti horaire et décélération horaire stimulent le CSC gauche), cela indique qu'il n'y a pas d'asymétrie droite-gauche.

Rotation Horaire : En per rotatoire, la vitesse initiale maximale (V_{\max}) des phases lentes et le gain n'ont pas été modifiés entre le T1 et le T2. En revanche, la constante de temps (CT) du GV a diminué ($p= 0.021$) passant de $12.93 \pm 2.75s$ à $11.07 \pm 2.89s$. En post rotatoire, la V_{\max} et la CT n'ont pas été modifiées pour les trois groupes entre le T1 et le T2.

Rotation Anti Horaire : En per rotatoire, la V_{\max} et le gain n'ont pas été modifiés entre le T1 et le T2. En revanche, la CT du GV a diminué ($p = 0.005$), passant de 13.21 ± 2.32 à 10.49 ± 2.18 . En post rotatoire, la V_{\max} et la CT n'ont pas été modifiées entre le T1 et le T2.

Tableau 13- *Données relatives à l'exploration vestibulaire (moyenne ± écart type)*

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=11		Groupe Témoin n=13		
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Rotation Horaire	Per rotatoire	Vimax	43.92 ± 19.16 NS	42.52 ± 6.38	44.66 ± 9.55 NS	43.84 ± 7.73	40.09 ± 12.98 NS	38.39 ± 14.76
		CT	12.61 ± 2.95 NS	12.51 ± 3.31	12.93 ± 2.75 ↘ p = 0.021	11.07 ± 2.89	14.23 ± 4.04 NS	13.31 ± 2.93
		Gain	0.73 ± 0.32 NS	0.71 ± 0.11	0.74 ± 0.17 NS	0.73 ± 0.13	0.67 ± 0.22 NS	0.64 ± 0.25
	Post Rotatoire	Vimax	49.98 ± 12.46 NS	48.02 ± 8.84	44.24 ± 11.20 NS	45.01 ± 12.05	45.74 ± 14.46 NS	44.50 ± 16.31
		CT	13.92 ± 2.77 NS	13.53 ± 2.70	13.13 ± 2.18 NS	11.55 ± 3.15	14.22 ± 2.76 NS	13.24 ± 3.56
		Gain	0.83 ± 0.21 NS	0.80 ± 0.15	0.74 ± 0.19 NS	0.72 ± 0.18	0.76 ± 0.24 NS	0.74 ± 0.27
Rotation Anti Horaire	Per rotatoire	Vimax	43.15 ± 10.36 NS	40.60 ± 6.91	40.29 ± 8.21 NS	43.96 ± 10.61	43.16 ± 16.28 NS	39.06 ± 15.20
		CT	13.03 ± 2.84 NS	12.49 ± 2.51	13.21 ± 2.32 ↘ p = 0.005	10.49 ± 2.18	13.87 ± 3.19 NS	13.22 ± 3.57
		Gain	0.72 ± 0.17 NS	0.68 ± 0.12	0.67 ± 0.14 NS	0.71 ± 0.17	0.72 ± 0.27 NS	0.65 ± 0.25
	Post Rotatoire	Vimax	48.65 ± 12.90 NS	49.00 ± 8.55	43.30 ± 9.55 NS	47.77 ± 6.37	43.96 ± 10.17 NS	41.49 ± 12.56
		CT	13.55 ± 2.62 NS	13.15 ± 3.41	11.92 ± 2.38 NS	11.56 ± 2.75	14.54 ± 3.99 NS	13.28 ± 2.57
		Gain	0.81 ± 0.21 NS	0.82 ± 0.14	0.72 ± 0.16 NS	0.78 ± 0.10	0.73 ± 0.17 NS	0.69 ± 0.21

NB : Vimax : vitesse initiale maximale ; CT : constante de temps.

2.4.3.3 Marche et double tâche

Le programme d’entraînement a permis d’améliorer la marche en condition de double tâche (DT) de certains participants puisque les résultats du GF ont évolué tandis que ceux du GV et GT n’ont pas été modifiés (Tableau 14).

Tableau 14- Données relatives à la marche simple et en condition de DT (moyenne ± écart type)

		Groupe Face à Face n=14		Groupe Visioconférence n=12		Groupe Témoin n=13		
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Simple	Vitesse (m.s ⁻¹)	1.26 ± 0.14	1.24 ± 0.18	1.16 ± 0.22	1.08 ± 0.18	1.17 ± 0.15	1.11 ± 0.19	
		NS		NS		NS		
	Variabilité (durée sec)	3.18 ± 2.18	2.33 ± 0.87	4.38 ± 4.91	6.41 ± 8.70	2.61 ± 1.56	3.51 ± 2.04	
		NS		NS		NS		
Marche	1 Cible	1.11 ± 0.14	1.08 ± 0.14	1.04 ± 0.25	0.98 ± 0.15	0.99 ± 0.18	0.98 ± 0.19	
		NS		NS		NS		
	Variabilité (durée sec)	3.60 ± 2.47	2.06 ± 1.05	1.78 ± 0.86	1.71 ± 1.23	2.41 ± 1.04	2.45 ± 1.05	
		↘ p = 0.015		NS		NS		
2 Cibles	Vitesse (m.s ⁻¹)	1.04 ± 0.19	1.00 ± 0.15	0.95 ± 0.20	0.89 ± 0.15	0.88 ± 0.19	0.88 ± 0.19	
		NS		NS		NS		
	Variabilité (durée sec)	2.79 ± 1.86	3.37 ± 2.14	2.88 ± 1.17	2.33 ± 0.63	2.74 ± 0.90	2.94 ± 1.04	
		NS		NS		NS		
Coût de la DT	Marche	1 Cible	0.11 ± 0.08	0.11 ± 0.13	0.05 ± 0.06	0.09 ± 0.13	0.10 ± 0.09	0.09 ± 0.08
		NS		NS		NS		
	2 Cibles	0.17 ± 0.11	0.18 ± 0.13	0.24 ± 0.11	0.18 ± 0.11	0.17 ± 0.06	0.17 ± 0.10	
		NS		NS		NS		
Visuelle	1 Cible	-0.04 ± 0.09	0.00 ± 0.00	-0.02 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.05 ± 0.08	0.03 ± 0.09	
		NS		NS		NS		
	2 Cibles	0.27 ± 0.30	-0.07 ± 0.37	0.20 ± 0.24	0.00 ± 0.29	-0.17 ± 0.62	0.05 ± 0.21	
		↘ p = 0.021		NS		NS		

NB : Ø Les valeurs en pré-tests entre le GF et GV étaient différentes.

Marche : La vitesse de marche est dégradée entre la condition marche simple et la condition de DT pour les trois groupes. La **vitesse** de marche simple et en condition de DT n’a pas été modifiée entre le T1 et le T2 pour les trois groupes. En revanche, la **variabilité du pas** en condition de DT à 1 cible a diminué pour le GF (p = 0.015) en passant de 3.60 ± 2.47s à 2.06 ± 1.05s, cependant ces résultats sont à relativiser puisqu’une différence en pré-tests a été mesurée entre le GF et GV. Aucune autre modification n’est à noter pour la variabilité du pas.

Coût de la DT : Le **coût de la DT sur la marche** n'a pas été modifié entre T1 et T2. En revanche, le **coût de la DT sur la cognition** en condition à 2 cibles a diminué pour le GF ($p = 0.021$) en passant de 0.27 ± 0.30 à -0.07 ± 0.37 . Aucune autre modification n'est à noter pour ce paramètre.

2.4.4 Effet du programme d'APA sur les rythmes biologiques circadiens

2.4.4.1 Le rythme de température

La rythmicité biologique de la **température** a été mise en évidence et caractérisée par son amplitude, son MESOR et sa phase. Cependant, le programme d'entraînement n'a pas permis de modifier les caractéristiques de ce rythme entre les deux sessions d'évaluation (Tableau 15).

Tableau 15 - Données relatives à la température (moyenne \pm écart type)

		Groupe Face à Face n=13		Groupe Visioconférence n=11		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
Température	Amplitude (°C)	0.11 \pm 0.08 NS	0.10 \pm 0.07	0.12 \pm 0.08 NS	0.13 \pm 0.07	0.26 \pm 0.08 NS	0.08 \pm 0.07
	MESOR (°C)	36.11 \pm 0.06 NS	36.06 \pm 0.07	36.24 \pm 0.07 NS	36.27 \pm 0.06	36.07 \pm 0.09 NS	36.07 \pm 0.08
	Phase (h)	15.00 \pm 2.32 NS	15.00 \pm 2.42	15.00 \pm 2.29 NS	15.00 \pm 1.53	15.00 \pm 1.13 NS	15.00 \pm 3.23

NB : Dans le groupe Face à Face, un sujet présentant des données aberrantes a été retiré de l'analyse ; dans le groupe Visioconférence, un sujet présentant des données aberrantes a été retiré de l'analyse.

2.4.4.2 Evaluations subjectives de la somnolence et de la fatigue

La rythmicité biologique de la **somnolence** et de la **fatigue** a été mise en évidence et caractérisée par leurs amplitudes, leurs MESOR et leurs phases. Le programme d'entraînement n'a pas permis de modifier les caractéristiques de la rythmicité biologique entre les deux sessions d'évaluations (Tableau 16).

Tableau 16 - Données relatives aux évaluations subjectives de la fatigue (EVA) et de la somnolence (KSS) (moyenne ± écart type)

		Groupe Face à Fac n=13		Groupe Visioconférence n=11		Groupe Témoin n=13	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
EVA Fatigue	Amplitude	1.28 ± 0.28 NS	1.48 ± 0.3	1.27 ± 0.38 NS	1.49 ± 0.38	0.78 ± 0.28 NS	0.91 ± 0.34
	MESOR	4.78 ± 0.38 NS	5.23 ± 0.36	5.58 ± 0.36 NS	5.51 ± 0.44	6.27 ± 0.36 NS	5.66 ± 0.42
	Phase	13.14 ± 0.55 NS	12.53 ± 0.51	13.01 ± 1.12 NS	13.59 ± 1.03	12.23 ± 1.31 NS	13.50 ± 1.35
KSS Somnolence	Amplitude	2.02 ± 0.33 NS	2.47 ± 0.34	2.00 ± 0.38 NS	1.56 ± 0.37	1.82 ± 0.31 NS	1.80 ± 0.28
	MESOR	4.21 ± 0.21 NS	4.13 ± 0.27	3.45 ± 0.31 NS	3.15 ± 0.33	3.18 ± 0.34 NS	3.65 ± 0.23
	Phase	2.28 ± 0.30 NS	2.23 ± 0.30	3.07 ± 0.36 NS	2.10 ± 0.54	1.41 ± 0.40 NS	1.54 ± 0.35

NB : Dans le groupe Face à Face, un sujet présentant des données aberrantes a été retiré de l'analyse ; dans le groupe Visioconférence, un sujet présentant des données aberrantes a été retiré de l'analyse.

2.4.4.3 Le cycle activité-repos

La **rythmicité** du cycle activité-repos des trois groupes a été mise en évidence et caractérisée par leurs amplitudes, leurs MESOR et leurs phases. Aucun de ces paramètres n'a été modifié pour le GT (Tableau 17).

En revanche, le programme d'entraînement a permis de renforcer le cycle **activité-repos** des deux groupes entraînés. En effet, le MESOR du GF est passé de 101.22 ± 3.51 mvt.min⁻¹ à 116.67 ± 4.53 mvt.min⁻¹ ($p = 0.017$) et celui du GV de 133.48 ± 4.81 mvt.min⁻¹ à 150.15 ± 5.06 mvt.min⁻¹ ($p < 0.001$). L'amplitude du cycle a également été augmentée pour les deux groupes en passant de 92.54 ± 4.91 mvt.min⁻¹ à 111.02 ± 6.33 mvt.min⁻¹ ($p=0.014$) pour le GF et de 113.19 ± 6.75 mvt.min⁻¹ à 137.02 ± 7.09 mvt.min⁻¹ ($p < 0.001$) pour le GV. L'ajustement COSINOR et les modifications des caractéristiques des rythmes du GF sont représentés dans la Fig. 56 et celui du GV dans la Fig. 57.

Le programme d'entraînement a également permis d'augmenter le niveau moyen d'activité des **10 heures les plus actives** (M10) du GF en passant de 11859 ± 3480 mvts à 14162 ± 4068 mvts ($p = 0.019$) tandis qu'il n'a pas été modifié pour le GV. Le niveau moyen d'activité des **5 heures les moins actives** (L5) n'a pas été modifié. L'**amplitude** entre M10 et L5 a été augmentée pour le GF en passant de 11289 ± 3456 mvts à 13645 ± 4107 mvts ($p = 0.013$) tandis qu'elle montre une tendance à l'augmentation pour le GV ($p = 0.075$).

Tableau 17- Données relatives à l'enregistrement actimétrique (moyenne ± écart type),

	Groupe Face à Fac n=13		Groupe Visioconférence n=11		Groupe Témoin n=13		
	T1	T2	T1	T2	T1	T2	
Actimétrie	Amplitude (mvt.min ⁻¹)	92.54 ± 4.91	111.02 ± 6.33	113.19 ± 6.75	137.02 ± 7.09	101.30 ± 6.83	108.99 ± 9.09
		↗ p = 0.014		↗ p < 0.001		NS	
	MESOR (mvt.min ⁻¹)	101.22 ± 3.51	116.67 ± 4.53	133.48 ± 4.81	150.15 ± 5.06	112.1 ± 4.92	121.37 ± 6.57
	↗ p = 0.017		↗ p < 0.001		NS		
Phase (h)	14.03 ± 0.12	14.01 ± 0.13	14.41 ± 0.14	14.54 ± 0.12	13.53 ± 0.16	14.11 ± 0.19	
	NS		↘ p = 0.005		NS		
NPCRA	L5 (mvts nocturne)	569 ± 230	517 ± 197	826 ± 463	753 ± 350	682 ± 419	895 ± 825
		NS		NS		NS	
	M10 (mvts diurne)	11859 ± 3480	14162 ± 4068	15857 ± 4378	19873 ± 5502	17224 ± 6779	17506 ± 7354
	↗ p = 0.019		NS		NS		
Amplitude (mvts)	11289 ± 3456	13645 ± 4107	15032 ± 4072	19120 ± 5412	16542 ± 6519	16610 ± 7088	
	↗ p = 0.013		↗ p = 0.075		NS		

NS= non significatif, NPCRA= Non Parametric Circadians Rhythms Analysis ; L5= activité lors des 5 heures de la nuit les moins actives ; M10= activité lors des 10 heures de la journée les plus actives ; NB : Dans le groupe Face à Face, un sujet présentant *des données aberrantes a été retiré de l'analyse* ; dans le groupe Visioconférence, un sujet présentant des données aberrantes a été retiré de l'analyse.

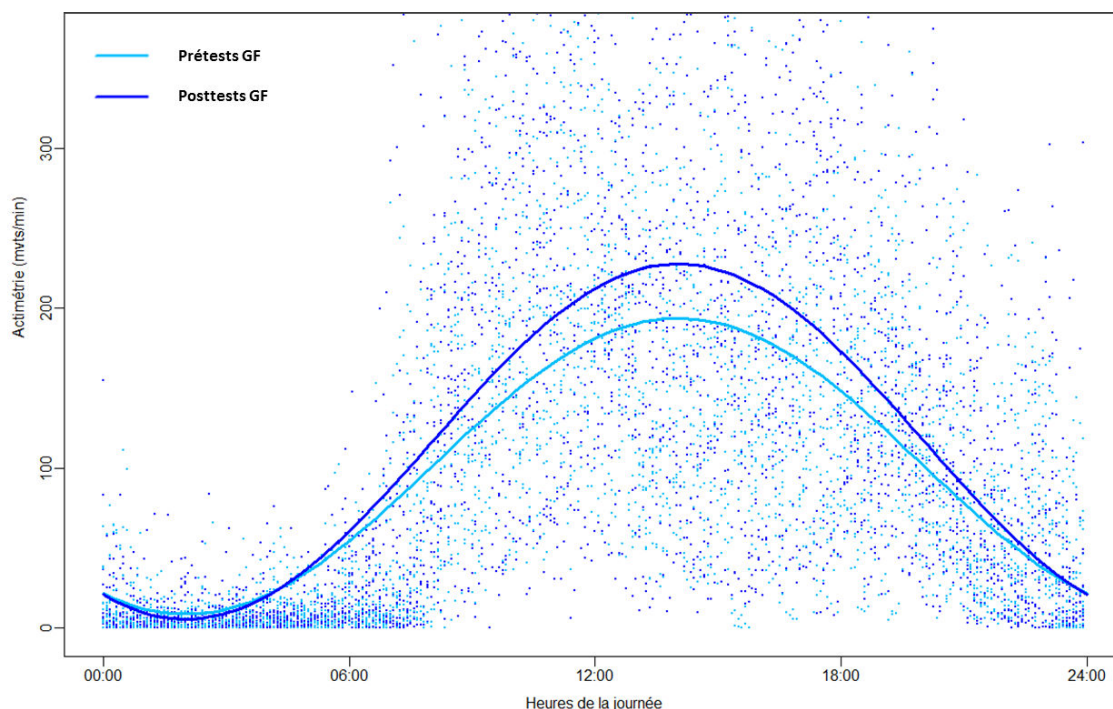


Fig. 56. Rythme circadien de l'activité du GF. Les points représentent les données brutes tandis que la ligne représente l'ajustement COSINOR.

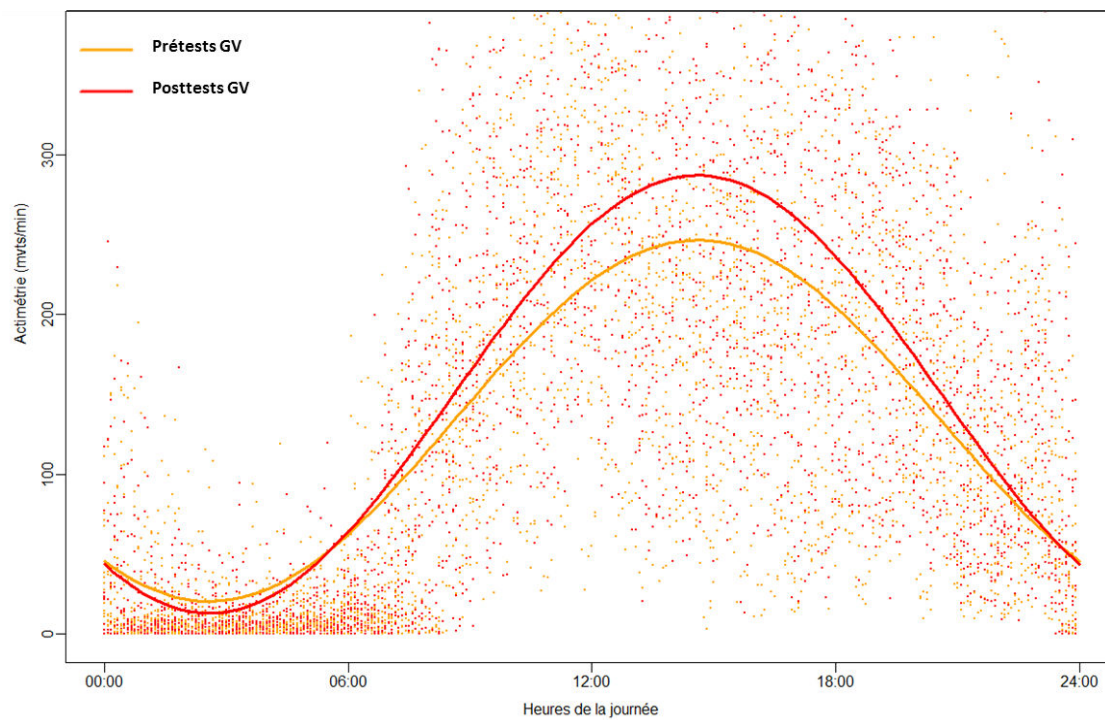


Fig. 57. Rythme circadien de l'activité du GV. Les points représentent les données brutes tandis que la ligne représente l'ajustement COSINOR.

DISCUSSION

« Les graines d'un vieillissement en bonne santé se sèment tôt ».

Kofi Annan

L'objectif principal de ce travail était de vérifier l'efficacité d'un programme d'APA dispensé à distance via un système de visioconférence collectif, sur la santé d'une population âgée. Puisqu'il n'existait pas de programme d'APA nous permettant d'atteindre nos objectifs dans les conditions imparties, une part de ce travail doctoral impliquait l'élaboration d'un programme multivarié de 4 mois à raison de deux séances d'une heure par semaine, comprenant des exercices de résistance, d'équilibre et des exercices à dominante aérobie, adaptés pour les personnes âgées. Ainsi, l'efficacité de ce programme se devait d'être préalablement vérifiée, dans des conditions classiques d'entraînement en face à face puis dans des conditions novatrices, en utilisant un système distant de visioconférence collectif. Les principaux résultats montrent que ce programme d'APA a amélioré la santé des individus entraînés, dans les deux conditions, principalement au travers de l'amélioration de la qualité de vie et de la condition physique.

La discussion qui va suivre sera organisée en quatre parties, représentant les dimensions évaluées au cours de ce travail ainsi que des éléments plus généraux de la méthode. Le programme d'APA sera systématiquement discuté en relation avec la dimension évaluée.

La première partie nous permettra donc de discuter des résultats obtenus, suite à l'entraînement, sur la qualité de vie et le bien-être psychologique. Si les résultats semblent globalement très positifs, la méthode employée pourrait cependant être discutée.

La deuxième partie sera consacrée à la condition physique des participants entraînés qui a largement été améliorée suite au programme d'APA. Certains paramètres n'ayant été modifiés que pour l'un ou l'autre des groupes entraînés, la discussion autour de l'utilisation du système de visioconférence sera essentielle.

La troisième partie sera dédiée aux capacités d'équilibration et à la marche qui n'ont que très peu évolué suite à l'entraînement. La qualité du programme développé et les conditions de diffusion de l'APA seront discutés.

La quatrième partie permettra de discuter des résultats intéressants concernant les rythmes biologiques suite au programme d'APA proposé.

3.1 EFFET DE L'APA SUR LA SANTE DES PERSONNES AGEES

3.1.1 Qualité de vie et bien-être

3.1.1.1 Qualité de vie

Afin de vérifier si la mise en place d'une APA régulière permet d'améliorer la santé globale des individus âgés, des outils de mesure de la qualité de vie sont souvent mis en place. Il en existe un très large panel spécifique au public âgé (Bulamu, Kaambwa, et Ratcliffe 2015), mais les plus largement utilisés en termes de qualité de vie liée à la santé sont "the European quality of life tool" (EQ-5D) (Windle, Edwards, et Burholt 2004) et « the World Health Organisation Quality of Life Instrument-Older Adults Module (WHOQoL-Old) » (Peel, Bartlett, et Marshall 2007; Power et al. 2005). L'utilisation de ces questionnaires chez le sujet âgé se fait principalement dans un contexte de soins hospitaliers ou à domicile, pour des personnes âgées dépendantes. Le questionnaire SF36 est quant à lui largement utilisé dans le domaine de la recherche pour évaluer la qualité de vie globale, résultante de la santé physique et mentale, qui est donc un indicateur de la santé générale des individus âgés, suite à une intervention ; ici, suite à un programme d'APA (Brovold, Skelton, et Bergland 2013; Pihl et al. 2011; Bean et al. 2004; Nelson et al. 2004; Barnett et al. 2003; King et al. 2002; Rubenstein et al. 2000; McHorney et al. 1994). Ce questionnaire nous informe autant sur les paramètres physiques que psychiques influençant la qualité de vie des individus âgés. De plus il semble transcrire une plus grande sensibilité que les deux questionnaires précédemment cités pour lesquels le seuil maximal semble fréquemment atteint chez des sujets en bonne santé physique et psychique.

Dans notre étude, les résultats obtenus à l'aide du questionnaire de santé SF36, sont très encourageants. Les deux groupes entraînés estiment que leur qualité de vie a été améliorée suite aux séances d'APA, ce qui est très positif et tout à fait conforme à la littérature (Sarkisian et al. 2007; Penedo et Dahn 2005; Jette et al. 1999). En revanche, pour le groupe témoin, c'est l'inverse, puisque les participants de ce groupe ont globalement ressenti une dégradation importante de leur qualité de vie de 12% ($\pm 15\%$). Ce sentiment de dégradation de la qualité de vie ressenti par les participants du GT n'est pas rapporté dans la littérature (Comans, Brauer, et Haines 2010; Jette et al. 1999; Stewart et King 1991). Cependant, cela semble traduire l'impact généralement observé lors du vieillissement, sur les capacités physiques et fonctionnelles des individus sédentaires (Dionne 2012; Gremeaux et al. 2012; Hunter, McCarthy, et Bamman 2012; Lakatta et Levy 2003; Shumway-Cook et al. 2002; Rantanen et al. 1999). La baisse observée est telle qu'il est difficile de ne s'intéresser qu'à un seul élément explicatif. Ainsi,

cette importante diminution entre les deux sessions de tests pourrait en partie s'expliquer par une prise de conscience des limitations physiques et cognitives et de leur impact notamment lors de tests fonctionnels ou encore pour la compréhension des consignes de l'ensemble des tests réalisés. La confrontation des performances individuelles objectives par rapport à celles que l'individu s'attendait à réaliser aura certainement eu un impact sur son état psychologique. Cela semble confirmé par la diminution particulièrement marquée du score mental du GT de 18% ($\pm 19\%$). La prise de conscience, suite à la participation à notre étude, des bonnes pratiques de vie à intégrer (activité, alimentation, hygiène) pour un vieillissement actif et en bonne santé, et des résultats de notre étude, permettra très certainement aux participants de s'orienter vers un mode de vie plus sain et actif (Bernard et al. 2008).

Le programme d'APA, dispensé dans des conditions classiques en face à face, a eu un effet bénéfique général sur la qualité de vie des seniors de 8% ($\pm 12\%$). Le questionnaire utilisé nous permet de calculer deux scores, (i) un score physique, reflétant le ressenti des participants quant à leur fonctionnement physique, leurs douleurs et limitations physiques et in fine leur santé physique, et (ii) un score mental, traduisant quant à lui leur vitalité, leur fonctionnement social ainsi que leurs limitations émotionnelles ressenties et in fine leur santé mentale (Brazier et al. 1992). Ces deux scores, physique et mental, ont été améliorés suite à l'APA dispensée en face à face. Le score physique a été amélioré de 7% ($\pm 11\%$) tandis que le score mental a gagné 9% ($\pm 15\%$). Cela suggère que le programme d'APA en face à face a eu un impact positif sur les sensations et le ressenti des participants vis-à-vis de leur santé générale. Il serait intéressant de confronter ces résultats de mesures subjectives aux résultats obtenus lors de mesures objectives de la condition physique notamment.

Le même programme d'APA, dispensé dans des conditions novatrices utilisant un système de visioconférence collectif, a également eu un impact positif sur la qualité de vie des participants âgés. Cependant, les résultats sont plus mitigés que pour le GF. En effet, si le GV a amélioré son score physique de 14% (14%) et son score global de 8% ($\pm 12\%$), il n'a pas amélioré son score mental. Puisqu'une des dimensions constituant le score mental est la socialisation, on peut penser que le système de visioconférence, qui ne peut générer que des interactions par interface informatique, freine l'impact social normalement observé lors d'une pratique d'APA régulière et administrée de manière traditionnelle (Schmidt et al. 2016).

Les résultats de ce programme d'APA sur la qualité de vie sont très intéressants et nous montrent la faisabilité et l'efficacité de l'utilisation d'un système de visioconférence collectif. Ce système, développé dans le temps de ce travail de doctorat, est encore modulable. Il sera

probablement nécessaire d'y intégrer des services ou des fonctionnalités à visée socialisante, pour renforcer son efficacité.

3.1.1.2 Bien-être psychologique

Il existe plusieurs conceptualisations et outils d'évaluation du bien-être psychologique. Toutefois, si les approches se focalisant sur la dépression sont exclues, quelques conceptualisations différentes subsistent. Tout d'abord, le Bien-Être Subjectif (BES), dont les composantes sont à la fois cognitives et émotionnelles, correspond à l'ensemble des évaluations individuelles, négatives et positives, que l'on fait de sa vie (Diener 2000). Dans ce modèle, la satisfaction de la vie peut être décomposée en autant de domaines que l'individu a d'investissements. Le BES constitue donc le niveau global supérieur hiérarchique et reste aujourd'hui l'outil le plus souvent utilisé (Sandvik, Diener, et Seidlitz 1993). Une deuxième approche est celle du bien-être psychologique (Ryff et Keyes 1995). Ce modèle multidimensionnel ne prend pas en compte la dimension émotionnelle. Enfin, une troisième approche est celle de Warr (1996) sur la santé mentale au travail avec une centration sur le contexte professionnel plutôt que le bien-être général (Holman 2004).

De nombreuses échelles de mesure de la qualité de vie sont également employées et se présentent comme des échelles génériques. Elles sont adaptées pour évaluer l'état de santé de la population générale et permettent des comparaisons avec des groupes de référence, mais elles ne rendent pas compte des spécificités des problèmes rencontrés par les patients. Finalement, un questionnaire générique de qualité de vie a été développé par l'OMS avec trois versions (originale avec 100 items, courte avec 26 items, OLD avec 24 items). Le questionnaire adapté aux personnes âgées évalue ainsi les capacités sensorielles, l'autonomie, les activités passées, présentes et futures, l'activité sociale, la mort et la fin de vie, et l'intimité (Leplège et al. 2013).

Dans une perspective multidimensionnelle, ces différents questionnaires auto-administrés restent limités et d'autres dimensions pourraient être sollicitées dans l'évaluation du bien-être psychologique. Ainsi, le sentiment d'efficacité (Zhang et Schwarzer 1995) et l'estime de soi (Rosenberg 1986) devraient être inclus dans le suivi du bien-être des personnes âgées. De plus, la valeur accordée, estimée ou perçue de la condition physique, pourrait également faire partie intégrante d'une évaluation du bien-être. Des questionnaires existant fournissant par exemple un profil descriptif simple (EQ-5D) ou évoquant la force, la souplesse, la compétence physique et l'apparence physique comme le Physical Self-Perception Profile (Fox et Corbin 1989).

Finalement, il existe de nombreux questionnaires évaluant la qualité de vie, l'estime de soi, le sentiment d'auto-efficacité ou la valeur physique perçue. Selon les disciplines, les auteurs, les populations cibles et les objectifs alloués aux études, l'utilisation des questionnaires diffère. Ces questionnaires ont parfois été validés avec des populations distinctes de la population participante au projet MOTION et se révèlent donc peu adaptés. De plus, certains abordent peu ou pas la dimension physique et corporelle. Par conséquent, il était nécessaire de développer un outil évaluant les différents concepts au sein d'un même questionnaire. Ainsi, nous avons développé « the Short Multidimensional Health Questionnaire », dont l'objectif était d'évaluer le bien-être psychologique de personnes âgées avec une approche globale prenant en compte la perception physique, la socialisation, l'estime de soi associée au sentiment d'auto-efficacité ainsi que les réactions émotionnelles. Ce questionnaire est en cours de validation (Bigot et al. 2017, soumis).

Les résultats concernant le bien-être psychologique des trois groupes évalués dans le cadre du projet MOTION n'ont pas évolué entre les pré-tests et les post-tests. L'absence de littérature sur ce questionnaire rend la discussion délicate. Cependant, un premier élément expliquant l'absence de résultats pourrait se situer dans l'utilisation des échelles de likert en 5 points. Le seuil maximal étant rapidement atteint, la sensibilité du test s'en trouve réduite pour un public en bonne santé comme c'est le cas dans notre étude. Ce questionnaire étant actuellement utilisé dans d'autres protocoles, nous étofferons notre réflexion sur ce sujet lorsque nous aurons plus de données.

3.1.2 La condition physique

3.1.2.1 La fonction musculaire

Les principaux résultats montrent que le programme d'APA a permis d'améliorer la fonction musculaire des sujets âgés dans des conditions classiques d'entraînement en face à face mais également dans des conditions novatrices utilisant un système de visioconférence collectif. La diversité des groupes musculaires explorés (membres supérieurs, extenseurs et fléchisseurs du genou et de la cheville) nécessite d'aborder la discussion des résultats distinctement.

3.1.2.1.1 Membres supérieurs - Force de préhension et extension du tronc

Suite à la participation au programme d'APA, la force de préhension (main gauche et main droite) a été améliorée pour le GF, ce qui est en accord avec la littérature (Englund et al. 2005). Les améliorations observées lors de notre étude sont de 8% ($\pm 9\%$) pour la main droite et de 7% ($\pm 8\%$) pour la main gauche. Les performances du GT et du GV n'ont quant à elles pas été modifiées. L'absence de changement du GT est logique puisqu'entre les deux sessions de tests, les participants n'ont normalement pas modifié leurs pratiques physiques. En revanche, les résultats du GV auraient pu être augmentés, au même titre que le GF. La différence de pratique en terme de diffusion, à domicile ou en centre, en autonomie ou sous la supervision d'un professionnel, en direct ou via un média interposé, semble ralentir les effets bénéfiques de la pratique (Englund et al. 2005; Gill et al. 2003; Binder et al. 2002). Il faut toutefois noter que les performances des trois groupes étaient supérieures de plus de 30% aux valeurs normalement observées pour cette tranche d'âge (Mohammadian et al. 2014; Massy-Westropp et al. 2011). Ainsi les participants de notre étude semblent avoir une bonne condition physique puisque la force de préhension est représentative des capacités physiques globales, notamment chez les personnes âgées (Wang et Chen 2010; Mälkiä 1993).

Le programme d'APA proposé n'a pas permis d'améliorer la force d'extension du tronc des groupes entraînés même si une tendance à l'augmentation est observée pour le GF ($p=0.069$). Les valeurs obtenues par les trois groupes (en moyenne supérieur à 76kg) sont très nettement supérieures à celles classiquement observées dans la littérature pour une population de plus de 70 ans (en moyenne 50 kg) (Balogun, Olawoye, et Oladipo 1991). Cet élément confirme les observations précédentes sur les qualités physiques de nos participants. Cependant, un élément qui pourrait expliquer l'absence de différence entre nos deux sessions d'évaluation serait le test

en lui-même et surtout la passation de celui-ci. En effet, lors de la passation en pré-test, certains participants se sont plaints de douleurs localisées principalement au niveau des vertèbres dorsales. Afin de ne pas reproduire cette mauvaise expérience lors des post-tests, ces mêmes participants ont, semble-t-il, limité leur effort. Ce test semble donc augmenter la peur, légitime ou non, que les personnes âgées peuvent avoir de se blesser et n'est donc pas favorable à la démarche sous tendue par ce programme, qui est d'amener les individus âgés à entreprendre des activités et à mener une vie active (Verbunt et al. 2003).

3.1.2.1.2 Membres inférieurs – Extenseurs et fléchisseurs du genou

Lors de notre étude, le moment et la puissance des muscles responsables de l'extension et de la flexion du genou ont largement été améliorés pour les deux groupes entraînés tandis qu'aucune modification n'a été notée pour le groupe témoin.

En effet lors d'une contraction volontaire maximale isométrique, les groupes entraînés ont obtenu des gains similaires en extension, de 12% ($\pm 12\%$) pour le GF et de 13% ($\pm 15\%$) pour le GV. Ces résultats sont en accord avec la littérature qui observe des améliorations des moments de force maximal isométriques suite à entraînement multivarié pour une population âgée (Brown et al. 2000; Rubenstein et al. 2000). Lors de la flexion, un gain significatif de 8% ($\pm 13\%$) a été observé pour le GF. En revanche, aucun changement n'a été observé en termes de vitesse de contraction et de fatigabilité à l'effort. Si la vitesse de contraction ou RFD (rate of force development) peut être augmentée suite à l'entraînement (Maffiuletti et al. 2016), il semble cependant qu'un entraînement spécifiquement orienté sur la force des membres inférieurs soit nécessaire (Vila-Chã, Falla, et Farina 2010). Dans l'étude de Vila-Chã, deux programmes spécifiques (force des membres inférieurs ou endurance avec exercices sur vélo) étaient proposés à des sujets jeunes et le RFD du groupe entraîné en endurance n'a pas progressé. Ainsi, lors de notre étude, le programme d'APA était multivarié et proposait à part équivalente des exercices de résistance, d'équilibre et de travail aérobic. De plus, les exercices proposés dans le programme d'APA auraient pu cibler préférentiellement les fibres de type II, plus largement affectées par le vieillissement et qui permettent une plus grande vitesse de contraction. Des exercices réalisés à intensité élevée devraient permettre d'améliorer la vitesse de contraction musculaire et ainsi, les mouvements qui requièrent une puissance explosive importante, comme la récupération de l'équilibre après une perturbation. Le travail en résistance sur les membres inférieurs proposé dans le programme d'APA n'était, semble-t-il, pas suffisant pour entraîner des améliorations du RFD significatives.

D'autre part, concernant la fatigue musculaire, il a été montré que les sujets âgés étaient au moins autant résistants lors d'un exercice de fatigue musculaire que des sujets jeunes (Yoon et al. 2008). Dans cette étude, lors d'exercices isométriques de fatigue à 20% du maximum, les sujets âgés ont maintenu leur effort 30 minutes tandis qu'ils ont maintenu l'effort 25 secondes à 80% du maximum. Puisque les tests de fatigue réalisés à moins de 50% d'une contraction volontaire maximale, comme ce fut le cas dans notre étude, semblent généralement réalisés jusqu'à la fatigue totale, il semblait difficile d'observer des changements sur un test de 30 secondes. (Vanden Noven et al. 2014; Yoon et al. 2008). Pour des populations comme la nôtre avec une bonne condition physique, l'évaluation de la fatigue devrait se faire, soit jusqu'à épuisement, soit à des intensités proches du maximum. Pour ce type d'effort, il faut donc envisager des temps de réalisation plus longs (plusieurs dizaines de minutes) et/ou des temps de récupération plus longs, que ce qu'il était possible de faire dans notre étude compte tenu de la grande diversité de mesures réalisées et du planning de test chargé qui était imposé aux participants.

Enfin, les actions dynamiques concentriques maximales d'extension et de flexion du genou ont été mesurées à vitesse lente ($60^{\circ} \cdot s^{-1}$) et à vitesse rapide ($240^{\circ} \cdot s^{-1}$) et ont été améliorées pour nos deux groupes entraînés. Les résultats obtenus par le GF ont été améliorés suite au programme d'APA, à vitesse lente en extension ($24\% \pm 57\%$) et en flexion ($23\% \pm 47\%$) et à vitesse rapide en extension ($13\% \pm 20\%$) et en flexion ($11\% \pm 14\%$). Le GV a quant à lui amélioré ses performances uniquement à vitesse rapide avec des gains moyens en extension de $15\% (\pm 22\%)$ et en flexion de $18\% (\pm 22\%)$. Dans la vie quotidienne, la vitesse lente de $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ représente la vitesse de mouvement du genou lors d'une montée d'escalier (Hislop et Perrine 1967). Selon Pocholle, Codine, et Adèle (1998), la vitesse physiologique du genou au cours de la marche est supérieure à $230^{\circ} \cdot s^{-1}$. Ainsi, suite au programme d'APA, les participants devraient ressentir moins de fatigue musculaire lors de la marche pour les deux groupes entraînés et lors d'une montée d'escaliers pour le GF. Une nouvelle fois, les différences de mode de diffusion de ce programme d'APA pourraient expliquer les résultats du GV qui semblent moins prégnants que ceux du GF (Englund et al. 2005; Gill et al. 2003; Binder et al. 2002).

Nous terminerons ici avec les résultats obtenus par les deux groupes entraînés au niveau de la puissance d'extension de la jambe. La puissance du membre inférieur est un paramètre important à prendre en compte chez le sujet âgé car elle représente un indicateur de l'état fonctionnel (Foldvari et al. 2000). Suite au programme d'APA proposé dans cette étude, des gains de $19\% (\pm 19\%)$ pour le GF et de $17\% (\pm 22\%)$ pour le GV ont été observés tandis que le

GT n'a pas évolué. Ces résultats sont en cohérence avec ceux de la littérature qui observe généralement une augmentation de la puissance d'extension de la jambe suite à un programme d'entraînement de plusieurs semaines (Van Roie et al. 2013; Kalapotharakos et al. 2007; Bean et al. 2004). Tout en tenant compte des différences de population et de méthodes, les gains observés dans notre étude semblent sensiblement inférieurs aux travaux de la littérature. Ces différences pourraient s'expliquer par le choix des contenus qui sont, dans notre étude, multivariés et qui sont, dans les études précédemment citées, ciblés sur le travail en résistance.

Alors que le lien entre la force musculaire et les capacités fonctionnelles est clairement établi dans la littérature (Cruz-Jentoft et al. 2010), d'autres recherches mettent en évidence qu'au-delà de l'importance de générer un niveau de force suffisant pour une activité donnée, la capacité de générer ce niveau de force rapidement (puissance) est déterminante (Bean et al. 2002; Evans 2000). Ainsi, la force de préhension tout comme la puissance d'extension de la jambe sont corrélés aux limitations dans les activités de la vie quotidienne (Aadahl et al. 2011). Le programme d'APA proposé dans cette étude était donc adéquat pour obtenir ce bénéfice.

3.1.2.1.3 Membres inférieurs – Extenseurs et fléchisseurs de la cheville

Lors de notre étude, la force développée par les fléchisseurs plantaires et dorsaux a été mesurée. Le programme d'APA proposé a permis aux deux groupes entraînés d'augmenter la force des muscles fléchisseurs plantaires mais pas des fléchisseurs dorsaux. Les gains obtenus par ces deux groupes sont de 19% ($\pm 26\%$) pour le GF et de 36% ($\pm 49\%$) pour le GV. Lors du vieillissement, la perte de force au niveau des mobilisateurs de la cheville est plus importante pour les fléchisseurs plantaires que dorsaux (Winegard et al. 1996). Il a même été montré qu'entre une population jeune (23.91 ± 1.70 ans) et âgée (77.09 ± 1.81 ans) la force développée par les fléchisseurs dorsaux n'était pas différente alors que celle des fléchisseurs plantaires était diminuée de 40% entre les deux populations (Fig. 58) (Simoneau, Martin, et Van Hoecke 2005). Ainsi, la marge de progression pour les fléchisseurs dorsaux semble très faible. Afin d'obtenir des gains, il semble nécessaire de programmer un entraînement spécifique de ces mêmes muscles mobilisateurs de la cheville. En effet, une étude récente conduite dans notre laboratoire, proposant un entraînement par électrostimulation ciblé sur les mobilisateurs de la cheville, a permis d'obtenir des gains significatifs de 9% pour les fléchisseurs dorsaux (Langard 2017). Pour le même entraînement ciblé, des gains de 30% ont été observés pour les fléchisseurs plantaires. Ainsi, pour un entraînement strictement identique, les gains ne sont pas les mêmes,

ce qui confirme que la marge de progression est dépendante du niveau de déconditionnement initial lié au vieillissement.

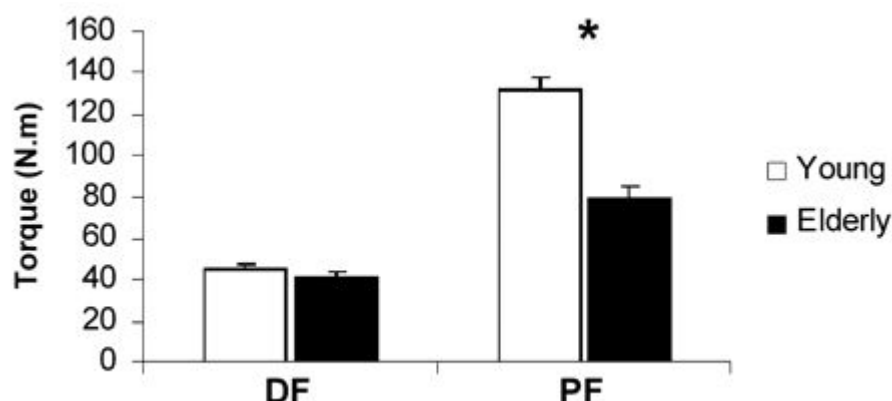


Fig. 58. Moment musculaire des mobilisateurs de la cheville (Simoneau, Martin, et Van Hoecke 2005 (DF = dorsiflexion et PF = flexion plantaire))

3.1.2.2 La capacité aérobie

Le débit maximal d'oxygène (VO_2 max) reflète la capacité aérobie des individus. Avant de discuter les résultats relatifs à la capacité aérobie des participants de notre étude, il semble important de vérifier que les conditions de réalisation du test d'effort aient effectivement permis l'atteinte du VO_2 max. Quatre critères sont généralement utilisés afin de vérifier l'atteinte de VO_2 max à la suite d'un test d'effort progressif maximal (Withers et al. 2000), (i) l'obtention d'un plateau de VO_2 en fin d'exercice (Di Prampero et al. 1993; Taylor, Buskirk, et Henschel 1955), (ii) le niveau de lactatémie en fin d'exercice (Åstrand 2003; Howley, Bassett, et Welch 1995), (iii) le quotient respiratoire (QR) (Åstrand 2003; Aitken et Thompson 1988) et (iv) la fréquence cardiaque (FC) en fin d'effort (Withers et al. 2000; P. O. Astrand et Ryhming 1954). Lors du test d'effort effectué dans le cadre de notre étude, le médecin responsable de cet examen a systématiquement vérifié que le plafonnement du VO_2 était atteint. Le niveau de lactatémie n'a pas été vérifié lors de ce test mais ce critère peut être considéré comme secondaire dans la détermination de l'atteinte de VO_2 max (Withers et al. 2000). Enfin, les critères de QR et de FC ont pu être vérifiés. En effet, dans le cadre de notre étude, les valeurs du QR ont dépassé le seuil déterminant l'atteinte de VO_2 max, fixé à 1,05 (Åstrand 2003). Il en est de même pour la FC_{max} mesurée durant notre étude, qui a dépassé le seuil déterminé par la FC_{max} théorique ($220 - \text{âge}$), ce qui confirme l'atteinte du VO_2 max. Ainsi, l'ensemble des critères permettant de certifier de l'atteinte de VO_2 max lors d'un test d'effort a été vérifié lors des deux sessions de tests, on peut dès lors discuter des résultats obtenus par nos trois groupes.

Dans notre étude, les résultats obtenus suite à un programme d'APA lors de l'évaluation de la capacité aérobie sont positifs pour nos deux groupes entraînés. Les valeurs de VO_2 max mesurées lors des deux sessions de tests sont supérieures à $18\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Plusieurs études ont montré que, concernant les personnes âgées, $18\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ était la valeur minimale pour mener une vie indépendante et pouvoir rester autonome dans les activités de la vie quotidienne (Shephard 2009; Paterson et al. 1999). Cependant, la classification de Weber en 1986 permet d'identifier la gravité du déconditionnement grâce à 4 niveaux de VO_2 max :

Niveau 1 : pas de répercussion sur l'indépendance (VO_2 max $> 20\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Niveau 2 : répercussions modérées (VO_2 max de 16 à $20\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Niveau 3 : répercussions importantes (VO_2 max de 10 à $15\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Niveau 4 : répercussions sévères (VO_2 max $< 9\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Lors des pré-tests, le GV se situait au niveau 2 avec une valeur moyenne de VO_2 max de $19.42\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Suite à l'APA, la valeur moyenne du GV a atteint $21.82\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$, pour ce groupe, la participation à notre étude aura donc permis de s'éloigner des seuils critiques de déconditionnement. Ainsi, le VO_2 max du GV a été amélioré de 16% ($\pm 21\%$) suite à l'APA, ce qui concorde avec les résultats généralement observés dans la littérature (Mauvieux et al. 2007; Takeshima et al. 2004; Binder et al. 2002; Malbut, Dinan, et Young 2002). Toujours en accord avec la littérature, les valeurs de VO_2 max du GT n'ont pas été modifiées entre les deux sessions d'entraînement (Huang et al. 2005). Ce qui diverge des études précédentes, ce sont les résultats obtenus par le GF. En effet, celui-ci n'a pas vu son VO_2 max augmenter de manière significative suite à l'entraînement. Cependant, dans le cadre d'un entraînement multivarié effectué à domicile, l'absence d'amélioration de la capacité aérobie a déjà été rapportée (Nelson et al. 2004; Katznel, Sorkin, et Fleg 2001). D'autre part, l'utilisation d'un programme multivarié pourrait limiter les progrès des entraînés notamment quand ceux-ci ont déjà une bonne capacité aérobie au départ, ce qui est le cas pour notre population avec des valeurs initiales ($21.25\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) permettant de se situer au niveau 1 selon la classification de Weber. L'étude longitudinale de Katznel, a constaté une diminution du VO_2 max de 2.6% par an chez des sujets âgés dont l'entraînement était modéré. Il est vrai que les participants de notre GF avaient un VO_2 max de base plus élevé que ceux du GV. Même si les VO_2 max des deux groupes ont été comparés à la base sans avoir montré de différence significative, on peut remarquer que les VO_2 max du GV en post ($21.82\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) n'ont que légèrement dépassé les valeurs de pré du GF ($21.25\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$) et restent en dessous des valeurs obtenues en post entraînement par le

GF ($22.25 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$). Cela signifierait alors que la valeur de $\text{VO}_2 \text{ max}$ pour une population âgée, connaîtrait un seuil haut qu'il serait difficile de dépasser suite à des programmes d'entraînement multivariés (Ogawa et al. 1992). Plusieurs études ont montré que les gains sur le $\text{VO}_2 \text{ max}$ étaient d'autant plus marqués que les sujets étaient âgés et déconditionnés (Jeandel, Bernard, et Seynnes 2005; Hepple et al. 1997; Chatard et Denis 1994). Pour améliorer le $\text{VO}_2 \text{ max}$, un entraînement spécifique en endurance semble plus approprié qu'un entraînement multivarié d'autant plus lorsque les entraînés ne sont pas déconditionnés (Huang et al. 2005; King et al. 2000).

La puissance maximale aérobie ou PMA a également été mesurée lors du test d'effort. La PMA du GT n'a pas été modifiée au cours de cette étude. En revanche, des améliorations significatives ont été observées pour nos deux groupes entraînés, en face à face de $8\% (\pm 9\%)$ et en visioconférence ($+10 \pm 12\%$). Ces résultats sont en cohérence avec nos résultats précédents concernant l'augmentation de la force et de la puissance musculaire des membres inférieurs pour nos deux groupes. En effet, les gains de force, obtenus suite au programme d'APA, ont permis d'utiliser à chaque palier un pourcentage de force maximale moins important qu'en pré-tests. La fatigue musculaire a donc été réduite, permettant ainsi aux entraînés de prolonger leur effort et d'augmenter leur puissance finale lors du test indépendamment des variations du $\text{VO}_2 \text{ max}$. L'augmentation observée de la PMA pourrait également être liée à une meilleure économie gestuelle lors du pédalage puisqu'une partie de l'entraînement aérobie a été réalisée sur un ergocycle semblable à celui utilisé lors des tests à l'effort. La PMA, tout comme le $\text{VO}_2 \text{ max}$ sont des indicateurs déterminants de la capacité d'adaptation de l'individu lors d'un effort (Foldvari et al. 2000).

Ainsi, nos résultats montrent que, suite à un programme d'APA de 16 semaines, les capacités d'adaptations à l'effort de nos participants entraînés ont été améliorées. L'APA proposée lors de cette étude aura donc permis aux individus entraînés de repousser l'entrée dans la dépendance et de maintenir les capacités fonctionnelles mises en jeu dans les activités de la vie quotidienne.

3.1.2.3 La composition corporelle

Suite au programme d'APA proposé dans cette étude, la masse musculaire n'a pas été modifiée alors que des gains de force importants ont été observés. Ce phénomène de gain de force non associé à un gain de masse est en fait assez courant puisqu'il a été montré que les exercices physiques, en résistance principalement, amélioraient rapidement la fonction

musculaire, mais que les gains de masse étaient beaucoup plus tardifs. Ainsi, si de nombreux travaux montrent que l'exercice en résistance augmente la masse musculaire et la force des sujets initialement peu actifs, la perte de masse musculaire semble persister chez les sujets âgés les plus actifs (Rolland et Vellas 2009). L'augmentation de la force en l'absence de modification de la masse musculaire pose la question de l'origine des modifications entraînées par notre programme d'APA. Les gains de force musculaire peuvent effectivement être liés à des adaptations centrales ou périphériques. Selon Edwards (1983), sont considérées comme centrales les adaptations qui concernent les facteurs allant de la création du potentiel d'action à la jonction neuromusculaire, tandis que les adaptations périphériques sont liées aux facteurs allant de la jonction à la contraction des fibres musculaires. Ainsi, sans augmentation de la masse maigre, nos participants semblent présenter des gains principalement liés à des adaptations centrales. Cette hypothèse reste cependant à être validée par l'utilisation de différentes techniques neurophysiologiques permettant de dissocier les facteurs centraux des facteurs périphériques dans le cadre d'un suivi longitudinal. Nous avions initialement prévu d'utiliser les techniques d'électromyographie et de neurostimulation mais pour des raisons de faisabilité et d'obtention de l'accord du CERSTAPS, nous avons été amenés à soustraire ces évaluations de notre protocole expérimental.

Si aucun changement au niveau de la masse musculaire n'a été observée pour nos trois groupes, une diminution de 6% de la masse grasse a été observée pour le GV. Le GV avait lors des pré-tests un IMC de près de 29 kg.m⁻² contre un IMC de 26 kg.m⁻² pour le GF et le GT. Cette différence, bien que non significative, pourrait expliquer la diminution de masse grasse rapportée exclusivement pour le GV. Si l'on se réfère aux normes établies par l'OMS, nos trois groupes ont des IMC qui les classent en surpoids. Le surpoids est considéré suite à un IMC de plus de 25 kg.m⁻² et de moins de 30 kg.m⁻² (OMS 2016). A l'intérieur de cette classe, plusieurs tranches sont définies, ainsi un IMC supérieur à 28 kg.m⁻² augmente le taux de mortalité de toutes les classes d'âges à l'exception des personnes de plus de 85 ans. Ainsi, le GV, avec son IMC à 29 kg.m⁻², voyait son taux de mortalité augmenter par rapport à celui des deux autres groupes. La perte de masse grasse du GV, suite à l'entraînement, n'a cependant pas permis au GV de passer sous la barre des 28 kg.m⁻². Si l'AP permet de limiter la prise de poids, elle devrait être associée à un régime alimentaire équilibré et adapté pour pouvoir permettre aux individus une perte de poids suffisante pour diminuer le risque de mortalité lié au surpoids.

3.1.3 *Les capacités d'équilibration et de marche*

Les principaux résultats montrent que le programme d'APA a eu un effet hétérogène sur les capacités d'équilibration et de marche des deux groupes entraînés.

3.1.3.1 **La posturographie**

Les résultats obtenus lors des enregistrements posturographiques confirment les observations classiques selon lesquelles les capacités d'équilibration se détériorent lors de la privation des informations visuelles (Gauchard et al. 2003) et que le contrôle postural se trouve dégradé en condition dynamique par rapport à la condition statique (Gauchard et al. 2010).

Le programme d'APA développé dans le cadre de cette étude et diffusé dans des conditions novatrices utilisant un système de visioconférence, semble avoir modifié l'influence des informations visuelles sur l'équilibration des participants du GV. En effet, le quotient de Romberg du GV, qui pour rappel quantifie l'importance des informations visuelles lors de l'équilibre statique, a diminué entre les deux sessions de tests. Les quotients du GF et du GT n'ayant pas évolué, cette modification pourrait être une conséquence de l'utilisation de la visioconférence. En effet, en comparaison à un entraînement dispensé dans des conditions classiques de face à face, les interactions visuo-vestibulaires ne sont pas les mêmes. Ainsi lors d'une privation sensorielle, ici visuelle, les participants du GV pourraient faire preuve d'une plus grande flexibilité sensorielle que les participants du GF, changeant ainsi de stratégie sensorielle pour maintenir leur équilibre (Rouhana et Boulinguez 2008).

De manière plus générale, le programme d'APA développé dans le cadre de cette étude n'a pas permis d'améliorer l'équilibre des participants lors d'une évaluation posturographique. Lorsque l'on s'intéresse, au regard de la littérature, aux études similaires à celle présentée ici (programmes multivariés et/ou population et/ou objectifs de santé), le constat est que les études qui ont montré des améliorations de la capacité d'équilibration pour ce type de public ont souvent utilisé des tests cliniques et fonctionnels (Sherrington et al. 2008; Weerdesteyn, Nienhuis, et Duysens 2008; Means, Rodell, et O'Sullivan 2005; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000). La posturographie, qui est pourtant un outil d'évaluation qui permet de comprendre l'implication des mécanismes sous-jacents au contrôle postural, n'est que plus rarement utilisée. Selon Pérennou et al. (2005), la posturographie, notamment dans des conditions statiques, souffre d'un manque de normalisation des conditions de passation et des indices mesurés. Ainsi, la grande disparité des outils d'évaluation ne permet pas de comparer nos résultats à ceux de la

littérature. Suite à un programme d'entraînement, certaines études témoignent d'une amélioration significative de l'équilibre statique et/ou dynamique alors que d'autres n'observent pas de changements significatifs (Jeandel et Vuillemin 2000).

Pour comprendre l'origine de nos résultats, plusieurs éléments peuvent être discutés. Plusieurs études ont montré que le contrôle postural chez la personne âgée présentait un rythme circadien, caractérisé par des performances optimales le matin et une dégradation l'après-midi pour être à son niveau le plus bas à 18h (Zouabi 2013; Jørgensen et al. 2012), particulièrement dans le cas d'une privation sensorielle. Chaque participant ayant réalisé les pré-tests et les post-tests dans des conditions identiques (heure de passage, ordre de passage), l'absence de résultat ne peut donc pas être imputable aux conditions temporelles de réalisation.

Le programme proposé aux participants a été développé pour être utilisé dans des conditions de visioconférence, impliquant de fait, des contraintes spatiales importantes. La réalisation des exercices devait pouvoir se faire dans le champ de la caméra du système de visioconférence. Afin d'améliorer les capacités d'équilibration, particulièrement en ce qui concerne l'équilibre dynamique, un entraînement incluant des parcours moteurs (e.g passages d'obstacle, marches multi directionnelles) semble particulièrement efficace (Madureira et al. 2007; Toulotte, Thévenon, et Fabre 2004). Or l'espace restreint dont disposaient les enseignants en APA, ne permettait pas ce genre de travail. Il est donc possible que les exercices proposés n'aient pas été pertinents pour pouvoir entraîner des modifications de l'équilibre dynamique sur des sujets non chuteurs.

Il a été montré que les exercices en résistance permettaient, à travers le gain de force entraîné, d'améliorer les capacités d'équilibration des sujets âgés. Au regard des gains obtenus sur la fonction musculaire des participants de notre étude, l'absence d'amélioration de la capacité d'équilibration semble incohérente puisque la défaillance musculaire observée avec l'avancée en âge participe aux troubles de l'équilibre (Woollacott, Shumway-Cook, et Nashner 1986). Cependant, il a été montré que les muscles mobilisateurs de la cheville étaient les plus impliqués dans le maintien et la récupération de l'équilibre (Wolfson et al. 1995). La vitesse de contraction a également été décrite comme importante dans la restauration du contrôle postural suite à un déséquilibre (Skelton et Beyer 2003). Si le programme d'APA a permis d'augmenter la force des fléchisseurs plantaires, la force des fléchisseurs dorsaux, le temps de montée en force et la vitesse de raccourcissement n'ont pas été modifiées. Ainsi, dans l'intention d'améliorer les capacités d'équilibration des sujets âgés, des exercices proposant de travailler

de façon homogène sur les fléchisseurs dorsaux et plantaires dans des conditions dynamiques devraient systématiquement être proposés en raison de la spécificité des adaptations musculaires liées aux modes d'actions et aux vitesses d'entraînements.

3.1.3.2 La fonction vestibulaire

Le réflexe canaliculo oculaire (RCO), observé lors d'une stimulation vestibulaire rotatoire à échelon de vitesse peut être caractérisé par sa constante de temps (CT) qui renvoie à la durée du réflexe et sa vitesse initiale maximale des phases lentes (ou son gain qui est le rapport vitesse de l'œil/ vitesse de la tête) en rapport avec la réactivité du système. En comparaison avec des sujets jeunes, Baloh, Jacobson, et Socotch (1993) ont montré que les personnes âgées présentaient une fonction vestibulaire modifiée. Le vieillissement est alors caractérisé par une diminution du RCO, du réflexe optocinétique et d'une diminution de la capacité à supprimer visuellement le RCO. Ces modifications peuvent avoir des conséquences fonctionnelles telles qu'une augmentation des sensations de déséquilibre ou de vertige. Plus spécifiquement concernant le RCO, il a été observé une diminution de la CT et une diminution du gain lors du vieillissement. En effet, l'étude de Baloh et al. (1993) a montré que la réponse oculaire, lors d'une stimulation vestibulaire rotatoire, diminuait lors du vieillissement, passant d'une CT de 15.1s et d'un gain de 0.63 pour des sujets jeunes (moyenne d'âge 26 ± 6.7 ans) à 11.7s pour la CT avec un gain de 0.58 pour des personnes âgées (moyenne d'âge 79.5 ± 4.3 ans). Dans notre étude, la CT moyenne, tous groupes confondus, était de 13.4s avant entraînement avec un gain de 0.74. Ces paramètres sont donc légèrement supérieurs à ceux observés dans l'étude de Baloh et al. (1993) ; cependant, la moyenne d'âge de nos participants était de 74 ± 3.68 ans. La différence d'âge entre les populations de ces deux études pourrait en partie expliquer les différences de CT, d'autant plus qu'il a été montré que la dégradation du système vestibulaire s'accélérait à partir de 80 ans (Lopez et al. 2005). Ainsi nos données concordent avec ces observations. De plus, nous avons montré que les participants de notre étude étaient certes âgés mais qu'ils n'étaient pas déconditionnés. La bonne condition générale de santé de nos participants pourrait également expliquer les différences de CT observées.

Le programme d'APA, développé dans le cadre de cette étude et diffusé dans des conditions novatrices utilisant un système de visioconférence, semble avoir modifié la réponse du système vestibulaire lors d'une stimulation rotatoire du GV. En effet, la CT a diminué entre les deux

sessions de tests pour le groupe GV lors des conditions per rotatoires horaire et anti horaire. Les CT du GF et du GT n'ayant pas évolué, ces modifications pourraient être une conséquence de l'utilisation de la visioconférence qui aurait les mêmes incidences qu'une habitude visuo-vestibulaire. Dai, Raphan, et Cohen 2011 se sont intéressés à l'effet d'une interaction visuo-vestibulaire sur le mal des transports. Pour cela, ils ont proposé à leurs participants une habitude visuo-vestibulaire qui consistait en une rotation sinusoïdale sur fauteuil à 0,017 Hz, à des vitesses maximales de 5 à 20°.s⁻¹ tout en observant une stimulation optocinétique (bandes d'images successives qui glissent sur un écran). Les images tournaient dans la même direction et à la même fréquence que le fauteuil, mais à une vitesse plus élevée. Cette étude a montré que les CT, indépendamment des symptômes de cinétose, diminuaient systématiquement après l'habitude visuo-vestibulaire (Dai, Raphan, et Cohen 2011). L'utilisation d'un système de visioconférence, pour effectuer des exercices physiques, implique également une interaction visuo-vestibulaire puisque les images de l'écran et les sujets ne bougent pas dans la même direction et à la même vitesse. L'utilisation de ce système entraînerait donc une repondération sensorielle permettant d'inhiber les informations contradictoires en fonction des situations, laissant entrevoir une certaine flexibilité sensorielle.

En dehors des CT du GV, aucune autre modification n'a été mise en évidence. Le programme d'APA proposait un ensemble d'exercices pour travailler sur les capacités d'équilibration, mais n'était pas spécifique au système vestibulaire.

Les seuls résultats observés lors de l'évaluation posturographique et lors de l'exploration vestibulaire concernent le groupe en visioconférence. Cela semble indiquer que l'utilisation de la visioconférence favoriserait une certaine flexibilité sensorielle.

3.1.3.3 La marche et la double tâche

Lors de cette étude, les paramètres de vitesse et de variabilité de la marche ont été mesurés dans des conditions de marche simple et dans des conditions de double tâche associant des tâches cognitives et motrices. Le programme d'APA proposé n'a pas permis d'améliorer la marche simple. En revanche, la variabilité de la marche dans des conditions de double tâche (1 cible) a été améliorée pour le GF mais pas pour le GV et le GT. Les valeurs du groupe GF étaient particulièrement élevées lors des pré-tests révélant une marche irrégulière. Ainsi la différence de résultats entre les groupes entraînés peut s'expliquer par la différence de niveau

en pré-test qui ne se retrouve pas lors des post-tests. Le programme d'APA a donc permis une diminution de la variabilité du pas du GF leur permettant ainsi d'atteindre des valeurs normales comparables à celles du GV et du GT. Globalement, nos résultats ne montrent pas de variations significatives après l'entraînement. Ces résultats sont cohérents avec certaines études qui, suite à un programme d'entraînement multivarié à intensité faible ou modérée, n'avaient pas amélioré les paramètres de la marche (Brown et al. 2000; Buchner et al. 1997). Il semble que les exercices en résistance et/ou à dominante aérobie, proposés à des intensités élevées soient plus favorables pour améliorer les performances de marche (Lopopolo et al. 2006).

Le programme d'APA, proposé lors de cette étude, n'a pas modifié le coût de la DT sur la marche, ce qui concorde avec l'absence de modification des paramètres de marche. Toutefois, le GF a diminué le coût de la DT sur la tâche visuelle (2 cibles). Les performances au test cognitif en condition de DT ont donc été améliorées suite à l'entraînement, ce qui est en accord avec la littérature puisqu'il est maintenant bien établi que l'AP (principalement en résistance et/ou à dominante aérobie) permettait d'améliorer les capacités cognitives des personnes âgées notamment les fonctions exécutives très impliquées dans la marche (pour revue Bherer, Erickson, et Liu-Ambrose 2013). L'activité physique entraînerait une modification de la structure cérébrale via une augmentation, au niveau cellulaire et moléculaire, de la neurotransmission des monoamines centrales et une expression accrue de facteurs de croissance à l'origine d'une augmentation de la neurogenèse, de la synaptogenèse, de la gliogénèse ou de l'angiogénèse (Gligoroska et Manchevska 2012). L'absence d'amélioration pour le GV pourrait s'expliquer par une très bonne condition générale qui n'entraîne pas de problèmes importants de démarche et d'équilibre (Buchner et al. 1997). Ainsi, les gains obtenus par le GF sur la fonction musculaire, notamment à vitesse rapide, auraient permis de diminuer la charge attentionnelle dédiée à la marche pour pouvoir augmenter celle allouée à la tâche visuelle. Cette hypothèse semble confirmée par l'étude de Desjardins-Crépeau et al. (2016) qui rapporte que suite à la comparaison de différents entraînements (résistance ou aérobie ou cognitif), une certaine flexibilité mentale était associée à la qualité de la marche. Cette idée avait déjà été abordée dans une étude plus ancienne, où un programme d'entraînement (posture-équilibre-motricité) avait permis d'améliorer la capacité à réaliser une tâche mentale attentionnelle tout en maintenant un équilibre correct (Albinet, Bernard, et Palut 2006).

3.1.4 Les rythmes biologiques circadiens

Les principaux résultats montrent que le programme d'APA a eu un effet certain sur le rythme d'activité mais que les rythmes de la température, de la somnolence et de la fatigue n'ont pas été modifiés.

3.1.4.1 La température

La rythmicité circadienne de la température de nos trois groupes lors des deux sessions d'évaluation a été mise en évidence et caractérisée par son amplitude, son MESOR et sa phase (temps de l'acrophase). Cette fluctuation journalière est classiquement observée dans la littérature chez la personne âgée (Zouabi et al. 2016; Rocher et al. 2015; Mauvieux et al. 2003).

Les résultats de notre étude semblent globalement cohérents avec la littérature qui s'est intéressée au rythme de la température chez la personne âgée, puisqu'ils mettent en avant des valeurs moyennes de MESOR de 36.15°C, similaires à celles classiquement rapportées (36,20°C) (Zouabi, 2013 ; Mauvieux et al. 2003). En revanche, les valeurs d'amplitudes rapportées dans notre étude semblent légèrement inférieures à celles observées chez ces mêmes auteurs. En effet, Mauvieux et al. (2003) ont rapporté des amplitudes allant de 0,30°C à 0,60°C et plus récemment Zouabi (2013), indique des amplitudes moyennes de 0.35°C tandis que les amplitudes observées dans notre étude allaient de 0.08°C à 0.26°C. Puisque le vieillissement du rythme de la température est marqué par une diminution de son amplitude, l'âge des participants de ces études (64.7 ± 5.2 ans pour Mauvieux et al. (2003) et 70.7 ± 4.7 ans pour Zouabi (2013)) et de la nôtre (74.0 ± 3,7 ans) pourrait partiellement expliquer cette différence. De plus, ce phénomène d'aplatissement du rythme qui s'amplifie avec l'âge reste très variable en fonction des individus et de leur chronotype mais également de leur niveau d'activité physique (Rocher et al. 2015). Les chronotypes des participants inclus dans notre population (51% intermédiaire; 26% matin; 23% soir) peuvent également expliquer les différences d'acrophase entre notre étude (15h00) et celles de Mauvieux et al. (2003) (14h24) et de Zouabi (2013) (16h30).

Les caractéristiques du rythme de la température classiquement observés chez le sujet jeune rapportent une acrophase entre de 16h et 18h, un MESOR de 36.50°C et une amplitude de 1°C (Waterhouse et al. 2005, Gauthier et al. 1996). Ainsi, avec une acrophase avancée, un MESOR et une amplitude diminués, nos résultats confirment les altérations du rythme de la température classiquement décrits et observés lors du vieillissement (Gubin et al. 2006; Hofman, 2000; Czeisler et al. 1992; Weitzman et al. 1982).

La pratique d'une activité physique permet généralement d'augmenter l'amplitude du rythme de température et de minimiser l'avance d'acrophase liée au vieillissement (Davenne 2004; Mauvieux et al. 2003). Cependant, suite à notre programme d'APA, la température orale des participants des trois groupes n'a pas été modifiée. Cette absence de modification de la température pourrait s'expliquer premièrement par le fait que la pratique se déroulait à domicile et qu'elle n'impliquait pas d'augmentation d'exposition à la lumière par rapport au quotidien, comme cela semble être le cas lorsque les séances se déroulent à l'extérieur du domicile. L'étude de Moraes et al. (2013) a montré que des sujets ayant, une exposition lumineuse importante au cours de la journée, présentaient une amplitude de température plus élevée que des sujets moins exposés. Si cette étude tient compte d'autres facteurs (e.g. activité, état dépressif), l'hypothèse de l'influence de la lumière sur le rythme et l'amplitude de la température est soulevée. Cette hypothèse de l'impact de l'exposition à la lumière sur les modifications de l'amplitude de la température concorde avec les résultats de l'étude de Naylor et al. (2000). En effet, dans cette étude, suite à un programme d'entraînement de plusieurs semaines se déroulant dans le lieu de vie de personnes âgées institutionnalisées, aucun changement de température n'a été observé malgré une amélioration de la qualité du sommeil.

L'hypothèse de l'implication du système vestibulaire dans la régulation des rythmes biologiques circadiens pourrait également constituer une seconde piste de réflexion intéressante. Les périodes d'activité et d'inactivité de la fonction vestibulaire sont en phase avec l'alternance du jour et de la nuit. Il semble donc légitime de se poser la question de l'implication du système vestibulaire comme synchroniseur des rythmes biologiques au même titre que d'autres synchroniseurs comme la lumière, l'activité sociale ou encore l'activité physique. La stimulation du système vestibulaire lors de l'exercice physique pourrait alors modifier les rythmes biologiques circadiens (Martin et al. 2016; Fuller et Fuller 2006). En considérant cette hypothèse, l'absence de modification du rythme de température dans notre étude pourrait être la conséquence d'un manque de stimulation vestibulaire dans les exercices proposés.

3.1.4.2 Somnolence et fatigue subjectives

Les résultats montrent que la somnolence et la fatigue subjectives des participants présentaient une rythmicité circadienne pour les trois groupes en pré-tests qui s'est maintenue en post-tests. Cette fluctuation journalière de la somnolence et de la fatigue, qui montre des niveaux plus élevés la nuit et plus faibles le jour, confirme les résultats rapportés dans la littérature (Zouabi et al. 2016; Gruau et al. 2003; Akerstedt et Gillberg 1990).

Le programme d'APA, proposé dans notre étude, n'a pas permis de modifier les rythmes de somnolence et de fatigue des participants.

3.1.4.3 Le cycle activité- repos

Les participants de nos trois groupes ont montré une rythmicité circadienne de l'alternance activité-repos, corrélant du cycle veille-sommeil. Cette rythmicité circadienne mise en évidence lors des pré-tests a été maintenue et même renforcée pour les groupes entraînés lors des évaluations de post-tests. Ces résultats sont en accord avec la littérature puisqu'il est depuis plusieurs années établi que la pratique régulière d'une AP influençait la stabilité des rythmes circadiens et augmentait l'amplitude de ses oscillations (Waterhouse et al. 1999; Atkinson et al. 1993). En effet, suite à la participation à notre programme d'APA, le niveau moyen et l'amplitude du cycle activité-repos sur 24 heures ont été augmentés pour nos deux groupes entraînés, contrairement à notre groupe témoin qui n'a pas évolué. Une analyse plus fine et détaillée de ces 24 heures permettant de quantifier l'activité diurne sur les 10 heures les plus actives (M10) et l'activité nocturne sur les 5 heures les moins actives (L5) a été réalisée et permet de comprendre les mécanismes influençant la rythmicité circadienne de l'activité. Pour le GF, une augmentation de l'amplitude entre les valeurs de M10 et celles de L5 a été observée, celle-ci serait induite par une augmentation significative de l'activité diurne sur M10. Ainsi les modifications d'amplitude et de MESOR du cycle activité-repos sont pour le GF la conséquence d'une augmentation de l'activité diurne. Pour le GV, les mécanismes mis en cause sont plus incertains. Une tendance à l'amélioration de l'amplitude entre les valeurs de M10 et celles de L5 a été observée ($p=0.075$). Cette tendance pourrait être liée à une modification non significative mais conjointe de l'augmentation de M10 et de la baisse de L5.

L'influence positive de l'AP sur le niveau d'activité motrice diurne est un phénomène classiquement observé chez une population âgée (Rocher et al. 2015; Gauriau et al. 2007;

Mauvieux et al. 2007). En effet, l'amplitude du cycle activité-repos et le niveau moyen semblent systématiquement être plus importantes lorsque les sujets sont actifs (Rocher et al. 2015; Mauvieux et al. 2003). Les effets de l'AP sur le cycle activité-repos ont été mis en évidence par des études comparant des sujets âgés sportifs à des sédentaires (Rocher et al. 2015; Mauvieux et al. 2007; Atkinson et al. 1993), mais aussi par des études proposant un programme de réentraînement physique régulier à des sujets initialement sédentaires (Gruau et al. 2003; Van Someren et al. 1997). L'ensemble de ces études proposaient des entraînements à dominante aérobie. Si la littérature sur l'intérêt du travail aérobie pour améliorer le cycle activité-repos est très étoffée (Davenne 2004; Mauvieux et al. 2003; Van Someren et al. 1997), celle s'intéressant aux programmes multivariés pour renforcer la rythmicité circadienne est inexistante. Ainsi, notre étude permet de montrer qu'un programme, alliant des exercices à dominante aérobie à des exercices de résistance et d'équilibre, participe à rendre les individus âgés plus actifs au même titre qu'un entraînement aérobie, largement surreprésenter dans les études en chronobiologie. Si notre étude n'a pas permis de diminuer l'activité nocturne, il est possible que des effets sur le sommeil s'observent plus tard. En effet il a été montré que l'AP diurne, en augmentant le niveau d'activité journalier, pouvait réduire l'activité nocturne, ce qui reflèterait une meilleur qualité de sommeil et par conséquent renforcerait le cycle veille-sommeil (Léger et Ogrizek 2012). Ces éléments montrent la nécessité d'instaurer un suivi post entraînement afin de compléter les informations expérimentales obtenues.

Ainsi, le programme d'APA multivarié a permis de rendre globalement les participants plus actifs en période diurne, les inscrivant ainsi dans une démarche positive pour un vieillissement actif et en bonne santé. L'idée sous tendue par cette formule est d'amener les individus âgés à apprécier les effets du programme sur leur qualité de vie avec des améliorations objectives de leur force, de leur puissance et de leur capacité aérobie. Les effets positifs, ressentis par les participants lors de cette étude, pourraient permettre une prise de conscience entraînant ainsi ces individus dans un cercle vertueux de l'activité physique adaptée.

CONCLUSION

« Le danger qui menace les chercheurs aujourd'hui serait de conclure qu'il n'y a plus rien à découvrir. »

Pierre Joliot-Curie

Ce travail de thèse a été réalisé dans le cadre du projet MOTION qui participe au partenariat européen d'innovation pour un vieillissement actif et en bonne santé dans le cadre du 5^{ème} appel à projet : Ambient Assisted Living. L'objectif principal était de vérifier la pertinence de l'utilisation d'un système de visioconférence pour diffuser un programme d'APA multivarié dispensé au domicile de personnes âgées.

Les principaux résultats montrent que le programme développé pour être utilisé et diffusé en visioconférence a permis d'améliorer la qualité de vie d'une population âgée indépendamment du mode de diffusion, qu'il soit traditionnel en face à face ou novateur en visioconférence. L'utilisation de la visioconférence est donc une méthode pertinente et efficace pour le maintien et l'amélioration de la santé globale perçue d'une population âgée. Notre principale hypothèse a ainsi été vérifiée. L'absence de résultat, relative au bien-être psychologique évalué grâce au questionnaire développé dans le cadre de ce projet, semble indiquer que ce questionnaire n'était pas suffisamment sensible pour révéler des variations pour un public âgé en bonne santé physique et mentale.

L'hypothèse secondaire supposait que nous pourrions observer des améliorations objectives de la condition physique, des capacités d'équilibration et de marche, ainsi que des rythmes biologiques circadiens, indépendamment du mode de diffusion et expliquer ainsi en partie l'amélioration de la qualité de vie. Des bénéfices ont effectivement été observés pour les deux groupes entraînés puisqu'ils ont amélioré leur condition physique principalement au travers de leur force, de leur puissance musculaire et de leur capacité aérobie. Les résultats concernant les paramètres d'équilibration et de marche ne sont pas en accord avec les effets habituellement observés chez des sujets âgés déconditionnés. Cela semble indiquer, d'une part, que la bonne condition de santé des participants a pu limiter l'impact positif du programme et d'autre part, que certaines modifications des exercices proposés devraient être envisagées. Cependant, la visioconférence semble entraîner une repondération sensorielle et à ce titre une certaine plasticité sensorielle qui pourrait influencer favorablement les capacités d'équilibration. Enfin, le programme d'APA a permis de renforcer le cycle activité-repos des participants entraînés en augmentant le niveau moyen de leurs activités journalières sans modifier le rythme de la température. Ainsi, les participants entraînés sont devenus plus actifs en période diurne, les inscrivant dans une démarche positive pour un vieillissement actif et en bonne santé.

Les effets bénéfiques observés ont été plus nombreux et plus marqués dans des conditions d'administration classiques en face à face. Les séances d'APA en visioconférence étaient collectives (4 participants) tandis que celles effectuées en face à face étaient individuelles. Cette

différence d'administration rend la comparaison entre les groupes délicate, mais pourrait en partie expliquer que les effets obtenus par le groupe en visioconférence soient moindres.

Ainsi, ce travail a montré que si le système de visioconférence et le programme d'APA associé pouvaient être perfectionnés de manière à obtenir des effets aussi importants que lors d'une diffusion classique, ils étaient néanmoins adaptés et acceptés par une population âgée. La visioconférence est donc un outil pertinent qui pourra être proposé en complément d'activités physiques en face à face ou en transition quand les personnes âgées pour une raison médicale, matérielle ou sociale, ne peuvent pas pratiquer leurs activités physiques de manière traditionnelle.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

- Aadah, Mette, Nina Beyer, Allan Linneberg, Betina Heinsbæk Thuesen, et Torben Jørgensen. 2011. « Grip Strength and Lower Limb Extension Power in 19-72-Year-Old Danish Men and Women: The Health2006 Study ». *BMJ Open* 1 (2): e000192. doi:10.1136/bmjopen-2011-000192.
- Aartolahti, Eeva, Arja Häkkinen, Eija Lönnroos, Hannu Kautiainen, Raimo Sulkava, et Sirpa Hartikainen. 2013. « Relationship between Functional Vision and Balance and Mobility Performance in Community-Dwelling Older Adults ». *Aging Clinical and Experimental Research* 25 (5): 545-52. doi:10.1007/s40520-013-0120-z.
- Abadi, Richard V. 2002. « Mechanisms underlying nystagmus ». *Journal of the Royal Society of Medicine* 95 (5): 231-34.
- Abellan van Kan, G., E. André, H. A. Bischoff Ferrari, Y. Boirie, G. Onder, M. Pahor, P. Ritz, et al. 2009. « Carla Task Force on Sarcopenia: Propositions for Clinical Trials ». *The Journal of Nutrition, Health & Aging* 13 (8): 700-707.
- Accary, J. -P., A. Reinberg, F. Lévi, et A. Nicolai. 1987. « La chronobiologie : concepts et définitions ». *Trait - d'Union* 2 (4): 25-29. doi:10.1016/S0980-9090(87)80045-9.
- Aitken, J. C., et J. Thompson. 1988. « The Respiratory Vco₂/Vo₂ Exchange Ratio during Maximum Exercise and Its Use as a Predictor of Maximum Oxygen Uptake ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 57 (6): 714-19.
- Akerstedt, T., et M. Gillberg. 1990. « Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual ». *The International Journal of Neuroscience* 52 (1-2): 29-37.
- Albinet, C, P-L Bernard, et Y Palut. 2006. « [Attentional control of postural stability in institutionalised elderly people: effects of a physical exercise program] ». *Annales de réadaptation et de médecine physique: revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique* 49 (9): 625-31. doi:10.1016/j.annrmp.2006.06.004.
- Albinet, Cédric, Khaled Fezzani, et Bernard Thon. 2008. « Vieillesse, activité physique et cognition ». *Movement & Sport Sciences* n° 63 (1): 9-36. doi:10.3917/sm.063.0009.
- Alexander, Neil B. 1994. « Postural Control in Older Adults ». *Journal of the American Geriatrics Society* 42 (1): 93-108. doi:10.1111/j.1532-5415.1994.tb06081.x.
- Amblard, B., et A. Carblanc. 1980. « Role of Foveal and Peripheral Visual Information in Maintenance of Postural Equilibrium in Man ». *Perceptual and Motor Skills* 51 (3 Pt 1): 903-12. doi:10.2466/pms.1980.51.3.903.
- Ambrose, Anne Felicia, Geet Paul, et Jeffrey M. Hausdorff. 2013. « Risk Factors for Falls among Older Adults: A Review of the Literature ». *Maturitas* 75 (1): 51-61. doi:10.1016/j.maturitas.2013.02.009.
- Angulo, Javier, Mariam El Assar, et Leocadio Rodríguez-Mañas. 2016. « Frailty and Sarcopenia as the Basis for the Phenotypic Manifestation of Chronic Diseases in Older Adults ». *Molecular Aspects of Medicine*, juin. doi:10.1016/j.mam.2016.06.001.

- Anson, Eric, et John Jeka. 2016. « Perspectives on Aging Vestibular Function ». *Neuro-otology*, 269. doi:10.3389/fneur.2015.00269.
- Araujo Ribeiro Alvares, João Breno de, Rodrigo Rodrigues, Rodrigo de Azevedo Franke, Bruna Gonçalves Cordeiro da Silva, Ronei Silveira Pinto, Marco Aurélio Vaz, et Bruno Manfredini Baroni. 2015. « Inter-machine reliability of the Biodex and Cybex isokinetic dynamometers for knee flexor/extensor isometric, concentric and eccentric tests ». *Physical Therapy in Sport* 16 (1): 59-65. doi:10.1016/j.ptsp.2014.04.004.
- Aschoff, Jürgen. 1954. « Zeitgeber der tierischen Tagesperiodik ». *Naturwissenschaften* 41 (3): 49-56.
- Assaiante, C., A. R. Marchand, et B. Amblard. 1989. « Discrete Visual Samples May Control Locomotor Equilibrium and Foot Positioning in Man ». *Journal of Motor Behavior* 21 (1): 72-91.
- Astrand, I., P. O. Astrand, I. Hallbäck, et A. Kilbom. 1973. « Reduction in Maximal Oxygen Uptake with Age ». *Journal of Applied Physiology* 35 (5): 649-54.
- Astrand, P. O., et I. Ryhming. 1954. « A Nomogram for Calculation of Aerobic Capacity (Physical Fitness) from Pulse Rate during Sub-Maximal Work ». *Journal of Applied Physiology* 7 (2): 218-21.
- Åstrand, Per-Olof. 2003. *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise. Human Kinetics*.
- Åstrand, Per-Olof, Kaare Rodahl, Jean-René Lacour, et Danielle Duizabo. 1994. *Précis de physiologie de l'exercice musculaire*. Elsevier Masson.
- Atkinson, G, A Coldwells, T Reilly, et J Waterhouse. 1993. « A Comparison of Circadian Rhythms in Work Performance between Physically Active and Inactive Subjects ». *Ergonomics* 36 (1-3): 273-81. doi:10.1080/00140139308967882.
- Baker, Michael K., Evan Atlantis, et Maria A. Fiatarone Singh. 2007. « Multi-Modal Exercise Programs for Older Adults ». *Age and Ageing* 36 (4): 375-81. doi:10.1093/ageing/afm054.
- Balogun, J. A., S. A. Adenlola, et A. A. Akinloye. 1991. « Grip Strength Normative Data for the Harpenden Dynamometer ». *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 14 (4): 155-60. doi:10.2519/jospt.1991.14.4.155.
- Balogun, J. A., A. G. Olawoye, et V. A. Oladipo. 1991. « Isometric Back Strength in Different Age Groups ». *International Disability Studies* 13 (3): 87-90.
- Baloh, R. W., K. M. Jacobson, et T. M. Socotch. 1993. « The Effect of Aging on Visual-Vestibuloocular Responses ». *Experimental Brain Research* 95 (3): 509-16.
- Barnett, Anne, Ben Smith, Stephen R Lord, Mandy Williams, et Adrian Baumand. 2003. « Community-Based Group Exercise Improves Balance and Reduces Falls in at-Risk Older People: A Randomised Controlled Trial ». *Age and Ageing* 32 (4): 407-14.

- Bassey, E J, et A H Short. 1990. « A New Method for Measuring Power Output in a Single Leg Extension: Feasibility, Reliability and Validity ». *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 60 (5): 385-90.
- Baumgartner, RN, Kathleen M. Koehler, Dymrna Gallagher, Linda Romero, Steven B. Heymsfield, Robert R. Ross, Philip J. Garry, et Robert D. Lindeman. 1997. « Epidemiology of Sarcopenia among the Elderly in New Mexico ». <http://aje.oxfordjournals.org/content/147/8/755.short>.
- Bean, Jonathan F, Seth Herman, Dan K Kiely, Ingrid C Frey, Suzanne G Leveille, Roger A Fielding, et Walter R Frontera. 2004. « Increased Velocity Exercise Specific to Task (InVEST) Training: A Pilot Study Exploring Effects on Leg Power, Balance, and Mobility in Community-Dwelling Older Women ». *Journal of the American Geriatrics Society* 52 (5): 799-804. doi:10.1111/j.1532-5415.2004.52222.x.
- Bean, Jonathan F., Dan K. Kiely, Seth Herman, Suzanne G. Leveille, Kelly Mizer, Walter R. Frontera, et Roger A. Fielding. 2002. « The Relationship between Leg Power and Physical Performance in Mobility-Limited Older People ». *Journal of the American Geriatrics Society* 50 (3): 461-67.
- Beersma, D. G. 1998. « Models of Human Sleep Regulation ». *Sleep Medicine Reviews* 2 (1): 31-43.
- Benloucif, Susan, Larry Orbeta, Rosemary Ortiz, Imke Janssen, Sanford I. Finkel, Joseph Bleiberg, et Phyllis C. Zee. 2004. « Morning or Evening Activity Improves Neuropsychological Performance and Subjective Sleep Quality in Older Adults ». *Sleep* 27 (8): 1542-51.
- Bernard, P L, G Ninot, C Allard, I Herbeaux, et C Jeandel. 2008. « Prévention de la perte d'autonomie par l'information et l'action: la méthode Posture - Équilibration - Motricité et Éducation pour la Santé (PEM-ES). | Base documentaire | BDSP ». <http://www.bdsp.ehesp.fr/Base/389631/>.
- Bherer, Louis, Kirk I. Erickson, et Teresa Liu-Ambrose. 2013. « A Review of the Effects of Physical Activity and Exercise on Cognitive and Brain Functions in Older Adults ». *Journal of Aging Research* 2013 (septembre): e657508. doi:10.1155/2013/657508.
- Bigot, Lucile, Catherine Garnarczyk, Antoine Gauthier, Gaëlle Quarck, et Fabrice Dosseville. 2016. « Development and validation of the Short Multidimensional Health Questionnaire (SMHQ) », *The Open Public Health Journal* Edition.Soumis
- Binder, Ellen F, Kenneth B Schechtman, Ali A Ehsani, Karen Steger-May, Marybeth Brown, David R Sinacore, Kevin E Yarasheski, et John O Holloszy. 2002. « Effects of Exercise Training on Frailty in Community-Dwelling Older Adults: Results of a Randomized, Controlled Trial ». *Journal of the American Geriatrics Society* 50 (12): 1921-28.
- Biolo, G., R. Y. Declan Fleming, et R. R. Wolfe. 1995. « Physiologic Hyperinsulinemia Stimulates Protein Synthesis and Enhances Transport of Selected Amino Acids in Human Skeletal Muscle ». *The Journal of Clinical Investigation* 95 (2): 811-19. doi:10.1172/JCI117731.

- Birch, K, et T Reilly. 2002. « The Diurnal Rhythm in Isometric Muscular Performance Differs with Eumenorrhic Menstrual Cycle Phase ». *Chronobiology International* 19 (4): 731-42.
- Bliwise, Donald L., Daniel J. Foley, Michael V. Vitiello, Farzaneh Pour Ansari, Sonia Ancoli-Israel, et James K. Walsh. 2009. « Nocturia and Disturbed Sleep in the Elderly ». *Sleep Medicine* 10 (5): 540-48. doi:10.1016/j.sleep.2008.04.002.
- Boadella, Juliette M., P. Paul Kuijer, Judith K. Sluiter, et Monique H. Frings-Dresen. 2005. « Effect of Self-Selected Handgrip Position on Maximal Handgrip Strength ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 86 (2): 328-31. doi:10.1016/j.apmr.2004.05.003.
- Boirie, Yves. 2008. « Nutrition, âge et muscle : sarcopénie ou sarcoporose ? » *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 43 (2): 67-71. doi:10.1016/S0007-9960(08)71424-X.
- Borbély, A. A. 1982. « A Two Process Model of Sleep Regulation ». *Human Neurobiology* 1 (3): 195-204.
- Borger, L. L., S. L. Whitney, M. S. Redfern, et J. M. Furman. 1999. « The Influence of Dynamic Visual Environments on Postural Sway in the Elderly ». *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation* 9 (3): 197-205.
- Bowling, Ann, et Paul Dieppe. 2005. « What is successful ageing and who should define it? » *BMJ: British Medical Journal* 331 (7531): 1548-51.
- Bradburn. 1969. *The structure of psychological well-being*. Chicago: Adline.
- Brazier, J. E., R. Harper, N. M. Jones, A. O’Cathain, K. J. Thomas, T. Usherwood, et L. Westlake. 1992. « Validating the SF-36 health survey questionnaire: new outcome measure for primary care. » *BMJ: British Medical Journal* 305 (6846): 160-64.
- Brovold, Therese, Dawn A Skelton, et Astrid Bergland. 2013. « Older Adults Recently Discharged from the Hospital: Effect of Aerobic Interval Exercise on Health-Related Quality of Life, Physical Fitness, and Physical Activity ». *Journal of the American Geriatrics Society* 61 (9): 1580-85. doi:10.1111/jgs.12400.
- Brown, Marybeth, David R. Sinacore, Ali A. Ehsani, Ellen F. Binder, John O. Holloszy, et Wendy M. Kohrt. 2000. « Low-Intensity exercise as a modifier of physical frailty in older adults ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 81 (7): 960-65. doi:10.1053/apmr.2000.4425.
- Brubaker, Peter H., et Dalane W. Kitzman. 2011. « Chronotropic Incompetence: Causes, Consequences, and Management ». *Circulation* 123 (9): 1010-20. doi:10.1161/110.940577.
- Buch, Helena, Troels Vinding, Morten la Cour, Merete Appleyard, Gorm B Jensen, et Niels Vesti Nielsen. 2004. « Prevalence and causes of visual impairment and blindness among 9980 Scandinavian adults: The Copenhagen City Eye Study ». *Ophthalmology* 111 (1): 53-61. doi:10.1016/j.ophtha.2003.05.010.

- Buchner, David M., M. Elaine Cress, Barbara J. de Lateur, Peter C. Esselman, Anthony J. Margherita, Robert Price, et Edward H. Wagner. 1997. « The effect of strength and endurance training on gait, balance, fall risk, and health services use in community-living older adults ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 52 (4): M218-24.
- Budui, Simona L., Andrea P. Rossi, et Mauro Zamboni. 2015. « The Pathogenetic Bases of Sarcopenia ». *Clinical Cases in Mineral and Bone Metabolism: The Official Journal of the Italian Society of Osteoporosis, Mineral Metabolism, and Skeletal Diseases* 12 (1): 22-26. doi:10.11138/ccmbm/2015.12.1.022.
- Bulamu, Norma B., Billingsley Kaambwa, et Julie Ratcliffe. 2015. « A systematic review of instruments for measuring outcomes in economic evaluation within aged care ». *Health and Quality of Life Outcomes* 13: 179. doi:10.1186/s12955-015-0372-8.
- Burd, Nicholas A., Daniel W. D. West, Aaron W. Staples, Philip J. Atherton, Jeff M. Baker, Daniel R. Moore, Andrew M. Holwerda, et al. 2010. « Low-Load High Volume Resistance Exercise Stimulates Muscle Protein Synthesis More than High-Load Low Volume Resistance Exercise in Young Men ». *PloS One* 5 (8): e12033. doi:10.1371/journal.pone.0012033.
- Carmeli, Eli, Raymond Coleman, et Abraham Z Reznick. 2002. « The biochemistry of aging muscle ». *Experimental Gerontology* 37 (4): 477-89. doi:10.1016/S0531-5565(01)00220-0.
- Carpinelli, Ralph N. 2008. The size principle and a critical analysis of the unsubstantiated heavier-is-better recommendation for resistance training. *Journal of Exercise Science & Fitness*, 6(2), 67-86.
- Caspersen, C J, K E Powell, et G M Christenson. 1985. « Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. » *Public Health Reports* 100 (2): 126-31.
- Castaneda, C., G. G. Dolnikowski, G. E. Dallal, W. J. Evans, et M. C. Crim. 1995. « Protein Turnover and Energy Metabolism of Elderly Women Fed a Low-Protein Diet. » *The American Journal of Clinical Nutrition* 62 (1): 40-48.
- Cenzer, Irena S., Victoria Tang, W. John Boscardin, Alexander K. Smith, Christine Ritchie, Margaret I. Wallhagen, Roxanne Espaldon, et Kenneth E. Covinsky. 2016. « One-Year Mortality After Hip Fracture: Development and Validation of a Prognostic Index ». *Journal of the American Geriatrics Society*, juin. doi:10.1111/jgs.14237.
- Chandler, J M, P W Duncan, G Kochersberger, et S Studenski. 1998. « Is Lower Extremity Strength Gain Associated with Improvement in Physical Performance and Disability in Frail, Community-Dwelling Elders? » *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 79 (1): 24-30.
- Chatard, J. C., et C. Denis. 1994. « Aptitude physique du sujet âgé ». In *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 37:423-29. Elsevier.

- Chen, Kuei-Min, Ming-Hsien Chen, Hui-Chen Chao, Hsuan-Man Hung, Huey-Shyan Lin, et Chun-Huw Li. 2009. « Sleep Quality, Depression State, and Health Status of Older Adults after Silver Yoga Exercises: Cluster Randomized Trial ». *International Journal of Nursing Studies* 46 (2): 154-63. doi:10.1016/j.ijnurstu.2008.09.005.
- Cherin, P. 2009. « Effet du vieillissement sur les muscles : la sarcopénie ». *Médecine & Longévité* 1 (1): 26-30. doi:10.1016/j.mlong.2009.06.003.
- Cherin, P. 2011. « Effet du vieillissement sur les muscles : sarcopénie et camptocormie ». *NPG Neurologie - Psychiatrie - Gériatrie* 11 (62): 70-75. doi:10.1016/j.npg.2010.12.006.
- Chodzko-Zajko, Wojtek J., David N. Proctor, Maria A. Fiatarone Singh, Christopher T. Minson, Claudio R. Nigg, George J. Salem, et James S. Skinner. 2009. « Exercise and Physical Activity for Older Adults »: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41 (7): 1510-30. doi:10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c.
- Coker, Robert H., Nicholas P. Hays, Rick H. Williams, Lulu Xu, Robert R. Wolfe, et William J. Evans. 2014. « Bed Rest Worsens Impairments in Fat and Glucose Metabolism in Older, Overweight Adults ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 69A (3): 363-70. doi:10.1093/gerona/glt100.
- Coleman, Anne L., Steven R. Cummings, Fei Yu, Gergana Kodjebacheva, Kristine E. Ensrud, Peter Gutierrez, Katie L. Stone, et al. 2007. « Binocular Visual-Field Loss Increases the Risk of Future Falls in Older White Women ». *Journal of the American Geriatrics Society* 55 (3): 357-64. doi:10.1111/j.1532-5415.2007.01094.x.
- Comans, Tracy A, Sandy G Brauer, et Terry P Haines. 2010. « Randomized Trial of Domiciliary versus Center-Based Rehabilitation: Which Is More Effective in Reducing Falls and Improving Quality of Life in Older Fallers? » *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 65 (6): 672-79. doi:10.1093/gerona/glq054.
- Corten, Philippe. 1993. « Qualité subjective de la vie et réadaptation : émergence et évolution conceptuelle ». *Santé mentale au Québec* 18 (2): 33-47. doi:10.7202/032270ar.
- Cruz-Jentoft, Alfonso J., Jean Pierre Baeyens, Jürgen M. Bauer, Yves Boirie, Tommy Cederholm, Francesco Landi, Finbarr C. Martin, et al. 2010. « Sarcopenia: European Consensus on Definition and Diagnosis Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People ». *Age and Ageing*, avril, afq034. doi:10.1093/ageing/afq034.
- Cuthbertson, Daniel, Kenneth Smith, John Babraj, Graham Leese, Tom Waddell, Philip Atherton, Henning Wackerhage, Peter M. Taylor, et Michael J. Rennie. 2005. « Anabolic Signaling Deficits Underlie Amino Acid Resistance of Wasting, Aging Muscle ». *FASEB Journal: Official Publication of the Federation of American Societies for Experimental Biology* 19 (3): 422-24. doi:10.1096/fj.04-2640fje.
- Cvecka, Jan, Veronika Tirpakova, Milan Sedliak, Helmut Kern, Winfried Mayr, et Dušan Hamar. 2015. « Physical Activity in Elderly ». *European Journal of Translational Myology* 25 (4): 249-52. doi:10.4081/ejtm.2015.5280.

- Czeisler, C. A., J. F. Duffy, T. L. Shanahan, E. N. Brown, J. F. Mitchell, D. W. Rimmer, J. M. Ronda, et al. 1999. « Stability, Precision, and near-24-Hour Period of the Human Circadian Pacemaker ». *Science (New York, N.Y.)* 284 (5423): 2177-81.
- Czeisler, C. A, M Dumont, J. F Duffy, J. D Steinberg, G. S Richardson, E. N Brown, R Sánchez, C. D Ríos, et J. M Ronda. 1992. « Originally published as Volume 2, Issue 8825 Association of sleep-wake habits in older people with changes in output of circadian pacemaker ». *The Lancet* 340 (8825): 933-36. doi:10.1016/0140-6736(92)92817-Y.
- Daan, S., D. G. Beersma, et A. A. Borbély. 1984. « Timing of Human Sleep: Recovery Process Gated by a Circadian Pacemaker ». *The American Journal of Physiology* 246 (2 Pt 2): R161-183.
- Dai, Mingjia, Ted Raphan, et Bernard Cohen. 2011. « Prolonged Reduction of Motion Sickness Sensitivity by Visual-Vestibular Interaction ». *Experimental Brain Research* 210 (3-4): 503-13. doi:10.1007/s00221-011-2548-8.
- Dardevet, D., C. Sornet, M. Balage, et J. Grizard. 2000. « Stimulation of in Vitro Rat Muscle Protein Synthesis by Leucine Decreases with Age ». *The Journal of Nutrition* 130 (11): 2630-35.
- Dargent-Molina, P., et G. Breart. 1995. « Epidémiologie des chutes et des traumatismes liés aux chutes chez les personnes âgées ». *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*, n° Vol.43, n°1 (janvier): 72-83.
- Davenne, D. 2004. « Le sommeil et la récupération, In : Le sport après 50 ans. Sprumont, P. et Thiebault, C. » De Boeck Supérieur. 9782804146290-le-sport-apres-50-ans.
- Davenne, D. 2015. « Activité physique et sommeil chez les seniors ». *Médecine du Sommeil* 12 (4): 181-89.
- Dawson, Alice, et Elaine Dennison. 2016. « Measuring the Musculoskeletal Aging Phenotype ». *Maturitas*, avril. doi:10.1016/j.maturitas.2016.04.014.
- Dawson-Hughes, B., et H. Bischoff-Ferrari. 2016. « Considerations Concerning the Definition of Sarcopenia ». *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA*, juin. doi:10.1007/s00198-016-3674-8.
- De Vries, N.M., C.D. van Ravensberg, J.S.M. Hobbelen, M.G.M. Olde Rikkert, J.B. Staal, et M.W.G. Nijhuis-van der Sanden. 2012. « Effects of physical exercise therapy on mobility, physical functioning, physical activity and quality of life in community-dwelling older adults with impaired mobility, physical disability and/or multimorbidity: A meta-analysis ». *Ageing Research Reviews* 11 (1): 136-49. doi:10.1016/j.arr.2011.11.002.
- Delbaere, K, J Bourgois, N Van Den Noortgate, G Vanderstraeten, Tine Willems, et D Cambier. 2006. « A Home-Based Multidimensional Exercise Program Reduced Physical Impairment and Fear of Falling ». *Acta Clinica Belgica* 61 (6): 340-50.

- Desjardins-Crépeau, Laurence, Nicolas Berryman, Sarah A Fraser, Thien Tuong Minh Vu, Marie-Jeanne Kergoat, Karen ZH Li, Laurent Bosquet, et Louis Bherer. 2016. « Effects of combined physical and cognitive training on fitness and neuropsychological outcomes in healthy older adults ». *Clinical Interventions in Aging* 11 (septembre): 1287-99. doi:10.2147/CIA.S115711.
- Di Prampero, P. E., C. Capelli, P. Pagliaro, G. Antonutto, M. Girardis, P. Zamparo, et R. G. Soule. 1993a. « Energetics of Best Performances in Middle-Distance Running ». *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 74 (5): 2318-24.
- Diener, Ed. 2000. « Subjective Well-Being: The Science of Happiness and a Proposal for a National Index ». *American Psychologist* 55 (1): 34-43. doi:10.1037/0003-066X.55.1.34.
- Dijk, D. J., et C. A. Czeisler. 1995. « Contribution of the Circadian Pacemaker and the Sleep Homeostat to Sleep Propensity, Sleep Structure, Electroencephalographic Slow Waves, and Sleep Spindle Activity in Humans ». *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience* 15 (5 Pt 1): 3526-38.
- Dijk, D. J., J. F. Duffy, et C. A. Czeisler. 2000. « Contribution of Circadian Physiology and Sleep Homeostasis to Age-Related Changes in Human Sleep ». *Chronobiology International* 17 (3): 285-311.
- Dionne, Isabelle. 2012. Santé, activité physique et bien-être pour les seniors - Isabelle Dionne. <http://www.decitre.fr/livres/sante-activite-physique-et-bien-etre-pour-les-seniors-9782702714003.html>.
- DiPietro, L. 1996. « The Epidemiology of Physical Activity and Physical Function in Older People ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 28 (5): 596-600.
- Do, M. C., B. Bussel, et Y. Breniere. 1990. « Influence of Plantar Cutaneous Afferents on Early Compensatory Reactions to Forward Fall ». *Experimental Brain Research* 79 (2): 319-24.
- Drummond, Micah J., Jared M. Dickinson, Christopher S. Fry, Dillon K. Walker, David M. Gundermann, Paul T. Reidy, Kyle L. Timmerman, et al. 2012. « Bed Rest Impairs Skeletal Muscle Amino Acid Transporter Expression, mTORC1 Signaling, and Protein Synthesis in Response to Essential Amino Acids in Older Adults ». *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 302 (9): E1113-1122. doi:10.1152/ajpendo.00603.2011.
- Duffy, J. F., D. J. Dijk, E. B. Klerman, et C. A. Czeisler. 1998. « Later Endogenous Circadian Temperature Nadir Relative to an Earlier Wake Time in Older People ». *The American Journal of Physiology* 275 (5 Pt 2): R1478-1487.
- Duffy, Jeanne F., et Charles A. Czeisler. 2002. « Age-Related Change in the Relationship between Circadian Period, Circadian Phase, and Diurnal Preference in Humans ». *Neuroscience Letters* 318 (3): 117-20.

- Duffy, Jeanne F., Kirsi-Marja Zitting, et Evan D. Chinoy. 2015. « Aging and Circadian Rhythms ». *Sleep medicine clinics* 10 (4): 423-34. doi:10.1016/j.jsmc.2015.08.002.
- Dupont Rocher, Sandrine, Nicolas Bessot, Bruno Sesboüé, Jan Bulla, et Damien Davenne. 2016. « Circadian Characteristics of Older Adults and Aerobic Capacity ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 71 (6): 817-22. doi:10.1093/gerona/glv195.
- Dupui, Philippe, Michel Lacour, et Richard Montoya. 2009. *Posture, exercice physique, vieillissement et pathologies*. Groupe de Boeck.
- Edwards, Richard HT. 1983. « Biochemical bases of fatigue in exercise performance: catastrophe theory of muscular fatigue ». *Biochemistry of exercise* 13: 3-28.
- El Maghraoui, Abdellah. 2014. « ★Dénutrition, sarcopénie, cachexie et ostéoporose. » <http://docplayer.fr/4596499-Denutrition-sarcopenie-cachexie-et-osteoporose.html>.
- Englund, Undis, Håkan Littbrand, Anna Sondell, Ulrika Pettersson, et Gustaf Bucht. 2005. « A 1-Year Combined Weight-Bearing Training Program Is Beneficial for Bone Mineral Density and Neuromuscular Function in Older Women ». *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 16 (9): 1117-23. doi:10.1007/s00198-004-1821-0.
- Evans, William J. 2000. « Exercise Strategies Should Be Designed to Increase Muscle Power ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 55 (6): M309-10. doi:10.1093/gerona/55.6.M309.
- Faber, Marjan J., Ruud J. Bosscher, Marijke J. Chin A Paw, et Piet C. van Wieringen. 2006. « Effects of Exercise Programs on Falls and Mobility in Frail and Pre-Frail Older Adults: A Multicenter Randomized Controlled Trial ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 87 (7): 885-96. doi:10.1016/j.apmr.2006.04.005.
- Fife, T. D., R. J. Tusa, J. M. Furman, D. S. Zee, E. Frohman, R. W. Baloh, T. Hain, J. Goebel, J. Demer, et L. Eviatar. 2000. « Assessment: Vestibular Testing Techniques in Adults and Children: Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology ». *Neurology* 55 (10): 1431-41.
- Foldvari, M., M. Clark, L. C. Laviolette, M. A. Bernstein, D. Kaliton, C. Castaneda, C. T. Pu, J. M. Hausdorff, R. A. Fielding, et M. A. Singh. 2000. « Association of Muscle Power with Functional Status in Community-Dwelling Elderly Women ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 55 (4): M192-199.
- Foley, D. J., A. A. Monjan, S. L. Brown, E. M. Simonsick, R. B. Wallace, et D. G. Blazer. 1995. « Sleep Complaints among Elderly Persons: An Epidemiologic Study of Three Communities ». *Sleep* 18 (6): 425-32.
- Fox, K.H., et C.B Corbin. 1989. « The Physical Self-Perception Profile: Development and Preliminary Validation. »

- Fried, L P, C M Tangen, J Walston, A B Newman, C Hirsch, J Gottdiener, T Seeman, et al. 2001. « Frailty in Older Adults: Evidence for a Phenotype ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 56 (3): M146-156.
- Frost, H. M. 1987. « Bone “mass” and the “mechanostat”: A Proposal ». *The Anatomical Record* 219 (1): 1-9. doi:10.1002/ar.1092190104.
- Frost, Harold M. 2003. « Bone’s Mechanostat: A 2003 Update ». *The Anatomical Record Part A: Discoveries in Molecular, Cellular, and Evolutionary Biology* 275A (2): 1081-1101. doi:10.1002/ar.a.10119.
- Fuller, Patrick M., et Charles A. Fuller. 2006. « Genetic evidence for a neurovestibular influence on the mammalian circadian pacemaker ». *Journal of biological rhythms* 21 (3): 177-84.
- Gauchard, Gérome C., Pierre Gangloff, Claude Jeandel, et Philippe P. Perrin. 2003. « Physical Activity Improves Gaze and Posture Control in the Elderly ». *Neuroscience Research* 45 (4): 409-17.
- Gauchard, Gérome C., Guy Vançon, Philippe Meyer, Didier Mainard, et Philippe P. Perrin. 2010. « 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* 32 (2): 155-60. doi:10.1016/j.gaitpost.2010.04.002.
- Gauriau, Caroline, Tifenn Raffray, Dominique Choudat, Bruno Corman, et Damien Léger. 2007. « Les troubles du sommeil peuvent être objectivement améliorés chez les seniors par un programme personnalisé d’éducation à la santé ». *La Presse Médicale* 36 (12, Part 1): 1721-31. doi:10.1016/j.lpm.2007.07.002.
- Gauthier, A., D. Davenne, A. Martin, G. Cometti, et J. Van Hoecke. 1996. « Diurnal Rhythm of the Muscular Performance of Elbow Flexors during Isometric Contractions ». *Chronobiology International* 13 (2): 135-46.
- Gibala, Martin J., Jonathan P. Little, Maureen J. Macdonald, et John A. Hawley. 2012. « Physiological Adaptations to Low-Volume, High-Intensity Interval Training in Health and Disease ». *The Journal of Physiology* 590 (5): 1077-84. doi:10.1113/jphysiol.2011.224725.
- Gill, Thomas M, Dorothy I Baker, Margaret Gottschalk, Evelyne A Gahbauer, Peter A Charpentier, Paul T de Regt, et Sarah J Wallace. 2003. « A Prehabilitation Program for Physically Frail Community-Living Older Persons ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 84 (3): 394-404. doi:10.1053/apmr.2003.50020.
- Gill, Thomas M, Dorothy I Baker, Margaret Gottschalk, Peter N Peduzzi, Heather Allore, et Amy Byers. 2002. « A Program to Prevent Functional Decline in Physically Frail, Elderly Persons Who Live at Home ». *The New England Journal of Medicine* 347 (14): 1068-74. doi:10.1056/NEJMoa020423.
- Gill, Thomas M, Dorothy I Baker, Margaret Gottschalk, Peter N Peduzzi, Heather Allore, et Peter H Van Ness. 2004. « A prehabilitation program for the prevention of functional

- decline: effect on higher-level physical function ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85 (7): 1043-49. doi:10.1016/j.apmr.2003.10.021.
- Gillespie, Lesley D, M Clare Robertson, William J Gillespie, Catherine Sherrington, Simon Gates, Lindy M Clemson, et Sarah E Lamb. 2012. « Interventions for Preventing Falls in Older People Living in the Community ». In *Cochrane Database of Systematic Reviews*, édité par The Cochrane Collaboration. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd. <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD007146.pub3>.
- Gittings, N. S., et J. L. Fozard. 1986. « Age Related Changes in Visual Acuity ». *Experimental Gerontology* 21 (4-5): 423-33.
- Glass, David J. 2005. « Skeletal Muscle Hypertrophy and Atrophy Signaling Pathways ». *The International Journal of Biochemistry & Cell Biology* 37 (10): 1974-84. doi:10.1016/j.biocel.2005.04.018.
- Glass, Jennifer, Krista L. Lanctôt, Nathan Herrmann, Beth A. Sproule, et Usoa E. Busto. 2005. « Sedative Hypnotics in Older People with Insomnia: Meta-Analysis of Risks and Benefits ». *BMJ (Clinical Research Ed.)* 331 (7526): 1169. doi:10.1136/bmj.38623.768588.47.
- Gligoroska, Jasmina Pluncevic, et Sanja Manchevska. 2012. « The Effect of Physical Activity on Cognition - Physiological Mechanisms ». *Materia Socio-Medica* 24 (3): 198-202. doi:10.5455/msm.2012.24.198-202.
- Gopen, Quinton, Ivan Lopez, Gail Ishiyama, Robert W. Baloh, et Akira Ishiyama. 2003. « Unbiased Stereologic Type I and Type II Hair Cell Counts in Human Utricular Macula ». *The Laryngoscope* 113 (7): 1132-38. doi:10.1097/00005537-200307000-00007.
- Gosselin, N, et T Troosters. 2005. « Évaluation de l'aptitude physique aérobie », *Revue des Maladies Respiratoires*, Vol 22, N° 5-C3: 739.
- Gremeaux, Vincent, Mathieu Gayda, Romuald Lepers, Philippe Sosner, Martin Juneau, et Anil Nigam. 2012. « Exercise and longevity ». *Maturitas* 73 (4): 312-17. doi:10.1016/j.maturitas.2012.09.012.
- Gruau, Sandrine, Annick Pottier, Damien Davenne, et Pierre Denise. 2003. « Les facteurs d'accidents de la route par somnolence chez les conducteurs âgés. Prévention par l'activité physique ». *Recherche, transports, sécurité*, n° 79-80: 134-44.
- Gubin, D. G., G. D. Gubin, J. Waterhouse, et D. Weinert. 2006. « The Circadian Body Temperature Rhythm in the Elderly: Effect of Single Daily Melatonin Dosing ». *Chronobiology International* 23 (3): 639-58. doi:10.1080/07420520600650612.
- Gunnarsson, Thomas Petursson, Peter Møller Christensen, Kris Holse, Danny Christiansen, et Jens Bangsbo. 2012. « Effect of Additional Speed Endurance Training on Performance and Muscle Adaptations ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 44 (10): 1942-48. doi:10.1249/MSS.0b013e31825ca446.

- Halberg, F., et A. Reinberg. 1967. « [Circadian rhythm and low frequency rhythms in human physiology] ». *Journal De Physiologie* 59 (1 Suppl): 117-200.
- Halberg, Franz, Maurice B. Visscher, et John J. Bittner. 1954. « Relation of visual factors to eosinophil rhythm in mice ». *American Journal of Physiology--Legacy Content* 179 (2): 229-35.
- Harris, Stewart K., Robert J. Petrella, Thomas J. Overend, Donald H. Paterson, et David A. Cunningham. 2003. « Short-Term Training Effects on Left Ventricular Diastolic Function and Oxygen Uptake in Older and Younger Men ». *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 13 (4): 245-51.
- HAS. 2006. « Haute Autorité de Santé - Prise en charge de l'ostéoporose : la HAS publie une synthèse à destination des professionnels de santé ». http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_437005/fr/prise-en-charge-de-l-osteoporose-la-has-publie-une-synthese-a-destination-des-professionnels-de-sante.
- Hass, Chris J., Robert J. Gregor, Dwight E. Waddell, Alanna Oliver, Dagan W. Smith, Richard P. Fleming, et Steven L. Wolf. 2004. « The Influence of Tai Chi Training on the Center of Pressure Trajectory during Gait Initiation in Older Adults ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 85 (10): 1593-98.
- Heckman, George A., et Robert S. McKelvie. 2008. « Cardiovascular Aging and Exercise in Healthy Older Adults ». *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine* 18 (6): 479-85. doi:10.1097/JSM.0b013e3181865f03.
- Hepple, R. T., S. L. M. Mackinnon, J. M. Goodman, S. G. Thomas, et M. J. Plyley. 1997. « Resistance and aerobic training in older men: effects on $\dot{V}O_2$ peak and the capillary supply to skeletal muscle ». *Journal of Applied Physiology* 82 (4): 1305-10.
- Hislop, H. J., et J. J. Perrine. 1967. « The Isokinetic Concept of Exercise ». *Physical Therapy* 47 (2): 114-17.
- Ho, April J., Cyrus A. Raji, James T. Becker, Oscar L. Lopez, Lewis H. Kuller, Xue Hua, Ivo D. Dinov, et al. 2011. « The effects of physical activity, education, and body mass index on the aging brain ». *Human Brain Mapping* 32 (9): 1371-82. doi:10.1002/hbm.21113.
- Hofman, M. A. 2000. « The Human Circadian Clock and Aging ». *Chronobiology International* 17 (3): 245-59.
- Holman, David. 2004. « Employee Well-Being in Call Centres ». In *Call Centres and Human Resource Management*, édité par Stephen Deery et Nicholas Kinnie, 223-44. Palgrave Macmillan UK. doi:10.1057/9780230288805_10.
- Horne, Jim A., et Olov Ostberg. 1976. « A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. » *International journal of chronobiology* 4 (2): 97-110.

- Howe, Tracey E., Lynn Rochester, Fiona Neil, Dawn A. Skelton, et Claire Ballinger. 2011. « Exercise for Improving Balance in Older People ». *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, n° 11: CD004963. doi:10.1002/14651858.CD004963.pub3.
- Howley, E. T., D. R. Bassett, et H. G. Welch. 1995. « Criteria for Maximal Oxygen Uptake: Review and Commentary ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (9): 1292-1301.
- Huang, Guoyuan, Cheryl A Gibson, Zung V Tran, et Wayne H Osness. 2005. « Controlled Endurance Exercise Training and VO₂max Changes in Older Adults: A Meta-Analysis ». *Preventive Cardiology* 8 (4): 217-25.
- Huang, Yijun, et Xuemei Liu. 2015. « Improvement of Balance Control Ability and Flexibility in the Elderly Tai Chi Chuan (TCC) Practitioners: A Systematic Review and Meta-Analysis ». *Archives of Gerontology and Geriatrics* 60 (2): 233-38. doi:10.1016/j.archger.2014.10.016.
- Hubbard, Ruth E, Nader Fallah, Samuel D Searle, Arnold Mitnitski, et Kenneth Rockwood. 2009. « Impact of Exercise in Community-Dwelling Older Adults ». *PloS One* 4 (7): e6174. doi:10.1371/journal.pone.0006174.
- Hunter, Gary R., John P. McCarthy, et Marcas M. Bamman. 2012. « Effects of Resistance Training on Older Adults ». *Sports Medicine* 34 (5): 329-48. doi:10.2165/00007256-200434050-00005.
- Iannuzzi-Sucich, Michele, Karen M. Prestwood, et Anne M. Kenny. 2002. « Prevalence of Sarcopenia and Predictors of Skeletal Muscle Mass in Healthy, Older Men and Women ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 57 (12): M772-77. doi:10.1093/gerona/57.12.M772.
- Inserm. 2014. « Méthodes et outils d'évaluation de l'activité physique et de la sédentarité ». In *Inégalités sociales de santé en lien avec l'alimentation et l'activité physique*. http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/6522/Chapitre_5.html.
- Inserm. 2015. *Activité physique et prévention des chutes chez les personnes âgées*. Inserm. <http://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/6807>.
- Ionescu, E., C. Dubreuil, et C. Ferber-Viart C. 2005. « Evolution physiologique des paramètres d'équilibre sur Equitest chez l'adulte sain âgé de 20 à 60 ans ». *Annales d'Otolaryngologie et de Chirurgie Cervico-faciale* 122 (5): 231-35. doi:10.1016/S0003-438X(05)82354-0.
- Irving, Brian A., Matthew M. Robinson, et K. Sreekumaran Nair. 2012. « Age Effect on Myocellular Remodeling: Response to Exercise and Nutrition in Humans ». *Ageing Research Reviews* 11 (3): 374-89. doi:10.1016/j.arr.2011.11.001.
- Jack, C. I., T. Smith, C. Neoh, M. Lye, et J. N. McGalliard. 1995. « Prevalence of Low Vision in Elderly Patients Admitted to an Acute Geriatric Unit in Liverpool: Elderly People Who Fall Are More Likely to Have Low Vision ». *Gerontology* 41 (5): 280-85.

- Jackson, Andrew S., Xuemei Sui, James R. Hébert, Timothy S. Church, et Steven N. Blair. 2009. « Role of Lifestyle and Aging on the Longitudinal Change in Cardiorespiratory Fitness ». *Archives of Internal Medicine* 169 (19): 1781-87. doi:10.1001/archinternmed.2009.312.
- Janssen, Ian, Steven B. Heymsfield, et Robert Ross. 2002. « Low Relative Skeletal Muscle Mass (Sarcopenia) in Older Persons Is Associated with Functional Impairment and Physical Disability ». *Journal of the American Geriatrics Society* 50 (5): 889-96. doi:10.1046/j.1532-5415.2002.50216.x.
- Janssen, Ian, Steven B. Heymsfield, ZiMian Wang, et Robert Ross. 2000. « Skeletal Muscle Mass and Distribution in 468 Men and Women Aged 18–88 Yr ». *Journal of Applied Physiology* 89 (1): 81-88.
- Jeandel, C, P L Bernard, et O Seynnes. 2005. Aptitude physique, santé et vieillissement. Sauramps médical. http://www.unitheque.com/Livre/sauramps_medical/Aptitude_physique,_sante_et_vieillissement-4859.html.
- Jeandel, et Vuillemin. 2000. « Effets des activités physiques sur le contrôle postural chez le sujet âgé ». EM-Consulte. <http://www.em-consulte.com/article/23908/article/effets-des-activites-physiques-sur-le-controle-pos>.
- Jette, A M, M Lachman, M M Giorgetti, S F Assmann, B A Harris, C Levenson, M Wernick, et D Krebs. 1999. « Exercise--It's Never Too Late: The Strong-for-Life Program ». *American Journal of Public Health* 89 (1): 66-72.
- Johnsson, L. G., et J. E. Hawkins. 1972. « Sensory and Neural Degeneration with Aging, as Seen in Microdissections of the Human Inner Ear ». *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology* 81 (2): 179-93.
- Jørgensen, Martin Grønbech, Michael Skovdal Rathleff, U. Laessoe, Paolo Caserotti, O. B. F. Nielsen, et Per Aagaard. 2012. « Time-of-Day Influences Postural Balance in Older Adults ». *Gait & Posture* 35 (4): 653-57. doi:10.1016/j.gaitpost.2011.12.018.
- Jungblut, Sandee. 2009. « The Correct Interpretation of the Size Principle and Its Practical Application to Resistance Training ». *Medicina Sportiva* 13 (4): 203-9. doi:10.2478/v10036-009-0033-2.
- Kafrawy, A. H. 1978. « Biology of Aging ». *Alumni Bulletin - School of Dentistry, Indiana University*, 20-22.
- Kahn, H. A., H. M. Leibowitz, J. P. Ganley, M. M. Kini, T. Colton, R. S. Nickerson, et T. R. Dawber. 1977. « The Framingham Eye Study. I. Outline and Major Prevalence Findings ». *American Journal of Epidemiology* 106 (1): 17-32.
- Kalopotharakos, Vasilios, Ilias Smilios, Andreas Parlavatzas, et Savvas P. Tokmakidis. 2007. « The Effect of Moderate Resistance Strength Training and Detraining on Muscle Strength and Power in Older Men ». *Journal of Geriatric Physical Therapy* 30 (3): 109-13.

- Karabulut, Murat, Takashi Abe, Yoshiaki Sato, et Michael G. Bemben. 2010. « The Effects of Low-Intensity Resistance Training with Vascular Restriction on Leg Muscle Strength in Older Men ». *European Journal of Applied Physiology* 108 (1): 147-55. doi:10.1007/s00421-009-1204-5.
- Katzel, Leslie I., John D. Sorkin, et Jerome L. Fleg. 2001. « A Comparison of Longitudinal Changes in Aerobic Fitness in Older Endurance Athletes and Sedentary Men ». *Journal of the American Geriatrics Society* 49 (12): 1657-64. doi:10.1111/j.1532-5415.2001.49276.x.
- Kelley, George A., et Kristi S. Kelley. 2006. « Exercise and bone mineral density at the femoral neck in postmenopausal women: A meta-analysis of controlled clinical trials with individual patient data ». *American Journal of Obstetrics and Gynecology* 194 (3): 760-67. doi:10.1016/j.ajog.2005.09.006.
- Kelley, George A., Kristi S. Kelley, et Zung Vu Tran. 2000. « Exercise and Bone Mineral Density in Men: A Meta-Analysis ». *Journal of Applied Physiology* 88 (5): 1730-36.
- Kevetter, Golda Anne, Cindy Lou Zimmerman, et Robert B. Leonard. 2005. « Hair Cell Numbers Do Not Decrease in the Crista Ampullaris of Geriatric Gerbils ». *Journal of Neuroscience Research* 80 (2): 279-85. doi:10.1002/jnr.20451.
- Khalsa, Sat Bir S., Megan E. Jewett, Christian Cajochen, et Charles A. Czeisler. 2003. « A Phase Response Curve to Single Bright Light Pulses in Human Subjects ». *The Journal of Physiology* 549 (Pt 3): 945-52. doi:10.1113/jphysiol.2003.040477.
- King, A. C., L. A. Pruitt, W. Phillips, R. Oka, A. Rodenburg, et W. L. Haskell. 2000. « Comparative Effects of Two Physical Activity Programs on Measured and Perceived Physical Functioning and Other Health-Related Quality of Life Outcomes in Older Adults ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 55 (2): M74-83.
- King, A C, W J Rejeski, et D M Buchner. 1998. « Physical Activity Interventions Targeting Older Adults. A Critical Review and Recommendations ». *American Journal of Preventive Medicine* 15 (4): 316-33.
- King, Abby C., Leslie A. Pruitt, Sandra Woo, Cynthia M. Castro, David K. Ahn, Michael V. Vitiello, Steven H. Woodward, et Donald L. Bliwise. 2008. « Effects of Moderate-Intensity Exercise on Polysomnographic and Subjective Sleep Quality in Older Adults with Mild to Moderate Sleep Complaints ». *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences* 63 (9). <https://iiths.pure.elsevier.com/en/publications/effects-of-moderate-intensity-exercise-on-polysomnographic-and-su>.
- King, Mary B, Robert H Whipple, Cynthia A Gruman, James O Judge, Julia A Schmidt, et Leslie I Wolfson. 2002. « The Performance Enhancement Project: Improving Physical Performance in Older Persons ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 83 (8): 1060-69.

- Kingston, Gail A, Gary Williams, Marion A Gray, et Jenni Judd. 2013. « Does a DVD Improve Compliance with Home Exercise Programs for People Who Have Sustained a Traumatic Hand Injury? Results of a Feasibility Study ». *Disability and Rehabilitation. Assistive Technology*, juin. doi:10.3109/17483107.2013.806600.
- Koeneman, Margot A, Marieke W Verheijden, Mai J M Chinapaw, et Marijke Hopman-Rock. 2011. « Determinants of Physical Activity and Exercise in Healthy Older Adults: A Systematic Review ». *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 8: 142. doi:10.1186/1479-5868-8-142.
- Kohrt, Wendy M., Susan A. Bloomfield, Kathleen D. Little, Miriam E. Nelson, Vanessa R. Yingling, et American College of Sports Medicine. 2004. « American College of Sports Medicine Position Stand: Physical Activity and Bone Health ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 36 (11): 1985-96.
- Konopka, Adam R., Todd A. Trappe, Bozena Jemiolo, Scott W. Trappe, et Matthew P. Harber. 2011. « Myosin Heavy Chain Plasticity in Aging Skeletal Muscle With Aerobic Exercise Training ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 66A (8): 835-41. doi:10.1093/gerona/qlr088.
- Kortebein P, Ferrando A, Lombeida J, Wolfe R, et Evans WJ. 2007. « Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults ». *JAMA* 297 (16): 1769-74. doi:10.1001/jama.297.16.1772-b.
- Kortebein, Patrick, T. Brock Symons, Arny Ferrando, Douglas Paddon-Jones, Ola Ronsén, Elizabeth Protas, Scott Conger, Juan Lombeida, Robert Wolfe, et William J. Evans. 2008. « Functional Impact of 10 Days of Bed Rest in Healthy Older Adults ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 63 (10): 1076-81.
- Kubitz, K. A., D. M. Landers, S. J. Petruzzello, et M. Han. 1996. « The Effects of Acute and Chronic Exercise on Sleep. A Meta-Analytic Review ». *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 21 (4): 277-91.
- Lacour, Michel, Sophie Dutheil, Brahim Tighilet, Christophe Lopez, et Liliane Borel. 2009. « Tell Me Your Vestibular Deficit, and I'll Tell You How You'll Compensate ». *Annals of the New York Academy of Sciences* 1164 (1): 268-78. doi:10.1111/j.1749-6632.2008.03731.x.
- Lafont, C., P. Dupui, M. C. Costes-Salon, J. L. Albaredo, et P. Bessou. 1991. « Equilibre et vieillissement ». *L'Année gériatrique*, 151-91.
- Lakatta, Edward G., et Daniel Levy. 2003. « Arterial and Cardiac Aging: Major Shareholders in Cardiovascular Disease Enterprises: Part II: The Aging Heart in Health: Links to Heart Disease ». *Circulation* 107 (2): 346-54.
- Langeard, Antoine. 2017. « Prévention de la chute chez la personne âgée : De la détection du risque à la réhabilitation par électrostimulation ».

- Latham, N, C Anderson, D Bennett, et C Stretton. 2003. « Progressive Resistance Strength Training for Physical Disability in Older People ». The Cochrane Database of Systematic Reviews, n° 2: CD002759. doi:10.1002/14651858.CD002759.
- Latham, Nancy K., Craig S. Anderson, Arier Lee, Derrick A. Bennett, Anne Moseley, Ian D. Cameron, et Fitness Collaborative Group. 2003. « A Randomized, Controlled Trial of Quadriceps Resistance Exercise and Vitamin D in Frail Older People: The Frailty Interventions Trial in Elderly Subjects (FITNESS) ». Journal of the American Geriatrics Society 51 (3): 291-99.
- Latham, Nancy K, Derrick A Bennett, Caroline M Stretton, et Craig S Anderson. 2004. « Systematic Review of Progressive Resistance Strength Training in Older Adults ». The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences 59 (1): 48-61.
- « Le blog du GERAR: Le cercle vicieux de la sédentarité ». 2014. Consulté le février 28. <http://le-gerar.blogspot.fr/2011/12/le-cercle-vicieux-de-la-sedentarite.html>.
- Léger, D., et P. Ogrizek. 2012. « Troubles du sommeil et de l'éveil : mise au point ». La Revue de Médecine Interne 33 (9): 525-31. doi:10.1016/j.revmed.2012.06.008.
- Leplège A. 1999. Les mesures de la qualité de vie. Paris: PUF. http://www.myobase.org/index.php?lvl=notice_display&id=22275.
- Leplège, A., C. Perret-Guillaume, E. Ecosse, M.-P. Hervy, J. Ankri, et N. von Steinbüchel. 2013. « Un nouvel instrument destiné à mesurer la qualité de vie des personnes âgées : le WHOQOL-OLD version française ». /data/revues/02488663/v34i2/S0248866312006236/, janvier. <http://www.em-consulte.com/en/article/783818>.
- Leplège, Alain, Emmanuel Ecosse, Joël Coste, Jacques Pouchot, et Thomas Perneger. 2001. Le questionnaire MOS SF-36: *manuel de l'utilisateur et guide d'interprétation des scores*. De Boeck Secundair.
- Li, Fuzhong, K. John Fisher, Peter Harmer, Dainis Irbe, Robert G. Tearse, et Cheryl Weimer. 2004. « Tai Chi and Self-Rated Quality of Sleep and Daytime Sleepiness in Older Adults: A Randomized Controlled Trial ». Journal of the American Geriatrics Society 52 (6): 892-900. doi:10.1111/j.1532-5415.2004.52255.x.
- Li, R. C., Y. Wu, N. Maffulli, K. M. Chan, et J. L. Chan. 1996. « Eccentric and Concentric Isokinetic Knee Flexion and Extension: A Reliability Study Using the Cybex 6000 Dynamometer. » British Journal of Sports Medicine 30 (2): 156-60. doi:10.1136/bjism.30.2.156.
- LIFE Study Investigators, Marco Pahor, Steven N Blair, Mark Espeland, Roger Fielding, Thomas M Gill, Jack M Guralnik, et al. 2006. « Effects of a Physical Activity Intervention on Measures of Physical Performance: Results of the Lifestyle Interventions and Independence for Elders Pilot (LIFE-P) Study ». The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences 61 (11): 1157-65.

- Liston, Matthew Bryan, Doris-Eva Bamiou, Finbarr Martin, Adrian Hopper, Nehzat Koochi, Linda Luxon, et Marousa Pavlou. 2014. « Peripheral Vestibular Dysfunction Is Prevalent in Older Adults Experiencing Multiple Non-Syncopal Falls versus Age-Matched Non-Fallers: A Pilot Study ». *Age and Ageing* 43 (1): 38-43. doi:10.1093/ageing/aft129.
- Loenneke, Jeremy P., Jacob M. Wilson, Pedro J. Marín, Michael C. Zourdos, et Michael G. Bemben. 2012. « Low Intensity Blood Flow Restriction Training: A Meta-Analysis ». *European Journal of Applied Physiology* 112 (5): 1849-59. doi:10.1007/s00421-011-2167-x.
- Lopez, Ivan, Gail Ishiyama, Yong Tang, Joshua Tokita, Robert W. Baloh, et Akira Ishiyama. 2005. « Regional Estimates of Hair Cells and Supporting Cells in the Human Crista Ampullaris ». *Journal of Neuroscience Research* 82 (3): 421-31. doi:10.1002/jnr.20652.
- Lopopolo, Rosalie B., Melissa Greco, Dorianne Sullivan, Rebecca L. Craik, et Kathleen K. Mangione. 2006. « Effect of therapeutic exercise on gait speed in community-dwelling elderly people: a meta-analysis ». *Physical Therapy* 86 (4): 520-40.
- Lord, S. R., R. D. Clark, et I. W. Webster. 1991. « Postural Stability and Associated Physiological Factors in a Population of Aged Persons ». *Journal of Gerontology* 46 (3): M69-76.
- Lord, Stephen R. 2006. « Visual Risk Factors for Falls in Older People ». *Age and Ageing* 35 Suppl 2 (septembre): ii42-ii45. doi:10.1093/ageing/afl085.
- Lu, Tung-Wu, Stephen J. G. Taylor, John J. O'Connor, et Peter S. Walker. 1997. « Influence of muscle activity on the forces in the femur: An in vivo study ». *Journal of Biomechanics* 30 (11): 1101-6. doi:10.1016/S0021-9290(97)00090-0.
- Madureira, M. M., L. Takayama, A. L. Gallinaro, V. F. Caparbo, R. A. Costa, et R. M. R. Pereira. 2007. « Balance Training Program Is Highly Effective in Improving Functional Status and Reducing the Risk of Falls in Elderly Women with Osteoporosis: A Randomized Controlled Trial ». *Osteoporosis International* 18 (4): 419-25. doi:10.1007/s00198-006-0252-5.
- Maffiuletti, Nicola A., Per Aagaard, Anthony J. Blazevich, Jonathan Folland, Neale Tillin, et Jacques Duchateau. 2016. « Rate of force development: physiological and methodological considerations ». *European Journal of Applied Physiology* 116: 1091-1116. doi:10.1007/s00421-016-3346-6.
- Maki, Brian E., et William E. McIlroy. 2006. « Control of Rapid Limb Movements for Balance Recovery: Age-Related Changes and Implications for Fall Prevention ». *Age and Ageing* 35 Suppl 2 (septembre): ii12-ii18. doi:10.1093/ageing/afl078.
- Malbut, Katie E., Susie Dinan, et Archie Young. 2002. « Aerobic Training in the 'oldest Old': The Effect of 24 Weeks of Training ». *Age and Ageing* 31 (4): 255-60. doi:10.1093/ageing/31.4.255.

- Mälkiä, E. 1993. « Strength and aging: patterns of change and implications for training ». In *Muscle strength: international perspectives in physical therapy*, 141-67. 8th Ed, K. Harms-Ringdahl, Ed. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Martin, Tristan, Sébastien Moussay, Ingo Bulla, Jan Bulla, Michel Toupet, Olivier Etard, Pierre Denise, Damien Davenne, Antoine Coquerel, et Gaëlle Quarck. 2016. « Exploration of Circadian Rhythms in Patients with Bilateral Vestibular Loss ». *PLoS ONE* 11 (6). doi:10.1371/journal.pone.0155067.
- Martone, Anna Maria, Fabrizia Lattanzio, Angela Marie Abbatecola, Domenico La Carpia, Matteo Tosato, Emanuele Marzetti, Riccardo Calvani, Graziano Onder, et Francesco Landi. 2015. « Treating Sarcopenia in Older and Oldest Old ». *Current Pharmaceutical Design* 21 (13): 1715-22.
- Martyn-St James, M., et S. Carroll. 2006. « High-Intensity Resistance Training and Postmenopausal Bone Loss: A Meta-Analysis ». *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 17 (8): 1225-40. doi:10.1007/s00198-006-0083-4.
- Maslow, Abraham Harold. 1962. *Toward a Psychology of Being*. Princeton, N.J: Van Nostrand. <http://search.ebscohost.com/direct.asp?db=pzh&jid=%22200506675%22&scope=site>.
- Massy-Westropp, Nicola M, Tiffany K Gill, Anne W Taylor, Richard W Bohannon, et Catherine L Hill. 2011. « Hand Grip Strength: age and gender stratified normative data in a population-based study ». *BMC Research Notes* 4 (avril): 127. doi:10.1186/1756-0500-4-127.
- Matheson, A. J., C. L. Darlington, et P. F. Smith. 1999. « Dizziness in the Elderly and Age-Related Degeneration of the Vestibular System ». *New Zealand Journal of Psychology* 28 (1): 10-16.
- Mathiowetz, V, N Kashman, G Volland, K Weber, M Dowe, et S Rogers. 1985. « Grip and Pinch Strength: Normative Data for Adults ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 66 (2): 69-74.
- Mathiowetz, V, K Weber, G Volland, et N Kashman. 1984. « Reliability and Validity of Grip and Pinch Strength Evaluations ». *The Journal of Hand Surgery* 9 (2): 222-26.
- Mauvieux, B., D. Davenne, S. Gruau, B. Sesboüé, et P. Denise. 2003. « Effet de l'entraînement physique et sportif sur le rythme circadien de la température et le rythme veille-sommeil chez la personne âgée ». *Science & Sports* 18 (2): 93-103. doi:10.1016/S0765-1597(02)00047-3.
- Mauvieux, B., L. Gouthière, B. Sesboüé, P. Denise, et D. Davenne. 2007. « Effets de l'entraînement physique et sportif sur le rythme circadien de la température et le rythme veille-sommeil chez la personne vieillissante. Exemples chez des retraités et des travailleurs de nuit ». *Pathologie Biologie* 55 (3-4): 205-7. doi:10.1016/j.patbio.2006.12.007.

- McAuley, Edward, Thomas R Wójcicki, Neha P Gothe, Emily L Mailey, Amanda N Szabo, Jason Fanning, Erin A Olson, Siobhan M Phillips, Robert W Motl, et Sean P Mullen. 2013. « Effects of a DVD-Delivered Exercise Intervention on Physical Function in Older Adults ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 68 (9): 1076-82. doi:10.1093/gerona/glt014.
- McAuley, Edward, Thomas R Wójcicki, Siobhan M White, Emily L Mailey, Amanda N Szabo, Neha Gothe, Erin A Olson, et al. 2012. « Physical Activity, Function, and Quality of Life: Design and Methods of the FlexToBa Trial ». *Contemporary Clinical Trials* 33 (1): 228-36. doi:10.1016/j.cct.2011.10.002.
- McCartney, Neil, Audrey L. Hicks, Joan Martin, et Colin E. Webber. 1995. « Long-Term Resistance Training in the Elderly: Effects on Dynamic Strength, Exercise Capacity, Muscle, and Bone ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 50A (2): B97-104. doi:10.1093/gerona/50A.2.B97.
- McHorney, C. A., J. E. Ware, J. F. Lu, et C. D. Sherbourne. 1994. « The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): III. Tests of Data Quality, Scaling Assumptions, and Reliability across Diverse Patient Groups ». *Medical Care* 32 (1): 40-66.
- Means, Kevin M., Daniel E. Rodell, et Patricia S. O'Sullivan. 2005. « Balance, Mobility, and Falls Among Community-Dwelling Elderly Persons: Effects of a Rehabilitation Exercise Program ». *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 84 (4): 238-50. doi:10.1097/01.PHM.0000151944.22116.5A.
- Melancon, Michel O., Dominique Lorrain, et Isabelle J. Dionne. 2015. « Sleep Depth and Continuity before and after Chronic Exercise in Older Men: Electrophysiological Evidence ». *Physiology & Behavior* 140 (mars): 203-8. doi:10.1016/j.physbeh.2014.12.031.
- Melton LJ 3rd, Khosla S, Crowson Cs, O'Connor Mk, O'Fallon Wm, et Riggs Bl. 2000. « Epidemiology of Sarcopenia. » *Journal of the American Geriatrics Society* 48 (6): 625-30.
- Menz, Hylton B., et Stephen R. Lord. 2005. « Gait Instability in Older People with Hallux Valgus ». *Foot & Ankle International* 26 (6): 483-89.
- Minors, David S., Simon Folkard, et James M. Waterhouse. 1996. « The Shape of the Endogenous Circadian Rhythm of Rectal Temperature in Humans ». *Chronobiology International* 13 (4): 261-71. doi:10.3109/07420529609020906.
- Mitchell, William Kyle, Philip James Atherton, John Williams, Michael Larvin, Jonathan Norman Lund, et Marco Narici. 2012. « Sarcopenia, dynapenia, and the impact of advancing age on human skeletal muscle size and strength; a quantitative review ». *Striated Muscle Physiology* 3: 260. doi:10.3389/fphys.2012.00260.
- Mohammadian, Mostafa, Alireza Choobineh, Aliakbar Haghdoost, et Naser Hasheminejad. 2014. « Normative Data of Grip and Pinch Strengths in Healthy Adults of Iranian Population ». *Iranian Journal of Public Health* 43 (8): 1113-22.

- Monk, Timothy H., Daniel J. Buysse, Martica Hall, Eric A. Nofzinger, Wesley K. Thompson, Sati A. Mazumdar, et Charles F. Reynolds. 2006. « Age-Related Differences in the Lifestyle Regularity of Seniors Experiencing Bereavement, Care-Giving, Insomnia, and Advancement into Old-Old Age ». *Chronobiology International* 23 (4): 831-41. doi:10.1080/07420520600827152.
- Montgomery, Paul, et Jane Dennis. 2004. « A Systematic Review of Non-Pharmacological Therapies for Sleep Problems in Later Life ». *Sleep Medicine Reviews* 8 (1): 47-62. doi:10.1016/S1087-0792(03)00026-1.
- Moore, Daniel R. 2014. « Keeping Older Muscle “Young” through Dietary Protein and Physical Activity¹² ». *Advances in Nutrition* 5 (5): 599S-607S. doi:10.3945/an.113.005405.
- Moore, R. Y., et V. B. Eichler. 1972. « Loss of a Circadian Adrenal Corticosterone Rhythm Following Suprachiasmatic Lesions in the Rat ». *Brain Research* 42 (1): 201-6.
- Moraes, Cláudia, Trinitat Cambras, Antoni Diez-Noguera, Regina Schmitt, Giovana Dantas, Rosa Levandovski, et Maria Paz Hidalgo. 2013. « A New Chronobiological Approach to Discriminate between Acute and Chronic Depression Using Peripheral Temperature, Rest-Activity, and Light Exposure Parameters ». *BMC Psychiatry* 13 (mars): 77. doi:10.1186/1471-244X-13-77.
- Moran, Daniel S., et Liran Mendal. 2002. « Core Temperature Measurement: Methods and Current Insights ». *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)* 32 (14): 879-85.
- Morin, C. M., et S. E. Gramling. 1989. « Sleep Patterns and Aging: Comparison of Older Adults with and without Insomnia Complaints ». *Psychology and Aging* 4 (3): 290-94.
- Morley, J. E. 1997. « Anorexia of Aging: Physiologic and Pathologic. » *The American Journal of Clinical Nutrition* 66 (4): 760-73.
- Morley, J. E., R. N. Baumgartner, R. Roubenoff, J. Mayer, et K. S. Nair. 2001. « Sarcopenia ». *The Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 137 (4): 231-43. doi:10.1067/mlc.2001.113504.
- Morley, J. E., et A. J. Silver. 1988. « Anorexia in the Elderly ». *Neurobiology of Aging* 9 (1): 9-16.
- National Institute of Mental Health (U. S.). Division of Intramural Research Programs. 1987. *Annual Report : National Institute of Mental Health. Division of Intramural Research Programs.* [Rockville, Md.] : The Division. <http://archive.org/details/annualreport198721nati>.
- Naylor, E., P. D. Penev, L. Orbeta, I. Janssen, R. Ortiz, E. F. Colecchia, M. Keng, S. Finkel, et P. C. Zee. 2000. « Daily Social and Physical Activity Increases Slow-Wave Sleep and Daytime Neuropsychological Performance in the Elderly ». *Sleep* 23 (1): 87-95.
- Neikrug, Ariel B., et Sonia Ancoli-Israel. 2010. « Sleep Disorders in the Older Adult - a Mini-Review ». *Gerontology* 56 (2): 181-89. doi:10.1159/000236900.

- Nelson, Miriam E, Jennifer E Layne, Melissa J Bernstein, Andrea Nuernberger, Carmen Castaneda, David Kaliton, Jeffrey Hausdorff, et al. 2004. « The Effects of Multidimensional Home-Based Exercise on Functional Performance in Elderly People ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 59 (2): 154-60.
- Nevitt, M. C., S. R. Cummings, S. Kidd, et D. Black. 1989. « Risk Factors for Recurrent Nonsyncopal Falls. A Prospective Study ». *JAMA* 261 (18): 2663-68.
- Nitz, Jennifer C, et Nancy Low Choy. 2004. « The Efficacy of a Specific Balance-Strategy Training Programme for Preventing Falls among Older People: A Pilot Randomised Controlled Trial ». *Age and Ageing* 33 (1): 52-58.
- Njiokiktjien, C. J., et J. A. Van Parys. 1976. « Romberg's Sign Expressed in a Quotient. II. Pathology ». *Agressologie: Revue Internationale De Physio-Biologie Et De Pharmacologie Appliquees Aux Effets De L'agression* 17 (Spec D): 19-23.
- Ogawa, T., R. J. Spina, W. H. Martin, W. M. Kohrt, K. B. Schechtman, J. O. Holloszy, et A. A. Ehsani. 1992. « Effects of Aging, Sex, and Physical Training on Cardiovascular Responses to Exercise ». *Circulation* 86 (2): 494-503.
- Ohayon, Maurice M., Mary A. Carskadon, Christian Guilleminault, et Michael V. Vitiello. 2004. « Meta-Analysis of Quantitative Sleep Parameters from Childhood to Old Age in Healthy Individuals: Developing Normative Sleep Values across the Human Lifespan ». *Sleep* 27 (7): 1255-73.
- Okawa, M., K. Mishima, Y. Hishikawa, S. Hozumi, H. Hori, et K. Takahashi. 1991. « Circadian Rhythm Disorders in Sleep-Waking and Body Temperature in Elderly Patients with Dementia and Their Treatment ». *Sleep* 14 (6): 478-85.
- OMS. 1993. « Study Protocol for the World Health Organization Project to Develop a Quality of Life Assessment Instrument (WHOQOL) ». *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation* 2 (2): 153-59.
- OMS. 2010. « Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé ».
- OMS. 2016. « WHO : Global Database on Body Mass Index ».
- Orr, R. 2010. « Contribution of Muscle Weakness to Postural Instability in the Elderly. A Systematic Review ». *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine* 46 (2): 183-220.
- Orr, Rhonda, Nathan J. de Vos, Nalin A. Singh, Dale A. Ross, Theodora M. Stavrinou, et Maria A. Fiatarone-Singh. 2006. « Power Training Improves Balance in Healthy Older Adults ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 61 (1): 78-85.
- Paddon-Jones, Douglas, Melinda Sheffield-Moore, Melanie G. Cree, Susan J. Hewlings, Asle Aarsland, Robert R. Wolfe, et Arny A. Ferrando. 2006. « Atrophy and Impaired Muscle

- Protein Synthesis during Prolonged Inactivity and Stress ». *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* 91 (12): 4836-41. doi:10.1210/jc.2006-0651.
- Palluel, Estelle. 2008. « Contribution des afférences tactiles plantaires au maintien de l'équilibre. Effets du port de semelles à picots sur le contrôle postural quasi-statique et la sensibilité cutanée plantaire de la personne âgée. » Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- Park, John J., Yong Tang, Ivan Lopez, et Akira Ishiyama. 2001. « Age-Related Change in the Number of Neurons in the Human Vestibular Ganglion ». *The Journal of Comparative Neurology* 431 (4): 437-43. doi:10.1002/1096-9861(20010319)431:4<437::AID-CNE1081>3.0.CO;2-P.
- Paterson, D. H., D. A. Cunningham, J. J. Koval, et C. M. St Croix. 1999. « Aerobic Fitness in a Population of Independently Living Men and Women Aged 55-86 Years ». *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31 (12): 1813-20.
- Paterson, Donald H., Devin Govindasamy, Marjan Vidmar, David A. Cunningham, et John J. Koval. 2004. « Longitudinal Study of Determinants of Dependence in an Elderly Population ». *Journal of the American Geriatrics Society* 52 (10): 1632-38. doi:10.1111/j.1532-5415.2004.52454.x.
- Paterson, Donald H, Gareth R Jones, et Charles L Rice. 2007. « Ageing and Physical Activity: Evidence to Develop Exercise Recommendations for Older Adults ». *Canadian Journal of Public Health = Revue Canadienne de Santé Publique* 98 Suppl 2: S69-108.
- Paulus, W. M., A. Straube, et T. Brandt. 1984. « Visual Stabilization of Posture. Physiological Stimulus Characteristics and Clinical Aspects ». *Brain: A Journal of Neurology* 107 (Pt 4) (décembre): 1143-63.
- Peel, Nancye M, Helen P Bartlett, et Alison L Marshall. 2007. « Measuring Quality of Life in Older People: Reliability and Validity of WHOQOL-OLD ». *Australasian Journal on Ageing* 26 (4): 162-67. doi:10.1111/j.1741-6612.2007.00249.x.
- Penedo, Frank J., et Jason R. Dahn. 2005. « Exercise and Well-Being: A Review of Mental and Physical Health Benefits Associated with Physical Activity ». *Current Opinion in Psychiatry* 18 (2): 189-93.
- Pérennou, D, P Decavel, P Manckoundia, Y Penven, F Mourey, F Launay, P Pfitzenmeyer, et J M Casillas. 2005. « [Evaluation of balance in neurologic and geriatric disorders] ». *Annales de réadaptation et de médecine physique: revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique* 48 (6): 317-35. doi:10.1016/j.annrmp.2005.04.009.
- Pihl, E, A Cider, A Strömberg, B Fridlund, et J Mårtensson. 2011. « Exercise in Elderly Patients with Chronic Heart Failure in Primary Care: Effects on Physical Capacity and Health-Related Quality of Life ». <http://cnu.sagepub.com/content/10/3/150.short>.
- Pillard et Rivière. 2009. « Pratique d'une activité physique ou sportive chez les séniors ».

- Poortmans, Jacques R., et Nathalie Boisseau. 2003. *Biochimie des activités physiques*. De Boeck Supérieur.
- Pothier, Kristell, Nicolas Benguigui, Richard Kulpa, et Chantal Chavoix. 2015. « Multiple Object Tracking While Walking: Similarities and Differences Between Young, Young-Old, and Old-Old Adults ». *The Journals of Gerontology. Series B, Psychological Sciences and Social Sciences* 70 (6): 840-49. doi:10.1093/geronb/gbu047.
- Power, Mick, Kathryn Quinn, Silke Schmidt, et Whoqol-Old Group. 2005. « Development of the WHOQOL-Old Module ». *Quality of Life Research* 14 (10): 2197-2214. doi:10.1007/s11136-005-7380-9.
- Prado, Janina M., Thomas A. Stoffregen, et Marcos Duarte. 2007. « Postural Sway during Dual Tasks in Young and Elderly Adults ». *Gerontology* 53 (5): 274-81. doi:10.1159/000102938.
- Proske, Uwe, et Simon C. Gandevia. 2012. « The Proprioceptive Senses: Their Roles in Signaling Body Shape, Body Position and Movement, and Muscle Force ». *Physiological Reviews* 92 (4): 1651-97. doi:10.1152/physrev.00048.2011.
- Purves et al. 2001. *Neuroscience*. 2nd éd. Sinauer Associates.
- Quillen, D. A. 1999. « Common Causes of Vision Loss in Elderly Patients ». *American Family Physician* 60 (1): 99-108.
- Radaelli, Regis, Cíntia E. Botton, Eurico N. Wilhelm, Martim Bottaro, Fabiano Lacerda, Anelise Gaya, Kelly Moraes, Amanda Peruzzolo, Lee E. Brown, et Ronei Silveira Pinto. 2013. « Low- and high-volume strength training induces similar neuromuscular improvements in muscle quality in elderly women ». *Experimental Gerontology* 48 (8): 710-16. doi:10.1016/j.exger.2013.04.003.
- Rantanen, T., J. M. Guralnik, D. Foley, K. Masaki, S. Leveille, J. D. Curb, et L. White. 1999. « Midlife Hand Grip Strength as a Predictor of Old Age Disability ». *JAMA* 281 (6): 558-60.
- Reilly, T. 1989. « Human circadian rhythms and exercise. » *Critical reviews in biomedical engineering* 18 (3): 165-80.
- Reinberg, A., et M. H. Smolensky. 2012. *Biological Rhythms and Medicine: Cellular, Metabolic, Physiopathologic, and Pharmacologic Aspects*. Springer Science & Business Media.
- Reinberg, Alain, et Jean Ghata. 1957. *Rythmes et cycles biologiques*. Vol. 734. Presses universitaires de France.
- Robert-Bobée. 2006. « Projections de la population pour la France métropolitaine à l'horizon 2050-La population continue de croître et le vieillissement se poursuit ».
- Rocher, Sandrine Dupont, Nicolas Bessot, Bruno Sesboüé, Jan Bulla, et Damien Davenne. 2015. « Circadian Characteristics of Older Adults and Aerobic Capacity ». *The Journals*

- of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, novembre, glv195. doi:10.1093/gerona/glv195.
- Roll, Régine, Anne Kavounoudias, et Jean-Pierre Roll. 2002. « Cutaneous Afferents from Human Plantar Sole Contribute to Body Posture Awareness ». *Neuroreport* 13 (15): 1957-61.
- Rolland, Y., et B. Vellas. 2009. « La sarcopénie ». *La Revue de Médecine Interne* 30 (2): 150-60. doi:10.1016/j.revmed.2008.08.013.
- Rosenberg, Morris. 1986. « Self-concept from middle childhood through adolescence ». *Psychological perspectives on the self* 3 (1): 107-36.
- Roubenoff, R. 2000. « Sarcopenia: A Major Modifiable Cause of Frailty in the Elderly ». *The Journal of Nutrition, Health & Aging* 4 (3): 140-42.
- Rouhana, Joëlle, et Philippe Boulinguez. 2008. « Flexibilité et variabilité des modes d'intégration sensorielle : une illustration de la nécessaire adaptation de nos paradigmes expérimentaux aux évolutions théoriques récentes ». *Movement & Sport Sciences*, n° 64 (octobre): 49-59.
- Rowe, John W., et Robert L. Kahn. 1997. « Successful Aging ». *The Gerontologist* 37 (4): 433-40. doi:10.1093/geront/37.4.433.
- Rubenstein, L Z, K R Josephson, P R Trueblood, S Loy, J O Harker, F M Pietruszka, et A S Robbins. 2000. « Effects of a Group Exercise Program on Strength, Mobility, and Falls among Fall-Prone Elderly Men ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 55 (6): M317-321.
- Ryff, C. D., et C. L. Keyes. 1995. « The Structure of Psychological Well-Being Revisited ». *Journal of Personality and Social Psychology* 69 (4): 719-27.
- Sandvik, Ed, Ed Diener, et Larry Seidlitz. 1993. « Subjective Well-Being: The Convergence and Stability of Self-Report and Non-Self-Report Measures ». *Journal of Personality* 61 (3): 317-42. doi:10.1111/j.1467-6494.1993.tb00283.x.
- Sarkisian, Catherine A, Thomas R Prohaska, Connie Davis, et Bernard Weiner. 2007. « Pilot Test of an Attribution Retraining Intervention to Raise Walking Levels in Sedentary Older Adults ». *Journal of the American Geriatrics Society* 55 (11): 1842-46. doi:10.1111/j.1532-5415.2007.01427.x.
- Schmidt, Laurie, Gwen Rempel, Terra C. Murray, Tara-Leigh McHugh, et Jeff K. Vallance. 2016. « Exploring Beliefs around Physical Activity among Older Adults in Rural Canada ». *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being* 11: 32914.
- Shad, Brandon J., Gareth Wallis, Luc J. C. van Loon, et Janice L. Thompson. 2016. « Exercise Prescription for the Older Population: The Interactions between Physical Activity, Sedentary Time, and Adequate Nutrition in Maintaining Musculoskeletal Health ». *Maturitas*, juin. doi:10.1016/j.maturitas.2016.05.016.

- Shephard, R. J. 2009. « Maximal Oxygen Intake and Independence in Old Age ». *British Journal of Sports Medicine* 43 (5): 342-46. doi:10.1136/bjism.2007.044800.
- Shephard, Roy J. 1987. « Exercise and Aging ». *Alumni Bulletin - School of Dentistry, Indiana University*.
- Sherrington, Catherine, Patricia I Pamphlett, Jennifer A Jacka, Lynnette M Olivetti, Julie A Nugent, Jillian M Hall, Simone Dorsch, Marcella Mun-San Kwan, et Stephen R Lord. 2008. « Group Exercise Can Improve Participants' Mobility in an Outpatient Rehabilitation Setting: A Randomized Controlled Trial ». *Clinical Rehabilitation* 22 (6): 493-502. doi:10.1177/0269215508087994.
- Short, Kevin R., Janet L. Vittone, Maureen L. Bigelow, David N. Proctor, et K. Sreekumaran Nair. 2004. « Age and Aerobic Exercise Training Effects on Whole Body and Muscle Protein Metabolism ». *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism* 286 (1): E92-101. doi:10.1152/ajpendo.00366.2003.
- Shumway-Cook, Anne, Aftab E. Patla, Anita Stewart, Luigi Ferrucci, Marcia A. Ciol, et Jack M. Guralnik. 2002. « Environmental Demands Associated with Community Mobility in Older Adults with and without Mobility Disabilities ». *Physical Therapy* 82 (7): 670-81.
- Simoneau, Emilie, Alain Martin, et Jacques Van Hoecke. 2005. « Muscular Performances at the Ankle Joint in Young and Elderly Men ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 60 (4): 439-47. doi:10.1093/gerona/60.4.439.
- Singh, Maria Antoinette Fiatarone. 2002. « Exercise Comes of Age: Rationale and Recommendations for a Geriatric Exercise Prescription ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 57 (5): M262-282.
- Singh, N. A., K. M. Clements, et M. A. Fiatarone. 1997. « A Randomized Controlled Trial of the Effect of Exercise on Sleep ». *Sleep* 20 (2): 95-101.
- Skelton, D. A., et N. Beyer. 2003. « Exercise and Injury Prevention in Older People ». *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* 13 (1): 77-85.
- Souissi, Nizar, Hichem Souissi, Sonia Sahli, Zouhair Tabka, Mohamed Dogui, Jalila Ati, et Damien Davenne. 2007. « Effect of Ramadan on the Diurnal Variation in Short-Term High Power Output ». *Chronobiology International* 24 (5): 991-1007. doi:10.1080/07420520701661914.
- Stathokostas, Liza, Shanthi Jacob-Johnson, Robert J. Petrella, et Donald H. Paterson. 2004. « Longitudinal Changes in Aerobic Power in Older Men and Women ». *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 97 (2): 781-89. doi:10.1152/jappphysiol.00447.2003.
- Stel, Vianda S., Johannes H. Smit, Saskia M. F. Pluijm, et Paul Lips. 2004. « Consequences of Falling in Older Men and Women and Risk Factors for Health Service Use and Functional Decline ». *Age and Ageing* 33 (1): 58-65. doi:10.1093/ageing/afh028.

- Stewart, Anita L., et Abby C. King. 1991. « Evaluating the efficacy of physical activity for influencing quality-of-life outcomes in older adults. » *Annals of Behavioral Medicine*.
- Sturnieks, D L, R St George, et S R Lord. 2008. « Balance Disorders in the Elderly ». *Neurophysiologie Clinique = Clinical Neurophysiology* 38 (6): 467-78. doi:10.1016/j.neucli.2008.09.001.
- Takeshima, Nobuo, Michael E. Rogers, Mohammad M. Islam, Tomoko Yamauchi, Eiji Watanabe, et Akiyoshi Okada. 2004. « Effect of Concurrent Aerobic and Resistance Circuit Exercise Training on Fitness in Older Adults ». *European Journal of Applied Physiology* 93 (1-2): 173-82. doi:10.1007/s00421-004-1193-3.
- Tanaka, Hirofumi, Kevin D Monahan, et Douglas R Seals. 2001. « Age-predicted maximal heart rate revisited ». *Journal of the American College of Cardiology* 37 (1): 153-56. doi:10.1016/S0735-1097(00)01054-8.
- Tanguy S. 2008. « Plasticité vestibulaire chez l'Homme : approches écologique et expérimentale. » Université de Caen Basse-Normandie.
- Taylor, H. L., E. Buskirk, et A. Henschel. 1955. « Maximal Oxygen Intake as an Objective Measure of Cardio-Respiratory Performance ». *Journal of Applied Physiology* 8 (1): 73-80.
- Teasdale, N., G. E. Stelmach, A. Breunig, et H. J. Meeuwssen. s. d. « Age Differences in Visual Sensory Integration ». *Experimental Brain Research* 85 (3): 691-96. doi:10.1007/BF00231755.
- Timiras, Paola S. 2007. *Physiological basis of aging and geriatrics*. CRC Press.
- Toutou, Y. 2006. « Synchronisation et désynchronisation de l'horloge biologique chez l'homme ». *L'Encéphale* 32 (5): 834-39. doi:10.1016/S0013-7006(06)76239-X.
- Toutou, Yvan, et Erhard Haus. 2012. *Biologic Rhythms in Clinical and Laboratory Medicine*. Springer Science & Business Media.
- Toulotte, C., A. Thévenon, et C. Fabre. 2004. « Effets d'un entraînement physique sur l'équilibre statique et dynamique chez des sujets âgés chuteurs et non-chuteurs ». *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique* 47 (9): 604-10. doi:10.1016/j.annrmp.2004.03.004.
- Trinder, J., S. J. Paxton, I. Montgomery, et G. Fraser. 1985. « Endurance as Opposed to Power Training: Their Effect on Sleep ». *Psychophysiology* 22 (6): 668-73.
- Tromp, A. M., J. H. Smit, D. J. H. Deeg, L. M. Bouter, et P. Lips. 1998. « Predictors for Falls and Fractures in the Longitudinal Aging Study Amsterdam ». *Journal of Bone and Mineral Research* 13 (12): 1932-39. doi:10.1359/jbmr.1998.13.12.1932.
- TwoRoger, Shelley S., Yutaka Yasui, Michael V. Vitiello, Robert S. Schwartz, Cornelia M. Ulrich, Erin J. Aiello, Melinda L. Irwin, Deborah Bowen, John D. Potter, et Anne

- McTiernan. 2003. « Effects of a Yearlong Moderate-Intensity Exercise and a Stretching Intervention on Sleep Quality in Postmenopausal Women ». *Sleep* 26 (7): 830-36.
- Van Roie, Evelien, Christophe Delecluse, Walter Coudyzer, Steven Boonen, et Ivan Bautmans. 2013. « Strength Training at High versus Low External Resistance in Older Adults: Effects on Muscle Volume, Muscle Strength, and Force-Velocity Characteristics ». *Experimental Gerontology* 48 (11): 1351-61. doi:10.1016/j.exger.2013.08.010.
- Van Someren, E J, C Lijzenga, M Mirmiran, et D F Swaab. 1997. « Long-Term Fitness Training Improves the Circadian Rest-Activity Rhythm in Healthy Elderly Males ». *Journal of Biological Rhythms* 12 (2): 146-56.
- Van Someren, E. J. W. 2000. « Circadian and sleep disturbances in the elderly ». *Experimental Gerontology, 5th International Symposium on Neurobiology and Neuroendocrinology of Aging*, 35 (9–10): 1229-37. doi:10.1016/S0531-5565(00)00191-1.
- Vanden Noven, Marnie L., Hugo M. Pereira, Tejin Yoon, Alyssa A. Stevens, Kristy A. Nielson, et Sandra K. Hunter. 2014. « Motor Variability during Sustained Contractions Increases with Cognitive Demand in Older Adults ». *Frontiers in Aging Neuroscience* 6 (mai). doi:10.3389/fnagi.2014.00097.
- Vandervoort, Anthony A. 2002. « Aging of the Human Neuromuscular System ». *Muscle & Nerve* 25 (1): 17-25. doi:10.1002/mus.1215.
- Vellas, Bruno J., Sharon J. Wayne, Philip J. Garry, et Richard N. Baumgartner. 1998. « A Two-Year Longitudinal Study of Falls in 482 Community-Dwelling Elderly Adults ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 53A (4): M264-74. doi:10.1093/gerona/53A.4.M264.
- Verbunt, Jeanine A., Henk A. Seelen, Johan W. Vlaeyen, Geert J. van der Heijden, et J. Andre Knottnerus. 2003. « Fear of Injury and Physical Deconditioning in Patients with Chronic Low Back Pain ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 84 (8): 1227-32.
- Verschueren, S., E. Gielen, T. W. O'Neill, S. R. Pye, J. E. Adams, K. A. Ward, F. C. Wu, et al. 2013. « Sarcopenia and Its Relationship with Bone Mineral Density in Middle-Aged and Elderly European Men ». *Osteoporosis International: A Journal Established as Result of Cooperation between the European Foundation for Osteoporosis and the National Osteoporosis Foundation of the USA* 24 (1): 87-98. doi:10.1007/s00198-012-2057-z.
- Viguié, Marion. 2009. *Influence du changement de l'angle d'incidence entre le vecteur gravitationnel terrestre et l'axe sagittal du rachis sur les performances posturales statiques et dynamiques d'un individu*. Toulouse 3. <http://www.theses.fr/2009TOU30250>.
- Vila-Chã, Carolina, Deborah Falla, et Dario Farina. 2010. « Motor Unit Behavior during Submaximal Contractions Following Six Weeks of Either Endurance or Strength Training ». *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 109 (5): 1455-66. doi:10.1152/jappphysiol.01213.2009.

- Vitiello, M. V. 2000. « Effective Treatment of Sleep Disturbances in Older Adults ». *Clinical Cornerstone* 2 (5): 16-27.
- Volpi, Elena, Bettina Mittendorfer, Blake B. Rasmussen, et Robert R. Wolfe. 2000. « The Response of Muscle Protein Anabolism to Combined Hyperaminoacidemia and Glucose-Induced Hyperinsulinemia Is Impaired in the Elderly ». *The Journal of clinical endocrinology and metabolism* 85 (12): 4481-90.
- Walrand, Stéphane, Christelle Guillet, Jérôme Salles, Noël Cano, et Yves Boirie. 2011. « Physiopathological Mechanism of Sarcopenia ». *Clinics in Geriatric Medicine* 27 (3): 365-85. doi:10.1016/j.cger.2011.03.005.
- Wang, Ching-Yi, et Li-Yuan Chen. 2010. « Grip Strength in Older Adults: Test-Retest Reliability and Cutoff for Subjective Weakness of Using the Hands in Heavy Tasks ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 91 (11): 1747-51. doi:10.1016/j.apmr.2010.07.225.
- Ware, John E., Jr., et Cathy Donald Sherbourne. 1992. « The MOS 36-Item Short-Form Health Survey (SF-36): I. Conceptual Framework and Item Selection ». *Medical Care* 30 (6): 473-83.
- Watanabe, Tadayoshi, Kazuya Owashi, Yumiko Kanauchi, Nariyuki Mura, Masatoshi Takahara, et Toshihiko Ogino. 2005. « The Short-Term Reliability of Grip Strength Measurement and the Effects of Posture and Grip Span ». *The Journal of Hand Surgery* 30 (3): 603-9. doi:10.1016/j.jhsa.2004.12.007.
- Waterhouse, J., D. Weinert, D. Minors, G. Atkinson, T. Reilly, S. Folkard, D. Owens, I. Macdonald, N. Sytnik, et P. Tucker. 1999. « The Effect of Activity on the Waking Temperature Rhythm in Humans ». *Chronobiology International* 16 (3): 343-57.
- Waterhouse, Jim, Barry Drust, Dietmar Weinert, Benjamin Edwards, Warren Gregson, Greg Atkinson, Shaoyuan Kao, Seika Aizawa, et Thomas Reilly. 2005. « The Circadian Rhythm of Core Temperature: Origin and Some Implications for Exercise Performance ». *Chronobiology International* 22 (2): 207-25.
- Weerdesteyn, Vivian, Bart Nienhuis, et Jacques Duysens. 2008. « Exercise Training Can Improve Spatial Characteristics of Time-Critical Obstacle Avoidance in Elderly People ». *Human Movement Science* 27 (5): 738-48. doi:10.1016/j.humov.2008.03.003.
- Weinert, D. 2000. « Age-Dependent Changes of the Circadian System ». *Chronobiology International* 17 (3): 261-83.
- Weinert, Dietmar. 2010. « Circadian Temperature Variation and Ageing ». *Ageing Research Reviews* 9 (1): 51-60. doi:10.1016/j.arr.2009.07.003.
- Weinert, Dietmar, et Jim Waterhouse. 2007. « The circadian rhythm of core temperature: effects of physical activity and aging ». *Physiology & behavior* 90 (2): 246-56.

- Weitzman, Elliot D., Margaret L. Moline, Charles A. Czeisler, et Janet C. Zimmerman. 1982. « Chronobiology of aging: Temperature, sleep-wake rhythms and entrainment ». *Neurobiology of Aging* 3 (4): 299-309. doi:10.1016/0197-4580(82)90018-5.
- Wever, R.A. 1979. « The Circadian System of Man - Results of Experiments Under | R.A. Wever | Springer ». <http://www.springer.com/us/book/9781461261445>.
- Whaley, Mitchell H, Peter H Brubaker, Robert M Otto, et Lawrence E Armstrong. 2006. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. Philadelphia, Pa.: Lippincott Williams & Wilkins.
- Windle, Edwards, et Burholt. 2004. « A concise alternative for researching health-related quality of life in older people ». *Quality in Ageing and Older Adults* 5 (3): 13-24. doi:10.1108/14717794200400015.
- Winegard, K. J., A. L. Hicks, D. G. Sale, et A. A. Vandervoort. 1996. « A 12-Year Follow-up Study of Ankle Muscle Function in Older Adults ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 51 (3): B202-207.
- Withers, R, C Gore, G Gass, et A Hahn. 2000. « Determination of maximal oxygen consumption (max) or maximal aerobic power. », *Physiological tests for elite athletes*, p 114-27.
- Wolfson, L., J. Judge, R. Whipple, et M. King. 1995. « Strength Is a Major Factor in Balance, Gait, and the Occurrence of Falls ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 50 Spec No (novembre): 64-67.
- Woollacott, Marjorie H., Anne Shumway-Cook, et Lewis M. Nashner. 1986. « Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination ». *The international journal of aging and human development* 23 (2): 97-114.
- Woollacott, Marjorie Hines. 2000. « Editorial Systems Contributing to Balance Disorders in Older Adults ». *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences* 55 (8): M424-28. doi:10.1093/gerona/55.8.M424.
- Xue, Qian-Li, Karen Bandeen-Roche, Ravi Varadhan, Jing Zhou, et Linda P Fried. 2008. « Initial Manifestations of Frailty Criteria and the Development of Frailty Phenotype in the Women's Health and Aging Study II ». *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences* 63 (9): 984-90.
- Yang, Xiao Jing, Keith Hill, Kirsten Moore, Susan Williams, Leslie Dowson, Karen Borschmann, Julie Anne Simpson, et Shyamali C Dharmage. 2012. « Effectiveness of a Targeted Exercise Intervention in Reversing Older People's Mild Balance Dysfunction: A Randomized Controlled Trial ». *Physical Therapy* 92 (1): 24-37. doi:10.2522/ptj.20100289.
- Yoon, Tejin, Bonnie Schlinder De-Lap, Erin E. Griffith, et Sandra K. Hunter. 2008. « Age-Related Muscle Fatigue after a Low-Force Fatiguing Contraction Is Explained by Central Fatigue ». *Muscle & Nerve* 37 (4): 457-66. doi:10.1002/mus.20969.

- Zhang, Jian Xin, et Ralf Schwarzer. 1995. « Measuring optimistic self-beliefs: A Chinese adaptation of the General Self-Efficacy Scale. » *Psychologia: An International Journal of Psychology in the Orient*.
- Zhou, Jihe, Shuwan Chang, Yan Cong, Meiqin Qin, Wei Sun, Jianhua Lian, Jian Yao, Weiping Li, et Youlian Hong. 2015. « Effects of 24 Weeks of Tai Chi Exercise on Postural Control among Elderly Women ». *Research in Sports Medicine (Print)* 23 (3): 302-14. doi:10.1080/15438627.2015.1040918.
- Zouabi, A., G. Quarck, T. Martin, M. Grespinet, et A. Gauthier. 2016. « Is there a circadian rhythm of postural control and perception of the vertical? » *Chronobiology International* 33 (10): 1320-30. doi:10.1080/07420528.2016.1215993.
- Zouabi, Amira. 2013. « Rythmes biologiques, fonctionnement vestibulaire et contrôle postural ». Université de Caen Normandie.

ANNEXE 1 : *Programme d'APA*



MOTION Project
Remote Home Physical Training for Seniors



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users (COMETE, SIELB, C2K, UNIBO) (M6)

T2.3 Remote adapted physical training programmes definition (M4-M6)

V2 – 01/10/2014

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

Description	The aim of this document is to define the training program adapted to the end users' physical abilities.
Author(s)	Lucile Bigot (COMETE)
Reviewer(s)	Gaëlle Quarck (COMETE), Antoine Gauthier (COMETE), Valentina Soluri (Cup 200)
Date	01/10/2014
Confidentiality level	Confidential
Diffusion	Consortium

Diffusion list	
Name	Organisation
Jean-Pierre Savary	Siel Bleu
Thierry Bidot	Neovia
Grégory Galiana	Néolinks
Sébastien Moussay	Comete
Antoine Gauthier	Comete
Gaëlle Quarck	Comete
Nicolas Bessot	Comete
Lucile Bigot	Comete
Manfred Buchholz	M3 Connect
Roland Heinen	M3 Connect
Emilio Dragas	M3 Connect
Teresa Gallelli	Cup 2000
Valentina Soluri	Cup 2000
Caterina Lena	Cup 2000
Nico Mack	CRP Henri Tudor
Lubomira Spassova	CRP Henri Tudor
Nicola Maffiuletti	Schulthess Clinic
Rabih Chattat	Bologna University
Michela Cozzi	Bologna University
Louis Viallet	Arx iT
David Beni	Arx iT

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

Table of Contents

1. Introduction.....	4
2. Strength part of the training program	5
THEMATIC 1: SEATING / STANDING	5
THEMATIC 2: UPPER LIMB / ELASTIC BAND.....	7
THEMATIC 3: STANDING / SQUATS.....	11
THEMATIC 4: STANDING / LUNGE	13
THEMATIC 5: CORE STRENGTHENING.....	14
SESSION SETUP « STRENGTH ».....	17
3. Balance part of the training program.....	20
THEMATIC 1: SIT TO STAND	20
THEMATIC 2: JUMPS	22
THEMATIC 3: MODIFICATION OF SENSORY INPUTS	23
THEMATIC 4: GO TO THE GROUND	26
THEMATIC 5: KNEES UP.....	27
THEMATIC 6: PICK UP AN OBJECT ON THE GROUND	31
THEMATIC 7: WORKING WITH A BALL	33
THEMATIC 8: MOVEMENTS ON A PLATFORM (STEP)	35
SESSIONS SETUP « BALANCE ».....	37
4. Endurance part of the training program	40
A. STEP SESSIONS:	40
SESSIONS SETUP « STEP ».....	42
B. ERGOCYCLE SESSIONS:.....	43
5. Notes on the program implementation for the Italian pilot site	44
6. Bibliography.....	46

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

1. Introduction

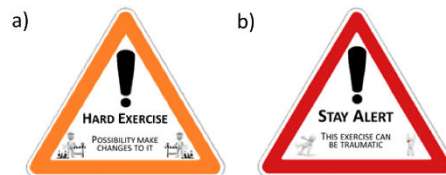
Regular physical activity in aged people (65 years old and more) is associated with a better functional state, with a decrease of the risk of falls (Nitz et Choy 2004) and their consequences (Means, Rodell, et O'Sullivan 2005): fractures, immobilization, depression, decrease of physical abilities, death. Regular physical activity also induces an improvement of the cognitive functions. The physical activity is an efficient tool to improve the physical condition and the psychological well-being in particular by favoring the functional independence (Krawczynski et Olszewski 2000). Many studies have shown that physical activities can improve the health of people in particular with older adults (Hubbard et al. 2009; Binder et al. 2002; Brown et al. 2000). The aim of this document is to define the training program adapted to the end users' physical abilities in the MOTION project.

Indeed, a study dealing with physical activity in older adults has shown improvement of physical performances in community-dwelling older adults (King et al. 2002). This study has especially shown that long-term improvement of health in this population is obtained when the training program consists of 4 types of exercises: strength, balance, flexibility and endurance exercises.

Regarding the literature and the efficiency of training programs made of different types of exercises, the training program proposed by MOTION will have 3 components (i) a strength exercises component, (ii) a balance exercises component and (iii) an aerobic exercises component (See **Fig1**). The strengthening part (i) will contain core strengthening, upper and lower limb exercises, the second part (ii) will be composed of coordination, flexibility and balance exercises and in the third part (iii) there will be ergocycle and step exercises.

In order to standardize the training program for the 2 pilot sites (French and Italian sites) of MOTION, a booklet has been realized (see hereafter). Initially issued in English, this booklet will also be translated into French and Italian in order that the French and Italian coaches can use it and can conduct the same training. Before using this booklet, it's important to explain that few exercises can be difficult to realize for the seniors. So French and Italian coaches will need to adjust their intervention. This difficult exercises are identified by pictograms:

- a) Hard exercises, the coach can and must adapted exercises to the senior's capacities,
- b) Stay alert, this exercises can be traumatic thus the coach can decide to simplify it.



Typical session 60 minutes	Warm Up	10 minutes
	Strengthening	15 minutes
	Break	5 minutes
	Balance	10 minutes
	Aerobic	10 minutes
	Cool down	10 minutes

Fig. 1. *Typical session*

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

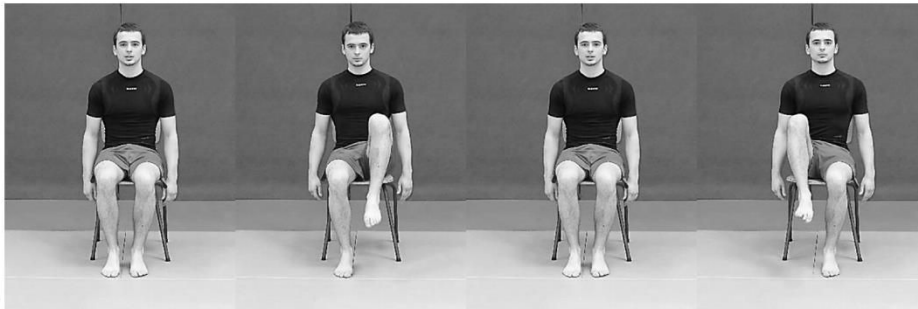
2. Strength part of the training program

The strength training part of the program is composed of 5 thematic. Each thematic is described using illustrations then the content of each session is detailed in the table at the end of this chapter.

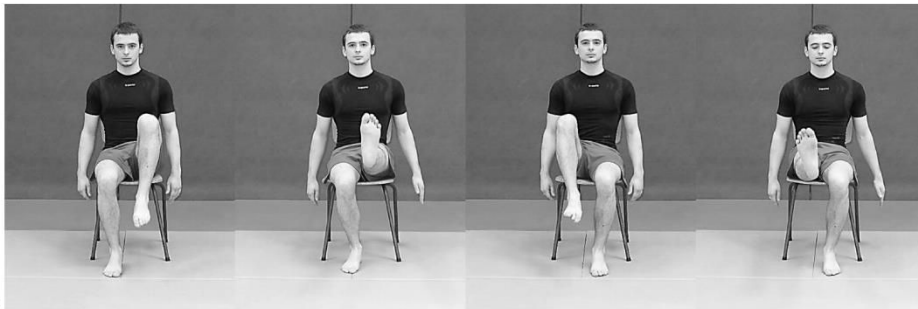
THEMATIC 1: SEATING / STANDING

Situation 1

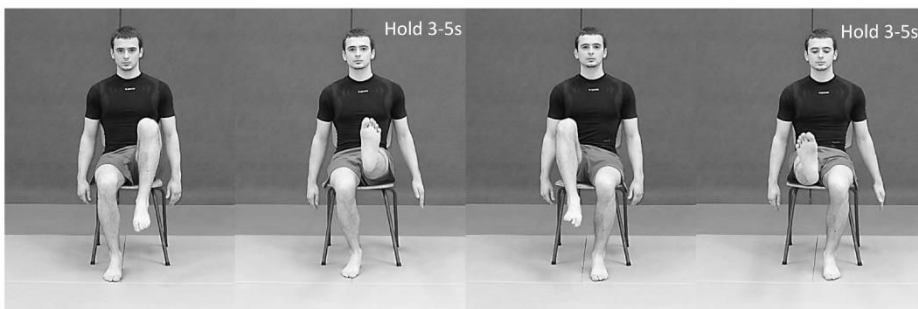
- 1- Seated, back straight, feet on the ground, slightly raise one thigh, then the other one.
- 2- Idem but straight the leg at each rise.
- 3- Idem but hold leg in extension for 3-5sec.



Th1-S1.1



Th1-S1.2

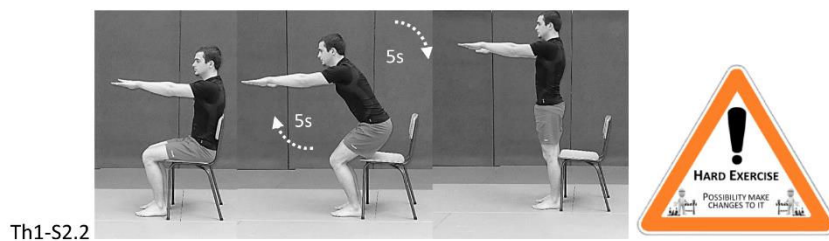


Th1-S1.3

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

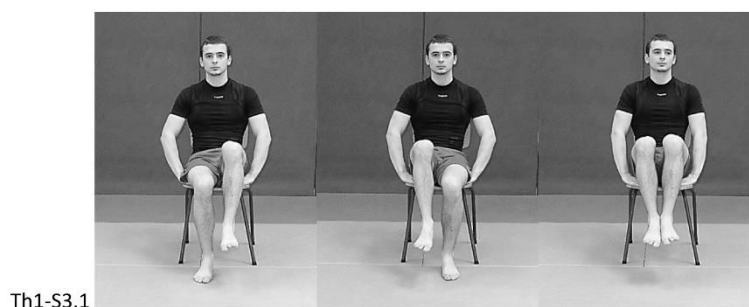
Situation 2 

- 1- Seated, stand up and seat down arms straight forward
- 2- Idem but move down and rise slowly (5 sec for each)
- 3- Move down without touching the chair, hold 5 sec and move up

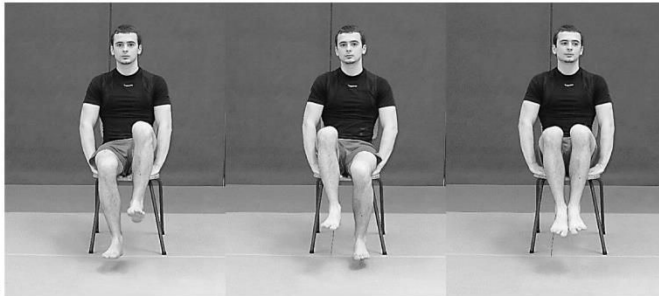


Situation 3

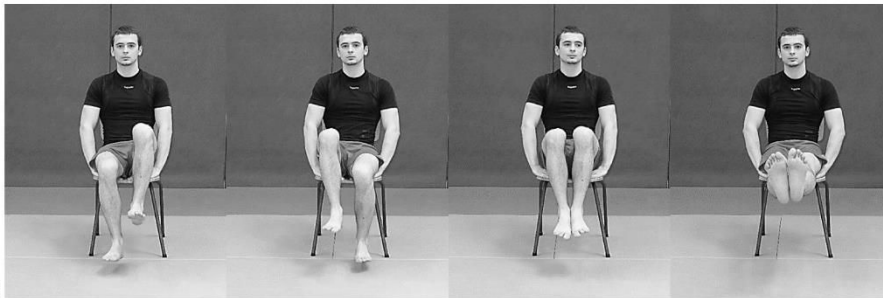
- 1- Seated, hand under the thighs, on the chair, lift the right thigh, the left thigh, and then both at the same time.
- 2- Idem but do not touch the ground with feet during the repetitions and between them.
- 3- Idem, right leg, left, both and stretch.



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th1-S3.2

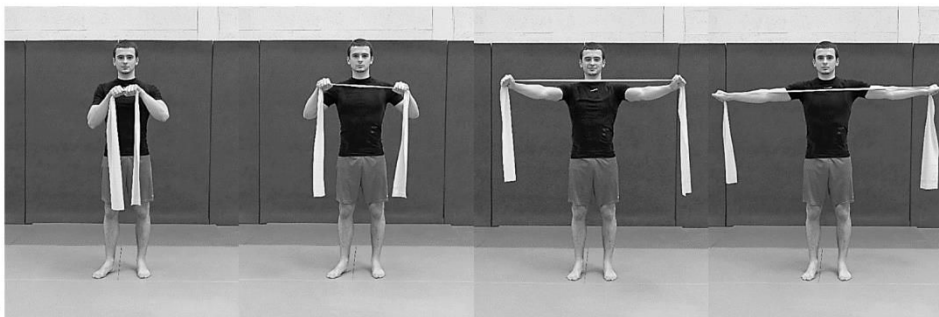


Th1-S3.3

THEMATIC 2: UPPER LIMB / ELASTIC BAND

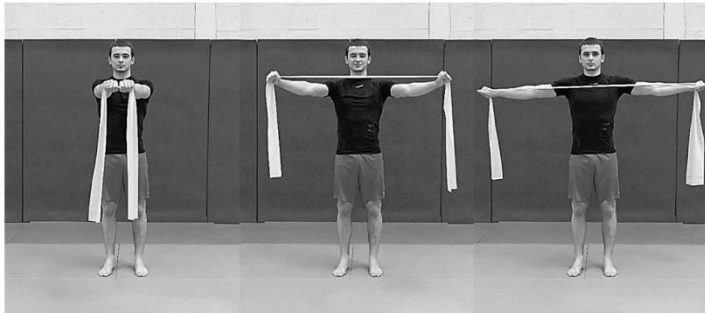
Situation 1

- 1- Hold the rubber band as tight as possible, palms facing down, to increase the distance.
- 2- Idem arm straight.
- 3- Idem arm straight above the head.

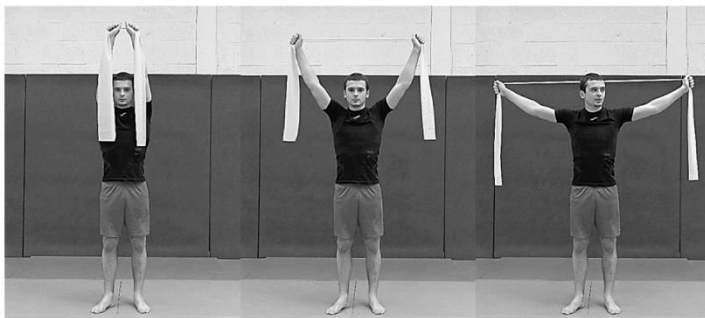


Th2-S1.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users




Th2-S1.2

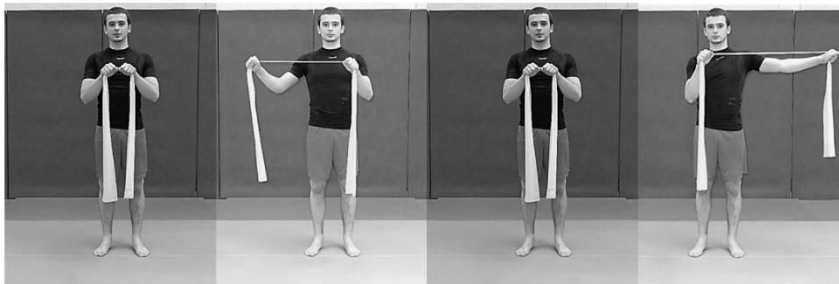


Th2-S1.3



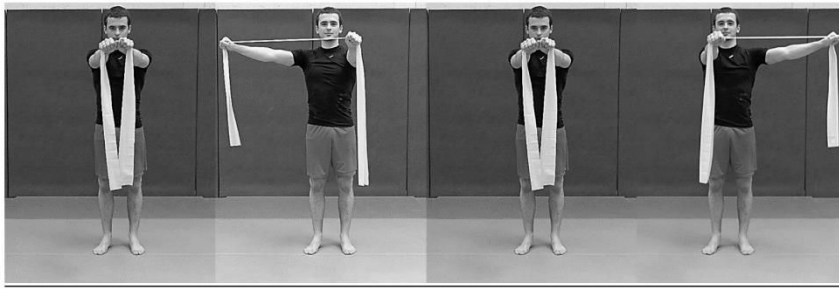
Situation 2

- 1-Hold the rubber band as tight as possible, palms facing down, keep one hand in front of you and pull with the other one to increase the distance. Same exercise with the other hand.
- 2- Idem with arm straight.
- 3- Idem with arm straight above the head. 

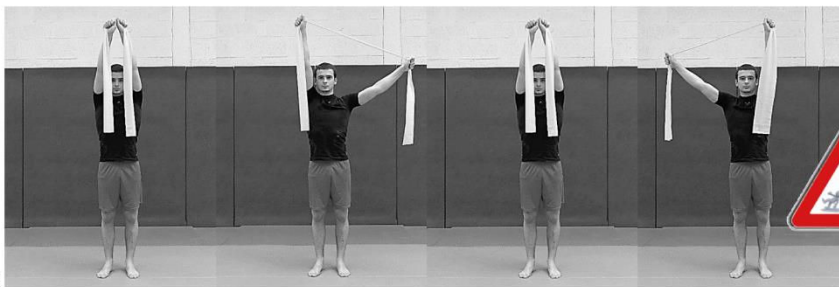


Th2-S2.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th2-S2.2

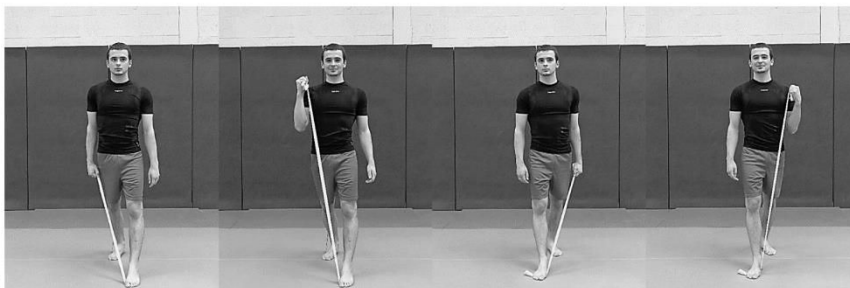


Th2-S2.3

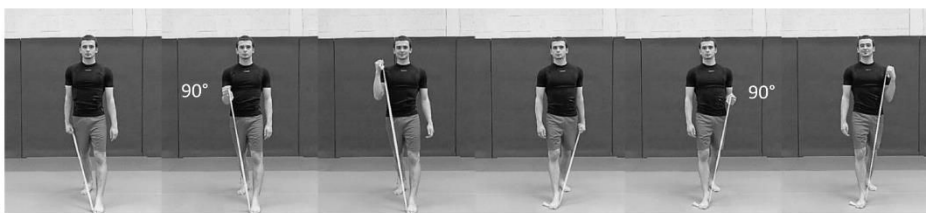


Situation 3

- 1- Left feet on the rubber band, hold the rubber band with the right hand, arms alongside the body and bring the hand to the shoulder while bending the elbow (idem with left arm).
- 2- Idem but hold when the elbow is at 90°.
- 3- Idem but 2 feet and 2 hands on the rubber.

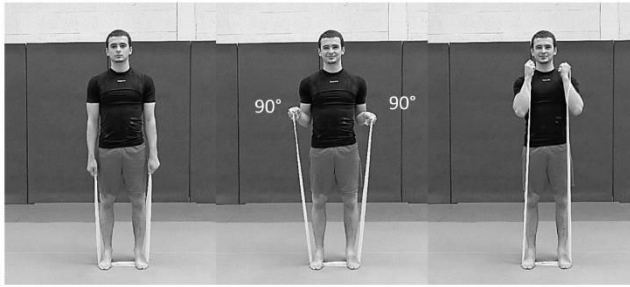


Th2-S3.1



Th2-S3.2

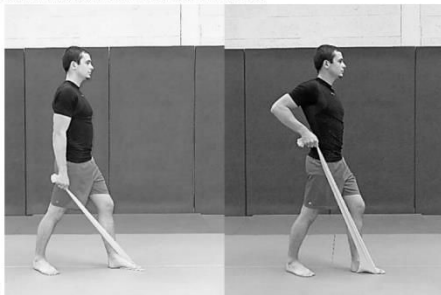
D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



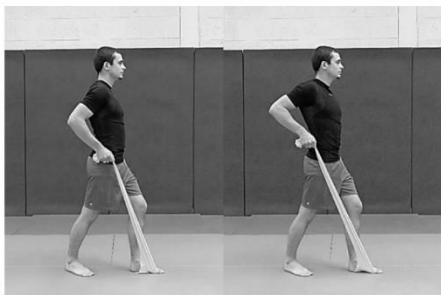
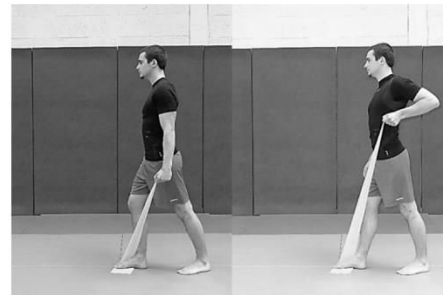
Th2-S3.3

Situation 4

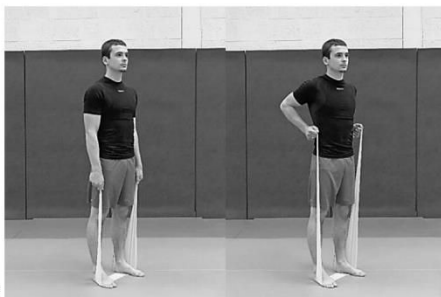
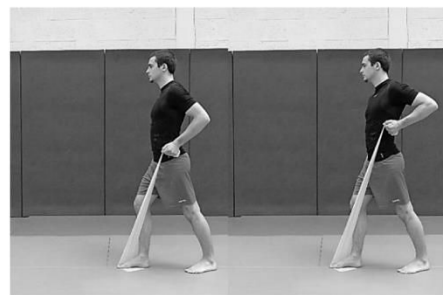
- 1- While lunging forward, step on the rubber band and hold the rubber band as tight as possible with the opposite hand and move the elbow behind the trunk then inverse (dips).
- 2- Idem but only behind the trunk.
- 3- Idem but 2 hands at the same time.



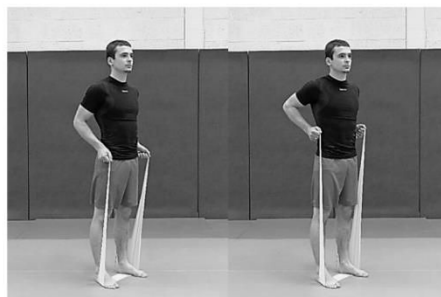
Th2-S4.1



Th2-S4.2



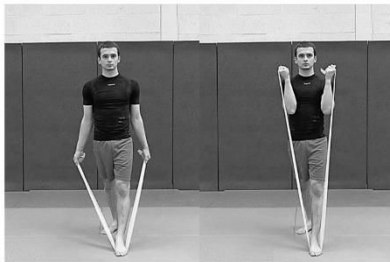
Th2-S4.3



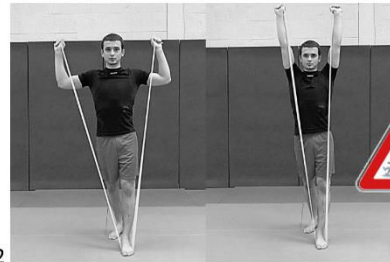
D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

Situation 5

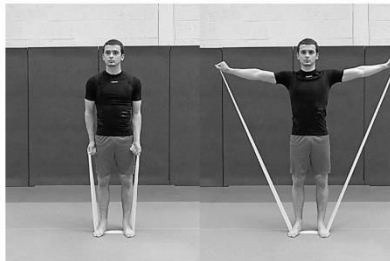
- 1- Standing, feet staggered, the front foot on the rubber band, hold the extremities of the rubber band, palms facing up. Start arm straight and move up the hands toward the chest.
- 2- Idem, start elbow bent, perpendicular to the body, both arms stretched above the head.
- 3- Idem, 2 feet on the rubber band, arm alongside the body, spread the arms while keeping them straight.



Th2-S5.1



Th2-S5.2



Th2-S5.



THEMATIC 3: STANDING / SQUATS

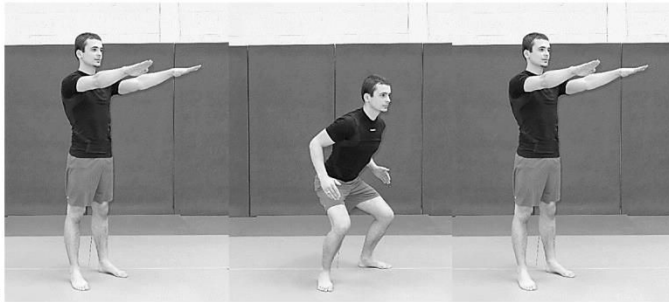
Situation 1

- 1- Squats (legs apart, toes outwards, arms stretched forward, knees bent).
- 2- Idem with coordinated arm movements: legs and arms bent.
- 3- Same exercise but hold 3-5 sec when knees are bent.

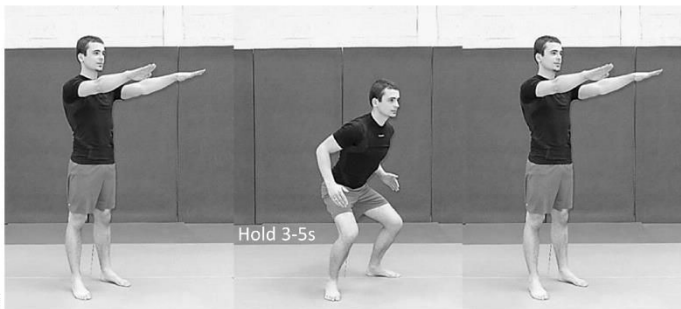


Th3-S1.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th3-S1.2



Th3-S1.3

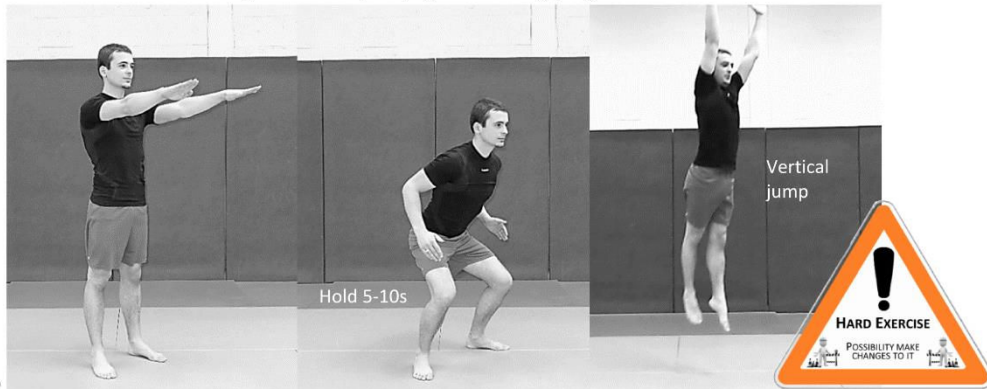
Situation 2

- 1- Squat and vertical jump. 
- 2- Squat, but hold 5-10 sec when knees are bent and jump. 



Th3-S2.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

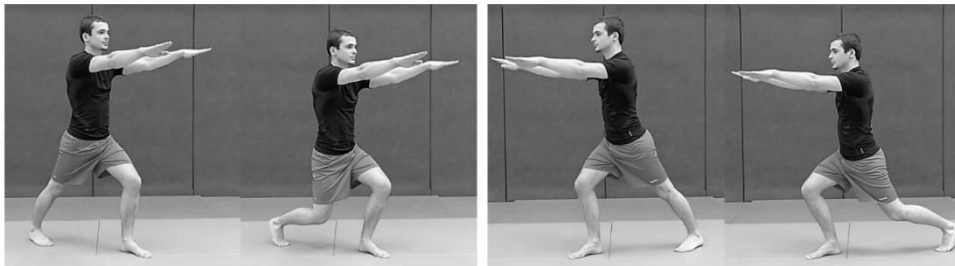


Th3-S2.2

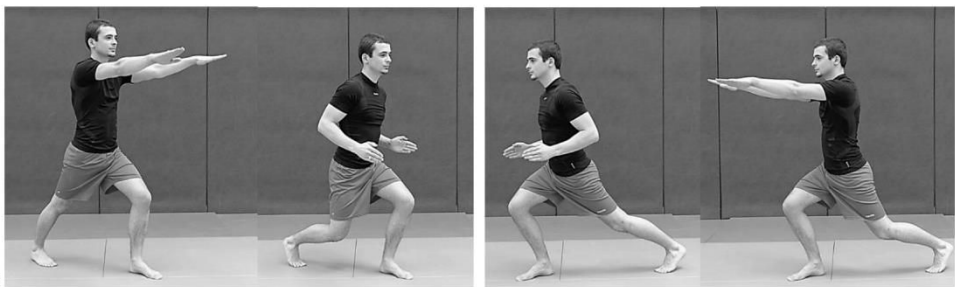
THEMATIC 4: STANDING / LUNGE

Situation 1

- 1- Lunge forward, arm stretch forward, knees bent, and bring the knee behind as close to the ground as possible.
- 2- Idem with coordinated arm movements: legs and arm bent at the same time.
- 3- Same exercise but hold 3-5 sec when knees are bent.

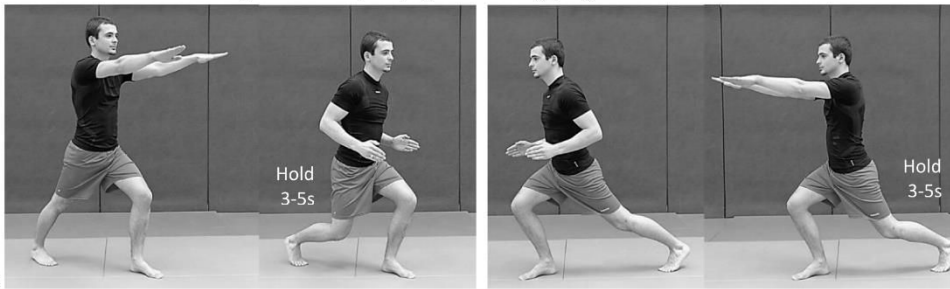


Th4-S1.1



Th4-S1.2

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th4-S1.3


Situation 2

1- Lunge, hold 3-5 sec when knees are bent and vertical jump.



Th4-S2.1

THEMATIC 5: CORE STRENGTHENING

Situation 1 

- 1- Dorsal position.
 - 2- Costal position (right and left).
 - 3- Ventral position.
- ➔ If this exercises are too difficult, you can replace them with deep breathing.

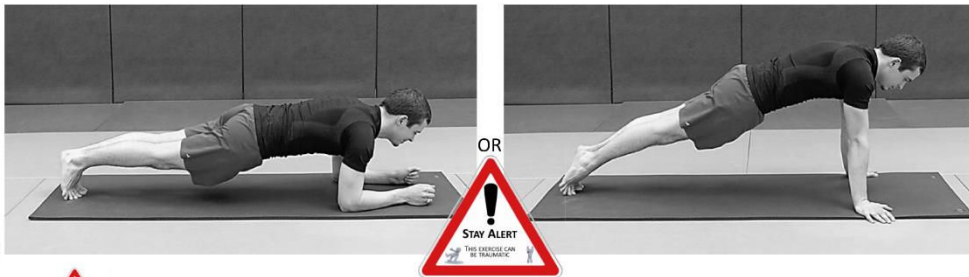


Th5-S1.1



Th5-S1.2

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th5-S1.3

Situation 2



- 1- Dorsal and legs movements.
 - 2- Costal (right and left) and legs movements.
 - 3- Ventral and legs movements.
- ➔ If this exercises are too difficult, you can replace them with deep breathing.



Th5-S2.1



Th5-S2.2



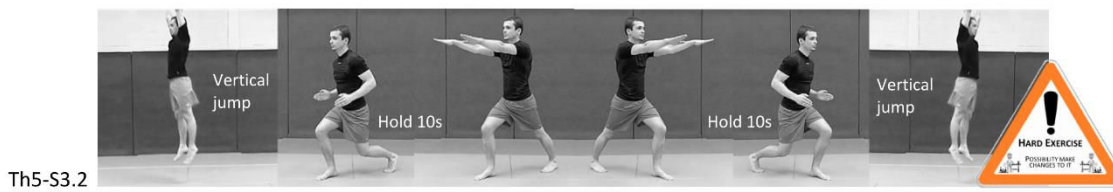
Th5-S2.3

Situation 3

- 1- In «chair» position hold 10sec then perform vertical jump.
- 2- Idem while lunging forward right leg and left leg.



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

SESSION SETUP « STRENGTH »

Wk	Sess	Situation	Set	Repeat
1	1	Th1-S1-1	2	10 (each leg)
		Th1-S1-2	2	10 (each leg)
		Th1-S1-3	2	10 (each leg)
	2	Th2-S1.1	2	10
		Th2-S1.2	2	10
		Th2-S1.3	2	10
2	3	Th3-S1.1	2	10
		Th3-S1.2	2	10
		Th3-S1.3	1	10
	4	Th2-S2.1	2	5 (each arm)
		Th2-S2.2	2	5 (each arm)
		Th2-S2.3	2	5 (each arm)
3	5	Th4-S1.1	1	10 (each leg)
		Th4-S1.2	1	5 (each leg)
		Th4-S1.3	1	5 (each leg)
	6	Th2-S3.1	1	10 (each arm)
		Th2-S3.2	1	10 (each arm)
		Th2-S3.3	2	10
4	7	Th3-S1.1	2	10
		Th3-S1.2	2	10
		Th3-S1.3	2	10
	8	Th2-S3.1	1	5 (each arm)
		Th2-S3.2	1	10 (each arm)
		Th2-S3.3	1	10
5	9	Th1-S2-1	2	10
		Th1-S2-2	2	10

10	Th1-S2-3	1	10		
	Th2-S4.1	1	10 (each arm)		
	Th2-S4.2	1	10 (each arm)		
6	11	Th2-S4.3	1	10 (each arm)	
		Th3-S1.2	2	10	
	12	Th3-S1.3	2	10	
Th3-S2.1		2	5		
7	13	Th5-S1.1	3	Hold 15-30s of each, 30s break between each	
		Th5-S1.2			
		Th5-S1.3			
	14	Th4-S1.1	2	5 (each leg)	
		Th4-S1.2	2	5 (each leg)	
		Th4-S1.3	2	5 (each leg)	
8	15	Th5-S1.1	3	Hold 20-30s of each, 30s break between each	
		Th5-S1.2			
		Th5-S1.3			
	16	Th3-S1.1	2	10	
		Th3-S1.2	2	10	
		Th3-S1.3	2	10	
9	17	Th3-S2.1	2	10	
		Th5-S1.1	2	Hold 10-20s of each, 30s break between each	
		Th5-S1.2			
	Th5-S1.3				
	18	17	Th1-S2-1	2	10
			Th1-S3.1	2	10 (R, L & both)
Th1-S3.2			1	10 (R, L & both)	
18		Th1-S3.3	1	10 (R, L & both)	
		Th2-S5.1	2	5	
Th2-S5.2	2	5			
Th2-S5.3	2	5			

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

10	19	Th3-S1.2	2	10
		Th3-S1.3	2	10
		Th3-S2.1	2	5
		Th3-S2.2	2	5
11	20	Th5-S2.1	3	5 (each leg) +30sBk
		Th5-S2.2	3	5 (each side) +30sBk
		Th5-S2.3	3	5s (each leg) +30sBk
11	21	Th4-S1.1	2	10 (each leg)
		Th4-S1.2	2	10 (each leg)
		Th4-S1.3	2	5 (each leg)
	22	Th5-S2.1	3	6 (each leg) +30sBk
		Th5-S2.2	3	6 (each side) +30sBk
		Th5-S2.3	3	6s (each leg) +30sBk
12	23	Th3-S1.2	2	10
		Th3-S1.3	2	10
		Th3-S2.1	2	10
		Th3-S2.2	2	5
	24	Th5-S2.1	1	6 (each leg) +1minBk
		Th5-S2.2	1	6 (each side) +1minBk
		Th5-S2.3	1	6s (each leg) +1minBk
13	25	Th1-S2-1	2	10
		Th1-S3.1	2	10 (R, L & both)
		Th1-S3.2	2	10 (R, L & both)
		Th1-S3.3	2	10 (R, L & both)
	26	Th2-S5.1	3	5
		Th2-S5.2	3	5
		Th2-S5.3	3	5
14	27	Th3-S1.2	2	10
		Th3-S1.3	2	10
		Th3-S2.1	2	10
		Th3-S2.2	2	10
	28	Th5-S3.1	2	5 jump + 1minBk

15	29	Th5-S3.1	1	5 jump + 1minBk
		Th4-S1.2	2	10 (each leg)
		Th4-S1.3	2	5 (each leg)
		Th4-S2.1	2	5 (each leg)
16	30	Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk
		Th5-S3.1	1	10 jump + 1minBk
16	31	Th3-S1.2	2	10
		Th3-S1.3	2	10
		Th3-S2.1	2	10
	32	Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk
		Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk
		Th1-S2-1	2	10
17	33	Th1-S2-2	2	10
		Th1-S2-3	2	10
		Th2-S2.1	2	10 (each arm)
18	34	Th2-S2.2	2	10 (each arm)
		Th2-S2.3	2	10 (each arm)
		Th3-S1.2	2	10
18	35	Th3-S1.3	2	10
		Th3-S2.1	1	10
		Th5-S1.1	3	Hold 15-30s of each, 30s break between each
19	36	Th5-S1.2		
		Th5-S1.3		
		Th4-S1.2	2	10 (each leg)
19	37	Th4-S1.3	1	5 (each leg)
		Th4-S2.1	1	5 (each leg)
		Th5-S1.1	3	Hold 20-30s of each, 30s break between each
19	38	Th5-S1.2		
		Th5-S1.3		
		Th3-S1.2	2	10
20	39	Th3-S1.3	2	10

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

21	40	Th3-S2.1	1	10	
		Th3-S2.2	1	5	
		Th5-S1.1	2	Hold 10-20s of each, 30s break between each	
		Th5-S1.2			
	Th5-S1.3				
	41	Th1-S2-2	2	10	
		Th1-S3.1	2	10 (R, L & both)	
		Th1-S3.2	1	10 (R, L & both)	
		Th1-S3.3	1	10 (R, L & both)	
		42	Th2-S4.1	1-2	10 (each arm)
			Th2-S4.2	1-2	10 (each arm)
	Th2-S4.3		1-2	10 (each arm)	
22	43	Th3-S1.2	2	10	
		Th3-S1.3	2	10	
		Th3-S2.1	2	10	
		Th3-S2.2	1	5	
	44	Th5-S2.1	3	5 (each leg) +30sBk	
		Th5-S2.2	3	5 (each side) +30sBk	
		Th5-S2.3	3	5s (each leg) +30sBk	
	23	45	Th4-S1.2	2	10 (each leg)
			Th4-S1.3	1	5 (each leg)
			Th4-S2.1	2	5 (each leg)
46		Th5-S2.1	3	6 (each leg) +30sBk	
		Th5-S2.2	3	6 (each side) +30sBk	
		Th5-S2.3	3	6s (each leg) +30sBk	
24		47	Th3-S1.2	2	10
			Th3-S1.3	2	10
			Th3-S2.1	2	10
	Th3-S2.2		2	5	
	48	Th5-S2.1	1	6 (each leg) +1minBk	
		Th5-S2.2	1	6 (each side) +1minBk	
		Th5-S2.3	1	6s (each leg) +1minBk	

25	49	Th1-S2-2	2	10	
		Th1-S3.1	2	10 (R, L & both)	
		Th1-S3.2	1	10 (R, L & both)	
		Th1-S3.3	1	10 (R, L & both)	
	50	Th2-S5.1	2	10	
		Th2-S5.2	2	10	
		Th2-S5.3	2	10	
	26	51	Th3-S1.2	2	10
			Th3-S1.3	2	10
			Th3-S2.1	2	10
Th3-S2.2			1	10	
52		Th5-S3.1	2	5 jump + 1minBk	
		Th5-S3.1	1	5 jump + 1minBk	
27	53	Th4-S1.2	2	10 (each leg)	
		Th4-S1.3	2	10 (each leg)	
		Th4-S2.1	2	5 (each leg)	
	54	Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	
		Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	
		Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	
28	55	Th3-S1.2	2	10	
		Th3-S1.3	2	10	
		Th3-S2.1	2	10	
		Th3-S2.2	2	10	
	56	Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	
		Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	
		Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	
		Th5-S3.1	2	10 jump + 1minBk	

Wk: week; Sess: session; R: right; L: left; Bk: break

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

3. Balance part of the training program

The Balance part of the training program is composed of 8 thematic. Each thematic can have several associated movements. Each thematic is described and illustrated and then each session is detailed in a table (see table at the end of this chapter).

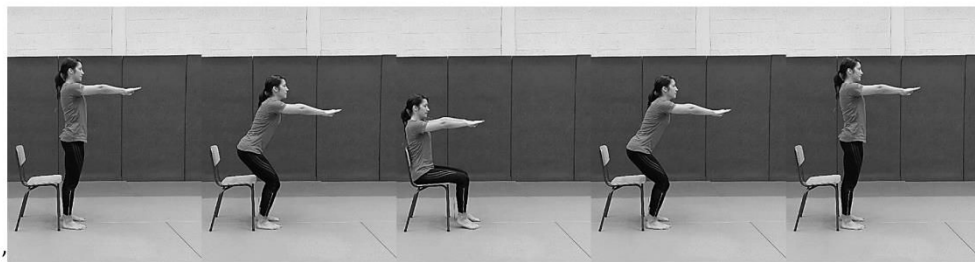
THEMATIC 1: SIT TO STAND

Situation 1

- 1- Seat down and get up from the chair (check if something is wrong: posture, use of hands...), show the participant the safest way to do it.
- 1'- Get up from a chair without using hands if possible, then seat down without using hands help and without looking behind.
- 2- Idem but walk a few steps before seating down again.
- 3- Idem but spin on yourself before seating down again.
- 4- Idem but do a full rotation on yourself (to the right then to the left) before seating down again.
- 5- Idem but walk on the heels then on the tiptoe before seating down again.
- 6- Idem but do a full rotation on yourself with the eyes closed before seating down again.



Th1-S1.1



Th1-S1.1'



Th1-S1.2

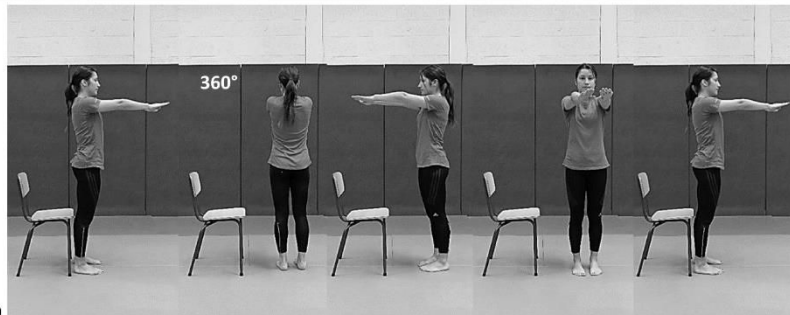
D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th1-S1.3



Th1-S1.4

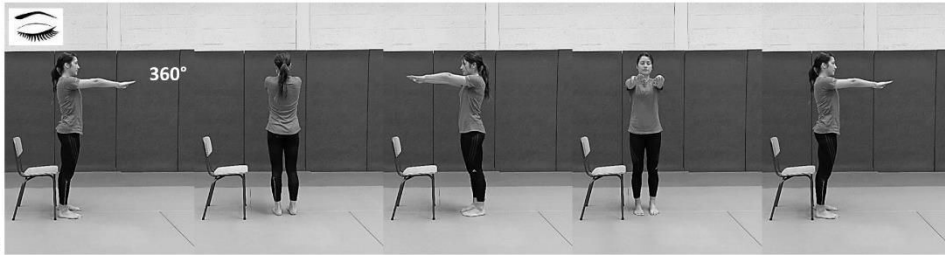


AND



Th1-S1.5

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



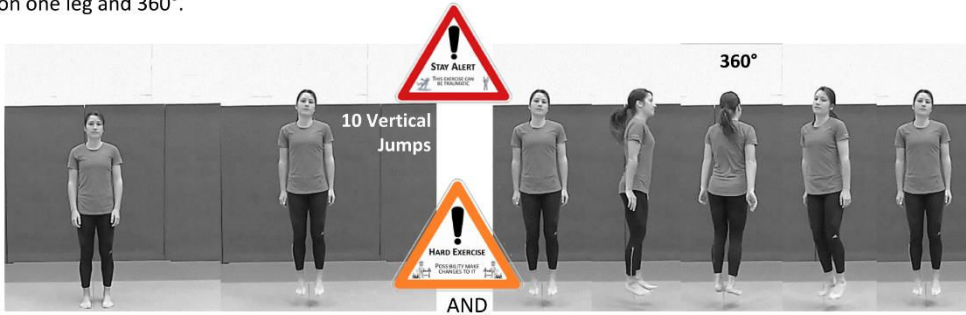
Th1-S1.6

THEMATIC 2: JUMPS

Situation 1



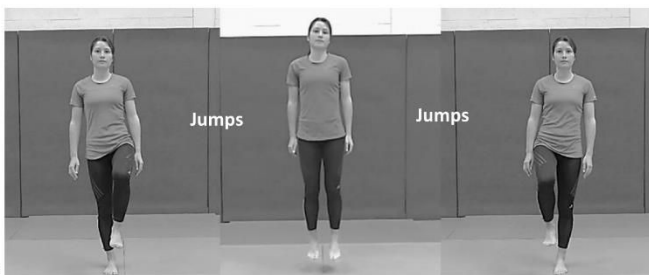
- 1- Standing, do 10 vertical jumps then performing a jumping full rotation (360°).
- 2- Standing, jump while moving laterally.
- 3- Jump from one leg to the other.
- 4- Jump on one leg.
- 5- Jump on one leg and 360°.



Th2-S1.1

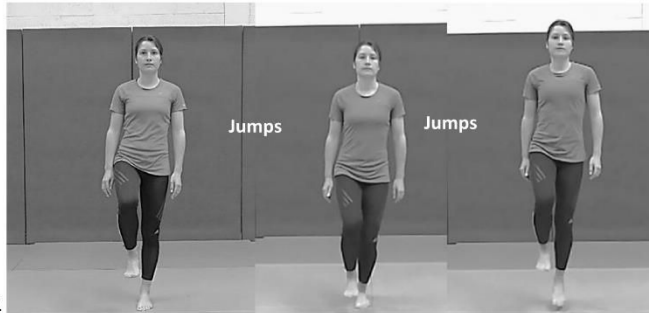


Th2-S1.2



Th2-S1.3

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th2-S1.4



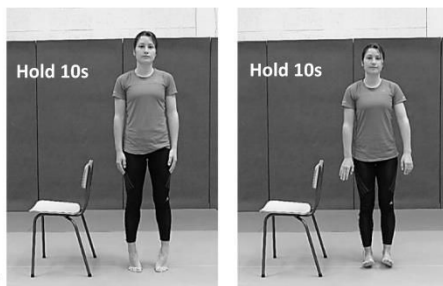
Th2-S1.5



THEMATIC 3: MODIFICATION OF SENSORY INPUTS

Situation 1

- 1- Behind the back of the chair, feet together, on tiptoe and hold 10 sec then on the heels and hold 10 sec.
- 2- Feet together, eyes closed and hold 10 sec + tiptoe 10 sec + heels 10 sec.
- 3- Feet together, move an object around your body+ tiptoe feet together+ feet together heels.
- 4- Stand on one leg and hold 10 sec then on the other leg.
- 5- On one foot, move an object around your body then on the other leg.
- 6- Stand on one foot the eyes closed.
- 7- On one foot, move an object around one leg then the other leg, with an object on the head (glove).
- 8- Hold on one foot the eyes closed with an object on the head (a washcloth for example).



Th3-S1.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th3-S1.2



Th3-S1.3

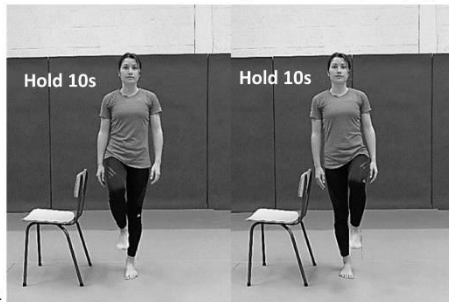


And



And

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th3-S1.4



Th3-S1.5

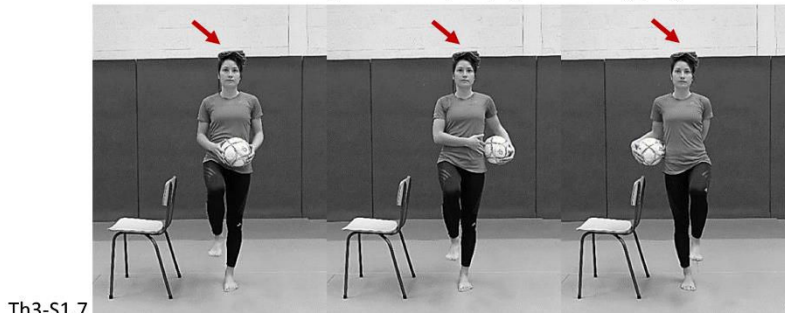


And



Th3-S1.6

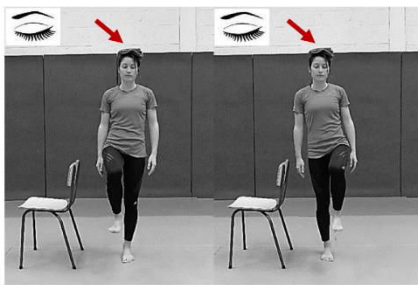
D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th3-S1.7



And



Th3-S1.8

THEMATIC 4: GO TO THE GROUND

Situation 1

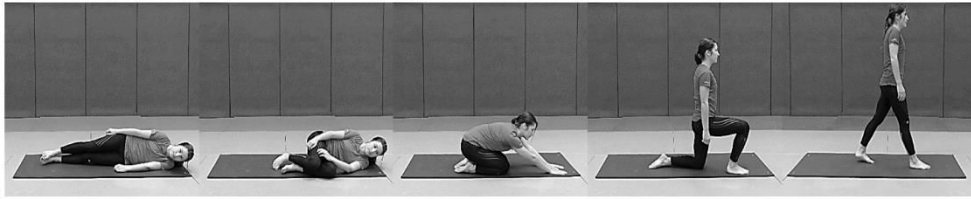
1- To go on the ground: Standing, lunge forward, bend the back knee down, then the front knee, seat down on the heels, then lay down.

2- To stand up: turn the head, then the body on one side, move to a crawling position, then put one knee on the ground, then stand.



Th4-S1.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th4-S1.2

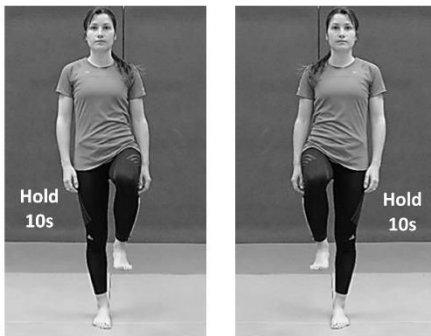
THEMATIC 5: KNEES UP

Situation 1

- 1- Standing, lift one knee and then the other.
- 2- Standing, lift the knee and hold 3-5 sec each time.
- 3- Standing, on one foot, touch the leg with the other foot and hold 10 sec.
- 4- Standing, lift a knee and do extensions (stretch bend), then the other leg.

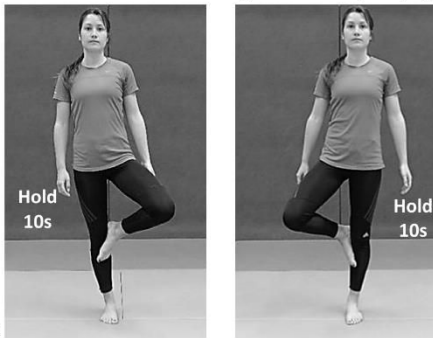


Th5-S1.1



Th5-S1.2

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



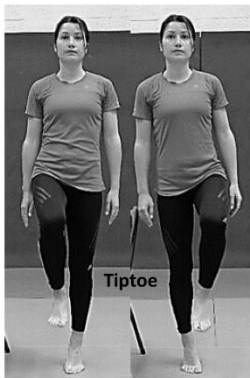
Th5-S1.3



Th5-S1.4

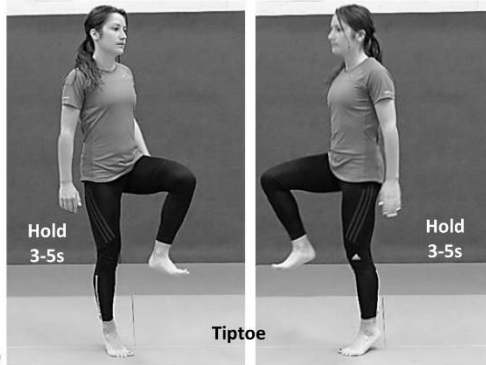
Situation 2

- 1- Standing, lift the knee, tip toe when rising.
- 2- Standing, lift the knee and hold 3-5 sec each time, tip toe if possible.
- 3- Standing, on one foot, touch the leg with the other foot and hold 10 sec tiptoe if possible.

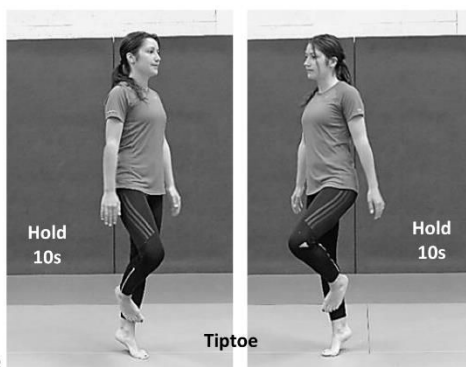


Th5-S2.1

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



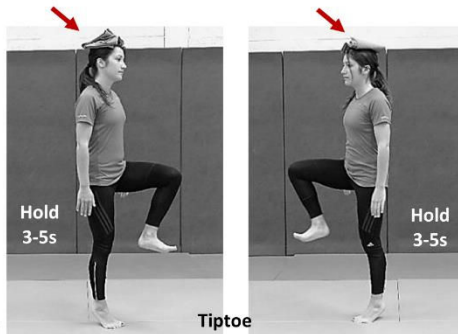
Th5-S2.2



Th5-S2.3

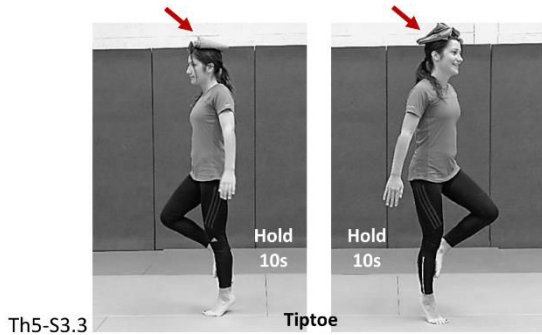
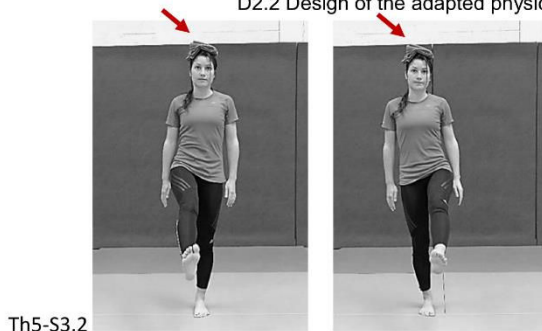
Situation 3

- 1- Standing, lift the knee and hold 3-5 sec each time, tiptoe if possible (+washcloth)
- 2- Standing, lift a knee and do extensions (stretch bend), then the other leg (+washcloth)
- 3- Standing, on one foot, touch the leg with the other foot and hold 10 sec tiptoe (10 sec par leg) (+washcloth)



Th5-S3.1

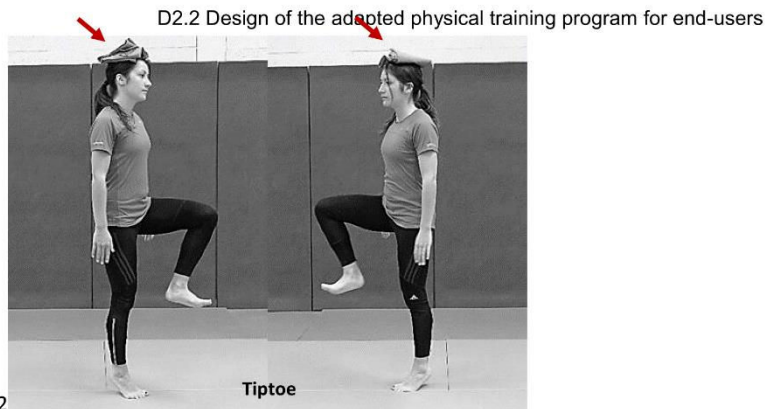
D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Situation 4

- 1- Standing, lift the knee (+washcloth).
- 2- Standing, lift the knee, tiptoe when rising (+washcloth).





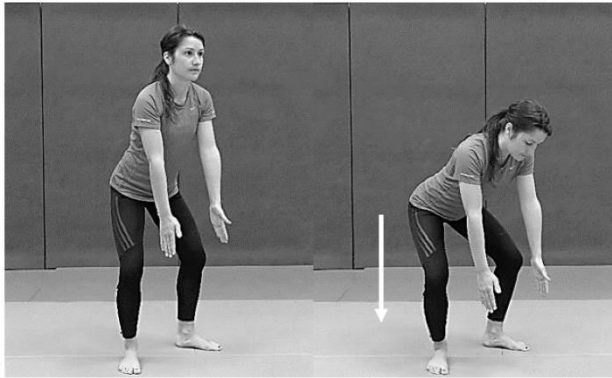
THEMATIC 6: PICK UP AN OBJECT ON THE GROUND

Situation 1

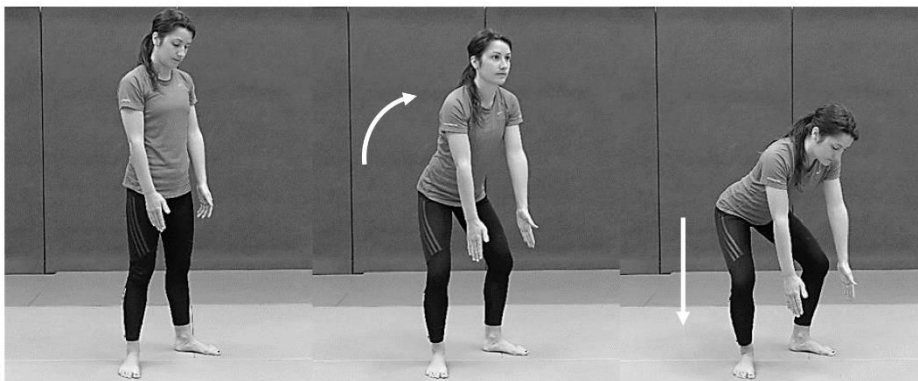
- 1- Squat Position, flexion of the pelvis.
- 2- Squats with bent pelvis forward, arms stretched.
- 3- Perform the whole movement (knees flexion, pelvis retroversion, trunk flexion...).
- 4- Squats with bent pelvis forward, arms stretched and walk.
- 5- Squats with bent pelvis forward, arms stretched and walk (on tiptoe and on heels).



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th6-S1.2



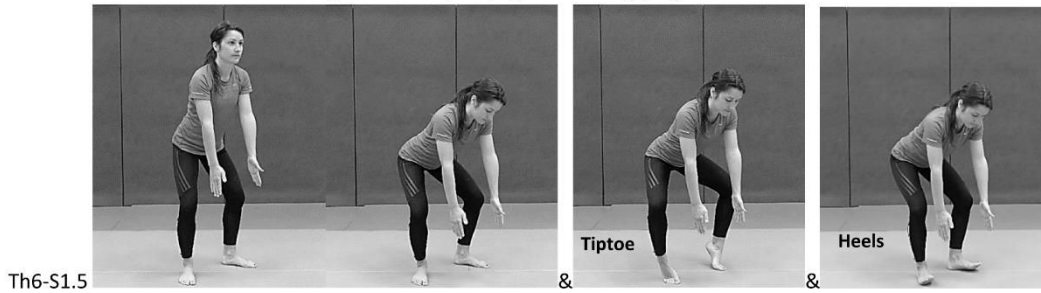
Th6-S1.3



Th6-S1.4

and walk a few step.

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



Th6-S1.5

THEMATIC 7: WORKING WITH A BALL

Situation 1

- 1- Throw the ball, keep watching it and catch it.
- 2- Idem and catch the ball with legs bent.
- 3- Legs bent, move the ball around each legs (form a 8).
- 4- Dribble (not illustrated).
- 5- Lift a knee and move the ball around the thigh then do the same for the other leg.
- 6- Tiptoe, throw the ball, keep watching it and catch it.
- 7- Tiptoe, throw the ball, keep watching it and catch the ball with legs bent.
- 8- Tiptoe, throw the ball, keep watching it and catch the ball lunge before.

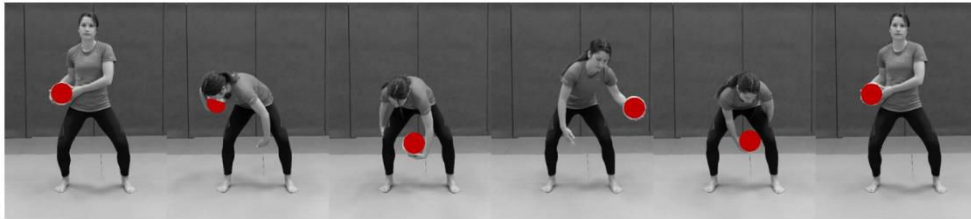


Th7-S1.1



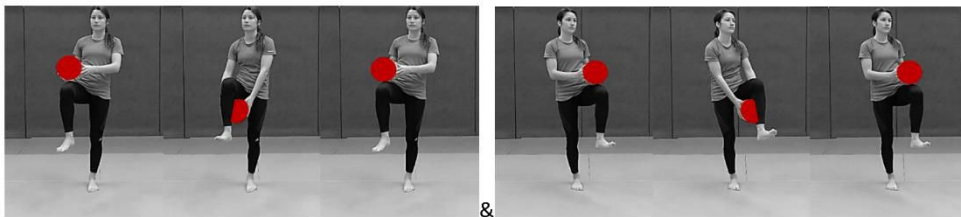
Th7-S1.2

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

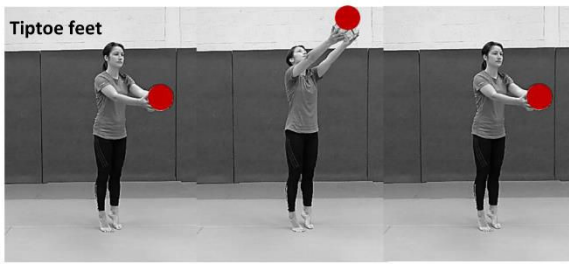


Th7-S1.3

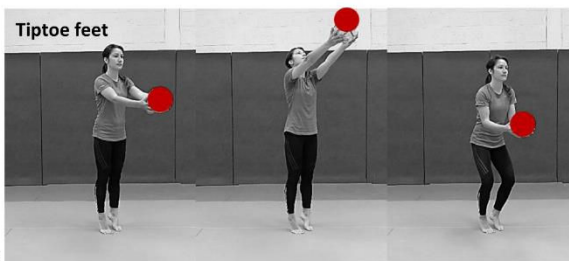
Th7-S1.4 Dribble



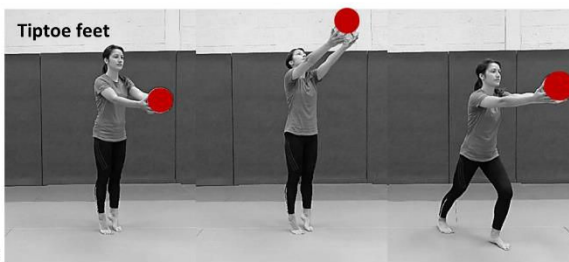
Th7-S1.5



Th7-S1.6



Th7-S1.7



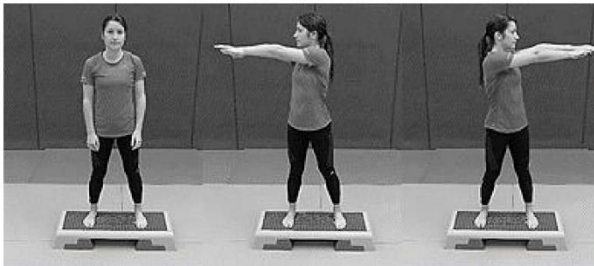
Th7-S1.8

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

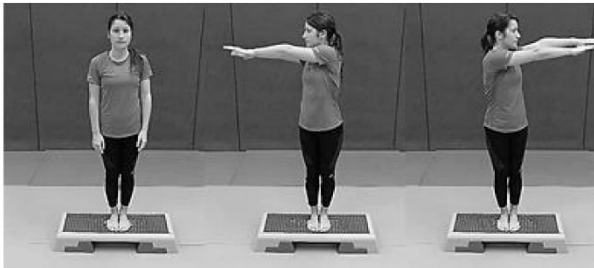
THEMATIC 8: MOVEMENTS ON A PLATFORM (STEP)

Situation 1

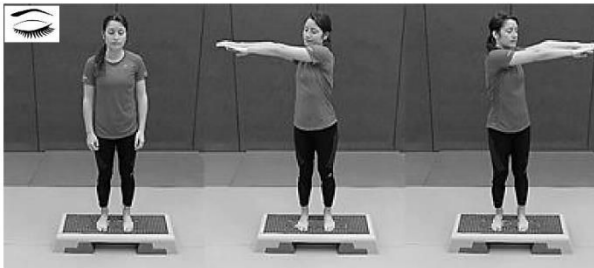
- 1- Standing, on the platform, stretch the arm to the right and look to the right then idem to the left.
- 2- Idem with the feet together.
- 3- Idem with the feet apart, but eyes closed.
- 4- Idem with the feet in tandem.
- 5- Idem with the feet together, but eyes closed.
- 6- Idem with the feet in tandem and eyes closed.
- 7- Idem on one leg.



Th8-S1.1

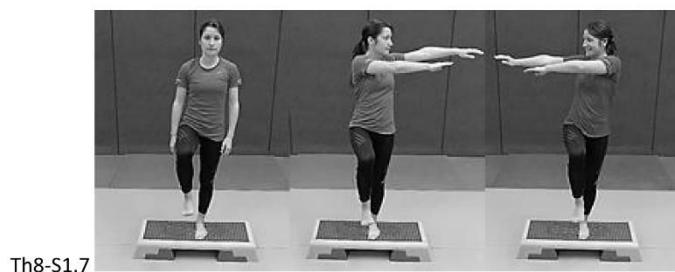
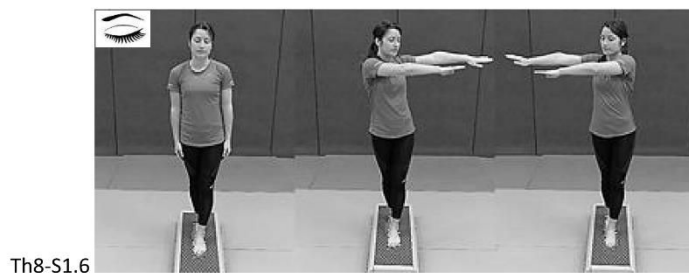
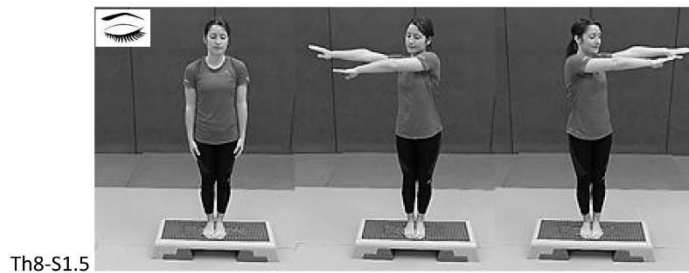
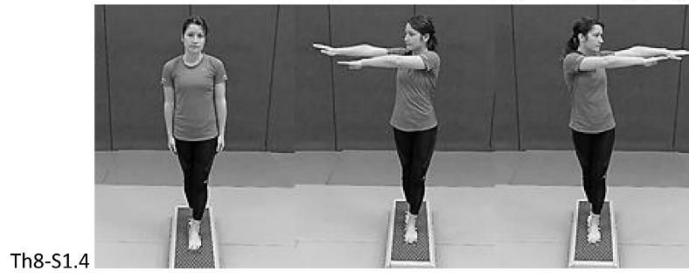


Th8-S1.2



Th8-S1.3

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

SESSIONS SETUP « BALANCE »

Wk	Sess	Situation	Set	Repeat	
1	1	Th1-S1.1	1	1	
		Th1-S1.1'	2	5	
		Th1-S1.2	2	5	
	2	Th2-S1.1	2	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.	
		Th2-S1.2			
		Th2-S1.3			
2	3	Th3-S1.1	1	5 (of each)	
		Th3-S1.2	1	5 (of each)	
		Th3-S1.3	2	5 (of each)	
	4	Th4-S1.1	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)		
		Th4-S1.2			
3	5	Th5-S1.1	3	10 (each leg)	
		Th5-S1.2	3	5 (each leg)	
		Th5-S1.3	1	1 (each leg)	
	6	Th6-S1.1	2	5	
		Th6-S1.2	2	5	
		Th6-S1.3	1	5	
4	7	Th7-S1.1	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".	
		Th7-S1.2			
		Th7-S1.3			
		Th7-S1.4			
	8	Th8-S1.1	1	5 (each side)	
		Th8-S1.2	1	5 (each side)	
Th8-S1.3		1	5 (each side)		
5	9	Th1-S1.1'	2	5	
		Th1-S1.2	2	5	
		Th1-S1.3	2	5	
	10	Th2-S1.1	4	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.	
		Th2-S1.2			
		Th2-S1.3			

6	11	Th3-S1.1	1	5 (of each)
		Th3-S1.4	2	10sec (each leg)
		Th3-S1.5	2	1 (each leg)
	12	Th4-S1.1	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)	
Th4-S1.2				
7	13	Th5-S2.1	3	10 (each leg)
		Th5-S2.2	3	5 (each leg)
		Th5-S2.3	1	1 (each leg)
	14	Th6-S1.1	2	5
		Th6-S1.2	2	5
		Th6-S1.4	Walk a few step after 6.1.2	
	Th6-S1.3	1	5	
8	15	Th7-S1.1	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".
		Th7-S1.2		
		Th7-S1.5		
		Th7-S1.4		
	16	Th8-S1.1	1	5 (each side)
		Th8-S1.2	1	5 (each side)
Th8-S1.4		1	5 (each side)	
	Th8-S1.5	1	5 (each side)	
9	17	Th1-S1.1'	2	5
		Th1-S1.2	2	5
		Th1-S1.4	2	5
	18	Th2-S1.1	4	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.
		Th2-S1.2		
		Th2-S1.3		
	Th2-S1.4	1	5-8	
10	19	Th3-S1.1	1	5 (of each)
		Th3-S1.4	2	10sec (each leg)
		Th3-S1.5	2	1 (each leg)
		Th3-S1.6	2	5s (each leg)

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

	20	Th4-S1.1 Th4-S1.2	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)	
11	21	Th5-S2.2	3	5 (each leg)
		Th5-S1.4	3	5 (each leg)
		Th5-S2.3	1	1 (each leg)
	22	Th6-S1.1	2	10
		Th6-S1.2	2	10
Th6-S1.4		Walk a few step after 6.1.2		
	Th6-S1.3	1	5	
12	23	Th7-S1.6	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".
		Th7-S1.7		
		Th7-S1.5		
		Th7-S1.4		
	24	Th8-S1.1	1	5 (each side)
		Th8-S1.2	1	5 (each side)
		Th8-S1.4	1	5 (each side)
		Th8-S1.6	1	5 (each side)
13	25	Th1-S1.1'	2	5
		Th1-S1.5	2	10
		Th1-S1.4	2	5
		Th1-S1.6	1	5
	26	Th2-S1.1	4	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.
		Th2-S1.2		
		Th2-S1.3		
		Th2-S1.4	1	5-8
Th2-S1.5	1	1		
14	27	Th3-S1.1	1	5 (of each)
		Th3-S1.4	2	10sec (each leg)
		Th3-S1.7	2	1 (each leg)
		Th3-S1.8	2	5s (each leg)
	28	Th4-S1.1	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)	
		Th4-S1.2		
15	29	Th5-S3.1	3	10 (each leg)
		Th5-S3.2	3	5 (each leg)
		Th5-S3.3	1	1 (each leg)

	30	Th6-S1.1	2	10
		Th6-S1.2	2	10
		Th6-S1.5	Walk a few step after 6.1.2	
		Th6-S1.3	1	5
16	31	Th7-S1.6	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".
		Th7-S1.8		
		Th7-S1.5		
		Th7-S1.4		
	32	Th8-S1.2	1	5 (each side)
		Th8-S1.4	1	5 (each side)
		Th8-S1.7	1	5 (each side)
		Th8-S1.6	1	5 (each side)
17	33	Th1-S1.1'	2	5
		Th1-S1.5	2	10
		Th1-S1.4	2	5
		Th1-S1.6	1	5
	34	Th2-S1.1	4	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.
		Th2-S1.2		
		Th2-S1.3		
	18	35	Th3-S1.1	1
Th3-S1.4			2	10sec (each leg)
Th3-S1.5			2	1 (each leg)
36		Th4-S1.1	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)	
		Th4-S1.2		
19	37	Th5-S4.1	3	10 (each leg)
		Th5-S3.1	3	10 (each leg)
		Th5-S3.3	1	1 (each leg)
	38	Th6-S1.1	2	10
		Th6-S1.2	2	10
		Th6-S1.5	Walk a few step after 6.1.2	
	Th6-S1.3	1	5	
20	39	Th7-S1.6	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".
		Th7-S1.8		
		Th7-S1.5		
		Th7-S1.4		

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

	40	Th8-S1.2	1	5 (each side)	
		Th8-S1.4	1	5 (each side)	
		Th8-S1.7	1	5 (each side)	
		Th8-S1.6	1	5 (each side)	
21	41	Th1-S1.1'	2	5	
		Th1-S1.5	2	10	
		Th1-S1.4	2	5	
		Th1-S1.6	2	5	
	42	Th2-S1.1	4	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.	
		Th2-S1.2			
		Th2-S1.3			
		Th2-S1.4	1	5-8	
22	43	Th3-S1.1	1	5 (of each)	
		Th3-S1.4	2	10sec (each leg)	
		Th3-S1.5	2	1 (each leg)	
		Th3-S1.6	2	5s (each leg)	
	44	Th4-S1.1	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)		
		Th4-S1.2			
23	45	Th5-S4.2	3	10 (each leg)	
		Th5-S3.1	3	10 (each leg)	
		Th5-S3.3	1	1 (each leg)	
	46	Th6-S1.1	2	10	
		Th6-S1.2	2	10	
		Th6-S1.5	Walk a few step after 6.1.2		
		Th6-S1.3	1	5	
24	47	Th7-S1.6	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".	
		Th7-S1.8			
		Th7-S1.5			
		Th7-S1.4			
	48	Th8-S1.2	1	5 (each side)	
		Th8-S1.4	1	5 (each side)	
		Th8-S1.7	1	5 (each side)	
		Th8-S1.6	1	5 (each side)	
25	49	Th1-S1.1'	2	5	
		Th1-S1.5	2	10	
	50	Th1-S1.4	2	5	
		Th1-S1.6	1	5	
		Th2-S1.1	4	10 vertical J, 10-15 lateral J and 10 J right to left leg with 30sBk between sets.	
		Th2-S1.2			
		Th2-S1.3			
			Th2-S1.4	1	5-8
	26	51	Th3-S1.1	1	5 (of each)
			Th3-S1.4	2	10sec (each leg)
			Th3-S1.7	2	1 (each leg)
			Th3-S1.8	2	5s (each leg)
		Th4-S1.1	As much as necessary (Insist on the critical arts :kneel down, from laying to seating)		
		Th4-S1.2			
27	53	Th5-S3.1	3	10 (each leg)	
		Th5-S3.2	3	5 (each leg)	
		Th5-S3.3	1	1 (each leg)	
	54	Th6-S1.1	2	10	
		Th6-S1.2	2	10	
		Th6-S1.5	Walk a few step after 6.1.2		
		Th6-S1.3	1	5	
28	55	Th7-S1.6	2	10 "Th7-S1.1" then 10 "Th7-S1.2" then "5 Th7-S1.3" and 20s "Th7-S1.4".	
		Th7-S1.8			
		Th7-S1.5			
		Th7-S1.4			
	56	Th8-S1.2	1	5 (each side)	
		Th8-S1.4	1	5 (each side)	
		Th8-S1.7	1	5 (each side)	
		Th8-S1.6	1	5 (each side)	

Wk: week; Sess: session; J: jump; s: second; Bk: break

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

4. Endurance part of the training program

The fitness session is composed of 2 types of exercises: "step movements" and "ergocycle workout".

a. STEP SESSIONS:

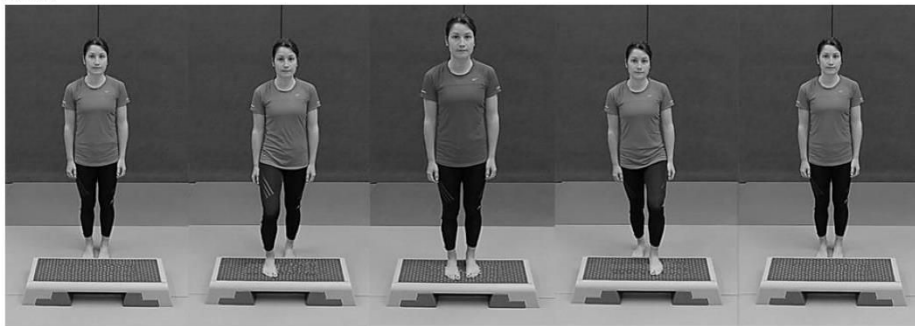
The participants will perform four basic movements:

- Movement n°1: « Basic »
- Movement n°2: « V Step »
- Movement n°3: « Knees Up »
- Movement n°4: « Complex Knees Up ».

Each basic movement is described using illustrations then the content of each session is detailed in table 1.

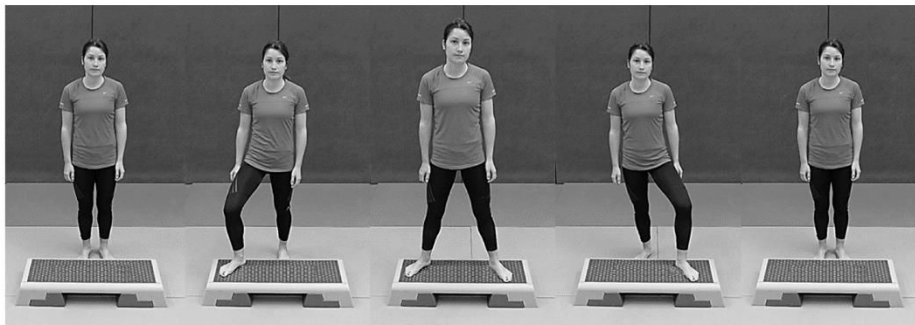
1- « BASIC »:

Start feet together behind the step, step up on the step one leg then the other and step down one leg then the other.



2- « V STEP »:

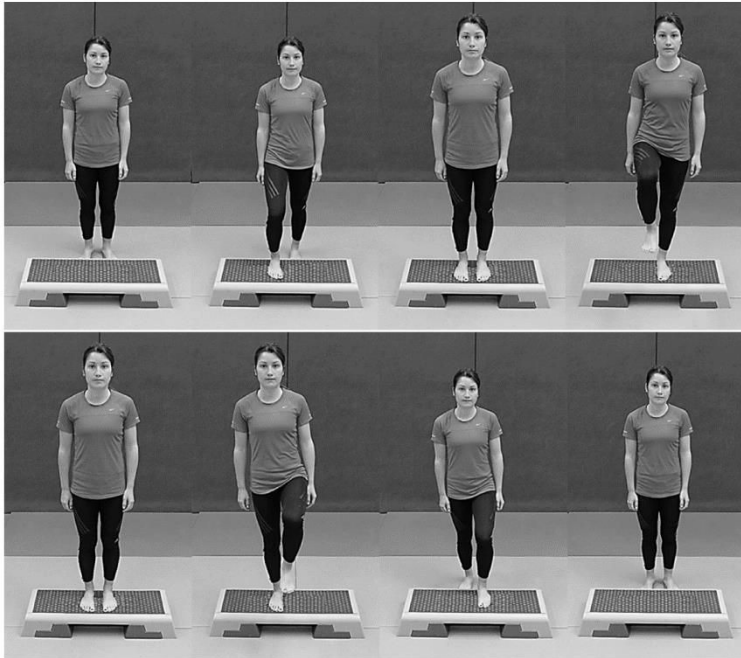
Start feet together behind the step, step up with the right foot on the outer part of the step, and step up with the left foot on the other side of the step. The feet must be positioned as flat as possible on the step, and ankles turned inward. The legs, slightly bent, should form a "V". Then step down one leg then the other in order to go back to the initial position, feet together behind the step.



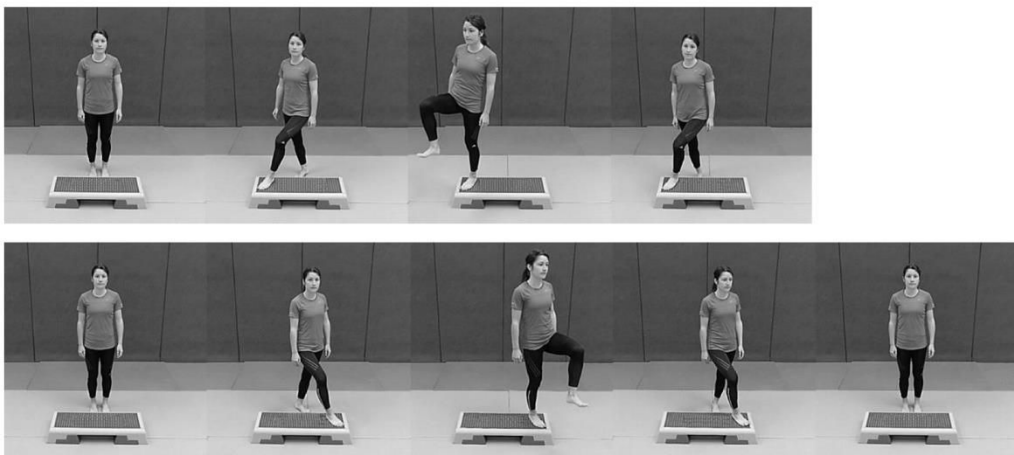
D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

3- « KNEES UP »:

Start feet together behind the step, step up on the step one leg then the other, raise one knee, lower it back, raise the other knee and lower it back. Step down the step one leg then the other.

**4- « COMPLEX KNEES UP »:**

Start feet together, step up on the step with the left foot on the right side of the step, raise the right knee and lower it back and step down with left foot in order to be back in the initial position, step together behind the step. Then perform the same movements with the right foot and left knee.



D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

SESSIONS SETUP « STEP »

**Fitness
Step**

Wk	Sess	Mvt	Bpm	Set	WT	BT	TT
1	1	1	60	3	2	2	10
2	3	1	60	4	2	1	11
3	5	1	66	3	2	2	10
4	7	1	66	4	2	1	11
5	9	2	60	3	2	2	10
6	11	2	60	4	2	1	11
7	13	2	66	3	2	2	10
8	15	2	66	4	2	1	11
9	17	3	60	3	2	2	10
10	19	3	60	4	2	1	11
11	21	3	66	3	2	2	10
12	23	3	66	4	2	1	11
13	25	4	60	3	2	2	10
14	27	4	60	4	2	1	11
15	29	4	66	3	2	2	10
16	31	4	66	4	2	1	11
17	33	2	72	3	2	2	10
18	35	2	72	4	2	1	11
19	37	2	76	3	2	2	10
20	39	2	76	4	2	1	11
21	41	3	72	3	2	2	10
22	43	3	72	4	2	1	11
23	45	3	76	3	2	2	10
24	47	3	76	4	2	1	11
25	49	4	72	3	2	2	10
26	51	4	72	4	2	1	11
27	53	4	76	3	2	2	10
28	55	4	76	4	2	1	11

*Wk: week n°; Sess: session n°; Mvt: movement n°; Bpm: number of beats per minute;
WT: working time (minutes); BT: break time (minutes); TT: total time (minutes).*

Table 1: Sessions setup « Step »

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

b. ERGOCYCLE SESSIONS:

For every sessions of this part, the participant will be seated on a chair with a pedal exerciser. The detail of each session is described in the table below. (See Table2)

Fitness Pedal	Wk	Sess	Set	WT	%WHR	BT	TT
	1	2	3	3	60-70*	2	13
	2	4	2	4	60-70*	2	10
	3	6	2	5	60-70*	2	12
	4	8	1	10	50*	1	11
	5	10	2	6	60-70*	2	14
	6	12	1	8	60-70*	2	10
	7	14	1	10	60-70*	2	12
	8	16	1	10	50*	1	11
	9	18	1	10	70-80*	2	12
	10	20	1	10	70-80*	2	12
	11	22	1	10	70-80*	2	12
	12	24	1	10	50*	1	11
	13	26	1	10	85*	2	12
	14	28	1	10	85*	2	12
	15	30	1	10	85*	2	12
	16	32	1	10	50*	1	11
	17	34	1	10	70-80**	2	12
	18	36	1	10	70-80**	2	12
	19	38	1	10	70-80**	2	12
	20	40	1	10	50**	1	11
	21	42	1	10	85**	2	12
	22	44	1	10	85**	2	12
	23	46	1	10	85**	2	12
	24	48	1	10	50**	1	11
	25	50	1	10	85**	1	11
	26	52	1	10	85**	1	11
	27	54	1	10	85**	1	11
	28	56	1	10	50**	1	11

Wk: week n°; Sess: session n°; WT: working time (minutes); %WHR: work heart rate (*measured in pretests, ** measured in posttests); BT: break time (minutes); TT: total time (minutes).

Table 2: Sessions setup « Pedal »

5. Notes on the program implementation for the Italian pilot site

With the intention to support the partners in charge of the deliverable, the training program has been analyzed by CUP 2000, UNIBO and a consultant, expert in physical training. The aim was to achieve additional evaluations about the possible risks and thus related insurance issues that are fundamental pre-requirements for the safe recruitment of users.

The possible difficulties and the probabilities to incur in small accidents were taken into account by considering three physiological dimensions, appearing very important in the senile domain. They will be described in more details in the deliverable D5.1 and will be utilized in the recruitment phase. They are: the cardio-respiratory functionality, the muscular-skeletal functionality and the body composition. Risk factors were identified within the first two dimensions, as following:

1. Cardio-respiratory system:
 - a. In the case of heart atrophy or senile hypertrophy, variations are produced on the maximum (not resting) heart rate: it is necessary to avoid non gradual works which could increase too fast the aerobic energy demand.
 - b. Aerobic capacities are diminished due to the reduction of the maximal heart cardiac output (-50% of O_2 consumption): it is necessary to progressively adapt the exercise to the effort, also during the work on specific muscular groups, by alternating muscular stretching, fluidity and movement coordination exercises with similar exercises on other bodily districts.
 - c. Breathing: correct breathing is essential and must necessarily be checked during the session, due to a reduced vital capacity and the consequent decreases in the maximal respiratory fluxes and in the capacity of lung diffusion, and increase in ventilation during the exercise. Attention must be paid to correct breathing to favor the gradual adaptation of the heart rate, therefore it is suggested to work especially on thoracic and abdominal breathing.
 - d. Although seniors participating the study should be generally healthy, special consideration must be paid in case of past or suspected pathological conditions such as chronic obstructive pulmonary disease or asthma.
 - e. Specific risks related to the cardio-respiratory system include coronary heart diseases connected to effort, intensity, frequency and speed of training, and to performing the activity in a hot/cold environment.
2. Muscular-skeletal system: in the old age, this system is interested by a gradual decrease in muscular fibers, with a reduced number of muscular units and lower protein synthesis. The bone mass is reduced by 35 to 50%, and the bone resistance by 55-65%. Common obstacles to exercise include:
 - a. Joint rigidity, associated to pain in loading and movement, due to fibrous cartilage, with loss of physiological mobility and onset of pain under intense solicitation and maximum excursion levels;
 - b. Rigidity and loss of elasticity in tendons and ligaments;
 - c. Chronic overload pathologies due to predispositions such as foot hyper/under pronation, hollow/flat foot, varus/valgus knee, dissymmetry of lower limbs, muscular unbalance/weakness, and ligament relaxation/instability. In the presence of such conditions, the levels of pain should be verified during and after the activity, to avoid

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

typical fractures (humerus, carpal scaphoid, ribs, vertebrae, fibulas), or overload on the ligament structures (tendinopathies, tenosynovitis, lumbagoes).

- d. Presence of osteoporosis, arthrosis, rheumatoid arthritis, lumbagoes.

On the basis of such analysis, in the actual implementation of the pilot the Italian group identifies risky exercises for which alternatives will be proposed. The exercises are resumed in the following table:

Interested system	Ex. #	Description	Risk factor
Cardio-respiratory	TH3-S2.1 TH3-S2.2 TH4-S2.1 TH5-S3.1 TH5-S3.2	Vertical jump	Loss of balance, incorrect landing position, fractures
Muscular-skeletal	TH5-S1.2 TH5-S1.3 TH5-S2.2	Costal and ventral strengthening	Pain, fractures, stress fractures

It is therefore suggested to include these movements only after a careful, further evaluation of the overall, as well as day-by-day capability of the senior (for instance, a vertical jump could be proposed on some days and not others, or at the end of the program). Proposed alternatives will include extra exercises on laterality, forth and back, top and bottom, axial-proximal flexibility, coordination of the upper-lower-right-left districts

D2.2 Design of the adapted physical training program for end-users

6. Bibliography

- Binder, Ellen F, Kenneth B Schechtman, Ali A Ehsani, Karen Steger-May, Marybeth Brown, David R Sinacore, Kevin E Yarasheski, et John O Holloszy. 2002. « Effects of Exercise Training on Frailty in Community-Dwelling Older Adults: Results of a Randomized, Controlled Trial ». *Journal of the American Geriatrics Society* 50 (12): 1921- 1928.
- Brown, Marybeth, David R. Sinacore, Ali A. Ehsani, Ellen F. Binder, John O. Holloszy, et Wendy M. Kohrt. 2000. « Low-Intensity exercise as a modifier of physical frailty in older adults ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 81 (7): 960-965. doi:10.1053/apmr.2000.4425.
- Hubbard, Ruth E, Nader Fallah, Samuel D Searle, Arnold Mitnitski, et Kenneth Rockwood. 2009. « Impact of Exercise in Community-Dwelling Older Adults ». *PloS One* 4 (7): e6174. doi:10.1371/journal.pone.0006174.
- King, Mary B, Robert H Whipple, Cynthia A Gruman, James O Judge, Julia A Schmidt, et Leslie I Wolfson. 2002. « The Performance Enhancement Project: Improving Physical Performance in Older Persons ». *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* 83 (8): 1060-1069.
- Krawczynski, et Olszewski. 2000. « Psychological well-being associated with a physical activity ».
- Means, Kevin M., Daniel E. Rodell, et Patricia S. O'Sullivan. 2005. « Balance, Mobility, and Falls Among Community-Dwelling Elderly Persons: Effects of a Rehabilitation Exercise Program ». *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation* 84 (4): 238-250. doi:10.1097/01.PHM.0000151944.22116.5A.
- Nitz, Jennifer C, et Nancy Low Choy. 2004. « The Efficacy of a Specific Balance-Strategy Training Programme for Preventing Falls among Older People: A Pilot Randomised Controlled Trial ». *Age and Ageing* 33 (1): 52-58.

ANNEXE 2 : Development and validation of the Short Multidimensional Health Questionnaire (SMHQ)

Development and validation of the Short Multidimensional Health Questionnaire (SMHQ)

Lucile Bigot^{1,3,4}, Catherine Garnarczyk^{1,2}, Antoine Gauthier^{1,3,4}, Gaëlle Quarck^{1,3,4} and Fabrice Dosseville^{1,2}*

¹ Normandie Université, F-14032 Caen, France

² UNICAEN, CESAMS, EA4260, F-14032 Caen, France

³ UNICAEN, COMETE, U1075, F-14032 Caen, France

⁴ INSERM, U1075, F-14032 Caen, France

*Address correspondence to this author at the Université de Caen Normandie, UFR STAPS, 2 boulevard du Maréchal Juin 14032 Caen cedex, France; E-mail: fabrice.dosseville@unicaen.fr

Abstract

Purpose: Psychological well-being and health are closely linked at older ages. It is widely recognized that adapted regular physical exercise improves drastically both the physical and emotional well-being and allows older adults to stay healthy longer, with a better quality of life. In the framework of an European project (MOTION) to increase the life expectancy, independence and quality of life of older adults, the aim of the current research was to develop and validate a brief, multi-faceted, self-report measure of well-being in older adults.

Method: The aim of Study 1 was to establish the factor structure of the newly developed measure using exploratory factor analysis (EFA). The aim of Study 2 was to replicate the measure's factor structure using confirmatory factor analysis (CFA), and to evaluate test-retest reliability and convergent validity.

Results: Analyses allowed generating a model of well-being comprising four dimensions: Perceived Physical Value, Self-esteem and self-efficacy, Socialization, and Emotional Reactions.

Conclusion: The findings suggest that the SMHQ is appropriate for use with older adults and can help researchers and health professionals to assess the effects of APA programs.

Introduction

Live an autonomous life, with the ability to carry out their basic tasks of daily life, is a key aspect for maintaining quality of life for the elderly persons. Nevertheless, aging often causes several structural and functional losses in muscle and bone mass, strength and hormonal production [1 - 5]. But health is affected not just as physiological and biological issues but also by psychological and emotional factors. Other deteriorations are observed in older adults such as emotional and cognitive functioning [6 - 8]. All these degradations affect autonomy and increase risk of falling and social isolation [9 - 10]. One of the most important conditions for supporting autonomy is to maintain physical fitness. It is widely recognized that adapted regular physical exercise improves drastically both the physical and emotional well-being and allows older adults to stay healthy longer, with a better quality of life, while being more independent and far less costly to society [11 - 17]. Thus, adapted physical activity (APA) is an effective and beneficial strategy for improving well-being in elderly persons.

Current solutions for the physical coaching of seniors suffer from major practical and economic limitations: either a highly expensive home coaching service or the obligation to be at or join a special place (e.g. a retirement home or a gym club). The mission of MOTION is to increase the life expectancy, independence and quality of life of older adults through a novel holistic technology-based service for remote multi-user physical training of older adults at home by specialized coaches, thereby enabling a totally new level of physical training effectiveness. The MOTION project is part of the European Innovation Partnership on Active and Healthy Ageing (EIPAH) and aims at delivering an offer of remote adapted physical activity by using a collective tool of videoconference. This European project is based on a research consortium comprising one association, four industrial companies and four research and academic organizations from different members or associated countries. The principal aim of the MOTION project is to evaluate the effect of a new delivery system of an APA training programs to improve general quality of life. To ensure that effects of this program are complete and are not limited to physical dimensions, it is important to estimate its psychological impacts on participants. Psychological well-being of participants needs to be monitored using the Health Short Multidimensional Questionnaire before, during and after the APA training program.

However, well-being, in particular in psychological dimension, remains complex and multifactorial concept. Most of the time, general quality of life questionnaires or tools measuring psychological correlates such as depression, optimism, self-efficacy or self-esteem, are used. But these tools and questionnaires differ according to studies objectives and they assess rarely physical or corporal dimensions. Consequently, under the MOTION project, the main objective of this study is to develop and to validate a new questionnaire by considering that subjective well-being is the resultant of four dimensions: self-esteem and self-efficacy, socialization, emotional reactions and perceived physical value [18 - 21].

Several studies on subjective well-being can be found but Diener, Oishi and Lucas [22] underline that these studies often measure a single dimension of well-being or ill-being. Diener [23] provided to assess subjective well-being through both cognitive and emotional dimensions. Other questionnaires assess life quality of satisfaction but are adapted to make comparisons with reference group and do not reflect specificity of patients' problems [24] or assess death, end-of-life and privacy [25]. With a broad and multidimensional perspective, self-efficacy [26] and self-esteem [27] could be included as a follow-up to elderly persons. Moreover, the attached, estimated or perceived value to physical condition could be an

integral part of any well-being evaluation. Some questionnaires refer to strength, flexibility, physical skills and appearance such as Physical Self-Perception Profile [28]. Finally, there are several tools to assess life quality or subjective well-being but they are validated with different target populations and objectives than MOTION project.

Given the shortcomings in existing measures, the aim of the current research was to develop and validate a brief, multi-faceted, self-report measure of well-being for older people. The objective was to develop a questionnaire that evaluates four main dimensions of well-being in older adults. Firstly, items were generated after reviewing validated questionnaires previously discussed, and, reliability analyses and an exploratory factor analysis (EFA) were performed with a first sample of participants. Secondly, a confirmatory factor analysis (CFA) was conducted with a second sample to test the model. Moreover, this sample also completed a set of other questionnaires to assess the construct validity of the questionnaire.

Study 1 – Exploratory Factor Analysis

Items generation

The purposes of study 1 were to develop a pool of items, reduce this pool to a more manageable number, develop a first version of the questionnaire and perform reliability and exploratory factor analysis (EFA). A scientific committee was established at the onset of the project to provide methodological and scientific support and included 5 members, each with expertise in quantitative and qualitative research and questionnaire development in psychology. After reviewing papers about well-being, physical perception, socialization, self-esteem, self-efficacy and emotional reactions assessments, this committee generated an initial pool of 45 items. These items were administered to 10 participants ($M = 65.1$; $SD = 7.4$) in order to improve their clarity and to test response modalities [29]. Finally, 35 items were retained. A committee from the first author's university granted ethical clearance for the entire program of research.

Participants

The sample consisted of 868 participants including university students and elder students recruited in senior association (278 women and 590 men) and voluntary participants in the study 1 intended to test the factorial structure of the 35-items version of the questionnaire. Participants received no compensation for completing the questionnaire. They were between 22 to 76 years old ($M = 38.2$, $SD = 16.4$).

Measures

Participants were ensured that their participation would remain anonymous. They answered the 35-items questionnaire using a 5-point Likert-type scale ranging from 1 ("completely disagree") to 5 ("completely agree").

Analysis

An EFA was conducted using SPSS version 22 and used to identify the latent structure of the item set and to reduce its length. This analysis was chosen in order to understand, in a more parsimonious manner, the associations between the measured variables with principal components analysis with orthogonal (varimax) rotation [30]. To ensure minimal ambiguity between factors, criteria for an acceptable factor solution were that factors have a minimum eigenvalue of 1, the exclusion of pattern coefficients below .40, the exclusion of items loading .40 or more if there was cross loading greater than .30 on any other factors, and that there should be a minimum of three items on each factor [31].

Results

In order to ensure that the assumptions of EFA were satisfied, sampling adequacy was tested. Bartlett's test statistic was significant ($\chi^2 (990) = 12225.79$, $p < .01$) indicating that the correlation matrix was appropriate for factor analysis. Consequently, EFA was conducted and the Kaiser–Meyer–Olkin (KMO) measure of sampling adequacy was high (.85) providing further support for the appropriateness of the data to be used for factor analysis [31]. Results showed a four-factor solution with 23 items and cumulatively accounted for 68.8% of the observed variance (table 1). The first extracted factor accounted for 21.9% of the total variance, the second for 17.5%, the third for 16.6% and the fourth for 12.8%. The first factor included 6 items and was labeled Perceived Physical Value. The second factor comprised 6 items and was labeled Self-esteem and self-efficacy. The third factor was represented by 6 items and was labeled Socialization. Finally, the fourth factor included 5 items and was labeled Emotional reactions.

Table 1. Factor loadings for the 23-item Short Multidimensional Health Questionnaire

	Variance	PPV	SESE	S	RE
<i>I am satisfied with my body</i>		0.797			
<i>My body is beautiful to look at</i>		0.757			
<i>I feel good about myself physically</i>	21.9%	0.705			
<i>On the whole, I am satisfied with my physical capacities</i>		0.702			
<i>I tire easily</i>		0.679			
<i>I have difficulties with dressing undressing</i>		0.401			
<i>I am easily discouraged</i>			0.706		
<i>I struggle to cope with social events</i>			0.527		
<i>I have difficulties in concentrating</i>	17.5%		0.505		
<i>Faced with problem, I can find several solutions</i>			0.469		
<i>Whatever happens, I am able to adjust myself</i>			0.468		
<i>Sometimes I think that I am useless</i>			0.452		
<i>I enjoy meeting people for socializing</i>				0.673	
<i>I am comfortable with people</i>				0.663	
<i>I have difficulties with meeting with people</i>	16.6%			0.62	
<i>I am not an easy person to get along with</i>				0.575	
<i>I have a desire to make new activities</i>				0.492	
<i>I am engaged in group activities</i>				0.440	
<i>I get irritated easily</i>					0.577
<i>I lose easily my temper</i>					0.556
<i>I am often unhappy, sad or depressed</i>	12.8%				0.499
<i>I am often nervous or tense</i>					0.47
<i>I am easy-going</i>					0.445

PPV: Perceived Physical Value; SESE: Self-Esteem and Self-Efficacy; S: Socialization; ER: Emotional Reactions.

Study 2 – Confirmatory Factor Analysis, internal consistency and convergent validity

Participants

To examine the a priori factor structure of the questionnaire, a confirmatory factor analysis (CFA) was performed. For this purpose a second sample consisted of 325 volunteers aged from 56 to 71 years old ($M = 62.6$; $SD = 5.7$; 124 women and 201 men).

Analysis

Absolute and incremental fit indices were used to estimate the sufficiency of the overall fit of the measurement models: Satorra-Bentler χ^2/df ratio [32], Non-Normed Fit Index NNFI [33], Comparative Fit Index (CFI) [32], Standardized Root Mean Squared Residual SRMR [31, 34], and Root Mean Squared Error of Approximation RMSEA [34 - 35]. The NNFI

and CFI indices range from 0 to 1, with values above .900 representing an acceptable fit of the model [32, 34]. Values of SRMR and RMSEA close to or lower than .050 demonstrate an acceptable fit [31]. According to Hu and Bentler [34], the cut-off criterion for SRMR is close to .080 and for RMSEA is close to .060. To test the internal consistency, Tabachnick and Fidell [31] suggested that Cronbach's α coefficient should exceed .70 for an acceptable internal consistency.

Finally, convergent validity was used to examine the relationships between questionnaire scores and other measures intended to assess similar constructs. The measurement of an instrument with similar constructs will indicate positive correlations, whereas an instrument with different constructs will indicate negative correlations. Thus, convergent validity was tested using two self-report instruments entitled French version of EuroQol assessing perceived health [36], ISP-25 measuring physical perception [28, 37], Generalized Self-Efficacy Scale [26, 38], EES assessing self-esteem [27, 39] and ESDV-5 assessing subjective well-being [40 - 41].

Results

The four-factor model indicated a good fit of the instrument according to the fit indices. The χ^2/df ratio was 1.29, the NNFI .97, the CFI .95, the SRMR .07 and the RMSEA .05 [34 - 35]. Internal consistency was measured by Cronbach's alpha coefficient and reliability analysis indicated that the factors were internally consistent (Perceived Physical Value: $\alpha = .762$; Self-esteem and Self-Efficacy: $\alpha = .716$; Socialization: $\alpha = .713$; Emotional Reactions: $\alpha = .701$). Finally, correlations showed that Socialization was significantly correlated with ESDV-5 ($r = .453$, $p < .01$), Self-Esteem and Self-Efficacy was significantly correlated with General Self-Efficacy Scale ($r = .605$, $p < .01$) and with EES ($r = .625$, $p < 0.01$), Perceived Physical Value was significantly correlated with ISP-25 ($r = .767$, $p < .01$) and EuroQol ($r = .367$, $p < .01$).

Conclusion

The present paper reports on the development and initial validation of an older adults-specific measure of psychological well-being: the Short Multidimensional Health Questionnaire (SMHQ). The 4-factor structure of the SMHQ allows older adults to report on four dimensions of well-being such as Perceived Physical Value, Self-Esteem and Self-Efficacy, Socialization and Emotional Reactions. We assumed that these four factors are determining dimensions in assessment of APA programs effects. The SMHQ is a short and a self-report assessment, correlated with other measures intended to assess similar constructs. However, there are some limitations to the current study that point to directions for future research. First, the SMHQ is a self-report tool and desirability bias may exist. Consequently, it would be relevant to associate this well-being multidimensional evaluation with behavioral and physical measures. Second, the questionnaire was developed for elderly and some items were adapted to this age. Future studies could develop a version adapted to adolescents or adults with health problems. Indeed, the SMHQ was developed to estimate effects of APA program through a multi-dimensional perspective. We assume that this tool would allow having a global approach of the APA program impact.

References

- [1] Bartke A. Growth hormone and aging: A challenging controversy. *Clin Interv Aging*. 2008 Dec; 3(4): 659–665. [<http://dx.doi.org/10.2147/CIA.S3697>] [PMCID:

- PMC2682398]
- [2] Chahal HS, Drake WM. The endocrine system and ageing. *J Pathol.* 2007 Jan; 211(2): 173-80. [<http://dx.doi.org/10.1002/path.2110>] [PMCID: 17200939]
 - [3] Ferrucci L, Baroni M, Ranchelli A, Lauretani F, Maggio M, Mecocci P, Ruggiero C. Interaction Between Bone and Muscle in Older Persons with Mobility Limitations. *Curr Pharm Des* 2014; 20(19): 3178-97. [<http://dx.doi.org/10.2174/13816128113196660690>] [PMCID: PMC4586132]
 - [4] Janssen I. Influence of sarcopenia on the development of physical disability: the Cardiovascular Health Study. *J Am Geriatr Soc.* 2006; 54(1): 56-62. [<http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.00540.x>] [PMCID: 16420198]
 - [5] Siparsky PN, Kirkendall DT, Garrett WE. Muscle Changes in Aging. *Understanding Sarcopenia. Sports Health* 2014; 6(1): 36-40. [<http://dx.doi.org/10.1177/1941738113502296>] [PMCID: PMC3874224]
 - [6] Charles S, Carstensen LL. Social and Emotional Aging. *Annu Rev Psychol* 2010; 61: 383-409. [<http://dx.doi.org/10.1146/annurev.psych.093008.100448>] [PMCID: PMC3950961]
 - [7] Harada CN, Natelson Love MC, Triebel K. Norma cognitive aging. *Clin Geriatr Med* 2013 Nov; 29(4): 737-752. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>] [PMCID: PMC4015335]
 - [8] Scheibe S, Carstensen LL. Emotional Aging: Recent Findings and Future Trends. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 2010; 65B(2): 135-144. [<http://dx.doi.org/10.1093/geronb/gbp132>] [PMCID: PMC2821944]
 - [9] Holwerda T, Beekman AT, Deeg DJ, Stek ML, van Tilbury TG, Visser PJ, Schmand B, Jonker C, Schoevers RA. Increased risk of mortality associated with social isolation in older men: only when feeling lonely? Results from the Amsterdam Study of the Elderly (AMSTEL). *Psychol Med* 2012; 42(4): 843-53. [<http://dx.doi.org/10.1017/S0033291711001772>] [PMID: 21896239]
 - [10] Sherrington C, Whitney JC, Lord SR, Herbert RD, Cumming RG, Close JC. Effective exercise for the prevention of falls: a systematic review and meta-analysis. *J Am Geriatr Soc* 2008; 56(12): 2234-43. [<http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.02014.x>] [PMID: 19093923]
 - [11] Albuquerque-Sendín F, Barberio-Mariano E, Brandão-Santana N, Rebelatto DA, Rebelatto JR. Effects of an adapted physical activity program on the physical condition of elderly women: an analysis of efficiency. *Rev Bras Fisioter* 2012; 16(4): 328-36. [<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552012005000025>] [PMID: 22699693]
 - [12] Battaglia G, Bellafiore M, Alesi M, Paoli A, Bianco A, Palma A. Effects of an adapted physical activity program on psychophysical health in elderly women. *Clin Interv Aging* 2016; 11: 1009-15. [<http://dx.doi.org/10.2147/CIA.S109591>] [PMCID: PMC4973724]
 - [13] Bherer L, Erickson KI, Liu-Ambrose. A Review of the Effects of Physical Activity and Exercise on Cognitive and Brain Functions in Older Adults. *J Aging Res* 2013; 2013: 1-8. [<http://dx.doi.org/10.1155/2013/657508>] [PMCID: PMC3786463]
 - [14] Brisswalter J, Collardeau M, René A. Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Med* 2002; 32(9): 555-66. [<http://dx.doi.org/10.2165/00007256-200232090-00002>] [PMID: 12096929]
 - [15] Colcombe S, Kramer AF. Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychol Sci* 2003; 14(2): 125-30. 10.1111/1467-9280.t01-1-01430 [PMID: 12661673]

- [16] Kirk-Sanchez, McGough EL. Physical exercise and cognitive performance in the elderly: current perspectives. *Clin Interv Aging* 2014; 9: 51-62. [<http://dx.doi.org/10.2147/CIA.S39506>] [PMID: PMC3872007]
- [17] Maillot P, Perrot A, Hartley A. Effects of interactive physical-activity video-game training on physical and cognitive function in older adults. *Psychol Aging* 2012; 27(3): 589-600. [<http://dx.doi.org/10.1037/a0026268>] [PMID: 22122605]
- [18] Bailey TC, Eng W, Frisch MB, Snyder CR. Hope and optimism as related to life satisfaction. *J Posit Psychol* 2007; 2(3): 168-75. [<http://dx.doi.org/10.1080/17439760701409546>]
- [19] Karademas EC. (2007). Positive and negative aspects of well-being: Common and specific predictors. *Pers Indiv Differ* 2007; 435(2), 277-87. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.paid.2006.11.031>]
- [20] Netz Y, Wu MJ, Becker BJ, Tenenbaum G. Physical activity and psychological well-being in advanced age: a meta-analysis of intervention studies. *Psychol Aging* 2005; 20(2): 272-84. [<http://dx.doi.org/10.1037/0882-7974.20.2.272>] [PMID: 16029091]
- [21] Wong SS, Lim T. (2009). Hope versus optimism in Singaporean adolescents: Contributions to depression and life satisfaction. *Pers Indiv Differ* 2009; 46(5-6): 648-52. [<http://dx.doi.org/10.1016/j.paid.2009.01.009>]
- [22] Diener E, Oishi S, Lucas R. Subjective Well-Being: The Science of Happiness and Life Satisfaction. In: Lopez SJ, Snyder CR, Eds. *The Oxford Handbook of Positive Psychology*. Oxford: Oxford University Press 2011; pp. 187-94. [<http://dx.doi.org/10.1093/oxfordhb/9780195187243.013.0017>]
- [23] Diener E. Subjective Well-Being. *Psychol Bull* 1984; 95(3): 542-75.
- [24] Bucquet D, Condon S, Ritchie K. The French version of the Nottingham Health Profile. A comparison of items weights with those of the source version. *Soc Sci Med* 1990; 30(7): 829-35. [PMID: 2315749]
- [25] Leplège A, Reveillère C, Ecosse E, Caria A, Rivière H. Psychometric properties of a new instrument for evaluating quality of life, the WHOQOL-26, in a population of patients with neuromuscular diseases. *Encephale* 2000; 26(5): 13-22. [<http://dx.doi.org/10.1037/0882-7974.20.2.272>] [PMID: 11192800]
- [26] Schwarzer R, Jerusalem M. Generalized Self-Efficacy scale. In: Weinman J, Wright S, Johnston M, Eds. *Measures in health psychology: A user's portfolio. Causal and control beliefs*. Windsor, UK: NFER-Nelson 1995; pp. 35-37.
- [27] Rosenberg M. Self-concept from middle childhood through adolescence. In: Greenwald JSAC, Ed. *Psychological perspectives on the self*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum 1986; pp. 107-136.
- [28] Fox K, Corbin CB. The Physical Self-Perception Profile: Development and preliminary validation. *J Sports Exerc Psychol* 1989; 11(4): 408-30. [<http://dx.doi.org/10.1123/jsep.11.4.408>]
- [29] DeVellis RF. *Scale development: Theory and applications* (2nd Ed.). Thousand Oaks (CA): Sage publications 2003.
- [30] Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL. *Multivariate data analysis*. New Jersey: Pearson Prentice Hall 2006.
- [31] Tabachnik BG, Fidell LS. *Using multivariate statistics* (6th ed.). New Jersey: Pearson Education 2012.
- [32] Bentler PM. Comparative fit indexes in structural models. *Psychol Bull* 1990; 107(2): 238-46. [<http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.107.2.238>] [PMID: 2320703]

- [33] Bentler PM, Bonett DG, Douglas C. Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures. *Psychol Bull* 1980; 88(3): 588–606. [<http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.88.3.588>]
- [34] Hu L, Bentler P. Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Struct Equ Modeling* 1999; 6(1): 1-55. [<http://dx.doi.org/10.1080/10705519909540118>]
- [35] Jackson DL, Gillaspay JA, Purc-Stephenson R. Reporting Practices in Confirmatory Factor Analysis: An Overview and Some Recommendations. *Psychol Methods* 2009; 14(1): 6-23. [<http://dx.doi.org/10.1037/a0014694>] [PMID: 19271845]
- [36] EuroQol Group. EuroQol-a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy* 1990, 16(3): 199-208. [[http://dx.doi.org/10.1016/0168-8510\(90\)90421-9](http://dx.doi.org/10.1016/0168-8510(90)90421-9)] [PMID: 10109801]
- [37] Ninot G, Delignières D, Fortes M. L'évaluation de l'estime de soi dans le domaine corporel. *STAPS* 2000; 53: 35-48.
- [38] Dumont M, Schwarzer R, Jerusalem M. [2000] French adaptation of the General Self-Efficacy Scale (Auto-efficacité généralisée). Available from <http://userpage.fu-berlin.de/~health/french.htm>.
- [39] Vallières EF, Vallerand RJ. (1990). Traduction et validation canadienne-française de l'échelle de l'estime de soi de Rosenberg. *Intern J Psychol* 1990; 25(2): 305-16. [<http://dx.doi.org/10.1080/00207599008247865>]
- [40] Blais MR, Vallerand RJ, Pelletier LG, Brière NM. L'échelle de satisfaction de vie : validation canadienne-française du « Satisfaction with life Scale ». *Can J Behav Sci* 1989; 21(2): 210–223.
- [41] Diener E, Emmons R, Larsen R, Griffin S. The satisfaction with life scale. *J Pers Assess* 1985. 49(1): 71–75. [http://dx.doi.org/10.1207/s15327752jpa4901_13]

ANNEXE 3 : Questionnaire Bien-être psychologique

Les phrases suivantes expriment des sentiments, des opinions ou des réactions sur soi. Pour chaque phrase, entourez la réponse qui vous ressemble le plus entre « Pas du tout » (1), « Très peu » (2), « Un peu » (3), « Assez » (4), « Tout à fait » (6). Aucune réponse n'est juste, elle est avant tout personnelle.

1	Je m'irrite facilement	1	2	3	4	5
2	Je suis content(e) de ce que je peux faire avec mon corps	1	2	3	4	5
3	Je me décourage trop facilement	1	2	3	4	5
4	J'apprécie de rencontrer des gens pour échanger ou faire une activité	1	2	3	4	5
5	Je me mets facilement en colère	1	2	3	4	5
6	Mon corps est beau à regarder	1	2	3	4	5
7	J'ai du mal à faire face aux événements	1	2	3	4	5
8	Je suis à l'aise avec les autres	1	2	3	4	5
9	Je suis souvent triste ou déprimé(e)	1	2	3	4	5
10	Je suis bien avec mon corps	1	2	3	4	5
11	J'ai du mal à me concentrer	1	2	3	4	5
12	J'ai des difficultés à entrer en contact avec les autres	1	2	3	4	5
13	Je suis souvent nerveux(se) ou tendu(e)	1	2	3	4	5
14	Globalement, je suis satisfait(e) de mes capacités physiques	1	2	3	4	5
15	Lorsque je suis confronté(e) à un problème, je peux habituellement trouver plusieurs solutions	1	2	3	4	5
16	J'ai des difficultés à m'entendre avec les autres	1	2	3	4	5
17	Je suis quelqu'un de facile à vivre	1	2	3	4	5
18	Je me fatigue vite	1	2	3	4	5
19	Peu importe ce qui arrive, je suis capable d'y faire face	1	2	3	4	5
20	J'ai envie de faire de nouvelles activités	1	2	3	4	5
21	J'ai des difficultés à m'habiller ou à me déshabiller	1	2	3	4	5
22	Il m'arrive de penser que je suis nul(le)	1	2	3	4	5
23	J'ai de nombreuses activités de groupes (réunion, association, activité religieuse, cinéma...)	1	2	3	4	5

ANNEXE 4 : Modèles statistiques utilisés pour les données relatives aux rythmes biologiques

Temperature: Models selection fitted to the data of temperature in order to evaluate session effects of each groups. Table shows all models fitted to the data. The models are ordered firstly by *increasing complexity (df) secondly by Akaike information criterion (AIC)*. It starting with the “null model” consisting of a constant only and continue with cosinor models. The columns show (from left to right) the model name, the number of degrees of freedom (df) of the model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the log-likelihood (logLik), the models tested by a Likelihood Ratio Test (LRT), the statistic of the LRT, and the p-value of the LRT.

Model : session effect for control group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	152.8160	162.1700	-73.40800			
1 session effect : none	5	147.0737	162.6637	-68.53685	1 vs 2	9.742305	0.0077
2 session effect : ampl	6	145.5008	164.2088	-66.75041	2 vs 3	3.572878	0.0587
3 session effect : mesor	6	149.0542	167.7622	-68.52710			
4 session effect : phase	6	149.0731	167.7811	-68.53655			
Model : session effect for visio group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	150.6392	159.8269	-72.31958			
1 session effect : none	5	148.5159	163.8289	-69.25794	1 vs 2	6.123268	0.0468
2 session effect : mesor	6	150.3646	168.7402	-69.18232	2 vs 3	0.151255	0.6973
3 session effect : ampl	6	150.4702	168.8457	-69.23508			
4 session effect : phase	6	150.5060	168.8816	-69.25299			
Model : session effect for face to face group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	185.5268	195.0722	-89.76342			
1 session effect : none	5	184.7110	200.6199	-87.35550	1 vs 2	4.815830	0.0900
2 session effect : mesor	6	186.2897	205.3804	-87.14483	2 vs 3	0.421334	0.5163
3 session effect : ampl	6	186.6484	205.7391	-87.32418			
4 session effect : phase	6	186.7139	205.8046	-87.35694			

EVA Fatigue:

Models selection fitted to the data of VAS fatigue in order to evaluate session effects of each groups. Table shows all models fitted to the data. The models are ordered firstly by increasing complexity (df) secondly by Akaike information criterion (AIC). It starting with the “null model” consisting of a constant only and continue with cosinor models. The columns show (from left to right) the model name, the number of degrees of freedom (df) of the model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the log-likelihood (logLik), the models tested by a Likelihood Ratio Test (LRT), the statistic of the LRT, and the p-value of the LRT.

Model : session effect for control group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	673.9899	683.4671	-333.99			
1 session effect : none	5	664.4711	680.2664	-327.24	1 vs 2	13.518786	0.0012
2 session effect : mesor	6	664.9725	683.9268	-326.49	2 vs 3	1.498644	0.2209
3 session effect : phase	6	665.8595	684.8139	-326.93			
4 session effect : ampl	6	666.1861	685.1404	-327.09			
Model : session effect for visio group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	709.5860	718.8856	-351.79			
1 session effect : none	5	688.6080	704.1074	-339.30	1 vs 2	24.977947	<.0001
2 session effect : phase	6	690.1877	708.7869	-339.09	2 vs 3	0.420285	0.5168
3 session effect : mesor	6	690.3682	708.9674	-339.18			
4 session effect : ampl	6	690.5810	709.1802	-339.29			
Model : session effect for face to face group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	739.8516	749.5449	-366.93			
1 session effect : none	5	702.8530	719.0085	-346.43	1 vs 2	40.99863	<.0001
2 session effect : mesor	6	704.2215	723.6081	-346.11	2 vs 3	0.63150	0.4268
3 session effect : ampl	6	704.7045	724.0912	-346.35			
4 session effect : phase	6	704.7987	724.1854	-346.399			

KSS Vigilance:

Models selection fitted to the data of KSS score in order to evaluate session effects of each groups. Table shows all models fitted to the data. The models are ordered firstly by increasing complexity (*df*) secondly by Akaike information criterion (AIC). It starting with the “null model” consisting of a constant only and continue with cosinor models. The columns show (from left to right) the model name, the number of degrees of freedom (df) of the model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the log-likelihood (logLik), the models tested by a Likelihood Ratio Test (LRT), the statistic of the LRT, and the p-value of the LRT.

Model : session effect for control group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	689.9291	699.3188	-341.96			
1 session effect : none	5	631.2005	646.8500	-310.60	1 vs 2	62.72862	<.0001
2 session effect : mesor	6	631.7378	650.5172	-309.87	2 vs 3	1.46273	0.2265
3 session effect : phase	6	633.0493	651.8287	-310.52			
4 session effect : ampl	6	633.1989	651.9783	-310.60			
Model : session effect for visio group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	717.6152	726.9148	-355.81			
1 session effect : none	5	677.4094	692.9087	-333.70	1 vs 2	44.20580	<.0001
2 session effect : mesor	6	678.9116	697.5108	-333.46	2 vs 3	0.49772	0.4805
3 session effect : ampl	6	679.0624	697.6616	-333.53			
4 session effect : phase	6	679.1774	697.7766	-333.59			
Model : session effect for face à face group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	872.4261	882.1829	-433.21			
1 session effect : none	5	803.0133	819.2747	-396.51	1 vs 2	73.41277	<.0001
2 session effect : ampl	6	804.1521	823.6657	-396.08	2 vs 3	0.86123	0.3534
3 session effect : mesor	6	804.5635	824.0771	-396.28			
4 session effect : phase	6	804.9813	824.4949	-396.49			

Actimétrie

GT:

Models selection fitted to the data of actigraphy in order to evaluate session effects of control group. Table shows all models fitted to the data. The models are ordered firstly by increasing complexity (df) secondly by Akaike information criterion (AIC). It starting with the "null model" consisting of a constant only. The columns show (from left to right) the model name, the number of degrees of freedom (df) of the model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the log-likelihood (logLik), the models tested by a Likelihood Ratio Test (LRT), the statistic of the LRT, and the p-value of the LRT.

Model : session effect for control group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	79508.99	79529.75	-39751.50			
1 session effect : none	5	79293.42	79328.02	-39641.71	1 vs 2	219.56976	<.0001
2 session effect : mesor	6	79294.15	79335.67	-39641.08	2 vs 3	1.26931	0.2599
3 session effect : phase	6	79294.87	79336.39	-39641.44			
4 session effect : ampl	6	79295.07	79336.59	-39641.54			
Parameters of the best model of circadian actimetry rhythm	Value	Std.Error	t-value	p-value			
mesor	116.74	4.103489	28.44914	0			
ampl	105.05	5.686561	18.47422	0			
phase	14.04	0.210607	66.70315	0			

GV:

Models selection (upper panel) and parameters presentation of the best model (lower panel) fitted to the data of actigraphy in order to evaluate session effects for visio group. The upper part of the Table shows all best models fitted to the data. The models are ordered by increasing complexity (df) until complexification bring no significant improvment, starting with the "null model" consisting of a constant only and conitnue with cosinor models. The columns show (from left to right) the model name, the number of degrees of freedom (df) of the model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the log-likelihood (logLik), the models tested by a Likelihood Ratio Test (LRT), the statistic of the LRT, and the p-value of the LRT. The lower part of the Table presents the estimated parameters of the preferred model. The columns show (from left to right) the parameter name, the estimated parameter value, the standard deviation of the estimate (SD), and the resulting t-value and p-value, respectively.

Model : session effect for visio group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	75218.38	75238.90	-37606.19			
1 session effect : none	5	74883.66	74917.86	-37436.83	1 vs 2	338.7216	<.0001
2 session effect : ampl	6	74880.15	74921.20	-37434.08	2 vs 3	5.5050	0.0190
3 session effect : ampl + mesor	7	74876.55	74924.43	-37431.27	3 vs 4	5.6069	0.0179
4 session effect : ampl + mesor + phase	8	74878.30	74933.03	-37431.15	4 vs 5	0.2457	0.6201
Parameters of the best model of circadian actimetry rhythm	Value	Std.Error	t-value	p-value			
mesor	133.53	4.933072	27.06896	0.0000			
mesor : post test effect	+16.57	6.976017	2.37577	0.0175			
ampl	113.08	6.919435	16.34255	0.0000			
ampl : post test effect	+23.98	9.784483	2.45097	0.0143			
phase	14.59	0.149598	97.57316	0.0000			

GF: Models selection (upper panel) and parameters presentation of the best model (lower panel) fitted to the data of actigraphy in order to evaluate session effects for face à face group. The upper part of the Table shows all best models fitted to the data. The models are ordered by increasing complexity (*df*) until complexification bring no significant improvement, starting with the “null model” consisting of a constant only and continue with cosinor models. The columns show (from left to right) the model name, the number of degrees of freedom (*df*) of the model, the Akaike information criterion (AIC), the Bayesian information criterion (BIC), the log-likelihood (logLik), the models tested by a Likelihood Ratio Test (LRT), the statistic of the LRT, and the p-value of the LRT. The lower part of the Table presents the estimated parameters of the preferred model. The columns show (from left to right) the parameter name, the estimated parameter value, the standard deviation of the estimate (SD), and the resulting t-value and p-value, respectively.

Model : session effect for face à face group	df	AIC	BIC	logLik	Test	L.Ratio	p-value
0 null model (constant)	3	80203.21	80223.98	-40098.61			
1 session effect : none	5	79845.09	79879.69	-39917.54	1 vs 2	362.1289	<.0001
2 session effect : mesor	6	79840.35	79881.88	-39914.18	2 vs 3	6.7326	0.0095
3 session effect : mesor + ampl	7	79836.98	79885.43	-39911.49	3 vs 4	5.3683	0.0205
4 session effect: mesor +ampl + phase	8	79838.97	79894.34	-39911.49	4 vs 5	0.0116	0.9141
Parameters of the best model of circadian actimetry rhythm	Value	Std.Error	t-value	p-value			
mesor	101.24	4.038666	25.06766	0.0000			
mesor : post test effect	+15.40	5.711120	2.69649	0.0070			
ampl	92.51	5.649764	16.37437	0.0000			
ampl : post test effect	+18.56	7.989112	2.32377	0.0202			
phase	14.03	0.151160	92.78847	0.0000			

Impact d'un programme d'APA sur la qualité de vie et les caractéristiques physiologiques de personnes âgées – Utilisation d'un système de visioconférence collective.

Résumé :

Les objectifs de ce travail étaient de démontrer la faisabilité, l'acceptabilité et d'évaluer les bénéfices apportés par un programme d'APA multivarié à domicile pour des personnes âgées utilisant un système de visioconférence collectif.

Quarante et un participants âgés de 67-80 ans ont été recrutés et répartis en 3 groupes : un groupe témoin non entraîné, deux groupes entraînés en visioconférence et en face à face. Le programme d'APA a été dispensé sur 4 mois à raison de 2 séances d'1h par semaine. En vue d'améliorer la qualité de vie et les caractéristiques physiologiques des pratiquants, des exercices de résistance, d'équilibre et de travail aérobique étaient proposés à chaque séance. Afin d'évaluer les effets de ce programme, un protocole d'évaluation similaire en pré- et post-programme a été mis en place. La qualité de vie, la condition physique (fonction musculaire, capacité aérobique, et composition corporelle), l'équilibre, la marche simple et en situation de double tâche, la rythmicité biologique circadienne (température, somnolence et fatigue subjectives et cycle activité-repos) ont été évalués.

Les principaux résultats ont montré une amélioration de la qualité de vie, de la puissance d'extension de la jambe, de la puissance maximale aérobique et du cycle activité-repos. L'entraînement n'a pas eu d'effet notable sur les capacités d'équilibration et de marche des participants.

Si des gains ont été obtenus par nos deux groupes entraînés, les effets sont globalement plus nombreux et semblent plus marqués suite à la diffusion classique en face à face par rapport à la diffusion novatrice en visioconférence. Les améliorations obtenues en visioconférence montrent cependant qu'il s'agit d'un outil pertinent et adapté au public âgé qui pourra être proposé en transition ou en complément des administrations traditionnelles.

Mots clefs : Vieillesse - Activité physique adaptée - Visioconférence - Qualité de vie - Fonction musculaire - Equilibration - Rythmes circadiens

Effects of an APA program on the quality of life and on the physiological characteristics of the older adults – Evaluation of a videoconferencing system compared to traditional training.

Abstract:

The main goals of this thesis were to determine the feasibility, the acceptability, and to evaluate the benefits brought by a multivariate home based APA program for older adults using a videoconferencing system.

Forty-one participants aged between 67 and 80 years old were recruited and separated into three groups: an untrained control group, and two groups trained by videoconferencing or face-to-face programs. The APA program was provided during 4 months, with two sessions of one hour per week. In order to improve the quality of life and the physiological characteristics of the participants, resistance, balance and aerobic exercises were conducted during each session. In order to evaluate the effects induced by this program, the evaluation protocol was similar for the pre- and post-program tests. Quality of life, physical condition (muscular function, aerobic ability, and body composition), balance, simple and dual walking-tasks and circadian rhythmicity (temperature, subjective sleepiness and fatigue, rest-activity cycle) were evaluated.

Main results showed improvement of quality of life, of the leg extension power, of the maximal aerobic power and of the rest-activity cycle. The training did not affect significantly balance and walking abilities of the participants.

Although benefits have been obtained for both trained groups, effects are globally more important and seem larger when using the traditional face-to-face program in comparison to the use of the novel videoconferencing program. Nevertheless, the benefits observed using the video-conferencing program demonstrate its relevance in older adults. This program could thus be suitable as a complement or in transition of traditional methods (i.e. face-to-face).

Key words: Aging – Adapted physical activity – Videoconferencing – Quality of life – Muscular function – Balance – Circadian rhythms
