



**HAL**  
open science

# Effet de l'activité physique sur le métabolisme énergétique et osseux

Gautier Zunquin

► **To cite this version:**

Gautier Zunquin. Effet de l'activité physique sur le métabolisme énergétique et osseux. Sciences du Vivant [q-bio]. Université du Littoral Côte d'Opale - ULCO, 2019. tel-04393243

**HAL Id: tel-04393243**

**<https://hal.science/tel-04393243>**

Submitted on 14 Jan 2024

**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.

Copyright

# UNIVERSITE DU LITTORAL COTE D'OPALE

N° attribué par la bibliothèque

## Habilitation à Diriger les Recherches

Discipline : STAPS

Présentée et soutenue publiquement par

**ZUNQUIN Gautier**

**Le 1<sup>er</sup> Juillet 2019**

Titre :

Effet de l'activité physique sur le métabolisme énergétique et osseux

Jury :

Christelle JAFFRE	PU, Faculté des Sciences du sport, Université de Picardie Jules Vernes	Rapporteur
Elsa HEYMAN	MCF - HDR, Faculté des Sciences du sport, Université de Lille,	Examinatrice
David THIVEL	MCF - HDR, Faculté des Sciences du sport, Université de Clermont Ferrand	Rapporteur
Serge BERTHOIN	PU, Faculté des Sciences du sport, Université de Lille	Examineur
Jean-Michel LECERF	PU, Institut Pasteur de Lille	Examineur
Rawad EL HAGE	PU, Université de Balamand, Liban	Examineur
Saïd AHMAIDI	PU, Faculté des Sciences du sport, Université de Picardie Jules Vernes	Examineur

# Dossier de candidature à l'**H**abilitation à **D**iriger des **R**echerches

(Arrêté du 23 novembre 1988 relatif à l'habilitation à diriger des recherches, modifié le 25 avril 2002)

Présenté par **Gautier ZUNQUIN**

URePSSS 'Unité de Recherche Pluridisciplinaire, Sport, Santé, Société'

Equipe 1 'Activité physique, Muscle, Santé'

## **Impact de l'activité physique sur la santé métabolique et osseuse**

Section CNU 74 :

**Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives**

Sous la direction du **Pr. Serge Berthoin**, Université Lille

## Court Curriculum Vitae (2 pages)

**ZUNQUIN Gautier**, 41 ans

Adresse : Rue Ferdinand Buisson, 62100 Calais – [gautier.zunquin@univ-littoral.fr](mailto:gautier.zunquin@univ-littoral.fr)

Tél : 06.67.22.59.91

### Situation actuelle

**(Depuis 2010) Maître de Conférences** département STAPS de l'Université du Littoral Côte d'Opale.

Membre de l'URePSSS « Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société » EA 7369 (Pr. Serge Berthoin) Equipe 1 « Activité physique, Muscle, Santé » Thème : Adaptations et dysfonctions métaboliques à l'exercice.

### Diplômes universitaires

1999 : D.E.U.G. (Licence 1 et 2) STAPS, Spécialité sportive : Voile, ULCO.

2000 : Licence (Licence 3) STAPS, option Activités Physiques Adaptées, Mention AB, ULCO.

2001 : Maîtrise (Master 1) STAPS, option Activités Physiques Adaptées et Education et Motricité, Mention B, ULCO.

2002 : D.E.A. (Master 2) « Physiologie et Biomécanique de la Performance Motrice », Université de Rennes. Titre mémoire : « Effet protecteur des protéines du lait sur la peroxydation lipidique chez des animaux surchargés en fer », Mention B. Classement sur résultats du DEA : 3<sup>ème</sup>/34.

2005 : Doctorat de l'ULCO-STAPS. Titre doctorat : « Utilisation des substrats énergétiques à l'exercice des enfants obèses : Effet de l'obésité, de la puberté, Influence du sexe, Intérêt d'un suivi longitudinal et d'une analyse conative de l'activité physique pour le contrôle pondéral ». Directeurs : Dr Dominique Bouglé & Dr Denis Theunynck ; Jury : Pr. P. Duché, rapporteur ; Pr. R. Matran, rapporteur ; Pr. G. Bui-Xuan, examinateur ; Pr. D. Legallais, examinateur ; Pr. P. Arhan, examinateur. Laboratoire de Physiologie Digestive et Nutritionnelle, CHU de Caen & laboratoire Recherche Littorale en Activité Corporelles et Sportives, Dunkerque, Université du Littoral Côte d'Opale (EA 4110).

### Autres diplômes ou compétences

2002 : Brevet d'état d'éducateur sportif Voile

2009 : Diplôme d'Attaché de Recherche Clinique

2009 : Formation aux Bonnes Pratiques Cliniques (BPC-ICH)

Sports : Planche à voile Olympique (ex-niveau mondial)

**Activité de recherche (mots clefs) : Métabolisme musculaire, Métabolisme osseux, Activités physiques Adaptées, Obésité, Santé.**

Mon activité de recherche s'articule autour de 2 thématiques dans le domaine de la physiologie de l'exercice en lien avec les activités physiques adaptées et la santé.

**Thématique 1** : Les adaptations métaboliques et hormonales à l'exercice, leurs mécanismes et leurs conséquences sur la tolérance à l'effort dans le cas de l'obésité infantile (**santé métabolique**). **Thématique 2** : L'impact de l'exercice sur le métabolisme osseux tout au long de la vie (**santé osseuse**).

### 5 publications majeures : (les IF sont ceux de 2017)

1. Zunquin G et coll. Iron and exercise induced alterations in antioxidant status. Protection by dietary milk proteins. Free Radic Res. **2006** 40(5):535-42. **IF: 3**

2. Zunquin G et coll. Comparison of fat oxidation during exercise in lean and obese pubertal boys : clinical implications. Br J Sports Med. **2009** 43(11):869-70. **IF: 7,9**

3. Zunquin G et coll. Positive association between maximal oxygen consumption and bone mineral density in growing overweight children. J Clin Densitom. **2017** 20(2):265-267. **IF: 3,1**

4. Zunquin G et coll. Maximal oxygen consumption and bone mass in french boys. J Clin Densitom. **2015** Oct-Dec;18(4):560-1 **IF: 3,1**

5. Zunquin G et coll. Effects of puberty on glucose-lipid balance during exercise in the obese child. Appl Physiol Nutr Metab. **2006** Aug;31(4):442-8 **IF: 2,5**

### Nombre de Conférences et congrès (informations détaillées fournies en annexe)

Je participe à environ 1 à 2 conférences par an en tant qu'orateur invité.

1. Orateur **invité** à des **Symposia, journées, congrès locaux ou nationaux** : **10** (français ou anglais)

2. Communications **affichées** : **23**

a. résumés publiés dans une revue indexée : **21** / b. résumés publiés dans des actes : **2**

4. Communications **orales** : 21 (français ou anglais)  
a. résumés publiés dans une revue indexée : 9

**Encadrement d'étudiants (nombres et % d'encadrement)**

**Étudiants de Masters** : (informations détaillées fournies en annexe)

Co-encadrement Masters 2<sup>ème</sup> année recherche : 4 (80 %, 80 %, 80 %, 90 %)

Encadrement Master 1<sup>ère</sup> année recherche : 2 (100%)

Etudiant dans des disciplines hors STAPS (2010-2018) : 1 étudiante en Ergothérapie (100%)

Master Professionnel APAS : environ 10 suivis de mémoire par an

**Étudiants de thèse** : (informations détaillées fournies en annexe)

Co-encadrement : 6 doctorants (dont 3 en cours et 3 thèses soutenues) (50, 50, 50, 50 et 80%)

**Nombres de publications, ouvrages, travaux, brevets, etc** (informations détaillées fournies en annexe)

**Revues indexées** : 29 pubmed (+1 soumis) – H-index : 11 – 290 citations

**10 en 1<sup>er</sup> auteur ou 2<sup>ème</sup> auteur** : 1. *J Clin Densitom.* 2017 (IF: 3,1); 2. *J Clin Densitom.* 2015 (IF: 3,1); 3. *Int J Pediatr.* 2010 (IF: 3,2); 4. *J Sports Sci.* 2009 (IF: 2,7); 5. *Br J Sports Med* 2012 (IF: 7,9); 6. *J Sports Sci.* 2009 (IF: 2,7); 7. *J Int J Pediat* 2010 (IF: 3,2); 8. *Arch Pediatr.* 2007 (IF:0,7); 9. *Free Radic Res.* 2006 (IF: 3); 10. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2006 (IF: 2,5);

**10 en avant derniers auteurs (co-encadrement de thèse)** : 1. *Res Sports Med.* 2018 (IF: 1,8); 2. *Res Sports Med.* 2017 (IF: 1,8); 3. *J Clin Densitom.* 2016 (IF: 3,1); 4. *Sports Med Open.* 2015 (IF: 2,8); 5. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 2015 (IF: 0,3); 6. *J Med Liban.* 2014 (IF: 0,2); 7. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014 (IF: 1,4); 8. *J Med Liban.* 2013 (IF: 0,2); 9. *J Clin Densitom* (IF: 3,1); 10. *J Clin Densitom.* 2013 (IF: 3,1);

**Autres positions (9)** : 1. *J Clin Densitom.* 2019 (IF: 3,1); 2. *Clujul Med.* 2018 (IF: 0,2); 3. *Sante Publique.* 2016 (IF: 0,4); 4. *J Med Liban.* 2016 (IF: 0,2); 5. *J Med Liban.* 2014 (IF: 0,2); 6. *J Clin Densitom.* 2014 (3,1); 7. *J Clin Densitom.* 2015 (IF: 3,1); 8. *J Clin Densitom.* 2015 (IF: 3,1); 9. *J Clin Densitom.* 2014 (IF: 3,1).

**Chapitres d'ouvrages (4)**

**Contrats et bourses de recherche (obtenus en tant qu'investigateur principal)** (annexe)

**Contrats de recherche/financements** : Obtenus/Demandés : 3/20

**Bourses d'études** : Obtenues/Demandées : 3/7

**Mobilité internationale ou post-doc**

**2012-2019** : 7 séjours de 10 jours à l'université de Balamand (Liban) (Collaboration ULCO / Université Balamand, collaboration avec le Pr. Rawad El Hage)

**Participation à des jurys de thèse (nombre)** : 4 (informations détaillées fournies en annexe)

**Participation à l'organisation de congrès, colloques**

**2016** : Participation à l'organisation du séminaire URePSSS sur Métabolisme et Exercice, Lille

**2015** : Organisation du Colloque Universanté « La santé des étudiants en question » 28/05 Dunkerque

**2004** : Congrès AFRAPS, Dunkerque

**Activité d'expertise (nom des revues)**

**9** : Journal of Clinical Densitometry (6); Sciences & Motricité / Movement & Sport Science Archives of Gerontology and Geriatrics (1); Journal of Physical Education and Sport Management; Pediatric exercise science (1)

**Participation à la vie de l'équipe de recherche**

Membre de l'ACSM, l'ACAPS et l'APOP

**Activité d'enseignement (informations détaillées fournies en annexe)**

**Heures TD** : jusqu'à 500h annuelles en moyenne (2010, 2011, 2012) vers un passage progressif à 200h avec une décharge horaire de 36h (responsabilités) – Physiologie en L3 et Masters APAS essentiellement (3/4 service)

**Activité administrative (informations détaillées fournies en annexe)**

**Responsable du Master STAPS APAS** de l'ULCO

**Création et président de la junior entreprise CEMHaVI** au sein de l'ULCO

**Correspondant du Master Recherche** « Science du Sport et de l'Activité Physique (M2SAP) »

**Responsable ECU** "Analyse Scientifique en Sciences du Sport et de l'Activité Physique et anglais intégré" au sein du Master Recherche Science du Sport et de l'Activité Physique (M2SAP)

**Référent professionnalisation** ULCO "métiers des APAS"

# Table des matières

<b>Chapitre I – Curriculum Vitae .....</b>	<b>9</b>
<b>I.1. Etat civil et situation actuelle professionnelle .....</b>	<b>9</b>
<b>I.2. Formation et diplômes.....</b>	<b>9</b>
I.2.1. Formation et diplômes universitaires .....	9
I.2.2. Autres diplômes et Compétences complémentaires .....	10
I.2.3. Techniques de recherche .....	10
<b>I.3. Qualifications universitaires.....</b>	<b>11</b>
<b>I.4. Activités pédagogiques et expériences professionnelles.....</b>	<b>11</b>
<b>I.5. Responsabilités administratives .....</b>	<b>14</b>
I.5.1. Responsabilités d’enseignements universitaires .....	14
I.5.2. Responsabilités administratives liées à la recherche .....	14
<b>I.6. Bilan synthétique de l’activité de recherche et de la production scientifique .....</b>	<b>16</b>
<b>Chapitre II –Animation de la recherche.....</b>	<b>18</b>
<b>II.1. Encadrement et co-encadrement d’étudiants.....</b>	<b>18</b>
<b>II.2. Animation scientifique en interaction avec les pairs .....</b>	<b>18</b>
II.2.1. Membre de sociétés savantes.....	18
II.2.3. Participation à des groupes de recherche régionaux et nationaux.....	18
II.2.3.1 Collaboration scientifiques internationales .....	18
II.2.3.2 Collaboration scientifiques régionales et nationales .....	19
II.2.4. Membre de Comités de Sélection pour des postes de MCF .....	21
II.2.5. Activité d’expertise scientifique .....	21
II.2.5.1 Activité de rapporteur pour des journaux scientifiques .....	21
II.2.5.2 Activité d’expertise pour le monde industriel.....	22
<b>II.3. Formation par la recherche.....</b>	<b>22</b>
II.3.1. Encadrement et co-encadrement d’étudiants .....	22
II.3.1.1. Doctorants (co-encadrement).....	22
II.3.1.2. Masters 1 <sup>ère</sup> année recherche (encadrement) .....	23
II.3.1.3. Masters 2 <sup>ème</sup> année recherche (co-encadrement) .....	23
II.3.1.4. Etudiants issus de disciplines hors STAPS (encadrement) .....	24
II.3.2. Adossement de la formation STAPS à la recherche .....	24
II.3.2.1. Enseignement & Recherche sur les déficiences métaboliques.....	24

<b>Chapitre III – Projets de Recherche .....</b>	<b>25</b>
<b>III.1. Introduction .....</b>	<b>25</b>
<b>III.2. Travaux de recherche réalisés .....</b>	<b>26</b>
III.2.1. <b>Licence 3 et Maitrise STAPS – Exercice &amp; Santé Métabolique (Obésité) .....</b>	26
III.2.2. <b>D.E.A. &amp; Doctorat – Exercice &amp; Santé Métabolique (DT1) .....</b>	26
III.2.2.1. Mémoire de D.E.A., 2001-2002 .....	27
III.2.2.2. Mémoire de Thèse, 2002-2006 .....	28
<b>III.3. Projets de recherche .....</b>	<b>32</b>
<b>III.3.1. Projet 1 – Activité physique et santé de l'enfant obèse .....</b>	<b>33</b>
III.3.1.1. Contexte général .....	33
III.3.1.2. Contexte scientifique .....	35
III.3.1.3. Etude 1 – <i>Equivalence entre les données accélérométriques pour la marche et la course : tapis roulant vs sol réel</i> .....	36
III.3.1.4. Etude 2 – <i>Le programme CEMHaVi : Contrôle, Evaluation et Modification des Habitudes de Vie chez l'enfant obèse</i> .....	44
III.3.1.5. Etude 3 – <i>Evaluation du coût énergétique et de la perception de l'effort lors d'une évaluation clinique de l'aptitude à l'exercice aérobie chez le jeune obèse</i> .....	51
III.3.1.6. Apport des travaux et perspectives .....	61
III.3.1.7. Références bibliographiques .....	62
<b>III.3.2. Projet 2 – Activité physique et santé osseuse .....</b>	<b>65</b>
III. 3.2.1. Contexte général .....	66
III. 3.2.2. Contexte scientifique général du projet .....	70
<b>III.3.3. Projet 2a – L'influence du statut pondéral sur la masse et la géométrie osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé .....</b>	<b>76</b>
III. 3.3.1. Contexte général du projet 2a .....	76
III. 3.3.2. Résumé des projets de thèse .....	78
III. 3.3.3. Contexte scientifique .....	79
III. 3.3.4. Objectifs .....	86
III. 3.3.5. Méthodologie .....	86
III. 3.3.6. Résultats .....	89
III. 3.3.7. Apport des travaux et perspectives .....	90
III. 3.3.8. Références bibliographiques .....	91
<b>III.3.4. Projet 2b – Etude des déterminants de la masse osseuse : « Contribution relative de la consommation maximale d'oxygène, de masse maigre et de la masse grasse aux valeurs de densité minérale osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé .....</b>	<b>95</b>
III. 3.4.1. Contexte général .....	95
III. 3.4.2. Résumé du projet .....	96
III. 3.4.3. Contexte scientifique .....	97
III. 3.4.4. Objectifs .....	104

III. 3.4.5. Méthodologie.....	104
III. 3.4.6. Résultats.....	108
III. 3.4.7. Perspectives .....	112
III. 3.4.8. Références bibliographiques.....	114

## **Chapitre IV – Perspectives .....116**

## **Annexes.....118**

Annexe 1 – Liste des publications scientifiques.....	118
Annexe 2 – Liste des financements obtenus.....	124
Annexe 3 – Activités d’enseignement.....	125
Annexe 4 – Expertises scientifiques .....	129
Annexe 5 – Responsabilités administratives et jurys de thèse .....	130

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1</b>	Tableau récapitulatif des enseignements dispensés au cours de ma carrière universitaire	p 12
<b>Tableau 2</b>	Critères d'inclusion et de non inclusion à l'étude TAPIX	P 37
<b>Tableau 3</b>	Moyennes et écarts type des données de fréquence cardiaque ( <i>bpm</i> ) entre le tapis roulant et le sol réel à différents niveaux de vitesse	p 40
<b>Tableau 4</b>	Equivalences et accords des données accélérométriques ( <i>counts·min<sup>-1</sup></i> ) entre le tapis roulant et le sol réel à différentes vitesses	p 41
<b>Tableau 5</b>	Critères d'inclusion et de non inclusion au programme CEMHaVi	p 44
<b>Tableau 6</b>	Les critères mis en jeu dans l'évaluation de passage pour le programme CEMHaVi	p 45
<b>Tableau 7</b>	Caractéristiques des enfants et adolescents en surcharge pondérale lors de l'inclusion	p 47
<b>Tableau 8</b>	Effets du programme de prise en charge pluridisciplinaire chez des enfants et adolescents en surcharge pondérale suivis pendant une année	p 48
<b>Tableau 9</b>	Caractéristiques anthropométriques des participants	p 55
<b>Tableau 10</b>	Récapitulatif des études menées dans le projet 2b et les principales conclusions de l'impact des déterminants testés sur la masse osseuse	p 109

## Liste des figures

<b>Figure 1</b>	Parcours utilisé pour les expérimentations (Projet 1, Etude 3)	p 45
<b>Figure 2</b>	VO <sub>2</sub> en fonction de la vitesse et du type de protocole	p 55
<b>Figure 3</b>	Modèle de prédiction du coût associé à 2 PFR par minute en fonction de la vitesse de marche	p 56
<b>Figure 4</b>	Variations relatives du coût énergétique en fonction de la vitesse et du type de protocole	p 57
<b>Figure 5</b>	Les déterminants de la résistance osseuse	p 79
<b>Figure 6</b>	Mesure du Trabecular Bone Score par projection	p 84
<b>Figure 7</b>	Cartographie du Trabecular Bone Score	p 85
<b>Figure 8</b>	Protéines et risque de fracture	p 101
<b>Figure 9</b>	Réponse à une hypocalcémie	p 102
<b>Figure 10</b>	Interactions entre apports nutritionnels et risque fracturaire	p 103
<b>Figure 11</b>	Représentation schématique de l'épreuve d'effort couplé à la calorimétrie indirecte	p 107

# Chapitre I – Curriculum Vitae

## I.1. Etat civil et situation professionnelle actuelle

Nom : **ZUNQUIN**

Prénom : **Gautier**

Date et lieu de naissance : Né le 25 Octobre 1977, France

Situation familiale : Pacsé, 2 enfants (nés en 2011 et en 2013)

Téléphone : +33 6 67 22 59 91

E-mail : gautier.zunquin@univ-littoral.fr

**Fonction actuelle : Maître de Conférences des Universités, 74<sup>ème</sup> section**

Etablissement : Université du Littoral Côte d'Opale, Division STAPS, Rue Ferdinand Buisson, 62100 Calais.

Laboratoire d'accueil : URePSSS « Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport, Santé, Société » EA 7369, Equipe 1 « Activité physique, Muscle, Santé » Thème : Adaptations et dysfonctions métaboliques à l'exercice.

## I.2. Formation et diplômes

### I.2.1. Formation et diplômes universitaires

**2009** : Diplôme d'Attaché de recherche Clinique, ISVM, Bordeaux (33)

**Sept. 2002 – 30 Novembre 2015** : *Thèse de troisième cycle Sciences de la vie – STAPS*

Intitulée : « Utilisation des substrats énergétiques à l'exercice des enfants obèses : Effet de l'obésité, de la puberté, Influence du sexe, Intérêt d'un suivi longitudinal et d'une analyse conative de l'activité physique pour le contrôle pondéral ».

Laboratoire de Physiologie Digestive et Nutritionnelle, CHU de Caen & Laboratoire Recherche Littorale en Activité Corporelles et Sportives, Dunkerque, Université du Littoral Côte d'Opale (EA 4110).

Mention Très Honorable ; directeur : Dr Dominique Bouglé & Dr Denis Theunynck ; Jury : Pr. P. Duché, rapporteur ; Pr. R. Matran, rapporteur ; Pr. G. Bui-Xuan, examinateur ; Pr. D. Legallais, examinateur ; Pr. P. Arhan, examinateur.

**2002 : D.E.A. (Master 2) « Physiologie et Biomécanique de la Performance Motrice »**

Intitulé : « Effet protecteur des protéines du lait sur la peroxydation lipidique chez des animaux surchargés en fer ».

Laboratoire de Physiologie Digestive et Nutritionnelle, CHU de Caen.

Mention Bien ; Classement sur résultats du DEA : 3<sup>ème</sup>/34.

**2001 : Maîtrise (Master 1) STAPS**, Option « Activités Physiques Adaptées » et Option « Education et Motricité », Mention Bien, Université du Littoral Côte d'Opale.

**2000 : Licence (Licence 3) STAPS**, Option Activités physiques adaptées ; Spécialité sportive : Voile, Mention Assez Bien, Université du Littoral Côte d'Opale.

**1999 : D.E.U.G. (Licence 1 et 2) STAPS**, Spécialité sportive : Voile, Université du Littoral Côte d'Opale.

**1997 : Baccalauréat Scientifique** : Option Mathématique, Lycée du Noorderover, Grande Synthe (59).

### **I.2.2. Autres diplômes et Compétences complémentaires**

**2008** : Brevet de Secourisme, usage du défibrillateur automatique

**2001** : Brevet d'Etat d'Educateur Spécialisé (BEES) Premier Degré option Voile

**2001** : Attestation de Formation aux Premiers Secours

**1998** : Permis mer

**1996** : Monitorat Fédéral de Voile

**Sports et loisirs**: Planche à voile Olympique Mistral One Design (1996 – 2004). Membre collectif France Jeunes et Espoirs (1999- 2004).

### **I.2.3. Techniques de recherche**

#### **Epreuves d'effort de terrain et de laboratoire :**

Mesure des échanges gazeux ventilatoires (K4B2 Cosmed®)

Estimation de l'oxygénation musculaire et cérébrale par spectroscopie du Proche Infrarouge (NIRS)

**Mesure de l'activité physique** en condition de vie habituelle (Accélérométrie : Actigraph, GPS : GPSport)

#### **Recherche chez l'animal (rat) :**

Entraînement sur tapis roulant et en natation

Dissection (tissus musculaires, adipeux, digestifs) et prélèvements sanguin rétro orbitaire

**Dosages :**

Analyses biochimiques (plasma et sérum) : dosages enzymatique, ELISA, RIA, HPLC

Spectrométrie à émission de flamme pour le dosage du fer tissulaire (hépatique, musculaire, sanguin, digestif)

### **I.3. Qualifications universitaires aux fonctions de Maître de Conférences**

**Sections CNU :**

**74<sup>ème</sup>** : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives – STAPS ;  
2007 ; n° : 07274165844

**66<sup>ème</sup>** : Physiologie ; 2006 ; n° : 06266165844

### **I.4. Activités pédagogiques et expérience professionnelle**

**Depuis sept 2010 : Maître de Conférences, 74<sup>ème</sup> section**, Division STAPS, Université du Littoral Côte d'Opale (en moyenne 500h Eq TD / an de 2010 à 2014 puis progressivement passage à 210h EqTD).

**2008-2010 : Attaché de Recherche Clinique (ARC) puis Chef de projet clinique :**  
Investigations Thérapeutiques et Essais Cliniques (ITEC) Services, Cenon, (33).

**2004-2008 : Attachée Temporaire d'Enseignement et de Recherche (ATER) puis Contractuel STAPS** à temps plein en Physiologie de l'exercice, **74<sup>ème</sup> section**, Division STAPS, Université du Littoral Côte d'Opale (192h eq TD et 384 h eqTD).

**2002-2004 : Vacataire en Physiologie de l'exercice, 74<sup>ème</sup> section**, Division STAPS, Université du Littoral Côte d'Opale (64h équivalent TD).

**1999-2005: Professeur d'Activités Physiques Adaptées :**

- **2005-2008** : Conception de programme d'activité physiques adaptées au Centre d'Education Thérapeutique du centre hospitalier de Bayeux (Calvados ; Dr. D. Bouglé).
- **2003-2005** : Entraînement d'enfants et d'adolescents obèses (aérobie et renforcement musculaire, activités variées), Programme de suivi de thèse (2 heures par semaine pendant deux années).

Dans le tableau 1, sont indiquées les matières enseignées depuis 2002 dans le cadre universitaire, leurs volumes horaires et le public étudiant auxquelles elles étaient adressées.

**Tableau 1. Détails des enseignements universitaires réalisés**

Matières enseignées	Années	Volume horaire annuel	Promotions concernées
<b>Physiologie fondamentale (cellulaire)</b>	2004-2006 (2 ans)	14h CM	Licence 1 STAPS
	2013-2018 (4 ans)	10h CM	Licence 1 STAPS
<b>Physiologie fondamentale (musculaire)</b>	2004-2006 (2 ans)	20h TD	Licence 1 STAPS BI
	2010-2011 (1 an)	40h TD	Licence 1 STAPS BI, CI
	2011-2014 (3 ans)	20h TD	Licence 1 STAPS BI
<b>Physiologie appliquée (cardio-respiratoire)</b>	2004-2006 (2 ans)	14h CM	Licence 1 STAPS
	2010-2015 (5 ans)	12h CM	Licence 1 STAPS
<b>Physiologie appliquée (condition physique)</b>	2010-2011 (1 an)	24h TD	Licence 1 STAPS BI, Dk
	2011-2013 (2 ans)	12h TD	Licence 1 STAPS BI
	2014-2015 (1 an)	32h TD	Licence 1 STAPS BI,CL, Dk
<b>Physiologie appliquée (digestive)</b>	2002-2004 (2 ans)	8h CM	D.E.U.G. 2 STAPS puis Licence 2 STAPS
	2004-2007 (3 ans)	12h CM	Licence 2 STAPS
	2010-2013 (3 ans)	16h CM	Licence 2 STAPS
	Depuis 2014	10h CM	Licence 2 STAPS
<b>Physiologie fondamentale (cellulaire)</b>	2013-2018 (5 ans)	10h CM	Licence 2 STAPS
<b>Physiologie fondamentale (rein)</b>	2010-2015 (5 ans)	36h TD	Licence 2 STAPS BI, CI, Dk
<b>Physiologie appliquée (Bioénergétique)</b>	2010- 2011(1 an)	24h TD	Licence 2 STAPS BI, CI, Dk
	2011-2013(2 ans)	6h TD	Licence 2 STAPS BI
	2013-2014 (1 an)	18h TD	Licence 2 STAPS BI, CI
	2014-2016 (2 ans)	36h TD	Licence 2 STAPS BI, CI, Dk
<b>Contraintes liées à l'âge</b>	2010-2011 (1 an)	16h CM	L3 TC
	2011-2014 (3 ans)	8h CM	L3 TC
<b>Physiologie appliquée</b>	2010-2012 (2 ans)	18h CM	L3 TC
	2012-2014 (2 ans)	8h CM	L3 TC
<b>Initiation à la recherche</b>	Depuis 2010	6h TD	L3 TC
<b>Physiopathologie des déficiences métaboliques</b>	Depuis 2010	10h CM	L3 APAS
<b>Suivi de stage</b>	2010-2014	20h TD	L3 APAS
<b>Bioénergétique</b>	2004-2006 (2 ans)	30h TD	L3 ES
	2007-2008 (1 an)	30h CM	L3 ES
	2010-2015 (5 ans)	20h CM	L3 ES
<b>Adaptations humaine et amélioration de la performance</b>	Depuis 2014	12h TD	L3 ES
<b>Outils de mesure de la performance</b>	2010-2014 (4 ans)	8h CM	L3 ES
<b>Introduction au transfert physiologie – entraînement</b>	Depuis 2010	8h CM	L3 ES
<b>Analyse biomécanique</b>	2010-2014 (4 ans)	8h CM	L3 ES

<b>Contraintes liées à l'entraînement</b>	2004-2006 (2 ans)	5h TD	L3 ES
<b>Nutrition des déficiences</b>	2004-2006 (2 ans)	20h TD	M1 APAS
<b>Stress oxydant et activité physique</b>	2004-2006 (2 ans)	10h TD	M1 APAS
	Depuis 2014	3h CM	M2 SSAP
<b>Physiologie de l'AP</b>	2010-2013 (3 ans)	4h CM + 2h TD	M1 enseignement
<b>Outils et mesure de la santé</b>	2004-2006 (2 ans)	5h TD	M1 APAS
<b>Public et intervention</b>	2004-2006 (2 ans)	24h TD	M1 APAS
	2010-2013	13h CM	M1 APAS
<b>Condition physique</b> (tests de terrain et de laboratoire, ...)	2004-2006 (2 ans)	16h TD	L1 STAPS
	2007-2008 (1 an)	24h TD	M1 APAS
<b>Déficiences métaboliques (obésité, diabète, anorexie) : prise en charge des publics et réentraînement métabolique</b>	2010-2015 (5 ans)	16h CM	M1 APAS
<b>Analyse et schémas de prise en charge des maladies cardio-respiratoires</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Analyse et schémas de prise en charge des maladies métaboliques</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Maladies héréditaires, oncologie</b>	Depuis 2016	9h CM	M1 APAS
<b>Habitudes de vies saines vs Sédentarité</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Outils et méthodes d'évaluation de la santé physique</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Recueil des données, traitement et biais</b>	Depuis 2015	10h TD	M1 APAS
<b>Maladies héréditaires, oncologie</b>	Depuis 2016	9h CM	M1 APAS
<b>Outils d'évaluation de la santé (spé TCA)</b>	Depuis 2016	10h CM	M1 APAS
<b>Vieillesse</b>	Depuis 2013	30h CM	M2 Balamand
<b>Biologie Fondamentale</b>	2010-2011 (1 an)	16h CM	IFSI 1 <sup>ère</sup> année : Dk, C, SO
<b>Méthodologie de la recherche</b>	2011-2015 (4 ans)	20h CM	IFSI 2 <sup>ème</sup> année : Dk, C, SO, Bl, Be
	2010-2015 (4 ans)	6h CM	
<b>Master Sciences Biologiques et Médicale</b>	2005-2006 (1 an)	8h TD	MSBM UFR Médecine Caen

**Légende :** L1 : Licence 1<sup>ère</sup> année ; L2 : Licence 2<sup>ème</sup> année ; DEUG 1 et 2 : DEUG 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> années ; L3 : Licence 3<sup>ème</sup> année ; M1 : Master 1<sup>ère</sup> année ; M2 : Master 2<sup>ème</sup> année ; APAS : Activités Physiques Adaptées Santé ; EM : Education Motricité ; ES : Entraînement Sportif ; EM : Education et Motricité ; IFSI 1 : Institut de Soins Infirmiers 1<sup>ère</sup> année ; IFSI 2 : Institut de Soins Infirmiers 2<sup>ème</sup> année ; Bl : Site de Boulogne sur mer ; Be : site de Berk sur mer ; C : site de Calais ; Dk : site de Dunkerque ; SO : Site de Saint-Omer ; B : Site de Berk ; MSBM : Maitrise de Sciences Biologiques et Médicales.

**Total : 3091h eq TD.**

## I.5. Responsabilités administratives

### I.5.1. Responsabilités d'enseignements universitaires

**Depuis 2018** : Responsable du Master STAPS Mention « Activités Physiques Adaptées et Santé », Université du Littoral Côte d'Opale.

**Depuis 2018** : Correspondant du Master Recherche « Science du Sport et de l'Activité Physique (M2SAP) » Grand Nord à l'Université du Littoral Côte d'Opale.

**Depuis 2018** : Responsable ECU "Analyse Scientifique en Sciences du Sport et de l'Activité Physique et anglais intégré" au sein du Master Recherche Science du Sport et de l'Activité Physique (M2SAP).

**Depuis 2018** : Responsable de la coordination des enseignements en Sciences de la Vie et Cohérence des enseignements entre les niveaux de formation Licence - Master au département STAPS de l'Université du Littoral Côte d'Opale.

**Depuis 2019** : Référent « professionnalisation des APAS » auprès de la Vice Présidence Commission de la Formation et de la Vie Universitaire (CFVU).

### I.5.2. Responsabilités administratives liées à la recherche

**2005 - 2019** : Responsable du projet CEMHaVI et président de la junior entreprise CEMHAVI

Le projet CEMHaVi (Contrôle, Evaluation et Modification d'un Habitus de Vie) est un programme d'activités physiques adaptées associé à un programme d'éducation (PATH program) qui prend en charge spécifiquement les enfants obèses du dunkerquois.

Ce projet fonctionne en partenariat avec les deux structures hospitalières du littoral dunkerquois (Centre Hospitalier de Dunkerque et Hôpital Maritime de Zuydcoote). Les enfants qui participent au programme sont recrutés par l'intermédiaire des pédiatres de ces deux centres hospitaliers (Dr. A. Schild, Dr. C. Mouchon, Dr. J. Six, Dr. H. Mazoyer).

Trois publications scientifiques indexées pubmed sont associées au programme CEMHaVI :

**Zakhem E, El Hage R, Pezé T, Hurdiel R, Zunquin G, Theunynck D.** Factors associated with eating disorders in students of the University of Littoral Côte d'Opale]. Rev Epidemiol Sante Publique **2015** Aug;63(4):259-65.

**Vanhelst J, Béghin L, Fardy PS, Bui-Xuan G, Mikulovic J.** A conative educational model for an intervention program in obese youth. BMC Public Health **2012** Jun 7;12:416.

**Vanhelst J, Marchand F, Fardy P, Zunquin G, Loeuille GA, Renaut H, Mikulovic J, Hurdiel R, Béghin L, Theunynck D.** The CEMHaVi program : control, evaluation, and modification of lifestyles in obese youth. *J Cardiopulm Rehabil Prev* **2010** May-Jun;30(3):181-5.

### **2015 - 2016 : Responsable du projet Universanté (ULCO)**

**Mai 2015 :** Organisation du Colloque Universanté « La santé des étudiants en question » le 28 Mai à Dunkerque.

**Mai 2016 :** Organisation d'un mois de Visiting Professor (Irina Bronbiu, Université de médecine de Cluj, Roumanie) : cours et conférences destinés aux étudiants de l'Université du Littoral Côte d'Opale, à des chercheurs de l'Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société et aux chercheurs de la région :

- Obtention (par G. Zunquin) d'une subvention de l'ULCO (2500 €)
- Thématique du mois de visite : la santé des étudiants (projet Universanté)
- Organisation du colloque Universanté le 28 Mai 2015 « la santé des étudiants en question »
- Article en commun: **Brumboiu MI, Cazacu I, Zunquin G, Manole F, Mogosan CI, Porrovecchio A, Peze T, Tavalacci MP, Ladner J.** Nutritional status and eating disorders among medical students from the Cluj-Napoca University centre. *Clujul Med* **2018** Oct;91(4):414-421.

### **2013 – 2016 : Responsable du projet Activité Physique et SOMmeil de la patiente ANOrexique (APSOMANOX)**

**Janvier 2013 :** Ecriture du protocole de recherche clinique et soumission au CPP Nord Ouest

- Obtention (par G.Zunquin) d'une subvention du GIRAM de 10 000 euros pour les démarches réglementaires et l'achat de matériel nécessaire à l'étude (accéléromètres GT3 X Actigraph®)
- Collaboration avec les services d'addictologie (Dr. J. Vignau) et de rhumatologie (Pr. B. Cortet) du CHU de Lille
- Une publication commune : **Zunquin G, Vignau J, El Hage R, Cortet B.** Vigorous physical activity and bone mineral density in anorexia nervosa female : May **2018** *Medicine & Science in Sports & Exercise* 50:623.

Depuis 2015 : Co-responsable du projet Activité physique et santé osseuse à différents âges de la vie (Collaboration scientifique ULCO / UOB ; cf projet 2 p 65)

## **I.6. Bilan synthétique de l'activité de recherche et de la production scientifique**

La liste complète des publications (indexées et non indexées), des communications et des conférences invitées est présentée en annexe 1.

### **Publications principales (en 1<sup>er</sup> ou 2<sup>ème</sup> auteur) dans des revues internationales indexées**

#### **10 en premier ou 2<sup>ème</sup> auteur**

Appl Physiol Nutr Metab. 2006 (1/6; IF = 2.5)

Free Radic Res. 2006 (1/8; IF = 3.0)

Milk Sci Int. 2007 (1/6; IF = 0.5)

Arch Pediatr. 2007 (2/6; IF = 0.7)

Br J Sports Med. 2009 (1/5; IF = 7.8)

J Sports Sci. 2009 (1/5; IF = 2.7)

J Sports Sci. 2009 (2/6; IF = 2.7)

Int J Pediatr. 2010 (2/4; IF = 3.2)

J Clin Densitom. 2015 (1/5; IF = 3.1)

J Clin Densitom. 2017 (1/8; IF = 3.1)

### **Communications en 1<sup>er</sup>, 2<sup>ème</sup> ou dernier auteur**

#### **Communications orales ou affichées en congrès : 44**

**12 en premier auteur**

**13 en 2<sup>ème</sup> ou avant dernier auteur** (correspondant à un co-encadrement d'étudiants en thèse ayant signé en premier)

## **Financements significatifs obtenus en tant que responsable scientifique principal**

Projet CEMHaVI : 60 000 euros.

Ce projet reçoit depuis 11 ans des fonds récurrents provenant de la DRDJSCG, la mutualité française, la mairie de Dunkerque et des fonds liés à des appels à projet.

Ce budget est d'environ 8 000 euros / an et sert à financer les travaux des étudiants qui viennent en stage (Master STAPS APAS professionnels et / ou Recherche).

Les étudiants encadrés par cette junior entreprise sont :

- Jeremy Vanhelst (2 ans, Thèse STAPS, PAST Université de Bordeaux)
- Allan Rougeau (2 ans, M1 & 2 APAS, Educateur Médico Sportif Centre Jacques Collache, Dunkerque)
- Anthony Khawaja (2 ans, M1 & 2 APAS, Doctorant à l'Université de Rennes)
- Geoffrey Lecerf (2 ans, M1 & 2 APAS, Educateur Médico Sportif au Centre Hospitalier de Zuydcoote)
- Louis Toulouse (3 ans, M1 & 2 APAS, 1<sup>ère</sup> année de thèse).

Projet APSOMANOX : 10 000 euros

Projet UNIVERSANTE : 12 500 euros

Programme Pôle Métropolitain Côte d'Opale / ULCO : 30 000 euros

# Chapitre II – Animation de la recherche

## II.1. Encadrement et co-encadrement d'étudiants (recherche)

### Encadrement :

**2 masters 1<sup>ère</sup> année recherche** (2013 à 2016)

**6 étudiants dans des disciplines hors STAPS** (2010-2018) : 4 étudiants en Instituts de Soins Infirmiers, 1 étudiante en Ergothérapie, 1 étudiant en Kinésithérapie

### Co-encadrement :

**6 doctorants (dont 3 en cours et 3 thèses soutenues**, 4 thèses Université du Littoral Côte d'Opale et 2 thèses Université de Lille). Encadrements respectifs : 50, 50, 50, 50, 50 et 80 %.

**4 masters 2<sup>ème</sup> année recherche** (2013 à 2017). Encadrements : 50, 50, 80, et 80%.

## II.2. Animation scientifique en interaction avec les pairs

### II.2.1. Membre de sociétés savantes

Membre de:

- **L'Association des Chercheurs en Activités Corporelles et Sportives (ACAPS)**
- **L'American College of Sport Medicine (ACSM)**
- **L'Association pour la prévention et la prise en charge de l'obésité pédiatrique (APOPOP)**

### II.2.3. Participation à des groupes de recherche régionaux et nationaux

#### II.2.3.1. Collaborations scientifiques internationales

**Depuis 2011 : Collaboration avec le Pr. R. El Hage « Département Sciences du Sport », Université de Balamand, Liban :**

**Origine de la collaboration :** Cette collaboration a été initiée depuis 2011 avec le Pr. D. Theunynck suite à la volonté de l'Université du Littoral Côte d'Opale de renforcer ses liens avec des partenaires historiques francophones dont le Liban fait partie.

L'Université de Balamand est une université francophone située au Nord du Liban (Tripoli).

**Atouts de la collaboration :** Notre collaboration avec le Département Sciences du Sport est un gage de réussite du projet III.3.2. (Activité physique et santé osseuse) et des projets futurs. En effet, le laboratoire du Pr. R. El Hage est internationalement actif dans la recherche sur les effets de l'activité physique sur le métabolisme osseux. Plusieurs travaux de thèse ont été réalisés avec nos partenaires libanais.

**Evénements structurants de la collaboration :**

- Réponse à l'appel à projet Cèdre 2011 sur « la détermination des liens entre activité physique, sédentarité, habitudes alimentaires, sommeil, et évaluation de la Densité Minérale Osseuse et du Contenu Minéral Osseux d'une population d'adolescents et de jeunes adultes Libanais. Détermination de l'influence des habitudes culturelles et des déterminants sociaux dans les deux pays ». L'obtention de cet appel à projet a permis de financer les travaux de thèse de Zaher El Hage (co-tutelle des travaux : Pr. R. El Hage, UOB, Pr. D. Theunynck, Co-encadrement Dr. G. Zunquin 50%).
- En 2012, le laboratoire RELACS a obtenu un financement de thèse ULCO – UOB sur le thème « activité physique et métabolisme osseux ». Eddy Zakhem a effectué ses travaux de thèse au Liban et en France (co-tutelle des travaux : Pr. R. El Hage, UOB, Pr. D. Theunynck, Co-encadrement Dr. G. Zunquin 50% ; soutenance 07/2015).
- En 2013, sous l'impulsion des Pr. R. Durand et D. Theunynck, l'ULCO et l'UOB ont créé un double diplôme Master STAPS APAS ULCO - UOB. Deux enseignants chercheurs de l'ULCO participent à ce diplôme à travers des séjours réguliers au Liban (Université UOB).
- En 2014, la faculté des arts et des sciences du sport s'associe à l'ULCO pour mettre en place une évaluation de la santé des étudiants libanais primo-entrants.
- Depuis 2013 : 16 publications internationales indexées, 5 thèses en co-encadrement (dont 3 soutenues et 2 actuellement en cours) sont issues de cette collaboration.

---

### **II.2.3.2. Collaborations régionales et nationales**

---

**Depuis 2011**, collaborations pour mes projets de recherche avec des **partenaires de la région** (voir détail en Annexe 3) :

- Université Lille (Laboratoire Physiopathologie des Maladies Osseuses Inflammatoires) EA 4490, Pr. C. Choveau, Pr. G. Penel.

- CHU de Lille (Service de Rhumatologie : Pr. B. Cortet, Service d'Addictologie : Dr. J. Vignau).

**Depuis 2013** : Participation au **Groupement Interdisciplinaire de Recherche sur l'Anorexie Mentale (GIRAM)** :

- Laboratoire Physiopathologies des Maladies Osseuses Inflammatoires (EA 4490), Pr. C. Choveau, Pr. G. Penel.

- Institut de psychiatrie et de neurosciences de Paris (Dr. O. Viltart : équipe Pr. P. Gorwood).

- U1073 Inserm (laboratoire ADEN) Département d'Épidémiologie et de Santé Publique : Pr. P. Dechelotte, Dr. J. Ladner, Dr. MP. Tavollacci.

**Depuis 2018** : Collaborations pour mes projets de recherche avec des **partenaires hors région** :

**Depuis 2018** : Participation au projet Activité Physique Adaptée et anoREXie Mentale (APAREXIM) :

- UMR-S 1075 INSERM/UNICAEN COMETE: Pr. A. Gauthier, Dr N. Bessot, Dr. P. Leconte.

- CHRU de Caen: Pr. MA. Piquet.

---

**Depuis 2014, Membre d'un réseau Européen sur la santé des étudiants (Groupe de Recherche Interdisciplinaire sur la Santé et le MOde de Vie des Etudiants; GRISMOVE)**

---

Lors d'une présentation orale sur le thème « anorexie mentale et activité physique » dans le cadre du Groupement interdisciplinaire de Recherche sur les Troubles du Comportement Alimentaire (GIRTCA), le 8 Juin 2012 j'ai rencontré le Dr. J. Ladner qui présentait les premiers résultats de l'étude Rouennaise « Bouge ta santé en 1 clic ». La thématique présentée était en totale adéquation avec le projet Universanté que nous menions à l'ULCO depuis 2007. Mon directeur de laboratoire, le Pr. D. Theunynck a donc contacté les Pr. P. Déchelotte et Dr. J. Ladner co-responsables de ce projet.

Le réseau Students and Life a alors été créé début 2014 par le Pr. D. Theunynck et le Dr. J. Ladner (Laboratoire ER3S- RELACS - Laboratoire INSERM 1073 du CHU de Rouen). Dès 2015, ce réseau s'est structuré sous l'acronyme GRISMOVE (Groupe de Recherche Interdisciplinaire sur la Santé et le MOde de Vie des Etudiants). Le groupe était principalement composé de membres de notre laboratoire URePSSS thème 4 : « Déterminants de la santé » (A. Porrovecchio, T. Pezé, R. Hurdiel, I. Caby, N. Blondel et C. Toulotte), et de membres de l'unité INSERM U 1073 du CHU de Rouen (J. Ladner, MP. Tavollacci). Il s'est ensuite étoffé avec d'autres collaborations françaises et étrangères.

Ce réseau travaille sur la thématique de la santé des étudiants.

L'objectif est de bâtir un socle commun de questionnaires afin d'alimenter une base commune de données. Cette base commune permet de publier ensemble à partir d'enquêtes épidémiologiques comparables, ou de collaborer sur des événements (Conférence ESSUS de Rouen 2016, Conférences Universanté 2016 et 2018).

Notre groupe URePSSSS s'est basé sur le projet Universanté, exporté dans deux autres universités (Université de Québec à Chicoutimi : projet A+ et Université de Balamand au Liban : Universanté UOB). En parallèle, les universités de Rouen et de Nanterre ont mené SELFI et SELFI2, puis EURECAS et EURECAS2. Les questionnaires utilisés ont également été traduits pour les partenaires (en Italien par le Pr. G. di Francesco).

**Autres membres du réseau :** F. Bernier-Bergeron (Chicoutimi, Canada), P. Blackburn (Chicoutimi, Canada), I. Brumboiu (Cluj, Roumanie), N. Camart (Nanterre, France), A. Charrouf (Tishreen, Syrie), V. Corsi (Chieti, Italie), R. Di Risio (Chieti, Italie), C. Forgues (Chicoutimi, Canada), C. Henne (IFSI Croix Rouge, France), A. Houvet (IFSI Croix Rouge, France), C. Kuehn (Calais, France), P. Masson (Lille, France), S. Mihailescu (Rouen, France), L. Romo (Nanterre, France), D. Saleh (Tishreen, Syrie), V. Savini (Chieti, Italie), G. Van Hal (Anvers, Belgique).

#### II.2.4. Membre de Comités de Sélection locaux pour des postes de MCF

Pour le poste 74MCF0548, « Sommeil et Activité physique », **Département STAPS**, Université du Littoral Côte d'Opale, Mai-Juin **2016**.

Pour le poste 74MCF0055, « Physiologie de l'exercice et plasticité cérébrale », **Département STAPS**, Université du Littoral Côte d'Opale, Mai-Juin **2018**.

#### II.2.5 Activité d'expertise scientifique

##### II.2.5.1. Activité de rapporteur pour des journaux scientifiques

Journal of Clinical Densitometry :

- JCLINDENSITOM-2017-113
- JCLINDENSITOM-2018-7
- JCLINDENSITOM-2017-143
- JCLINDENSITOM-2017-125
- JCLINDENSITOM-2017-95

Sciences & Motricité / Movement & Sport Science :

- Ms sm180003

Archives of Gerontology and Geriatrics :

- AGG-D-16-00538

Journal of Physical Education and Sport Management :

- JPESM-11-013

Pediatric Exercise Science :

- 10-73

### **II.2.5.2. Expertise scientifique dans le monde industriel**

**Conseiller scientifique « activité physique »** pour la société des eaux thermale (SET) de Brides les bains (73) depuis 2013.

Membre du ThinkTank Obésités :

<https://thinktankobesites.wordpress.com/les-dossiers-du-think-tank-obesites/>

## **II.3. Formation par la recherche**

### **II.3.1. Encadrement et co-encadrement d'étudiants**

#### **II.3.1.1. Doctorants (co-encadrement)**

Thèses soutenues :

- Zaher El Hage (2013) (ED 446 Biologie et Santé) : « Influence de la surcharge pondérale sur la densité minérale osseuse et la géométrie osseuse chez des adolescents et des jeunes libanais ». Co-encadrement avec le Pr. D. Theunynck, ULCO, 50%. Zaher El Hage est actuellement Maître de Conférences à l'Université Notre Dame à Beyrouth, Liban.

- Eddy Zakhem (2015) (Bourse CNRS Libanais/ULCO, ED 446 Biologie et Santé) : « Relations entre le niveau de performance physique, le niveau d'activité physique usuel, les apports nutritionnels, les caractéristiques anthropométriques, le sommeil et les paramètres osseux chez les jeunes adultes sains ». Co-encadrement avec le Pr D. Theunynck, ULCO, 50%. Eddy Zakhem est actuellement Maître de Conférences à l'Université de Balamand, Liban.

- Marie Louise Ayoub (2016) (Thèse ED 446 Biologie et Santé) : « Facteurs influençant les valeurs de TBS à différents âges de la vie et dans différentes situations physiologiques et pathologiques ». Co-encadrement et succession du Pr. D. Theunynck,

Pr. B. Cortet, Lille 2, 50%. Marie Louise Ayoub est Kinésithérapeute au Centre Hospitalier de Zharta au Liban et chargée de cours à l'Université de Balamand.

#### Thèses en cours :

- Patchina Sabbagh : « Relations entre la puissance musculaire et les paramètres osseux (CMO, DMO, indices géométriques de résistance osseuse de la hanche et score de l'os trabéculaire) chez des jeunes adultes Libanais ». Co-encadrement avec le Dr. G. Baquet, MCF-HDR Lille, 50 %.

- Boutros Finianos : « Comparaison de l'efficacité de deux protocoles de football récréatif d'une année (2x1h /sem vs 2x30min/sem) sur la densité minérale osseuse et sur les paramètres de performance physique pour un groupe d'homme libanais inactifs âgés de 50 ans ». Co-encadrement avec le Dr. H. Devanne, MCF HDR ULCO, 50 %.

- Louis Toulouse : « Impact d'un entraînement High IntensityInterval Training (HIIT) sur le coût énergétique, la pénibilité de l'effort, l'oxygénation cérébrale et musculaire et sur les capacités aérobies de l'enfant obèse - Applications pour une prise en charge clinique adaptée ». Co-encadrement avec le Dr. H. Devanne, MCF HDR ULCO, 20 %.

---

#### **II.3.1.2. Masters 1<sup>ère</sup> année recherche (encadrement)**

---

Amélie Verschelde (2015) : « Evaluation de l'activité physique et du sommeil chez les jeunes femmes anorexiques ».

Louis Toulouse (2017) : « Evaluation de la fonction cardiorespiratoire chez le jeune obèse: 20-MST vs Spartacus Test ».

---

#### **II.3.1.3. Masters 2<sup>ème</sup> année recherche (co-encadrement)**

---

Aménie Souissi (2015) : « Validation de l'accéléromètre du poignet GENEActiv dans l'évaluation du niveau d'activité physique chez l'adulte jeune ». Co-encadrement avec le Pr. D. Theunynck, ULCO, 50%.

Anais David (2015) : « Création et validation de l'échelle de fatigue des étudiants du littoral ». Co-encadrement avec le Pr. D. Theunynck, ULCO, 50%.

Alléline Allouche (2016) : « Mesure des niveaux d'activité physique et des temps desommeil, dans les conditions habituelles de vie, chez les filles anorexiques ». Co-encadrement avec le Dr. G. Baquet, MCF-HDR Lille 2, 20%.

Louis Toulouse (2018) : « Influence de périodes de récupération de 15 secondes sur le coût énergétique lors d'un exercice de marche / course à pied en aller-retour chez l'adolescent obèse lors du Spartacus Test ». Co-encadrement avec le Dr. G. Baquet, MCF HDR Lille 2, 20%.

---

#### **II.3.1.4. Etudiants issus de disciplines hors STAPS (encadrement)**

---

Leslie Le Roy (2013) : « Réalisation d'un guide d'entretien permettant l'évaluation préalable des besoins et des attentes des personnes obèses dans le but de construire un programme d'éducation thérapeutique du patient visant à améliorer leur autonomie ». Institut de Formation Ergothérapie de Berk sur Mer.

---

#### **II.3.2. Adossement de la formation STAPS à la recherche**

Mon activité pédagogique à l'Université du Littoral Côte d'Opale s'oriente principalement vers :

- 1/ Des cours magistraux et des suivis de stage sur la thématique « Déficiences métaboliques et exercice » (physiopathologie, évaluation de la santé, études de cas, effets de l'exercice sur la santé, programme d'APAS...) pour la filière APAS (L3 et les Master 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année),
- 2/ Des cours magistraux et des travaux pratiques sur la thématique « conditions de la performance sportive » en Licence 3 option « entraînement sportif »,
- 3/ L'initiation à la recherche en Sciences de la Vie (SV) en Licence 3 Tronc commun.

---

#### **II.3.2.1. Enseignement & Recherche sur les déficiences métaboliques**

---

Mes enseignements sur les déficiences métaboliques sont en adéquation avec mes travaux de recherche (voir chapitre III).

Ainsi je développe mon enseignement à partir de bases scientifiques toujours actualisées (veille scientifique des articles sur le sujet, participation aux congrès en rapport avec cette thématique, discussion avec les cliniciens sur le sujet...).

Les résultats scientifiques de mes recherches sont aussi diffusés à un plus large public et la mise en pratique est plus aisée.

De part mes interactions constantes avec différents partenaires de l'Hôpital Maritime de Zuydcoote (HMZ), je contribue à la mise en stage des étudiants de Master 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année APAS.

# Chapitre III – Projets de Recherche

## III.1. Introduction

Mon activité de recherche s'inscrit dans le domaine de la physiologie de l'exercice en lien avec la santé.

Dans ce champ d'investigation, mon parcours scientifique s'articule autour de **deux thématiques principales** que sont :

- Les adaptations métaboliques et hormonales à l'exercice, leurs mécanismes et leurs conséquences sur la tolérance à l'effort dans le cas de l'obésité infantile (*santé métabolique*),
- L'impact de l'exercice sur le métabolisme osseux à différentes âges de la vie (*santé osseuse*).

Cette orientation s'est effectuée progressivement depuis le **DEA et le Doctorat (2002-2006)** pour la thématique 1 et depuis ma titularisation à l'Université du Littoral Côte d'Opale (**2010 -2018**) pour la thématique 2 (voir Figure ci dessous).

L'élaboration et la mise en place progressive de ces projets m'ont donc permis **d'étoffer un réseau régional et international** (collaborations avec différents services du CHU de Lille, l'Hôpital Maritime de Zuydcoote et l'université de Balamand au Liban) réunissant des chercheurs centrés sur le **métabolisme osseux** pour certains et sur le **métabolisme musculaire** pour d'autres.

La présentation de mes travaux de recherche (dont je suis le responsable scientifique principal sauf si indiqué) s'effectuera de la façon suivante :

- pour les travaux effectués depuis le D.E.A. jusqu'à la thèse : de manière chronologique et synthétique (résumés des projets),
- pour les études en cours et à venir : en détaillant le Projet 1 puis le Projet 2.

Les financements indiqués et les accords de Comité de Protection des Personnes (CPP) et Commission Nationale Informatique et Libertés (CNIL) sont obtenus par mes propres soins (responsable scientifique), sauf si précisé « collaborateur ».

Seules les publications originales internationales et revues de littérature internationales, en rapport avec chaque projet, sont indiquées (et non les articles de diffusion scientifique).

## **III.2. Travaux de recherche réalisés**

### **III.2.1 Licence 3 et Maitrise STAPS – Activité Physique & Santé Métabolique (Obésité)**

**1999 – 2001** : au Laboratoire Recherche Littorale en Activités Corporelles et Sportives (EA 4110), Dunkerque, Directeur du Laboratoire : Pr. G. Bui-Xuan :

Mes travaux de recherche ont débuté dans le cadre de ma licence STAPS (partie « théorique ») puis ont été poursuivis lors de ma maîtrise Activité Physique Adaptée (APA) sur la thématique « Education physique, santé et obésité » avec la production du travail de maîtrise portant sur l'étude des relations entre la leptinémie et le niveau d'activité physique chez le sujet obèse.

### **III.2.2. D.E.A. & Doctorat – Activité physique & santé métabolique (stress oxydant et obésité)**

**Septembre 2001 – Novembre 2005** : au Laboratoire de Physiologie digestive et nutritionnelle, Caen, France (DEA et doctorat) : Directeur de Laboratoire: Pr. P. Arhan :

Mon intérêt pour la recherche sur la thématique « Education physique, santé et obésité » est né suite à ma Licence 3<sup>ème</sup> année Activités Physiques Adaptées (Université du Littoral Côte d'Opale). Lors des différents stages effectués en DEUG 1 & 2 dans les écoles primaires, j'ai pu constater l'augmentation de la prévalence de l'obésité infantile. La diminution clinique des capacités physiques de ces enfants était à l'origine de leur isolement lors des cours d'EPS mais plus généralement en classe, avec même un retentissement dans leur vie quotidienne. Dans ce cadre, en tant qu'étudiant STAPS, j'ai proposé une réponse/remédiation à l'aide de programmes de remise à l'effort afin que ces jeunes puissent améliorer leurs capacités physiques et s'épanouir lors des séances d'EPS.

Bien qu'initialement orienté, via le cursus STAPS, vers la profession d'entraîneur de haut niveau en voile, ces stages ont suscité mon intérêt pour les domaines de la nutrition, la physiologie de l'exercice et la santé des patients obèses.

**Mes travaux de recherche de DEA et doctorat, se sont alors centrés sur :**

- L'effet protecteur des protéines du lait sur la peroxydation lipidique chez des animaux surchargés en fer.
- Les effets bénéfiques de l'exercice régulier sur la santé métabolique des enfants et des adolescents obèses (Doctorat).

#### Intitulé :

**Effet protecteur des protéines du lait sur la peroxydation lipidique chez des animaux surchargés en fer**

#### Résumé :

**Introduction.** L'exercice physique d'endurance augmente le stress oxydatif en associant une augmentation de la consommation d'oxygène et des phénomènes d'ischémie reperfusion au niveau des territoires splanchniques et hépatiques. On peut donc se demander si l'exercice physique, par le biais de ces phénomènes de peroxydation, est susceptible de provoquer des lésions tissulaires. Le fer, autre agent pro-oxydant, provoque des lésions tissulaires importantes au niveau des cellules épithéliales coliques quand il se trouve en présence d'autres agents carcinogènes. La survenue de lésions tissulaires sous l'effet d'une charge isolée en fer aurait une signification dans certaines conditions physiologiques humaines. Par exemple, les cyclistes professionnels utilisent le fer en grande quantité afin d'améliorer l'érythropoïèse, dans l'objectif d'augmenter l'oxygénation tissulaire et donc les performances. Les conséquences tissulaires d'une surcharge en fer associée à un programme d'entraînement en endurance ne sont pas connues, mais envisageables en fonction des données rapportées. Les protéines du lait possèdent *in vitro* des propriétés limitant les effets de la peroxydation lipidique. Ces effets restent à démontrer *in vivo*.

**Objectif.** Ce travail s'est attaché à montrer que l'apport en fer simplement associé à des variations des apports en antioxydants de l'alimentation est responsable de variations du statut antioxydant de l'organisme et de lésions tissulaires. Puis nous avons étudié sur ce modèle l'effet du stress peroxydatif lié à l'exercice physique d'endurance. Enfin, nous avons prévenu les conséquences de ce stress par l'apport d'antioxydants fournis par l'alimentation (vitamine E, protéines du lait).

**Résultats - Discussion.** Ce travail a montré que l'organisme, malgré un apport physiologique de vitamine E, n'arrive pas ou peu à limiter les effets délétères de la surcharge en fer dans les organes exposés. Notre étude suggère une supplémentation en agents anti-oxydants pour les sportifs qui sont exposés à une surcharge en fer. Le contrôle régulier de leur statut en anti-oxydants pendant et après leur carrière sportive semble nécessaire car une carence en agents anti-oxydant pourrait engendrer des altérations tissulaires. Il semble que l'augmentation du stockage par les phénomènes inflammatoires (à la suite de l'augmentation du stress oxydatif par le fer et / ou par le programme d'activité physique) joue un rôle important dans la survenue de lésions tissulaires, qui pourraient s'auto-entretenir. Notre étude confirme « *in vivo* » les propriétés anti-oxydantes de la caséine  $\beta$ . La caséine  $\beta$  ne semble pas posséder le même pouvoir protecteur que la vitamine E.

## **Publications :**

Zunquin et coll. Free Rad Res, 2006

Zunquin et coll. Milk Sci Int, 2007

---

### **III.2.2.2. Mémoire de Thèse, 2002-2005**

---

#### **Intitulé :**

**Utilisation des substrats énergétiques à l'exercice des enfants obèses : Effet de l'obésité, de la puberté, Influence du sexe, Intérêt d'un suivi longitudinal et d'une analyse conative de l'activité physique pour le contrôle pondéral.**

#### **Résumé :**

**Introduction.** L'obésité se caractérise par un excès de masse adipeuse induisant un déconditionnement musculaire. L'altération des fonctions musculaires des patients obèses induit une modification métabolique de l'utilisation des substrats glucido-lipidiques au repos et lors de l'effort : l'activité physique et l'équilibre nutritionnel de la ration alimentaire permettent de corriger ces anomalies. Les bénéfices liés à une alimentation équilibrée sont connus. Cependant, la codification de l'exercice à introduire dans les programmes de remise à l'effort doit être confirmée par des études de plus grande ampleur. Les modalités concernant l'évaluation des paramètres d'oxydation des substrats énergétiques restent à simplifier afin de pouvoir les utiliser en pratique clinique. De plus, la puberté est, tant sur le point physiologique que psychologique, une période critique pendant laquelle une obésité peut se développer ou accroître son niveau. De nombreuses modifications occurrent lors de cette période, tant au niveau de la composition corporelle (augmentation relative de la masse grasse et diminution relative de la masse maigre) et métabolique (réduction de la sensibilité à l'insuline et modification de l'utilisation des substrats énergétiques) qu'au niveau psychologique. La puberté devrait donc entraîner une modification de l'utilisation des substrats énergétiques lors de l'exercice. Enfin, l'adhésion des enfants aux programmes de remise à l'effort reste, avec l'adaptation de l'exercice aux capacités physiques, le principal obstacle à la réussite de la prise en charge de l'individu obèse (Epstein, 1995).

Le curriculum renvoie au latin « déroulement de la vie ». La conation est un champ de recherche qui tente d'expliquer ce qui pousse à agir, généralement dans le domaine de l'éducation. Le curriculum conatif regroupe les étapes immuables que traverse le pratiquant tout au long de son apprentissage des activités physiques et sportives.

L'analyse du curriculum conatif de l'enfant pubère obèse peut servir à déterminer les activités physiques qui permettraient d'obtenir une meilleure adhésion des enfants au programme de remise à l'effort en vue d'améliorer l'efficacité de la prise en charge. Nous nous sommes donc intéressés au cours de ce travail au métabolisme de l'enfant obèse et à sa remise à l'exercice au cours de la puberté.

**Objectifs.** Le but du travail était :

- *d'étudier la balance glucido-lipidique au cours de l'exercice chez l'enfant obèse pendant la puberté,*
- *d'étudier les effets de la puberté sur l'oxydation des substrats énergétiques selon le sexe,*
- *de comparer les effets de l'obésité sur la balance glucido-lipidique sur un groupe d'enfants pubères (sains vs obèses),*
- *de proposer une prise en charge par une modification des habitudes de vie physique et des programmes de remise à l'effort qui reposent sur une meilleure connaissance des bases physiopathologiques de l'obésité infantile et sur une analyse conative de l'activité physique, afin de faciliter l'adhésion de l'enfant au programme,*
- *d'étudier les effets de ce programme de remise à l'effort des enfants obèses lors d'un suivi longitudinal avec une évaluation intermédiaire à la fin de la première année.*

**Résultats.** La première partie du travail montre que :

- 1) *Chez le garçon, l'obésité est associée à des modifications de l'oxydation des substrats énergétiques au cours de l'exercice. L'oxydation des lipides est plus importante chez les enfants normo-pondérés par rapports aux enfants obèses pour des intensités d'exercice supérieures à 40 % de la VO2 max.*
- 2) *La puberté de l'enfant obèse entraîne des modifications de la balance de l'oxydation des substrats énergétiques au cours de l'exercice. La capacité à oxyder les lipides au cours de l'exercice diminue avec la puberté quand les débits d'oxydation lipidiques sont rapportés à l'importance de la masse maigre.*
- 3) *La puberté n'a pas les mêmes effets chez le garçon que chez la fille. Il semble qu'à 50 % de la VO2 max, le muscle de la fille obèse post pubère soit plus apte que le muscle du garçon obèse post pubère à mobiliser les lipides.*

Dans la seconde partie de notre travail, l'analyse conative de l'enfant obèse met en évidence les axes à privilégier pour la remise à l'effort de ce type de public :

- 1) l'axe structurel : réduction de la masse grasse et attitude par rapport à l'âge
- 2) l'axe fonctionnel : mise en place d'activités physiques adaptées qui vont différencier :
  - a. *les activités réalisées à 30 % de la VO2 max et qui feront partie d'un habitus de mode de vie (déplacement rapide à pied, utilisation du vélo, montée des*

*escaliers, diminution des temps passifs télévisuels et informatiques au profit des déplacements à l'extérieur).*

*b. les activités physiques et sportives classiques mais adaptées à des pourcentages proches de 45% de la VO2 max.*

3) *l'axe des savoirs faire* : *les apprentissages sont conditionnés par les modifications structurelles qui permettront le développement de nouvelles fonctionnalités. La réduction de l'importance des paramètres pondéraux va permettre à l'enfant d'apprendre de nouvelles choses.*

La troisième partie de notre travail montre que :

**La prise en charge de remise à l'effort (intégrant des données biologiques associées à une pédagogie conative) a permis de maintenir les débits d'oxydation des lipides à des valeurs initiales (45% et 47% de la VO2 max chez les garçons et chez les filles respectivement). Or, comme nous l'avons montré dans la première partie de nos travaux, la puberté diminue significativement la valeur des débits d'oxydation lipidique et la puissance à laquelle intervient le point d'oxydation maximal des lipides.**

**Conclusions.** La diminution de l'oxydation des lipides à l'exercice, constatée au cours de la puberté chez l'enfant obèse, et l'analyse conative des enfants obèses permettent d'apporter de nouvelles données pour mieux définir les axes de travail à mettre en œuvre lors des programmes multidisciplinaires de prise en charge de ce public. Nous avons défini des conduites à tenir qui prennent en compte l'effet combiné de la puberté et des anomalies métaboliques liées à l'obésité et le profil conatif atypique de l'enfant obèse.

#### **Publications :**

Zunquin et coll. *Appl Nutr and Metab* 2006

Bouglé & Zunquin. *Arch Ped* 2007

Zunquin et coll. *Br J Sport Med* 2008

Zunquin et coll. *J Sport Sci* 2009

#### **Bilan du DEA et du doctorat :**

Au cours de ces années de DEA et de doctorat, j'ai appris à élaborer des protocoles de recherche et à les mettre en œuvre avec le souci de respecter les règles éthico-administratives (e.g. choix de protocoles en adéquation avec l'Accord Général des Comités d'Ethique anciennement Comité Consultatif de Protection des Personnes dans la Recherche Biomédicale obtenu par mon laboratoire en cours de DEA, collaboration avec l'Association pour la Prévention et la prise en charge de l'Obésité Pédiatrique).

La collaboration avec différents services du CHU de Caen (Dr. D. Bouglé, Service de Pédiatrie, pour le recrutement des patients ; Pr. S. Allouche et Dr. F. Bureau service de Biologie Médicale pour les dosages ; Pr P. Rousselot et Dr. V. Rouleau, Service d'Anatomopathologie pour les analyses et le Dr. B. Sesboué, Service de médecine du sport) a été pour moi source d'échanges enrichissants avec des cliniciens intéressés par la recherche dans le domaine des sciences du sports qu'il ne connaissaient pas ou peu pour la plupart.

Je me suis formé à l'expérimentation animale et à la gestion du suivi d'un Protocole Hospitalier de Recherche Clinique (PHRC) au sein du Laboratoire de Physiologie et Digestive et Nutritionnelle du CHU de Caen.

Mes travaux de recherche en sciences du sport, co-dirigés par le Professeur et clinicien D. Theunynck (Médecin Anesthésiste Réanimateur) ont établi un lien naturel entre les sciences fondamentales et la pratique clinique (aspect pluridisciplinaire du travail).

Enfin, à la fin de ma thèse, j'ai eu l'opportunité d'assister le Pr. D. Theunynck dans l'encadrement d'un étudiant en DEA (puis en thèse), J. Vanhlest, qui a travaillé sur la prise en charge de l'enfant obèse. Ensemble, nous avons posé les bases d'un protocole de ré-entraînement d'une année en créant une junior entreprise (CEMHaVi, dont je suis toujours président) afin de prendre en charge des enfants obèses de la région dunkerquoise.

Cette expérience m'a permis d'établir des liens étroits avec les acteurs majeurs de la prise en charge hospitalière de l'obésité (liens que nous possédons toujours à l'heure actuelle et qui ont permis à L. Toulouse de décrocher une bourse de thèse en 2018). Au-delà de l'expérience de collaboration « scientifique », cela m'a appris à travailler en binôme et trouver des solutions aux difficultés inhérentes à la mise en place d'une étude longitudinale (trouver un cadre réglementaire, motiver les patients pendant toute l'année, gérer les parents des enfants...).

En décembre 2005, après la soutenance orale de mon travail de thèse, j'ai poursuivi mes travaux de recherche sur la prise en charge de l'enfant obèse.

Au cours de l'année 2007, lors d'un congrès, le Pr. D. Theunynck et moi-même avons convaincu le Pr. P. Fardy (Queen's College, New-York, USA) de venir se joindre à notre laboratoire pour une durée de six mois. La collaboration avec le Pr. P. Fardy s'est développée sur le thème de « l'éducation à la santé d'une communauté » à travers le Physical Activity and Teenage Health (PATH) program. J'ai alors compris l'importance de la mobilisation de tous les acteurs et notamment ceux institutionnels dont les décisions « politiques » permettent d'amplifier l'étendue de la prise en charge de l'obésité infantile.

D'un point de vue professionnel, ma carrière universitaire a débuté à l'Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO) en tant que vacataire puis comme Assistant Temporaire d'Enseignement et de Recherche (ATER) et enfin comme contractuel. Dans le même temps, au Laboratoire de Physiologie Digestive et Nutritionnelle de Caen, j'ai été Attaché de Recherche Clinique (ARC) pour un laboratoire privé qui effectuait des essais cliniques (LPDN ; CHU de Caen, Pr. Pierre Arhan, Laboratoires STANDA). Ainsi, j'ai

poursuivi mes activités de recherche clinique : ARC puis chef de projet clinique au sein d'une Contract Research Organization (CRO) jusqu'en Septembre 2010 (année de mon recrutement universitaire).

### III.3. Projets de recherche

**Septembre 2010 - Janvier 2015 :** Membre de l'EA 4110, Equipe Recherche Septentrionale en Sciences du Sport (ER3S), Recherche Littorale en Activités Corporelles et Sportives, Université du Littoral Côte d'Opale, Directeur de Laboratoire : Pr. D. Theunynck.

- **Projet Actions de Recherche Concertées d'Initiative Régional (ARCIR) :**  
« Activité physique et santé de l'enfant : Comprendre la physiologie de l'exercice chez l'enfant sain et pathologique afin de prescrire une activité physique adaptée à chacun ».
- **Projet Actions de Recherche Concertées d'Initiative Régional (ARCIR) :**  
« Groupe Interdisciplinaire de Recherche sur l'Anorexie Mentale : étude des phénomènes adaptatifs observables dans le tissu osseux, le fonctionnement cognitif, l'activité motrice et certains systèmes neurobiologiques chez un groupe de patientes ».

**Depuis Janvier 2015 :** Membre de l'EA 7369, Unité de Recherche Pluridisciplinaire Sport Santé Société (UREPSSS), Directeur de Laboratoire : Pr. S. Bertoin, Equipe 1 : thème : Adaptations et dysfonctions métaboliques à l'exercice, Dr. E. Heyman.

- **Projet COUTENERGOB :** « COUT ENERGétique de l'enfant OBèse » développé avec le service de pédiatrie de l'Hôpital Maritime de Zuydcoote (Dr. A. Schild).
- **Projet APAREXIM :** Activité Physique Adaptée et anoREXie : « Contribution à valider un programme d'APA pour des patientes souffrant d'anorexie mentale, et d'établir des recommandations précises concernant l'encadrement de l'activité physique adaptée dans la prise en charge de ces patientes ».
- **Projet HISCEO :** Haute Intensité et Santé Cardiovasculaire de l'Enfant Obèse : « Impact d'un entraînement "High Intensity Interval Training" (HIIT) sur les capacités aérobies, la pénibilité de l'effort, les cinétiques d'oxygénation musculaire et les capacités aérobies de l'enfant obèse - Applications pour une prise en charge clinique adaptée » développé avec le service de pédiatrie de l'Hôpital Maritime de Zuydcoote (Dr. A. Schild).

### III.3.1. Projet 1 – Activité physique et santé de l'enfant obèse

#### III.3.1.1. Contexte général

**Intitulé du projet :** Prise en charge par les activités physiques adaptées de l'enfant obèse, santé métabolique et création d'habitudes de vies « saines ».

**Co-investigation :**

Ma part dans ces projets est la suivante:

**Thèse 1 :** « Le programme CEMHaVi chez des enfants en surcharge pondérale. Affinement de l'accélérométrie comme outil d'évaluation des habitudes de vie physique et suivi longitudinal de deux années d'une prise en charge pluridisciplinaire » 50% pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 20 % pour la réalisation des expérimentations (réalisées en majorité par J. Vanhelst) – 50% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

**Thèse 2 :** « Impact d'un entraînement High Intensity Interval Training (HIIT) sur le coût énergétique, la pénibilité de l'effort, l'oxygénation cérébrale et musculaire et sur les capacités aérobies de l'enfant obèse - Applications pour une prise en charge clinique adaptée » 80 % pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 5% pour la réalisation des expérimentations (réalisées en majorité par L. Toulouse) – 70% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

**Doctorants**

**Jeremy Vanhelst, Thèse soutenue le 28/09/2009**

Co-tutelle de thèse – Directeurs, encadrant et niveau d'encadrement : Université du Littoral Côte d'Opale (EA 4110) : Pr. D. Theunynck (80%), CHU Dr. L. Beghin (20%).

**Louis Toulouse, Thèse débutée le 01/10/2018**

Co-tutelle de thèse – Directeurs, encadrant et niveau d'encadrement : Université du Littoral Côte d'Opale : Dr. H. Devanne (20%), Dr. G. Zunquin (80%).

**Collaborations**

Dr. D. Bouglé (CHU de Caen, CH Bayeux),  
Dr. A. Schild (CH Zuydcoote),  
Dr. C. Aron (CH Zuydcoote),  
Dr. H. Devanne (ULCO, URePSSS),  
Pr. P. Fardy (Quen's College, Université de New-York New-York).

**Financements**

2018 Pôle Métropolitain Côte d'Opale / Université du Littoral Côte d'Opale. Salaire pour 3 années.

**Ethique & Réglementaire**

Accord du Comité de Protection des Personnes (Lille Nord Ouest IV) par J. Vanhelst & Accord pour prise en charge au CH Zuydcoote (Louis Toulouse)

**Niveau d'avancement du protocole** : Thèse 2 en cours.

***Publications spécifiques aux études du projet « santé métabolique »***

**Etude 1:** Vanhelst J, Zunquin G, Theunynck D, Mikulovic J, Bui-Xuan G, Béghin L. Equivalence of accelerometer data for walking and running : treadmill versus on land. J Sports Sci. 2010; 27(7) 669-675.

**Etude 2:** Vanhelst J, Marchand F, Fardy P, Zunquin G, Loeuille GA, Renaut H, Mikulovic J, Hurdiel R, Béghin L, Theunynck D. The CEMHaVi program: control, evaluation, and modification of lifestyles in obese youth. J Cardiopulm Rehabil Prev. 2010; 30(3):181-155.

**Etude 3:** Impact of braking-relaunching phases on cardiorespiratory responses and perceived exertion of severely obese adolescents during incremental walking: interest of an intermittent protocol. Soumis à Journal of Sport Sciences.

***Soutenance de thèse de L. Toulouse*** : prévue pour Septembre 2022

---

### III.3.1.2. Contexte scientifique

---

L'obésité a connu une croissance régulière en France entre 1995 et 2010, touchant toutes les couches de la population avec un impact et des conséquences pathogènes à moyen et long termes plus importantes dans les groupes socialement défavorisés et notamment en Nord-Pas de Calais (Rapport Obepi, 2006).

Approximativement, 80% des adolescents obèses avec un IMC supérieur au 95<sup>ème</sup> percentile, le restent à l'âge adulte (Dietz, 1998).

Les prises en charge sont complexes car pluridisciplinaires (psychologiques, nutritionnelles, sportives).

A partir de mes travaux de thèse sur la prise en charge de l'obésité, notre équipe (ER3S, RELACS) a choisi de se placer le plus en amont possible de la genèse de cette pathologie en travaillant à l'affinement des stratégies thérapeutiques pour limiter l'obésité infantile. La méthodologie retenue consiste à évaluer, sur une étude longitudinale, des conduites à tenir et des programmes de réentraînement reposant sur des modèles validés par une expérimentation scientifique.

#### Deux axes ont été retenus :

- l'éducation à la santé,
- l'activité physique adaptée, notamment dans l'optimisation de ses modalités (codification et individualisation, obtention de l'adhésion des enfants au programme de remise à l'effort) qu'il est nécessaire de valider sur de larges populations.

La première phase de travail réalisée par l'équipe avait pour objectif de définir et optimiser les niveaux d'activité physique souhaitables pour la prise en charge des enfants obèses, notamment en fonction de l'âge (impact de la puberté et du sexe) et vérifier ces résultats lors d'une étude longitudinale de suivi d'enfants pubères (Zunquin, 2005). Une réflexion a été tenue sur les méthodes à employer pour favoriser la réussite des programmes de remise à l'effort (analyse conative, développement d'activités physiques adaptées) : des conduites à tenir ont été élaborées et utilisées pour le travail longitudinal.

Les points importants émergents de ce travail sont :

- La nécessité d'une prise en charge très précoce, avant et pendant la puberté.
- Le travail à des niveaux de  $\dot{V}O_2$  faibles (45%+/-5) à différencier selon le sexe.
- La mise en place de parcours d'Activités Physiques Adaptées personnalisés, en dehors des pratiques physiques institutionnelles (scolaires), tenant compte des analyses conatives des enfants et adolescents.
- La mise à disposition d'outils fiables de suivi de l'habitus de vie physique.

Les habitudes alimentaires et les habitudes d'activité physique s'établissent dès les années préscolaires et jusqu'à l'adolescence. Les travaux de notre équipe ont corroboré les nombreux travaux publiés en démontrant que le faible niveau d'activité physique (et pas seulement de pratique sportive mais surtout d'habitus de vie physique) des

enfants obèses est l'un des facteurs les plus importants dans l'augmentation de la prévalence de ce phénomène.

Le questionnaire d'activité physique est l'outil le plus régulièrement utilisé pour évaluer les habitudes de vie de l'individu au cours de sa prise en charge (Shephard, 2003). Cependant, comme il semble que les individus obèses tendent à surévaluer leurs dépenses énergétiques quotidiennes, le questionnaire d'activité physique présente certaines limites dans cette évaluation (Shephard, 2003).

La deuxième étape de recherche a donc consisté, à partir de matériels classiques de mesure (accéléromètres, cardio-fréquencesmètres) à développer des outils de terrain, facilement utilisables par un adolescent, lui permettant de suivre quotidiennement son activité physique afin, dans une approche didactique, de l'aider à acquérir de façon ludique un habitus de vie physique.

Nous nous sommes donc intéressés au cours de ce travail à :

- Mettre au point un outil d'évaluation de l'activité physique quotidienne,
- Analyser la reproductibilité d'un programme de prise en charge pluridisciplinaire de l'obésité infantile (suite programme effectué dans le cadre de mon travail de thèse à Caen),
- Mettre en relation la condition cardio-respiratoire avec les facteurs de risque métaboliques, les paramètres inflammatoires et les niveaux de transaminases hépatiques.

---

### **III.3.1.3. Etude 1 – Equivalence entre les données accélérométriques pour la marche et la course : tapis roulant vs sol réel**

---

#### **1) Introduction**

L'évaluation de l'activité physique quotidienne (APQ) est essentielle pour la recherche sur les déterminants de l'obésité pédiatrique. Plusieurs méthodes existent pour estimer l'APQ : les questionnaires d'activité physique, les podomètres, la méthode d'enregistrement de la fréquence cardiaque, la calorimétrie indirecte, l'eau doublement marquée ou encore l'accélérométrie (Craig et coll., 2003 ; Leenders et coll., 2006 ; Pereira et coll., 1997). L'accélérométrie est une méthode objective et directe pour évaluer l'APQ. Elle mesure les mouvements du corps en termes d'accélération et de décélération. Elle est reproductible et c'est l'une des techniques les plus précises. Elle est de plus totalement non invasive. Elle est souvent utilisée pour estimer les profils d'activité physique pendant de longues périodes d'évaluation (Westerterp, 1999). Les recherches cliniques et épidémiologiques (Nijsen et coll., 2005; Treuth et coll., 2004) utilisent largement cette technique comme outil d'évaluation de l'APQ ou de la dépense énergétique dans les conditions habituelles de vie.

En considérant les aspects de chaque outil de mesure, l'accélérométrie semble donc, pour estimer l'APQ (Welk, 2008), être le meilleur compromis entre la validité et la faisabilité.

Pour utiliser les accéléromètres dans les conditions habituelles de vie, des études préliminaires de calibration et de validation réalisées en laboratoire sont nécessaires. De nombreuses études portent sur cet aspect de calibration et d'évaluation des seuils des accéléromètres (Actigraph, CSA, Actical, Actiwatch, Caltrac, TriTrac, RT3) (Puyau et coll., 2002 ; Treuth et coll., 2004). Ces études, réalisées en laboratoire, utilisent un tapis roulant et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, cela permet le contrôle de l'intensité de l'activité physique. En effet, en fonction de la vitesse et de la pente (degré d'inclinaison) du tapis roulant, on peut agir sur la dépense énergétique. La seconde raison est que le déplacement sur un tapis roulant serait similaire à un déplacement sur le sol réel. À notre connaissance, il n'y a aucune donnée disponible ou étude publiée, qui prouvent l'équivalence des données accélérométriques obtenues entre le tapis roulant et le sol réel.

Le but de cette étude était donc de vérifier cette équivalence avec l'accéléromètre RT3 chez le sujet sain afin de valider cet appareil pour l'utilisation sur sol réel.

## 2) Matériels et Méthodes

### ○ Sujets

Avant le début du protocole et afin de participer à l'étude, tous les sujets ont été informés et ont signé un consentement éclairé.

Cinquante volontaires sains, (35 hommes et 15 femmes) ont été inclus dans l'étude selon les critères d'inclusion du tableau 2. Tous les sujets étaient des étudiants universitaires dans la section « Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (Département STAPS, Université du Littoral Côte d'Opale, France).

L'étude a été conduite selon les recommandations des Bonnes Pratiques Cliniques (BPC) et Internationals Conferences on Harmonization (ICH).

**Tableau 2 :** Critères d'inclusion et de non inclusion à l'étude

<b>Critères d'inclusion</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- âge compris entre 18 et 40 ans</li><li>- examen clinique normal</li><li>- un état nutritionnel normal à l'inclusion défini par un rapport poids/taille<sup>2</sup> (BMI) compris entre 18,5 et 24,9 kg/m<sup>2</sup></li></ul>
<b>Critères de non inclusion</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- maladie chronique comme mucoviscidose, pathologie digestive, reflux gastro-œsophagien</li><li>- infection aiguë évolutive datant de moins d'une semaine</li><li>- refus de participation au protocole ou défaut d'observance prévisible</li><li>- participation à une autre étude</li></ul>

- **Procédures**

Les sujets ont réalisé deux évaluations, une sur le tapis roulant et une sur le sol réel. L'étude a été randomisée, la moitié des sujets a commencé par le test sur tapis roulant, et l'autre moitié a commencé par le test sur le sol réel. Afin d'éviter de biaiser cette étude, les sujets ont porté le même accéléromètre RT3® pour chaque évaluation.

- Lors de la première évaluation, chaque sujet a été mesuré et pesé. Les sujets ont porté un accéléromètre triaxial RT3® au niveau de la taille à leur droite durant les différents tests. Concernant l'évaluation sur le tapis roulant, les sujets ont été familiarisés avec cet appareil en ayant une période de marche à leur vitesse préférentielle pendant 5 minutes. Une fois la période de familiarisation terminée, les sujets ont effectué quatre tests de 10 minutes chacun sur le tapis roulant aux vitesses suivantes : 4 km/h et 6 km/h (marche) et 8 km/h et 10 km/h (course). L'inclinaison du tapis roulant était de 3% afin d'avoir les mêmes conditions biomécaniques et physiologiques que sur le sol réel (Garniet et Rouillon, 1997). Le tapis roulant utilisé est le tapis roulant Marquette 2000 (SOMA Technology®, Cheshire, Etats-Unis). Il est calibré par le fabricant chaque année.

- Pour la deuxième évaluation, un terrain de handball a été utilisé pour contrôler les facteurs environnementaux (c'est-à-dire, le sol était parfaitement horizontal, il n'y avait aucun vent et les conditions thermiques étaient similaires). Les sujets ont marché et couru le long de la ligne du terrain. Les dimensions d'un terrain de handball sont de 40 mètres de longueur et 20 mètres de largeur. Les quatre coins du terrain ont été arrondis pour une marche et une course plus facile. Le périmètre total du terrain était ainsi de 116 mètres. En effet, chaque coin sur le terrain a été arrondi de sorte que les sujets évitent de donner des coups de hanche (où l'accéléromètre était attaché) afin de reproduire une marche et une course identique au tapis roulant. Pour assurer une vitesse exacte et correcte, le terrain était matérialisé par des plots espacés de 29 mètres tout le long du parcours. Le sujet devait passer devant le plot à un temps imposé, calculé selon la vitesse donnée (marche ou course). Par exemple, pour assurer une vitesse de 4 km/h, les sujets ont accompli 5.75 tours avec un temps de passage à à respecter entre chaque plot de 26 secondes. L'investigateur a vérifié que les sujets passaient devant les plots au bon moment à l'aide d'un chronomètre, et a réglé la vitesse par l'intermédiaire de signaux oraux.

- **Mesures**

- **L'Accéléromètre triaxial**

Les accéléromètres ont été calibrés en fonction de l'âge, de la taille, et du poids de chaque sujet. L'intervalle de temps utilisé était d'une minute et les données ont été exprimées en moyenne de counts.min<sup>-1</sup> du vecteur magnitude. Un intervalle de temps à une minute a été choisi car il n'était pas nécessaire d'avoir une mesure chaque seconde puisque les sujets étaient sur des activités bien standardisées avec une intensité continue identique. Les accéléromètres RT3 ont été fixés à la ceinture, à la

droite du sujet. Chaque sujet a porté le même accéléromètre, au même endroit, pour les deux conditions. Ensuite, toutes les données ont été téléchargées via un ordinateur sur le logiciel Stayhealthy®.

Pour l'analyse statistique, la première et la dernière minute de chaque étape n'ont pas été utilisées, du fait de l'adaptation de la vitesse et de l'arrêt entre les différents tests.

- **La fréquence cardiaque**

La fréquence cardiaque a été mesurée à l'aide du cardiofréquencemètre Polar Favor® (Polar, Kempele, Finlande). L'émetteur est une ceinture, portée autour de la cage thoracique, et le récepteur, une montre, portée autour du poignet du sujet. La fréquence cardiaque a été enregistrée chaque minute pour toutes les activités.

Pour l'analyse, les trois premières minutes ont été retirées, car durant les premières minutes, les sujets ne sont pas à un état stable (Astrand et coll., 2003).

- **Analyse statistique**

L'objectif principal de cette étude était de vérifier l'équivalence des résultats obtenus en accélérométrie sur le tapis roulant et sur le sol réel. Le risque de première espèce (alpha) était fixé à 5 % et le risque de deuxième espèce (bêta) était fixé à 90 %. A partir des données de l'étude de Rowlands et coll. (2004), le critère d'évaluation (vecteur magnitude du RT3) donne une valeur moyenne de  $2000,3 \pm 338,7 \text{ counts.min}^{-1}$  sur tapis roulant à 4 km/h. La borne de non infériorité était fixée à 10% (soit  $200 \text{ counts.min}^{-1}$ ). Selon la formule développée par Gail,  $N = 2 \sigma^2 (\epsilon 2\alpha + \epsilon 2\beta)^2 / (\delta + \Delta c)^2$  (Gail, 1974), le nombre de sujets à inclure est de 50 pour démontrer un équivalence entre les deux modalités (tapis roulant versus sol réel).

Le test de Kolmogorov-Smirnov permettra d'évaluer la distribution des variables. L'équivalence des données entre le tapis roulant et le sol réel a été évaluée en utilisant des tests paramétriques. Les analyses statistiques ont été réalisées avec les logiciels SPSS® (SPSS, inc., Chicago, Illinois) et Microsoft Excel® (Microsoft, inc., Redmond, Washington).

Pour évaluer l'équivalence, nous avons utilisé deux méthodes. La première consistait à utiliser la formule d'équivalence développée par Wiens et Iglewicz (Wiens et Iglewicz, 2000). La seconde méthode était celle de Bland et Altman (Bland et Altman, 1986). Des tests *t* ont été utilisés pour comparer les données de la fréquence cardiaque obtenue sur le tapis roulant et sur le sol réel. La signification statistique a été définie en tant que  $p < 0,05$ .

Toutes les données accélérométriques ont été exprimées en  $\text{counts.min}^{-1}$ . Les différences moyennes ont été calculées par la soustraction moyenne des données obtenues sur le sol réel à celles du tapis roulant.

### **3) Résultats**

Selon le test de Kolmogorov-Smirnov, la distribution des variables suit une distribution normale. Dans ce contexte, l'analyse de données a été réalisée en utilisant des tests paramétriques.

Les valeurs de la fréquence cardiaque des 50 sujets sont présentées dans le tableau 3. Les moyennes et les écarts type sont exprimés dans les deux conditions (tapis roulant et sol réel) pour chaque activité. On peut observer des différences significatives entre les deux conditions pour toutes les activités ( $p < 0.001$ ).

**Tableau 3 :** Moyennes et écarts type des données de fréquence cardiaque (*bpm*) entre le tapis roulant et le sol réel à différents niveaux de vitesse

	<b>Tapis roulant</b>	<b>Sol réel</b>	<b><i>p</i></b>
<b>Marcher à 4 km/h</b>	107 ± 19,7	92 ± 16,1	< 0.001
<b>Marcher à 6 km/h</b>	127 ± 21,6	106 ± 1,9	< 0.001
<b>Courir à 8 km/h</b>	160 ± 20,5	145 ± 22,4	< 0.001
<b>Courir à 10 km/h</b>	173 ± 12,4	163 ± 19,6	< 0.001

Pour le test d'équivalence selon la formule de Wiens et Iglewicz, nous obtenons une équivalence entre le tapis roulant et le sol réel ( $p < 0.05$ ) (cf. tableau 4).

En ce qui concerne la méthode de Bland et Altman, une équivalence aux différents tests a été également obtenue car la différence moyenne était incluse entre les limites de l'accord (cf. tableau 4). Les données accélérométriques obtenues sur le tapis roulant n'excèdent pas 3,5 % de différence par rapport aux données obtenues sur le sol réel. Les moyennes de différences à 4 km/h, 6 km/h, 8 km/h et 10 km/h étaient de  $-41 \pm 129.8$ ,  $-68 \pm 173.2$ ,  $19 \pm 253.2$ ,  $38 \pm 270.2$  counts.min<sup>-1</sup>, respectivement (cf tableau 4). Ces différentes moyennes correspondent à 3,3%, 3,1%, 0,4%, et 0,8% respectivement entre le tapis roulant et le sol réel.

**Tableau 4 :** Equivalences et accords des données accélérométriques ( $counts \cdot min^{-1}$ ) entre le tapis roulant et le sol réel à différentes vitesses

				Données accélérométriques		Essai d'équivalence		Test de Bland/Altman			
	n	r	Moyenne de la différence $\pm$ ET (écart-type)	Tapis roulant	Sol réel	p	Équivalence	Moyenne des limites d'accord	Limites d'accord	Accord	
<b>Marche 1</b>	50	0,85	- 41 ( $\pm$ 129,8)	1178,4 (227,4)	1126,5 241,5) ( $\pm$	0,035	Oui	-79 à -3	-235 152	à	Oui
<b>Marche 2</b>	50	0,89	- 68 ( $\pm$ 173,2)	2119,8 (392,7)	2172,7 355,3) ( $\pm$	0,015	Oui	-118 à -18	-328 190	à	Oui
<b>Course 1</b>	48	0,92	19 ( $\pm$ 253,2)	4276,5 (637,5)	4270 ( $\pm$ 615,5)	0,001	Oui	-53 à 92	-360 398	à	Oui
<b>Course 2</b>	38	0,93	39 ( $\pm$ 270,2)	4851,6 (672,7)	4848,6 734,4) ( $\pm$	0,001	Oui	-48 à 126	-349 427	à	Oui

Marche 1 à 4 km/h ; Marche 2 à 6 km/h ; Course 1 à 8 km/h ; Course 2 à 10 km/h

#### 4) Discussion

Cette étude était la première à démontrer l'existence d'une équivalence des données obtenues par l'accéléromètre RT3® entre le tapis roulant et le sol réel. La différence des données de l'accéléromètre entre le tapis roulant et le sol réel n'excède pas 3,5 %.

Les données de la fréquence cardiaque ont présenté une différence significative entre le tapis roulant et le sol réel pour chaque test ( $p < 0.001$ ). Cependant, selon Garniet et Rouillon (1997), une pente de 3 % doit être imposée au tapis roulant pour reproduire les mêmes conditions biomécaniques et physiologiques que sur le terrain (Garniet et Rouillon, 1997). D'un point de vue biomécanique, le choix de la pente semble être correct car il y a une équivalence (avec les deux méthodes statistiques) entre les données obtenues par l'accéléromètre sur tapis roulant et le sol réel pour les quatre tests. Cependant, au vu des résultats de la fréquence cardiaque, nous pensons qu'une pente de 3 % est trop importante, pour reproduire le même état physiologique que sur le terrain. Habituellement, une inclinaison du tapis roulant à 3 % est employée pour réduire au maximum l'effet de la bande du tapis roulant. En effet, Frishberg (1983) a démontré qu'à chaque contact du pied avec la bande du tapis, le pied est immédiatement tracté vers l'arrière sans que le griffé qui caractérise le début de chaque cycle ne soit nécessaire (Frishberg, 1983). De plus, la phase pliométrique, c'est-à-dire la phase de rebond due à l'élasticité du quadriceps en contraction isométrique qui se produit normalement après le griffé et avant la phase isotonique de contraction est absorbée. À notre connaissance, le papier de Garniet et Rouillon (1997) est la seule source fournissant un chiffre sur la pente pour qu'un tapis roulant reproduise des conditions similaires au terrain. Ce choix d'inclinaison n'est pas démontré scientifiquement. L'utilisation d'une pente à 3% est probablement issue de données empiriques, ceci demande à être étudié. Une étude pourrait être réalisée sur la détermination d'une inclinaison du tapis roulant reflétant aussi bien que possible le terrain d'un point de vue physiologique.

Nigg et coll. (1995) ont reporté une variation cinématique des mouvements du corps entre le tapis roulant et le sol réel. Dans notre étude, il n'y a aucune influence sur les données accélérométriques par rapport aux variations possibles des variables cinématiques. De même, Nelson et coll. (1972) ont prouvé que le fonctionnement du tapis roulant était caractérisé par de plus longues périodes d'appui, de vitesses verticales inférieures, et de vitesses verticales et horizontales moins variables que sur le sol réel. Par conséquent, les auteurs ont conclu que les mouvements exécutés sur le tapis roulant produisent des changements cruciaux dans la démarche (Nelson et coll., 1972). Etant donné que beaucoup d'études sur l'accélérométrie sont effectuées en laboratoire, il est difficile de dire si ces données peuvent être extrapolées dans les conditions habituelles de vie. Freedson et coll. (1998) avaient déjà soulevé cette question lorsqu'ils avaient établi une équation de prédiction de la dépense énergétique en fonction des données obtenues par un accéléromètre uniaxial avec comme modes d'exercices plusieurs marches et courses à pied sur un tapis roulant. Freedson et coll. (1998) avaient recommandé que l'équation soit examinée et validée dans les conditions habituelles de vie car les auteurs pensaient que la démarche était différente entre le tapis roulant et le sol réel. Même si plusieurs auteurs soulevaient

une différence des variables cinématiques pendant une marche ou une course entre le tapis roulant et le sol réel, nos résultats ont confirmé qu'il n'y avait aucune influence directe sur les données obtenues par l'accéléromètre tridimensionnel RT3®.

A notre connaissance, il n'y avait aucune étude de vérification d'équivalence de l'accéléromètre RT3 entre le tapis roulant et le sol réel. Seulement une étude a évalué l'équivalence d'un accéléromètre : Levine et coll. ont signalé que les données obtenues par le Tracmor® étaient similaires, indépendamment si les sujets marchaient sur le sol réel ou sur le tapis roulant (Levine et coll., 2001). Leenders et coll. (2006) ont comparé la mesure de la dépense énergétique sur 7 jours consécutifs dans les conditions habituelles de vie selon différentes équations de prédiction avec deux accéléromètres (TriTrac-R3D® et Actigraph®) en comparaison avec la méthode de référence, l'eau doublement marquée. Les résultats qui en ressortent sont que des quatorze équations de régression utilisées, seulement deux développées pour Actigraph® ont été sensiblement corrélées avec l'eau doublement marquée. Hors, ces deux équations validées par Leenders et coll. (2006) sont celles de Hendelman et coll. (2000) et Swartz et coll. (2000) où la calibration de l'accéléromètre uniaxial (Actigraph) n'a pas été faite sur tapis roulant, mais sur le terrain. Ces résultats peuvent émettre l'hypothèse qu'il existe peut-être une différence sur les données obtenues par l'Actigraph entre le sol réel et le tapis roulant.

A l'inverse pour l'accéléromètre RT3, nous avons démontré qu'il y avait une équivalence entre les sujets qui ont marché ou couru sur un tapis roulant et ceux qui ont marché ou couru sur le terrain. Les données obtenues en laboratoire peuvent donc être extrapolées dans les conditions habituelles de vie pour estimer l'APQ, indépendamment des variations biomécaniques (Frishberg, 1983 ; Levine et coll., 2001). N'ayant à notre disposition que des accéléromètres RT3, nous avons pu étudier que cet appareil. Cependant, vu le nombre significatif d'études de calibration et validation effectuées sur plusieurs accéléromètres différents (Actigraph, Actical, SenseWearArmband, Actiheart...), il semblerait judicieux de refaire le même schéma d'étude que celle-ci afin de vérifier s'il y a ou non une équivalence entre le terrain et le laboratoire.

## **5) Conclusion**

Les données obtenues par l'accéléromètre RT3 sont semblables (c'est-à-dire équivalente) entre le tapis roulant et le sol réel. Ces résultats suggèrent donc que l'accéléromètre RT3 peut être utilisé dans un laboratoire où la sécurité du patient est maximale. Ceci est très intéressant car les études de calibration de cet outil en laboratoire peuvent être extrapolées dans les conditions habituelles de vie (Chu et coll., 2007 ; Kavouras et coll., 2008). Cette étude a montré, aussi, qu'il y avait une différence au niveau de la fréquence cardiaque, et par conséquent au niveau de la dépense énergétique.

---

### III.3.1.4. Etude 2 – Le programme CEMHaVi contrôle, évaluation et modification des habitudes de vie chez l'enfant obèse

---

#### 1) Introduction

Le programme appelé CEMHaVi (Contrôle, Evaluation et Modification d'un Habitus de Vie) est un programme de prise en charge de l'obésité infantile. Il associe une prise en charge par des activités physique adaptées et un programme d'éducation à la santé.

L'objectif premier de ce programme est d'améliorer la santé des enfants et adolescents en surcharge pondérale par la création d'un habitus « santé » avec différents volets qui reposent sur des faits identifiés à partir de mes travaux de thèse :

- Stabiliser ou réduire l'IMC ;
- Améliorer la fonction cardiovasculaire ;
- Améliorer la condition physique ;
- Améliorer l'estime de soi ;
- Améliorer la qualité et la quantité de sommeil ;
- Développer et maintenir un habitus de vie physique et de « bonne santé ».

Ce programme est mis en place pour un suivi de trois années. Chaque année est superposée avec une année scolaire.

#### 2) Matériel et Méthodes

##### ○ Population

Les enfants et les adolescents sont intégrés dans ce programme après une consultation pédiatrique (au Centre Hospitalier de Dunkerque et à l'Hôpital Maritime de Zuydcoote). Lors de la consultation, les médecins proposent aux parents et enfants d'intégrer le programme de prise en charge de notre équipe, si les critères d'inclusion sont respectés et si une prise en charge du type de celle proposée par CEMHaVi est jugée nécessaire. Une fois le contact établi avec la famille et l'adhésion à ce programme obtenue, l'enfant va bénéficier d'un premier bilan (T0). Lors de sa première année de prise en charge, des séances d'activités physiques adaptées hebdomadaires sont proposées. Ces séances sont assurées par un professeur spécialisé en activité physique et adaptée. Les critères d'inclusion des enfants dans la prise en charge CEMHaVi sont donnés dans le tableau 5.

**Tableau 5** : Critères d'inclusion et de non inclusion au programme

---

<b>Critères d'inclusion</b>	- Obésité commune, non syndromique - Age compris entre 8 et 17 ans - IMC > 97ème percentile des courbes françaises - Examen clinique normal : absence de malformation ou dysmorphie, développement psychomoteur normal
<b>Critères de non inclusion</b>	- Obésité syndromique - Infection aiguë évolutive datant de moins d'une semaine - Refus de participation de l'enfant et/ou de l'un des parents au protocole ou défaut d'observance prévisible - Enfant sous mesure de protection de justice

---

Le but de la première année est de donner aux enfants le goût de l'activité physique par des exercices ludiques. Chaque enfant aura pu choisir librement l'activité physique qu'il souhaitait effectuer. Ces séances sont accompagnées de séances d'éducation à la santé et de rencontres/discussions avec l'enfant s'il le souhaite. A la fin de la première année, un bilan est réalisé, identique au premier T0 (+ 9 mois). Si l'enfant a progressé, en fonction des différents critères à atteindre (cf. tableau 6), il passe en seconde année. A l'inverse, l'enfant peut de nouveau effectuer une première année s'il n'a pas atteint les objectifs souhaités.

**Tableau 6** : Les critères mis en jeu dans l'évaluation de passage pour le programme

Thématique	Critère de passage	Critère de redoublement
Conation	Passage à l'étape 3 (technique)	Score inférieur à l'étape 3 (technique)
IMC	Stabilisation ou régression	Augmentation
Acceptation de l'enfant	Réponse favorable de l'enfant/famille	Réponse défavorable de l'enfant/famille

○ **L'éducation à la santé**

L'éducation à la santé comprenait une séance de 1h30 tous les trois mois. Pour cette partie, nous nous sommes basés sur le PATH Program (Physical Activity Teenage Health) du Pr. P. Fardy (Fardy et coll., 1996). Un livre a été donné aux enfants et adolescents avec cinq thématiques développées sous forme d'exercices ludiques.

- 1) Le premier chapitre était « Comment fonctionne mon cœur? ». Nous y avons développé l'anatomie et la physiologie du cœur, les facteurs de risques de maladies cardiovasculaires, et les effets de l'obésité sur le fonctionnement du cœur.
- 2) Le second chapitre parlait de l'activité physique. Dans celui-ci, nous avons développé différents questionnements:
  - Comment faire de l'exercice ?
  - A quelle intensité ?
 Nous avons également expliqué les bienfaits de l'activité physique, et les modalités de construction d'un programme d'exercices hebdomadaire.
- 3) La troisième thématique abordée était la nutrition. Au cours de ce chapitre, nous avons expliqué les différents nutriments (protéines, lipides, et glucides) et leurs rôles dans le corps humain, l'importance de l'eau dans l'alimentation, le cholestérol et ses liens avec les maladies cardiaques, la pyramide alimentaire et l'importance du petit déjeuner.
- 4) L'avant dernier point étudié était le stress. Ce chapitre avait pour but de fournir des informations à propos du stress, des éléments stressants, d'identifier « le bon et le mauvais » stress, les techniques possibles pour le gérer, les effets de l'activité physique et de la relaxation sur ce dernier.

- 5) Le cinquième et dernier point développé fut le sommeil. Il s'agissait d'expliquer la relation possible qu'il pouvait y avoir entre le sommeil et la surcharge pondérale.

Ces réunions se déroulaient en groupes restreints afin de favoriser au maximum le dialogue et les échanges. Les parents étaient invités à participer, sauf pour le chapitre sur le stress où seuls les enfants étaient conviés.

○ **Le sommeil**

Les paramètres de sommeil ont été obtenus grâce à des agendas de sommeil comportant des échelles visuelles analogues (EVA). Ces agendas de sommeil permettent d'évaluer la quantité et la qualité du sommeil. Les enfants et adolescents ont complété deux fois cet agenda de sommeil (au début et à la fin de l'intervention). Les enfants les plus jeunes recevaient l'aide de leurs parents.

Dans cet agenda, les enfants et adolescents ont coché l'heure à laquelle ils se couchaient et celle à laquelle ils se réveillaient. Si l'heure était pile, ils mettaient une simple croix en-dessous du chiffre correspondant. Dans le cas contraire, ils complétaient la case en ajoutant les minutes.

Les paramètres analysés grâce à cet agenda sont les heures de lever et du coucher et le temps de sommeil total (calculé par l'heure du coucher moins l'heure du lever). Pour évaluer la qualité du sommeil, nous avons combiné à l'agenda de sommeil, des EVAs. Les enfants ont ainsi pu évaluer leur forme durant la journée, la qualité de leur nuit, et leur forme au réveil.

○ **Les connaissances en santé**

Les connaissances en santé ont été évaluées par l'intermédiaire d'un questionnaire (Fardy et coll., 1996). Il est composé de 25 items. Il comporte des questions sur le cœur, l'activité physique, la nutrition, et le stress. Les enfants et adolescents ont complété ce questionnaire une fois avant les réunions d'éducation à la santé et une fois après les différentes sessions, soit 1 an plus tard. Les questionnaires ont été notés sur 25, chaque bonne réponse rapportant 1 point. La note totale a été recalculée sur 20.

○ **Les performances scolaires, sentiments de compétences et estime de soi**

Les performances scolaires ont été évaluées à l'aide des relevés de notes des participants et d'une grille d'entretien.

Après avoir eu l'accord, des parents, de l'enfant, du directeur de l'école et de l'enseignant principal, nous avons pu obtenir un entretien, en fin d'année scolaire, avec le professeur principal de l'enfant. Durant cet entretien, nous avons utilisé un questionnaire élaboré à l'aide du questionnaire de l'éducation nationale rempli par les enseignants à la fin de chaque année. Il était composé de deux axes majeurs : la notation et la vie de classe.

Concernant la notation, nous avons calculé le score avec la formule suivante : moyenne générale de l'élève / moyenne générale de la classe  $\times$  100. Nous avons utilisé cette formule, et non pas la note moyenne de l'élève car un biais aurait pu se créer. En effet, lors du premier trimestre, ce sont généralement des révisions et par conséquent, la moyenne risque d'être plus élevée par rapport aux deux autres trimestres, périodes d'apprentissages et de nouveautés pour l'enfant. C'est pourquoi, nous avons décidé de rapporter sa

moyenne par rapport à la moyenne de la classe (ce qui correspond à son classement au sein de la classe).

Pour la vie de classe, trois thématiques ont été abordées :

- L'acceptation de soi,
- Le sentiment de compétences,
- La capacité à travailler seul (l'autonomie).

Pour chaque thématique, l'enseignant avait quatre possibilités de réponses :

- (1) Pas du tout d'accord,
- (2) Presque d'accord,
- (3) Plutôt d'accord,
- (4) Tout à fait d'accord.

Ces réponses ont été pondérées afin de pouvoir établir un score pour chaque item, chaque thématique.

### 3) Résultats

**Tableau 7** : Caractéristiques des enfants et adolescents en surcharge pondérale lors de l'inclusion au programme CEMHaVi

	Garçons (n = 12)	Filles (n = 14)
Age (années)	12,3 (± 2,8)	13,4 (± 2,9)
Poids (Kg)	76,6 (± 26,4)	80 (± 23,9)
Taille (m)	156,3 (± 16,8)	158,5 (± 12,6)
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	30,4 (± 5,6)	31,2 (± 5,5)

Quatorze filles âgées de 13,4 ans (± 2,9) et douze garçons âgés de 12,3 ans (± 2,8) ont été inclus dans ce programme. La moyenne de l'IMC pour les filles était de 31,2 kg/m<sup>2</sup> (± 5,5) et 30,4 kg/m<sup>2</sup> (± 5,6) pour les garçons (cf. Tableau 7).

Les effets du programme CEMHaVi sur l'indice de masse corporelle (IMC) sont présentés dans le tableau 8. Après une année de suivi pluridisciplinaire, l'IMC des enfants est passé de 30,9 kg/m<sup>2</sup> à 29,7 kg/m<sup>2</sup>. Dans ce cadre, vingt sujets ont amélioré leurs caractéristiques anthropométriques et sont passés d'une obésité de grade 2 à une obésité de grade 1 (norme française de l'obésité infantile).

Les connaissances en matière de santé ont également été améliorées et sont passées de 56,6 % à 64,3 %.

Le programme CEMHaVi a également permis des améliorations significatives des performances scolaires des adolescents mais aussi de l'estime de soi et de l'autonomie.

En ce qui concerne les paramètres liés au sommeil, le programme a permis une amélioration significative de la qualité et de la quantité de sommeil après la prise en charge.

**Tableau 8 :** Effets du programme de prise en charge pluridisciplinaire chez des enfants et adolescents en surcharge pondérale suivis pendant une année

	Entrée du programme	Après 1 an de suivi
<b>Performance académique</b>		
Changement dans le classement de la classe	96,67 (±18,7)	98,12 (±22,9)
Estime de soi	6,59 (±2,3)	9,59 (± 1,5) <sup>a</sup>
Auto évaluation de la performance académique	9,39 (3,8)	12,39 (±3,3) <sup>a</sup>
Capacité à travailler seul	9,17 (±3,7)	12,39 (±2,7) <sup>a</sup>
Indice de Masse Corporelle (IMC ; Kg/m <sup>2</sup> )	30,9 (±5,5)	29,7 (±5,7) <sup>b</sup>
Connaissances en santé	56,6 (±13,6)	64,3 (±24,8) <sup>b</sup>
<b>Habitudes de sommeil</b>		
Heure du coucher	22,88 (±0,9)	22,4 (±0,9) <sup>a</sup>
Heure du lever	7,93 (±0,9)	8,21 (±1,1) <sup>b</sup>
Temps total de sommeil	8,99 (±0,8)	10,01 (±0,8) <sup>a</sup>
Qualité du sommeil	63,58 (±14,7)	67,53 (±15,6) <sup>b</sup>

<sup>a</sup> p < 0,001 ; <sup>b</sup> p < 0,05

#### 4) Discussion

Les études longitudinales comme le programme CEMHaVi sont nécessaires pour évaluer les résultats, à long terme, en matière de santé d'un programme de prise en charge de l'enfant et de l'adolescent obèse. Un suivi disposant d'un échantillon plus important et la présence d'un groupe « contrôle » sont suggérés. En effet, les aspects positifs de notre programme peuvent être une conséquence de l'étude ou peuvent être simplement le fait de changements normaux avec la croissance et le développement de l'adolescent.

Ces résultats préliminaires du programme CEMHaVi sont néanmoins encourageants, en particulier en ce qui concerne le nombre d'enfants qui sont passés de l'obésité de grade 2 à une obésité de grade 1. En effet, soixante-quinze pour cent des jeunes ont amélioré leurs caractéristiques anthropométriques (diminution de l'IMC de 30,9 à 29,7 kg/m<sup>2</sup>).

Les résultats de cette étude étaient similaires à ceux de Hofsteenge et coll. (2008) qui ont montré que 74% des enfants avaient une stabilisation ou une réduction leur IMC à la suite d'un programme d'exercices et d'éducation à la santé d'une durée de 6 mois.

L'exercice est l'un des facteurs qui contribue au maintien du poids à long terme (Van Dale et coll., 1990). L'activité physique améliore l'oxydation des lipides et peut être efficace pour réduire les risques cardiovasculaires. Dans le cadre du programme CEMHaVi, les exercices effectués sont des exercices d'intensité modérée. Zunquin et coll., (2008) ont suggéré que les garçons obèses doivent pratiquer des exercices à une intensité modérée pour augmenter la lipolyse et diminuer le tissu adipeux et ainsi les conséquences de l'adiposité sur la santé de l'enfant. Dans cette étude, afin de contrôler l'intensité des exercices qui étaient réalisés, nous avons utilisé une échelle de Borg (1998).

Dans le programme CEMHaVi, bien que l'intensité de l'exercice pratiqué ait été modérée, des résultats positifs sur la santé des enfants ont été obtenus. Les améliorations sur les connaissances de la santé cardiovasculaire ont également été détectées. Le niveau de ces

améliorations (+20 %) est du même ordre que celles retrouvées dans le programme PATH (Bayne-Smith et coll., 2004) qui est notre référence.

Ainsi, à la fin du programme CEMHaVi, les enfants et les adolescents appréhendent davantage :

- Le fonctionnement du cœur au repos et lors de l'exercice ainsi que les facteurs de risque qui mènent aux maladies cardiovasculaires,
- Les avantages de la pratique d'une activité physique régulière et de l'investissement personnel dans un programme d'exercices,
- La gestion du stress et les bienfaits d'une alimentation saine sur la santé.

Ainsi, ce programme a donné la possibilité aux enfants et aux adolescents d'apprendre des concepts qui leur permettent d'améliorer leur qualité de vie.

Dans ce programme, la qualité et la quantité de sommeil ont également été évaluées car il existe une relation entre la durée du sommeil et l'obésité. Touchette et coll., (2008) ont montré que lorsque la durée du sommeil est chroniquement réduite au cours de la petite enfance, le risque d'infection et de surpoids ou d'obésité sont augmentés. En effet, le déficit de sommeil est fréquent dans les pays industrialisés en raison de l'augmentation du temps d'écoute de la télévision et de l'utilisation d'Internet. La durée du sommeil est un facteur de risque potentiel ayant des implications cliniques, en particulier pour le traitement de l'obésité. Cette durée du temps de sommeil est modifiable. Le programme CEMHaVi suggère ainsi que l'amélioration de la qualité et de la quantité de sommeil chez les jeunes obèses fasse partie intégrante de la prise en charge.

Au cours de la première année de suivi, les enfants et les adolescents obèses ont atteint les recommandations concernant la durée de sommeil. Cela leur a permis d'améliorer la qualité de leur sommeil et de réduire les problèmes associés (fatigue récurrente à l'école, somnolence diurne etc). Il n'est pas possible de comparer les changements de notre intervention avec d'autres études, en raison de l'absence de programmes évaluant à la fois le programme sur l'obésité et les problèmes de sommeil. Toutefois, il est probable que les exercices intégrés au programme CEMHaVi puissent avoir eu un impact favorable sur le sommeil, comme le suggèrent les résultats d'une étude indiquant une meilleure qualité de sommeil chez les sujets actifs par rapport aux sujets sédentaires (Mauvieux et coll., 2003).

Ainsi, l'utilisation du programme CEMHaVi dans le domaine de l'éducation à la santé peut avoir eu un impact bénéfique.

L'estime de soi et le rendement scolaire sont associés à la santé physique et aux comportements cognitifs et psychosociaux inadaptés. Des études ont montré qu'il existait une association entre le surpoids et la diminution de la fonction cognitive (Li et coll., 2008), et la diminution de la qualité de vie (Swallen et coll., 2005).

Les diminutions de la qualité de vie et de la fonction cognitive contribuent à se sentir malade et incompetent et à diminuer l'estime de soi. Ainsi, le manque de confiance en soi se répercute directement sur le rendement scolaire et sur la capacité à travailler seul. En effet, si un enfant est capable de travailler seul, il renforce son sentiment d'être compétent et par conséquent son estime de soi et sa performance scolaire.

La condition physique possède des applications pour l'amélioration de la santé cognitive des enfants et des adultes. Hillman et coll. (2005) ont suggéré qu'elle peut être liée à un meilleur fonctionnement cognitif chez les préadolescents. Buck et coll. (2008) ont aussi montré que l'augmentation de la condition physique peut être bénéfique au développement des fonctions cognitives pendant le développement pubertaire. Le programme CEMHaVi suggère une amélioration du rendement et des résultats scolaire, de l'estime de soi et de la capacité à travailler seul.

## **5) Conclusion**

Les résultats liés au programme CEMHaVI, après la première année de l'étude, sont encourageants. Le programme multidisciplinaire d'exercice et d'éducation à la santé destiné aux enfants et aux adolescents obèses leur ont permis de réduire leur IMC et d'améliorer leur performance scolaire, leur estime de soi et leur capacité à travailler seul. De plus, la qualité et la quantité de sommeil des enfants ont été améliorées, ce qui a permis d'atteindre les recommandations pour limiter les problèmes de santé associés aux troubles du sommeil.

Le programme CEMHaVi devrait faire l'objet d'un suivi à plus long terme afin de déterminer s'il est possible d'améliorer durablement les habitudes de vie, de nutrition et de sommeil.

---

### III.3.1.5. Etude 3 – Evaluation du coût énergétique et de la perception de l'effort lors d'une évaluation clinique de l'aptitude à l'exercice aérobie chez le jeune obèse

---

#### 1) Introduction

La prévalence de l'obésité semble s'être stabilisée dans les pays occidentaux depuis les années 2000 (Olds et coll., 2011). En France, Vanhelst et coll. (2016) ont reporté des taux avoisinant les 16 % en moyenne entre 6 et 18 ans, de 2009 à 2013. Chez les enfants âgés de 6 à 15 ans, Péneau et coll. (2009) observaient déjà en France des taux d'obésité s'élevant à 15,8 % en 2002 et 14 % en 2008. Ce constat à priori optimiste masque néanmoins un fait préoccupant : l'aggravation du nombre de cas sévères observés ces dernières années (6,1 % d'obésité de grade 2 en 2013 contre 3,8 % en 2009). La prise en charge de l'obésité pédiatrique reste ainsi un enjeu prioritaire de santé publique. Les jeunes obèses présentent un risque élevé de maladies cardiovasculaires, une réduction des capacités cardiorespiratoires, un risque élevé de morbidité et une mortalité prématurée (Lobstein et coll., 2006). Les interventions pluridisciplinaires basées sur l'éducation à une hygiène de vie saine sont actuellement le moyen plus efficace pour lutter contre l'obésité pédiatrique.

La programmation d'activités physiques adaptées (APA) s'inscrit dans cette optique, constituant à la fois un traitement efficace, peu coûteux et applicable sur un groupe d'individus. Les bénéfices de l'exercice sur la santé et la qualité de vie du jeune obèse sont associés à une amélioration de la composition corporelle, des performances cardiorespiratoires, de l'estime de soi (Cataldo et coll., 2012) ou encore à la diminution de la perception de l'effort (Lazaar et coll., 2006).

L'optimisation de ces bénéfices repose sur la qualité des protocoles utilisés pour évaluer les capacités aérobies et paramétrer l'intensité des exercices à réaliser dans le cadre du programme de réentraînement. Les tests de terrain représentent une option peu coûteuse et permettent d'évaluer les capacités aérobies de plusieurs sujets simultanément. Cependant, les tests de terrain actuellement utilisés en clinique ne permettraient pas d'atteindre un état cardiorespiratoire maximal chez l'enfant obèse. Il est ainsi nécessaire d'éclaircir les réponses psychophysiologiques de l'enfant obèse lors d'un exercice incrémental pour mieux comprendre ce qui peut entraîner l'abandon au test avant d'avoir atteint un pic de  $VO_2$  reflétant l'aptitude maximale aérobie.

Le principal objectif de notre étude est de mesurer le coût énergétique (CE), les accélérations (A) et la pénibilité de l'effort (RPE) lors d'un exercice de marche/course adapté et progressivement incrémenté en comparant un exercice navette continu (type 20-MST) à un exercice intermittent (type SpT), afin de déterminer l'impact énergétique des PFR et de mesurer l'impact psychophysiologique de courtes périodes de récupération.

#### 2) Matériel et Méthode

- **Population**

Pour cette étude, nous avons sollicité la participation des adolescents obèses pris en charge au Service de Soins de suite et de Réadaptation de l'Hôpital Maritime de Zuydcoote (SSR

HMZ) ou participant au programme CEMHaVie, un programme d'activités physiques adaptées de deux séances d'1h30 hebdomadaires.

Les caractéristiques de cette population sont présentées dans le tableau 9 (voir section « Résultats »). Les critères d'inclusions sont : un âge compris entre 12 et 17 ans et une obésité définie par un IMC situé au-delà du 97<sup>ème</sup> percentile des courbes françaises (Rolland-Cachera et coll., 1991). Tous les participants étaient cliniquement aptes à réaliser un exercice de marche/course à pied. Ils furent reçus en salle d'activités au sein du SSR HMZ ou au plateau technique RELACS UREPSSS.

#### ○ Procédure expérimentale et description des tests

Lors d'une première session collective, nous avons recueilli des données anthropométriques au moyen d'une balance à impédancemétrie pour la composition corporelle (modèle TANITA DC 300) et d'une toise pour la taille. Cette session a également permis la présentation du protocole aux participants. Ceux-ci se sont familiarisés au port du matériel.

Les jours suivants, dans un ordre aléatoire, les participants ont réalisé trois exercices sous-maximaux aux modalités différentes, étalés sur trois sessions de 20 à 30 minutes réparties au maximum sur une semaine : un exercice continu (C), un exercice continu comportant 2 phases de freinage-relance (PFR) par minute (SC) et un exercice intermittent consistant en des phases successives d'exercice et de récupération de 15 secondes (I). Les sessions furent séparées d'une période minimale de 24 heures de récupération et se sont toutes déroulées au même horaire pour un même participant.

Les exercices consistaient à marcher durant 3 paliers consécutifs de 3 minutes chacun correspondant aux vitesses 3, 4, 5 et 6 km.h<sup>-1</sup>. Ce délai de 3 minutes semble suffire pour atteindre un état ventilatoire stable chez l'enfant obèse dont les échanges pulmonaires ne semblent pas altérés par rapport à l'enfant non-obèse (He et coll., 2005). Les paliers à réaliser correspondaient à des vitesses cliniquement atteignables pour des adolescents obèses. Afin de guider les participants, des plots furent disposés à intervalles réguliers de 4,17 mètres correspondant à la distance parcourue en 15 secondes à la vitesse d'1 km.h<sup>-1</sup>. Un signal retentissait toutes les 15 secondes permettant au participant de réguler sa vitesse au cours de l'épreuve. Afin de respecter la vitesse requise, le but était de franchir le nombre de plots correspondant à la vitesse (exprimée en km.h<sup>-1</sup>) en 15 secondes. Les participants ont été accompagnés par un expérimentateur tout au long des trois exercices afin de garantir le respect des vitesses et le timing des PFR. Pour les exercices en navette, la fréquence des PFR s'élevait à 1 toutes les 30 secondes, soit tous les 2 signaux.

En raison des contraintes spatiales imposées par le déroulement d'une épreuve continue en salle, pour C, les sujets devaient se déplacer le long d'un circuit comportant 2 virages larges à 180° (cf. figure 1). Pour des vitesses correspondant à de la marche rapide, nous avons estimé que l'éventuelle dépense énergétique induite par le déplacement en virage était négligeable : Lejeune et coll. (1998) ont observé que le CE sur une piste circulaire de 40 mètres et à des vitesses de course (~ 8 km.h<sup>-1</sup>) est comparable au CE observé en ligne droite. Pour le protocole continu navette et le protocole intermittent, les participants ont également utilisé ce tracé même lorsque cela n'était pas nécessaire, afin de contrôler un éventuel effet du parcours sur le CE et la RPE.

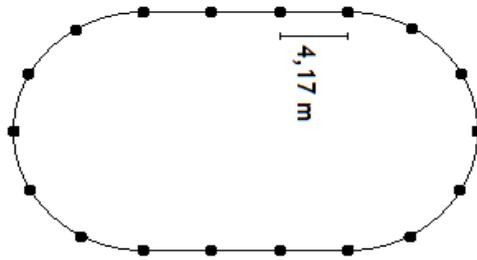


Figure 1 : Parcours utilisé pour l'étude 3.

- **Recueil des données**

- **Consommation d'oxygène**

Lors des épreuves, les participants furent équipés d'un analyseur de gaz respiratoires de modèle Cosmed K4b<sup>2</sup> (Rome, Italie), validé par Mc Laughlin et coll. (2001). Celui-ci permet d'obtenir la  $VO_2$  ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ). Celle-ci fut moyennée sur les 30 dernières secondes de chaque palier pour les exercices continus et sur les deux dernières périodes de 15 secondes d'exercice pour l'exercice intermittent. Avant la première épreuve, une mesure de la  $VO_2$  lors de la station debout fut réalisée pour le calcul du CE.

- **Accélérations**

Afin de calculer la quantité d'accélérations, les adolescents ont été équipés d'un système GPS (GPSport SPI Pro X) comportant un accéléromètre tri-axial, permettant de mesurer les accélérations avec une fréquence d'acquisition de 15 Hz. Maughan et coll. (2016) ont rapporté que l'accélérométrie est l'outil le plus valide pour quantifier le CE lors d'un exercice comportant des PFR. Les accélérations ont été moyennées lors des 30 dernières secondes de chaque palier pour les exercices continus et sur les deux dernières périodes de 15 secondes d'exercice pour l'exercice intermittent.

- **Perception de l'effort**

La perception de l'effort (RPE) fut indiquée par les participants à l'issue de chaque palier en s'appuyant sur la COPE-10 (Quinart et coll., 2016), une échelle de perception de l'effort validée chez l'enfant obèse. Cette échelle illustrée propose un système de cotation de 1 à 10, rendue ainsi plus accessible chez l'enfant et l'adolescent.

- **Calculs réalisés**

### ▪ Coût énergétique

A partir de la  $VO_2$ , le CE a été calculé pour chaque modalité d'exercice d'après la définition de di Prampero et coll. (1986) et le modèle utilisé par Peyrot et coll. (2009) :

- $CE = (VO_2(\text{palier}) - VO_2(\text{station debout})) / \text{vitesse}$

Le CE s'exprime en  $ml \text{ d'O}_2 \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$  ; la  $VO_2$  en  $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$  ; la vitesse entre  $m \cdot min^{-1}$ .

L'impact énergétique des PFR ( $CE_{PFR}$ ), correspondant au CE additionnel induit par les PFR, ainsi que celui des périodes de récupération ( $CE_{REC}$ ) ont été calculés grâce aux formules suivantes :

- $CE_{PFR} = CE_{SC} - CE_C$
- $CE_{REC} = CE_I - CE_C$

### ▪ Accélération associées aux PFR

Les données brutes d'accélération sont obtenues en  $g$  ( $g = 9,81 \text{ m} \cdot s^{-2}$ ). Afin de contrôler la marge d'erreur associée à la calibration du matériel, nous avons moyenné la baseline pour chaque exercice et pour chaque sujet sur une dizaine de secondes en position immobile. Cette baseline fut ensuite soustraite à la valeur d'accélération lors des exercices, puis convertie en  $km \cdot h^{-1} \cdot s^{-1}$  grâce au calcul suivant :

- $A = \text{valeur brute} * 9,81 * 3,6$

Le coefficient 3,6 permet de convertir une accélération exprimée en  $m \cdot s^{-2}$  en  $km \cdot h^{-1} \cdot s^{-1}$ . Les accélérations associées aux PFR ( $A_{PFR}$ ) ont été calculées pour le test navette ( $A_{PFR-SC}$ ) et le test intermittent ( $A_{PFR-I}$ ) grâce à la formule suivante :

- $A_{PFR-SC} = A_{SC} - A_C$
- $A_{PFR-I} = A_I - A_C$

Les valeurs s'expriment en  $km \cdot h^{-1} \cdot s^{-1}$ .

## 3) Résultats

17 adolescents obèses âgés de  $15,2 \pm 1,6$  ans (11 filles, 6 garçons) ont participé à l'étude. Les populations filles et garçons étaient appariées pour l'âge ( $p = 0,21$ ), la masse ( $p = 0,66$ ) et l'IMC ( $p = 0,66$ ). Leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau 9.

Tableau 9 : Caractéristiques anthropométriques des participants.

Caractéristiques	Filles	Garçons	Total
Âge (ans)	$15,5 \pm 1,4$	$14,6 \pm 1,8$	$15,2 \pm 1,6$
IMC ( $kg \cdot m^{-2}$ )	$38,9 \pm 6,4$	$37,2 \pm 10,4$	$38,3 \pm 7,8$
Masse (kg)	$102,0 \pm 18,1$	$108,1 \pm 43,1$	$104,1 \pm 28,2$
Masse grasse (%)	$45,8 \pm 4,8$	$37,2 \pm 8,6 *$	$42,8 \pm 7,4$

Différences significatives: \* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,1$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$ .

○ Consommation d'oxygène

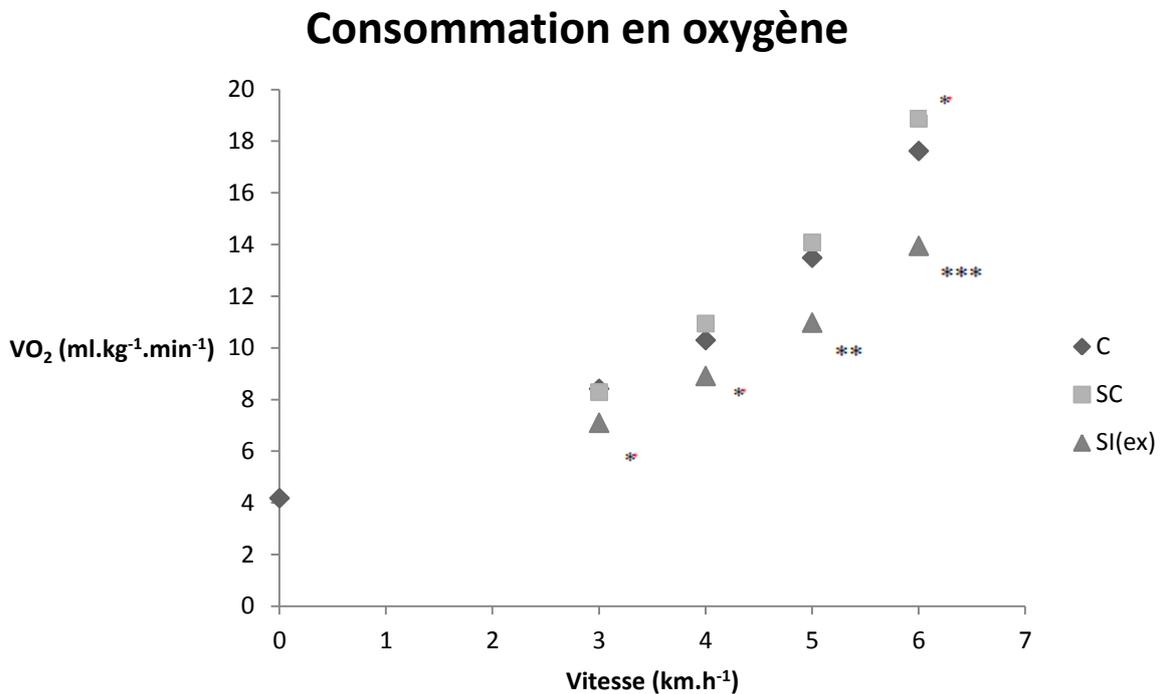


Figure 2 : VO<sub>2</sub> en fonction de la vitesse et du type de protocole. SC = protocole continu navette, I = protocole intermittent.

Différence par rapport à l'exercice continu : \* : p < 0,05 ; \*\* : p < 0,1 ; \*\*\* : p < 0,001.

Lors de la station debout, la VO<sub>2</sub> des participants s'élevait en moyenne à  $4,2 \pm 1,0$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> en corrélation moyenne avec la masse grasse des sujets ( $r = -0,48$ ,  $p < 0,06$ ).

La figure 2 indique les données de VO<sub>2</sub> en fonction de la vitesse de marche et du type de protocole. Lors du test continu navette, la VO<sub>2</sub> n'a augmenté significativement qu'à 6 km.h<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ). En présence de courtes périodes de récupération, la VO<sub>2</sub> associée aux périodes d'exercices a diminué significativement pour chaque palier, de  $1,3 \pm 2,5$  à  $2,5 \pm 8,7$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> de 3 à 6 km.h<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$  à 0,001). Ainsi, les PFR n'auraient pas impacté la VO<sub>2</sub> significativement pour des vitesses inférieures ou égales à 5 km.h<sup>-1</sup>.

## Impact énergétique de 2 PFR par minute en fonction de la vitesse

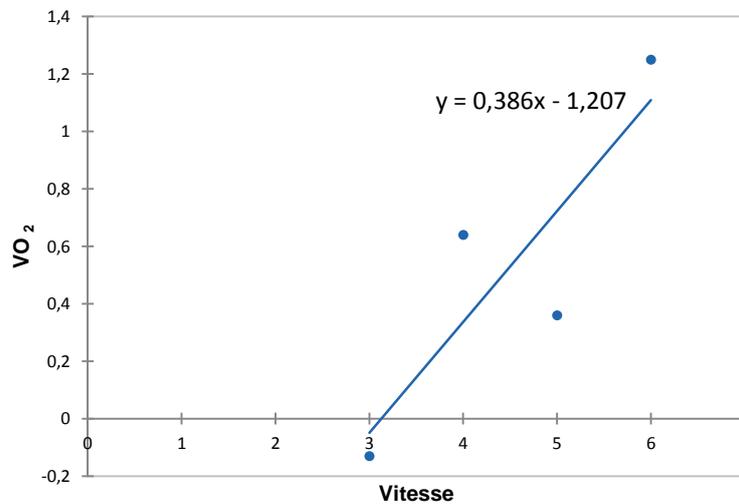


Figure 3 : Modèle de prédiction du coût associé à 2 PFR par minute en fonction de la vitesse de marche.

Enfin, le coût associé à 2 PFR par minute n'a pas été significativement associé à la vitesse d'après notre modèle de régression linéaire ( $p = 0,13$ ). Le modèle est tout de même représenté sur la figure 2 :

- $VO_2(2 \text{ PFR}) = 0,386 * \text{vitesse} - 1,207$

Suivant ce modèle, le coût associé à 1 PFR par minute pourrait être calculé ainsi :

- $VO_2(\text{PFR}) = 0,193 * \text{vitesse} - 0,6035$

### ○ Coût énergétique et Perception de l'effort

La figure 3 indique l'impact des PFR et des courtes périodes de récupération sur le CE et la RPE. Les données sont exprimées en pourcentage de variation par rapport au protocole continu.

## Coût énergétique

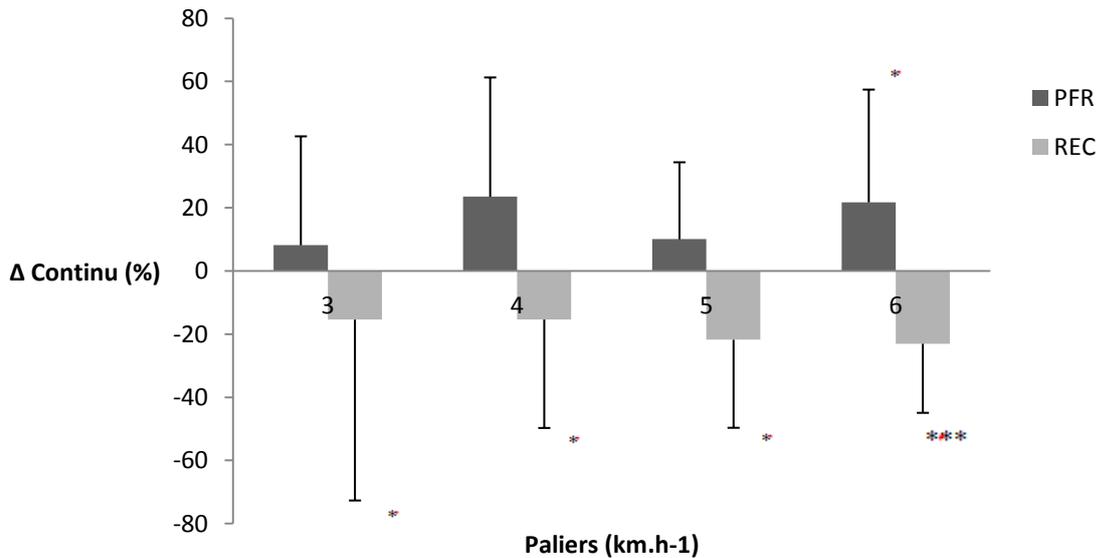


Figure 4 : Variations relatives du CE en fonction de la vitesse et du type de protocole.

PFR = protocole continu navette, REC = protocole intermittent.

\* :  $p < 0,05$  ; \*\* :  $p < 0,1$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$ .

### ○ Impact des PFR

D'après les analyses statistiques, la présence de 2 PFR par minute augmente significativement le CE ( $p < 0,05$ ) et la RPE ( $p < 0,01$ ) à 6 km.h<sup>-1</sup>. Les ANOVAs indiquent que le sexe n'a pas influencé le CE ni la RPE (non représenté ici).

### ○ Impact des courtes périodes de récupération

Dès le palier 3 km.h<sup>-1</sup>, une diminution du CE ( $p < 0,05$  à 0,001) a été observée grâce aux périodes de récupération. La RPE diminue aux paliers 4 et 5 km.h<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ), mais non significativement à 6 km.h<sup>-1</sup> ( $p = 0,65$ ).

### ○ Accélération

La quantité totale d'accélération augmente significativement jusqu'à 5 km.h<sup>-1</sup> ( $p < 0,05$ ). Les tests de corrélation indiquent qu'il n'existe pas de lien significatif entre l'augmentation de la quantité totale d'accélération et l'augmentation de VO<sub>2</sub> ni du CE, quelle que soit la vitesse ( $p > 0,11$ ). La quantité totale d'accélération n'a pas été différente entre le protocole continu et le protocole intermittent quelle que soit la vitesse.

## 4) Discussion

L'objectif de cette étude était de mesurer le coût énergétique, les accélérations et la pénibilité de l'effort lors d'un exercice incrémental de marche chez l'adolescent obèse, en comparant un exercice continu, un exercice continu comportant des phases de freinage-relance et un exercice comportant des courtes périodes de récupération.

### ○ Données anthropométriques

Le degré élevé d'obésité des participants de cette étude (Z-score = 2,3 et 2,57 pour les filles et les garçons, respectivement) est représentatif des obésités rencontrées dans les établissements de type SSR. Le niveau d'adiposité est plus important que celui des adolescents ayant déjà expérimenté le Spartacus test (IMC =  $33,9 \pm 3,6$  et IMC =  $34,5 \pm 4,1$  dans les études de Rey et coll., 2016 et Thivel et coll., 2016, respectivement). Notre échantillon était apparié pour le sexe puisque nous n'avons pas observé de différences entre les filles et les garçons concernant l'IMC ( $38,9 \pm 6,4$  vs  $37,2 \pm 7,3$ ,  $p = 0,66$ ). Les filles sont surreprésentées dans notre étude ainsi que dans celle de Thivel et coll. (2016). Selon le médecin pédiatre, ces dernières seraient plus disposées psychologiquement à participer à des séjours de plusieurs semaines au sein d'un SSR.

Afin de calculer l'augmentation de la  $VO_2$  induite par le déplacement des participants, nous avons mesuré la  $VO_2$  lors de la station debout et obtenu une valeur de  $4,2 \pm 1,0 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ , en corrélation avec la masse maigre. Le pourcentage de masse maigre expliquerait 81 % de la dépense énergétique au repos (Rasvussin et coll., 1986) ce qui traduit l'importance d'augmentation sa masse musculaire pour augmenter sa dépense énergétique totale.

### ○ Intérêt du protocole

La mise en place de trois types d'exercices de marche à des vitesses équivalentes nous a permis de déterminer plus précisément l'impact des PFR et des courtes périodes de récupération sur le CE et la RPE.

Lors d'un test navette, le nombre de PFR par minute augmente proportionnellement avec la vitesse de course puisque la distance est constante (20 mètres). Ainsi, les participants réalisent 3 PFR par minute à  $4 \text{ km.h}^{-1}$  et 5 PFR par minute à  $6 \text{ km.h}^{-1}$ . En 2014, Quinart et coll. ont validé chez le jeune obèse le test de marche/course navette adapté de 20 mètres (TMNA-20), une version du 20-MST dans laquelle 6 paliers ont été ajoutés préalablement pour que le palier de départ corresponde à la vitesse de  $4 \text{ km.h}^{-1}$ . Lors de ce test, les participants sont contraints de réaliser au minimum 3 PFR par minute. Dans notre protocole, nous avons fixé le nombre de PFR à 2 par minute, un stimulus que nous avons jugé suffisant pour induire des sollicitations physiologiques perceptibles à l'étage pulmonaire tout en étant acceptable pour des adolescents que l'on rencontre dans un SSR. Par ailleurs, nous pensons que l'apparition de contraintes psychophysiologiques à 2 PFR par minute témoignerait du caractère peu adapté du test navette, étant donné que celui-ci se caractérise par la réalisation d'au minimum 3 PFR par minute.

Par ailleurs, notre protocole intermittent correspondait au Spartacus test réalisé aux paliers 3 à  $6 \text{ km.h}^{-1}$ . La version originale du Spartacus test impose une vitesse de départ de  $7 \text{ km.h}^{-1}$  ce

qui correspond à de la course. Etudier les réponses psychophysiques lors de ce test pour des vitesses de marche ( $< 7 \text{ km.h}^{-1}$ ) nous a semblé utile dans la mesure où tous les adolescents obèses ne sont pas capables de réaliser un exercice de course à pied. Cette analyse complète ainsi les données obtenues par Rey et coll. (2016) et Thivel et coll. (2016) lors du Spartacus test et permet d'affiner l'interprétation de leurs résultats.

#### ○ Impact des PFR

Le premier objectif de ce travail était de déterminer l'impact des PFR sur le CE et la RPE lors d'un exercice incrémental de marche chez l'adolescent obèse. Nous avons observé que les sollicitations physiologiques et psychologiques étaient plus importantes lors du test navette pour des vitesses supérieures ou égales à  $4 \text{ km.h}^{-1}$  (vitesse du palier de départ lors du TMNA-20). Lors de l'exercice continu navette, la  $\text{VO}_2$  augmente significativement par rapport à l'exercice continu à partir de  $6 \text{ km.h}^{-1}$ . Le CE des participants est aussi plus élevé : les valeurs étaient comprises entre  $0,07 \pm 0,03$  à  $0,19 \pm 0,04 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$  pour les paliers 3 à  $6 \text{ km.h}^{-1}$ . Cela correspondait à une augmentation respective de 8 à 22 % (significative à  $6 \text{ km.h}^{-1}$  ;  $p < 0,03$ ). Aux paliers 3 et  $4 \text{ km.h}^{-1}$ , il est probable que les stimuli que représentaient les PFR n'aient pas été suffisamment intenses pour induire une augmentation de la  $\text{VO}_2$  perceptible avec un échantillon de 17 participants.

Lors de l'exercice en navette, la différence de RPE s'élevait respectivement à -2, 5, -3 (NS) et 14 % ( $p < 0,01$ ) pour les paliers 3, 4, 5 et  $6 \text{ km.h}^{-1}$  par rapport à l'exercice continu. Cela suppose que les PFR ont eu un impact équivalent sur le plan psychologique et physiologique.

Nos valeurs de CE sont supérieures aux données disponibles dans la littérature chez l'adolescent obèse. Peyrot et coll. (2009) observaient des valeurs comprises entre  $0,13 \pm 0,02$  et  $0,15 \pm 0,02 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$  pour des vitesses comprises entre  $0,75$  et  $1,5 \text{ m.s}^{-1}$  soit  $2,7$  et  $5,4 \text{ km.h}^{-1}$ . Nous avons observé des valeurs comprises entre  $0,08 \pm 0,03$  et  $0,18 \pm 0,04 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{m}^{-1}$  entre 3 et  $6 \text{ km.h}^{-1}$  pour des vitesses sensiblement plus élevées. Dans leur protocole, ces auteurs ont demandé aux participants de tenir l'allure durant 4 minutes, contre 3 minutes dans notre étude. Il est possible qu'aux paliers 3 et  $4 \text{ km.h}^{-1}$ , qui correspondent au début de l'exercice, les participants n'aient pas eu le temps d'atteindre un état ventilatoire stable. Toutefois, l'objectif de notre étude était d'étudier les mécanismes physiologiques qui se produisent au cours d'un exercice incrémental reflétant les conditions d'une évaluation cardiorespiratoire de terrain. Ainsi, les valeurs reportées par Peyrot et coll. (2009) pourraient ne pas s'appliquer à ce format spécifique d'exercice. Par ailleurs, nos participants avaient une masse corporelle plus élevée ( $102,0 \pm 18,1$  vs  $93,9 \pm 26,7 \text{ kg}$  dans l'étude de Peyrot et coll. (2009)) et devaient se déplacer à des vitesses légèrement plus élevées, ce qui pourrait expliquer les différences observables entre nos résultats.

Chez le footballeur, Hatamoto et coll. (2014) ont utilisé un protocole dans lequel les sujets se déplaçaient de  $3$  à  $8 \text{ km.h}^{-1}$  et effectuaient 5, 10, 13, 18 ou 30 PFR par minute. Ils ont conçu un modèle de prédiction de la  $\text{VO}_2$  en fonction de la vitesse et du nombre de PFR par minute :

$$\text{VO}_2 (\text{PFR}) = 0,152 * \text{vitesse} - 0,228$$

Cette méthode appelée « Different Frequency Accumulation Method » ou « DFAM » permet d'estimer la  $\text{VO}_2$  lors d'un exercice lorsque celui-ci comporte des PFR, ce qui est le cas dans de nombreuses disciplines collectives. En se basant sur ce modèle, le coût d'un PFR

s'élèverait à  $0.53 \text{ ml.kg}^{-1}$  à  $5 \text{ km.h}^{-1}$  et  $0.68 \pm 0,09 \text{ ml.kg}^{-1}$  à  $6 \text{ km.h}^{-1}$ . D'après notre modèle, 1 PFR par minute engendrerait un coût de  $0,36 \text{ ml.kg}^{-1}$  à  $5 \text{ km.h}^{-1}$  et  $0,55 \text{ ml.kg}^{-1}$  à  $6 \text{ km.h}^{-1}$ .

Bien que notre modèle n'ait pas été significatif ( $p = 0,13$ ), sa pente plus élevée ( $0,193$  vs.  $0,152$  dans notre étude vs. Hatamoto et coll., 2014), laisse présager que plus la vitesse augmente, plus le surcoût énergétique associé aux PFR augmente par rapport à un individu non-obèse. Ceci expliquerait l'augmentation de près de  $0,2 \text{ ml.kg}^{-1}$  de  $5$  à  $6 \text{ km.h}^{-1}$  observée chez le jeune obèse contre une augmentation estimée à  $0,15 \text{ ml.kg}^{-1}$  pour cette même transition chez le footballeur.

Les données GPS indiquent que la quantité d'accélération augmente en présence des PFR lorsque la vitesse est très faible ( $3$  à  $5 \text{ km.h}^{-1}$ ,  $p < 0,05$ ). De manière inattendue, celle-ci n'est plus significativement différente lorsque la vitesse atteint les  $6 \text{ km.h}^{-1}$  ( $p = 0,57$ ). Nos résultats affichent cependant une grande variabilité interindividuelle, suggérant que nos mesures aient été sujettes à des limitations méthodologiques. Il est également probable qu'à partir d'une certaine vitesse, la quantité additionnelle d'accélération induite par la présence de 2 PFR par minute devienne négligeable face à l'augmentation de la quantité totale d'accélération puisque celle-ci devient très élevée à mesure que la vitesse augmente, en raison d'un déplacement accru du centre de gravité sur le plan médio-latéral et d'une perturbation du cycle du pas (Nantel et coll., 2006 ; Peyrot et coll., 2009).

#### ○ **Impact des courtes périodes de récupération**

Le second objectif de notre étude était de mesurer l'impact de courtes périodes de récupération sur le coût énergétique et la perception de l'effort. Il semble que même à faible vitesse, l'impact des périodes de récupération sur le CE et la RPE soit significatif (figure 4), suggérant que l'exercice intermittent permette d'atteindre des intensités plus élevées pour un ressenti psychologique équivalent. Nous nous attendions cependant à une diminution plus marquée de la RPE (diminution de 3 à 15 %). En moyenne, les scores indiqués sur la COPE-10 s'élevaient à  $3,4 \pm 1,9$  pour l'exercice intermittent à  $6 \text{ km.h}^{-1}$  (exercice modéré). Étant donné le nombre restreint de valeurs disponibles en dessous de ce score (1, 2 ou 3), il est probable que la mesure de la RPE n'ait pas été suffisamment fine pour détecter une réelle différence par rapport à l'exercice continu, dont les scores s'élevaient à  $3,6 \pm 2,1$  à cette vitesse. Cette hypothèse pourrait être testée en mesurant la RPE avec une échelle plus discriminante que la COPE-10, telle qu'une échelle visuelle analogique. Enfin, il pourrait être intéressant d'étudier la relation entre la RPE et la  $\text{VO}_2$  lorsque l'on compare différentes formes d'exercice à vitesse équivalente, afin de tenir compte des variations d'intensités dans l'interprétation des données d'effort perçues.

#### ○ **Applications cliniques pour une prise en charge clinique adaptée**

Nos résultats indiquent que, lors d'un exercice continu réalisé en navette, à vitesse équivalente, les réponses psychophysiologiques sont supérieures en comparaison avec un exercice à trajectoire continue. Or, les adolescents obèses se caractérisent déjà par une faible aptitude aérobie en course à pied en raison de l'excès de poids (Peyrot et coll., 2009) et de faibles capacités motrices (Korsten-Reck et coll., 2007).

La pratique du TMNA-20 pourrait ainsi accentuer les difficultés qui se manifestent déjà lors d'un exercice continu. Par ailleurs, les faibles vitesses de course atteintes pour une RPE

identique pourraient entraîner un phénomène de démotivation dès l'inclusion dans le programme d'APA.

## 5) Conclusion

- Pour une augmentation de vitesse équivalente, l'augmentation du CE associé aux PFR serait plus marquée chez l'adolescent obèse que chez l'enfant sportif (footballeur).
- A partir de  $6 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ , 2 PFR par minute induisent une augmentation significative du CE et de la RPE.
- La marche intermittente de type 15-15 permet aux adolescents obèses de diminuer le coût énergétique et la perception de l'effort pour une vitesse et une perception de l'effort équivalentes.
- La variabilité des données suggère que le développement de nouveaux outils de terrain devrait tenir compte du degré d'obésité, des capacités aérobies et de l'âge des adolescents obèses.
- La mise en place d'un protocole intermittent (Spartacus test) et d'un protocole continu (test de marche/course navette adapté) permet de personnaliser davantage les protocoles d'APA et de diversifier les séances d'entraînement favorisant la motivation.

---

### III.3.1.6. Apports des travaux et perspectives

---

Dans une méta-analyse sur l'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) chez l'adolescent, Bond et coll. (2017) ont observé que l'atteinte de vitesses plus élevées au cours d'un effort était un facteur de motivation important chez l'enfant et l'adolescent. Nous avons observé lors du Spartacus test que grâce aux périodes de récupération, l'intensité de l'effort et la RPE diminuent lors des périodes d'exercices.

Ces résultats soutiennent l'intérêt de la mise en place du Spartacus chez l'adolescent obèse en clinique. En effet, malgré l'atteinte de performances cardiorespiratoires maximales comparables (Rey et coll., 2016, Thivel et coll., 2016), ce test procure aux adolescents un sentiment de performance physique (Rey et coll., 2016), élément favorisant la mise en place d'objectifs plus ambitieux.

Enfin, il a été récemment montré que les programmes HIIT permettent en quelques semaines d'obtenir une amélioration significative des capacités aérobies (Tjønna et coll., 2009, Dias et coll., 2018). De plus, l'exercice intermittent semble améliorer la perception de la condition physique chez le jeune obèse (Rey et coll., 2016). Racil et coll. (2016) ont observé que la RPE diminuait deux fois plus à l'issue d'un entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) qu'à l'issue d'un entraînement continu d'intensité modérée (MICT). Le paramétrage des exercices dans ce type de protocole n'a toutefois pas encore été effectué à

partir des performances d'un test intermittent (de type Spartacus) adapté à l'obésité, ce qui a pu limiter leur efficacité à l'échelle individuelle. La mise en place d'un programme HIIT pourrait ainsi s'effectuer à partir des performances au Spartacus test comme l'ont déjà suggéré Rey et coll. (2016).

---

### III.3.1.7. Références bibliographiques

---

- Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB.** Textbook of work physiology. 4ème édition. New York: McGraw-Hill; 2003.
- Bayne-Smith M, Fardy PS, Azzollini A, Magel J, Schmitz KH, Agin D.** Improvements in heart health behaviors and reduction in coronary artery disease risk factors in urban teenaged girls through a school-based intervention: the PATH program. *Am J Public Health* 2004 94: 1538-43.
- Bland, JM., & Altman, DG.** Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986 1, 307-10.
- Bond B, Cockcroft EJ, Williams CA, Harris S, Gates PE, Jackman SR, Armstrong N, Barker AR.** Two weeks of high-intensity interval training improves novel but not traditional cardiovascular disease risk factors in adolescents. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2015 309(6): H1039-47.
- Borg G.** Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Champaign, IL: Human Kinetics 1998.
- Buck SM, Hillman CH, Castelli DM.** The relation of aerobic fitness to strop task performance in preadolescent children. *Medicine and Sciences in Sports and Exercise* 2008 40: 166-72.
- Cataldo R, John J, Chandran L, Pati S, Shroyer L.** Impact of Physical Activity Intervention Programs on Self-Efficacy in Youths: A Systematic Review. *ISRN Obes* 2012 586497.
- Chu, EY., McManus, AM., & Yu, CC.** Calibration of the RT3 accelerometer for ambulation and nonambulation in children. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* 2007 39, 2085-91.
- Craig, CL., Marshall, AL., Sjostrom, M., Bauman, AE., Booth, ML., Ainsworth, BE.** International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* 2003 35, 1381-95.
- De Araujo AC, Roschel H, Picanço AR.** Similar health benefits of endurance and high-intensity interval training in obese children. *PloS One* 2012 7(8):e42747.
- Di Prampero PE, G Atchou, Briickner JC, Moia C.** The energetics of endurance of running. *Eur J Appl Physiol* 1986 55, 259-66.
- Dias KA, Ingul CB, Tjønnå AE, Keating SE, Gomersall SR, Follestad T, Hosseini MS, Hollekim-Strand SM, Ro TB, Haram M, Huuse EM, Davies PSW, Cain PA, Leong GM, Coombes JS.** Effect of High-Intensity Interval Training on Fitness, Fat Mass and Cardiometabolic Biomarkers in Children with Obesity: A Randomised Controlled Trial. *Sports Med* 2018 48 (3): 733-746.
- Dietz WH.** Childhood weight affects adult morbidity and mortality. *J Nutr* 1998 128(2 Suppl):411S-414S. doi:10.1093/jn/128.2.411S.
- Fardy PS, White RE, Haltiwanger-Schmitz K, Magel JR, McDermott KJ, Clark LT, Hurster MM.** Coronary disease risk factor reduction and behavior modification in minority adolescents: the PATH program. *J Adolesc Health* 1996 18(4): 247-53.
- Freedson, PS., Melanson, E., & Sirard, J.** Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* 1998 30, 777-81.
- Frishberg, BA.** An analysis of overground and treadmill sprinting. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* 1983 15, 478-85.
- Gail, P.** Power computations for designing comparative Poisson trials. *Biometrics* 1974 30, 231-237.
- Garniet A. & Rouillon, JD.** Biology applied to the sport (edited by Amphora) 1997 pp 25-6.
- Hatamoto Y, Yamada Y, Sagayama H, Higaki Y, Kiyonaga A, Tanaka H.** The Relationship between Running Velocity and the Energy Cost of Turning during Running. *Plos One* 2014 9 (1), e81850.
- He Q.Q., Wong T.W., Du L., Jiang Z.Q., Qiu H., Gao Y.** Respiratory health in overweight and obese Chinese children. *Pediatr Pulmonol* 2009 44: 997-1002.
- Hendelman, D., Miller, C., Bagget, E., & Freedson, PS.** Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* 2000 32, S442-S49.
- Hillman CH, Castelli DM, Buck SM.** Aerobic fitness and neurocognitive function in healthy preadolescent children. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2005 37: 1967-74.
- Hofsteenge GH, Weijs PJ, Chin A, Paw MJ, Delemarre-van de Waal HA.** First favourable results of the group education programme Go4it for overweight and obese adolescents. *Ned TijdschrGeneesk* 2008 152: 1628-33.
- Kavouras, SA., Sarras, SE., Tsekouras, YE., & Sidossis LS.** Assessment of energy expenditure in children using the RT3 accelerometer. *Journal Sports Sciences* 2008 26, 959-66.
- Korsten-Reck U, Kaspar T, Korsten K, Kromeyer-Hauschild K, Bös K, Berg A, Dickhuth HH.** Motor abilities and aerobic fitness of obese children. *Int J Sports Med* 2007 9: 762-67.

**Kumar S & Kelly AS.** Review of Childhood obesity: from epidemiology, etiology, and comorbidities to clinical assessment and treatment. *Mayo Clin Proc* **2017** 92(2): 251–65.

**Lau PW, Wong DP, Ngo JK, Liang Y, Kim CG, Kim HS.** Effects of high-intensity intermittent running exercise in overweight children. *Eur J Sport Sci* **2015** 15(2): 182–90.

**Lazaar N, Aucouturier J, Ratel S, Rance M, Bedu M, Duché P.** Effect of physical activity program on the rating of perceived exertion in obese vs non-obese children. *Science & Sports* **2006** 21: 104–106.

**Leenders, NY., Sherman, WM., Nagaraja, HN.** Energy expenditure estimated by accelerometry and doubly labeled water: do they agree? *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **2006** 38, 2165-72.

**Léger L., Lambert J., Goulet A., Rowan C., Dinelle Y.** Aerobic capacity of 6 to 17-year-old Quebecois-20 meter shuttle run test with 1 minute stages. *Can J Appl Sport Sci* **1984** 9 (2), 64-9.

**Lejeune TM, Willems PA, Heglund NC.** Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *J Exp Biol* **1998** 201: 2071–2080.

**Levine, JA., Baukol, PA., &Westerterp, KR.** Validation of the tracmor triaxial accelerometer system for walking. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **2001** 33, 1593-7.

**Li Y, Dai Q, Jackson JC, Zhang J.** Overweight is associated with decreased cognitive functioning among school-age children and adolescents. *Obesity* **2008** 16: 1809-15.

**Lobstein T, Jackson-Leach R.** Estimated burden of paediatric obesity and co-morbidities in Europe – part 2: numbers of children with indicators of obesity-related disease. *Int J Pediatr Obes* **2006** 1(1): 33–41.

**M, Fleming T & Robinson M.** Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet* **2014** 384(9945): 766–81.

**Maughan P, MacFarlane N, Turner T, Swington P.** A comparison of GPS doppler, and accelerometer based data to characterise metabolic cost in a linear running shuttle test. **2016** Conference Paper.

**Mauvieux B, Gouthiere L, Sesboue B, Davenne D.** A study comparing circadian rhythm and sleep quality of athletes and sedentary subjects engaged in night work. *Can J Appl Physiol* **2003** 28: 831–87.

**McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Bassett DR Jr, Ainsworth BE.** Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med* **2001** May;22(4): 280-84.

**Nelson RC, Dillman CJ, Lagasse P, Bickett P.** Biomechanics of overground versus treadmill running. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **1972** 4, 233-40.

**Nigg BM, De Boer RW, Fisher V.** A kinematic comparison of overground and treadmill running. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **1995** 27, 98-105.

**Nijssen TME, Arends JBAM, Griep PAM, Cluitmans A.** The potential value of three-dimensional accelerometry for detection of motor seizures in severe epilepsy. *Epilepsy and Behavior* **2005** 7, 74-84.

**Olds T, Maher C, Zumin S, Peneau S, Lioret S, Castetbon K, Bellisle, de Wilde J, Hohepa M, Maddison R, Lissner L, Sjoberg A, Zimmermann M, Aeberli I, Ogden C, Flegal K, Summerbell C.** Evidence that the prevalence of childhood overweight is plateauing: data from nine countries. *Int J Pediatr Obes* **2011** 6(5-6): 342-360.

**Péneau S, Salanave B, Maillard-Teyssier L.** Prevalence of overweight in 6- to 15-year-old children in central/western France from 1996 to 2006: trends toward stabilization. *Int J Obes* **2009** 33: 401-407.

**Pereira, MA., FitzerGerald, SJ., Gregg, EW., Joswiak, ML., Ryan, WJ., Suminski, RR.** A collection of Physical Activity Questionnaires for health-related research. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **1997** 29, S1-205.

**Peyrot N, Thivel D, Isacco L, Morin JB, Belli A, Duche P.** Why does walking economy improve after weight loss in obese adolescents? *Med Sci Sport Exerc* **2012** 44, 659–665.

**Puyau, MR., Adolph, AL., Vohra, FA., Butte, NF.** Validation and calibration of physical activity monitors in children. *Obesity Research* **2002** 10, 150-7.

**Puyau, MR., Adolph, AL., Vohra, FA., Zakeri, I., Butte, NF.** Prediction of activity energy expenditure using accelerometers in children. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **2004** 36, 1625-31.

**Quinart S, Gros Lambert A, Ecarnot F, Simon-Rigaud ML, Nicolet-Guénat M, Nègre V, Mougin F.** Validation of a new scale to measure perceived exertion in obese adolescents: the Childhood Obesity Perceived Exertion (Cope-10) Scale. *J Sports Med Phys Fitness* **2016** 56: 1013-20.

**Racil G, Coquart JB, Elmontassar W, Haddad M, Goebel R, Chaouachi A, Amri M, Chamari K.** Greater effects of high- compared with moderate-intensity interval training on cardio-metabolic variables, blood leptin concentration and ratings of perceived exertion in obese adolescent females. *Biol Sport* **2016** 33 (2): 145-52.

**Rapport Obepi (2006)**

**Rasvussin, E., S. Lillioja, and T. Anderson.** Determinants of 24-hour energy expenditure in man: methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest* **1986** 78: 1568–1578.

**Rey O., Maïano C., Nicol C, Mercier C.-S., Vallier J.-M.** Psycho-Physiological Responses of Obese Adolescents to an Intermittent Run Test Compared with a 20-M Shuttle Run. *J Sports Sci Med* **2016** 15, 451-59.

**Rowlands, AV, Thomas, PW, Eston, RG., & Topping, R.** Validation of the RT3 triaxial accelerometer for the assessment of physical activity. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **2004** 36, 518-24.

**Shephard RJ.** Limits to the measurement of physical activity by questionnaires. *British Journal of Sports Medicine.* **2003** 37: 197-206.

**Stoner L, Rowlands D, Morrison A.** Efficacy of exercise intervention for weight loss in overweight and obese adolescents: meta-analysis and implications. *Sports Med.* **2016** 46(11): 1737–51.

**Swallen KC, Reither EN, Haas SA, Meier AM.** Overweight, obesity, and health-related quality of life among adolescents: the National Longitudinal Study of Adolescent Health. *Pediatrics* **2005** 115: 340-7.

**Swartz, AM., Strah, SM., Bassett, DR., O'Brien, WL., King, GA., & Ainsworth, BE.** Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **2000** 32, S450-S56.

**Thivel D., O'Malley G., Blourdier D., Tremeaux M., Zanchet C., Pereira B., Ratel S.** Reproducibility of the intermittent Spartacus run test in adolescents with obesity. *J Sports Med Phys Fitness* **2016** 57 (9), 1083-88.

**Tjønnå AE, Stølen TO, Bye A, Volden M, Slørdahl SA, Odegård R, Skogvoll E, Wisløff U.** Aerobic interval training reduces cardiovascular risk factors more than a multitreatment approach in overweight adolescents. *Clin Sci* **2009** 116 (4): 317-26.

**Touchette E, Petit D, Tremblay RE.** Associations between sleep duration patterns and overweight/obesity at age 6. *Sleep* **2008** 31: 1507-14.

**Treuth, MS., Schmitz, K., Catellier, DJ., McMurray, RG., Murray, DM., Almeida, MJ.** Defining accelerometer thresholds for activity intensities in adolescent girls. *Medicine Sciences in Sports and Exercise* **2004b** 36, 1259-66.

**Treuth, MS., Sherwood, NE., Baranowski, T., Butte, NF., Jacobs, DR., McClanahan.** Physical activity self-report and accelerometry measures from the girls health enrichment multi-site studies. *Preventive Medicine* **2004a** 38, S43-S49.

**Vanhelst J., Baudalet J.B., Fardy PS., Béghin L., Mikulovic J., Ulmer Z.** Prevalence of overweight, obesity, underweight and normal weight in French youth from 2009 to 2013. *Public Health Nutr* **2016** 20 (6): 959-964.

**Welk, G.** New frontiers in physical activity assessment with pattern recognition technology. *International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement* (edited by JBJ. Bussmann, HLD. Horemans & HLP. Hurkmans) **2008** pp 43. Rotterdam.

**Westerterp, KR.** **Physical activity assessment with accelerometers.** *International Journal of Obesity Related Metabolism Disorder* **1999** 23, S845-9.

**Wiens BL, Iglewicz B.** Design and analysis of three treatment equivalence trials. *Control Clin Trials* **2000** 21(2): 127-37.

**Zunquin G, Theunynck D, Sesboué B, Arhan P, Bouglé D.** Comparison of fat oxidation during exercise in lean and obese pubertal boys: clinical implications. *Br J Sports Med* **2009** Oct;43(11): 869-70.

**Zunquin G.** Thèse de doctorat « Effet de l'obésité, de la puberté, Influence du sexe, Intérêt d'un suivi longitudinal et d'une analyse conative de l'activité physique pour le contrôle pondéral. Thèse soutenue le 31 Novembre **2005**.

### III.3.2. Projet 2 – Activité physique et santé osseuse

Dans le projet « **activité physique et santé de l'enfant obèse** », nous avons, à partir des bases physiopathologiques, proposé des recommandations pour une prise en charge de l'enfant et de l'adolescent obèses par des activités physiques adaptées. Ces recommandations ont été par la suite validées par le suivi longitudinal de deux années d'un groupe d'adolescents obèses (thèse J. Vanhelst). Enfin, dans notre troisième étude, nous avons fait évoluer des recommandations au regard de l'avancée scientifique en proposant un programme comprenant des exercices intermittents à haute intensité.

S'intéresser à l'obésité infantile et au métabolisme énergétique au cours de l'exercice signifie que l'on s'intéresse à la santé « métabolique » mais également à la santé d'une manière plus globale. En effet, la santé « métabolique » est une composante de la santé.

Dans mes premiers travaux sur le métabolisme énergétique au cours de l'exercice chez l'enfant obèse, les mesures de la composition corporelle effectuées par absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) sont corrélées à plusieurs paramètres métaboliques reflétant l'état de santé. Les données de la DXA permettent également d'évaluer la Densité Minérale Osseuse (DMO). La collaboration avec le Pr. Rawad El Hage de l'Université de Balamand au Liban sur le thème de la santé osseuse m'a permis d'exploiter ces données.

Une prise en charge des enfants obèses avec la pratique d'activités physiques améliore leurs paramètres métaboliques, leur santé cardiovasculaire mais aussi leur DMO. Un enfant ou un adulte jeune, avec une alimentation équilibrée et physiquement actif, possède une masse maigre élevée. Si, de plus, il a une vie équilibrée (comportant peu de stress) et dort bien, alors il a généralement une bonne DMO.

La masse osseuse est en effet sous l'influence de plusieurs déterminants sur lesquels on peut agir comme la nutrition, l'activité physique, la sédentarité, l'apprentissage de la gestion du sommeil, mais aussi des facteurs auxquels on ne peut pas agir comme les facteurs génétiques.

Dans le projet « **activité physique et santé osseuse** », nous nous sommes, dans un premier temps, intéressés aux effets de l'obésité et du surpoids (et de la composition corporelle) sur les valeurs de DMO et de Contenu Minéral Osseux (CMO) ainsi que sur les indices géométriques de la résistance osseuse de la hanche. Puis, nous nous sommes intéressés à l'impact des déterminants modifiables de la masse osseuse (dont l'effet de consommation maximale d'oxygène et de la composition corporelle) sur les paramètres osseux.

---

### III.3.2.1. Contexte général

---

**Intitulé du projet :                    **Activité physique et santé osseuse****

3 thèses ont été soutenues et 2 sont actuellement en cours

Ma part dans ces projets est la suivante :

**Thèse 1 : « Influence de la surcharge pondérale sur la densité minérale osseuse et la géométrie osseuse chez des adolescents et des jeunes libanais »** 30 % pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 5 % pour la réalisation des expérimentations (réalisées en majorité par Zaher El Hage) – 30% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

**Thèse 2 : « Relations entre le niveau de performance physique, le niveau d'activité physique usuel, les apports nutritionnels, les caractéristiques anthropométriques, le sommeil et les paramètres osseux chez les jeunes adultes sains »** 30 % pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 5% pour la réalisation des expérimentations (réalisées en majorité par Eddy Zakhem) – 30% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

**Thèse 3 : «Facteurs influençant les valeurs de TBS à différents âges de la vie et dans différentes situations physiologiques et pathologiques »** 30 % pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 5% pour la réalisation des expérimentations (réalisées en majorité par Marie Louise Ayoub) – 30% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

**Thèse 4 en cours : « Relations entre la puissance musculaire et les paramètres osseux (CMO, DMO, indices géométriques de résistance osseuse de la hanche et score de l'os trabéculaire) chez des jeunes adultes Libanais »** 30 % pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 5% pour la réalisation des expérimentations

(réalisées en majorité par Patchina Sebbagh) – 30% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

**Thèse 5 en cours** : « **Comparaison de l'efficacité de deux protocoles de football récréatif d'une année (2x1h /sem vs 2x30min/sem) sur la densité minérale osseuse et sur les paramètres de performance physique pour un groupe d'homme libanais inactifs âgés de 50 ans** » 30 % pour les idées à l'initiative des différents protocoles de ce projet (recherche bibliographique, questions/hypothèses, objectifs, méthodologie) – 5% pour la réalisation des expérimentations (réalisées en majorité par Boutros Finianos) – 30% dans le traitement des résultats et reviewing des articles.

## **Doctorants**

**Thèse 1** : Zaher El Hage, Thèse n°1 soutenue le 03 Juillet 2013. (ED 446 Biologie et Santé) Directeurs, encadrants et niveau d'encadrement : Université du Littoral Côte d'Opale (EA 4110) : Pr. D. Theunynck (25 %), Dr. G. Zunquin (25%), Pr. E. Moussa (25%), Dr. R. El Hage (25%).

**Thèse 2** : Eddy Zakhem, Thèse n°2 soutenue le 03 Juillet 2015. Université du Littoral Côte d'Opale (EA 7369) : Co-tutelle de thèse – Directeurs, encadrants et niveau d'encadrement : Université du Littoral Côte d'Opale (EA 7369) : Pr. D. Theunynck (25 %), Dr. G. Zunquin (25%), Pr. R. El Hage (50%).

**Thèse 3** : Marie Louise Ayoub, Thèse n°3 soutenue le 11 Juillet 2016. Université du Littoral Côte d'Opale (EA 4490) : Co-encadrements Pr. R. El Hage (25%), Dr. G. Zunquin (25%), Pr. B. Cortet (25%), Dr. I. Legroux (25%).

**Thèse 4** : Patchina Sebbagh : Thèse n°4 en cours, 1<sup>ère</sup> inscription Octobre 2017. Co-tutelle de thèse – Directeurs, encadrants et niveau d'encadrement : Université de Lille: Dr. G. Baquet (10 %), Pr. R. El Hage (60%), Dr. G. Zunquin (30 %).

**Thèse 5** : Boutros Finianos : Thèse n°5 en cours, 1<sup>ère</sup> inscription Octobre 2017. Co-tutelle de thèse – Directeurs, encadrants et niveau d'encadrement : Université du Littoral Côte d'Opale : Dr. H. Devanne (10 %), Pr. R. El Hage (60%), Dr. G. Zunquin (30 %).

## **Collaborations**

Dr. B. Cortet (CHU de Lille, Service de rhumatologie)

Dr. I. Legroux (CHU de Lille, Service de rhumatologie)

Dr. J. Vignau (CHU de Lille, Service d'addictologie)

Dr. G. Maalouf (CHU Bellevue, Beyrouth, Liban)

Dr. G. Baquet (URéPSSS, Université de Lille)

## Financements

- **Thèse n°1** : Projet Cèdre 2011 : Thèse Zaher El Hage
- **Thèse n°2** : ULCO /CNRS Libanais : Thèse d'Eddy Zakhem
- **Thèse n°3** : Hôpital de Zharta : Marie Louise Ayoub
- **Thèse n°4** : Financement privé : Patchina Sebbagh
- **Thèse n°5** : Centre d'évaluation de la santé « Gravity » : Boutros Finianos

**Ethique & Réglementaire:** Accord du comité d'éthique Français obtenu par le Dr. D. Bouglé  
Accord du Comité d'Ethique Libanais obtenu par le Dr. R. El Hage

**Le projet « Activité physique et santé osseuse » se décompose en deux parties :**

- a) **Influence du statut pondéral sur la masse, le Trabecular Bone Score (TBS) et la géométrie osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé**
- b) **Etude des déterminants de la masse osseuse : contribution relative de la consommation maximale d'oxygène, de la masse maigre et de la masse grasse aux valeurs de densité minérale osseuse et de TBS chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé**

**Publications associées aux études du projet 2 a :** « Influence du statut pondéral sur la masse, le TBS et la géométrie osseuse » :

- El Hage R, El Hage Z, Moussa E, Jacob C, Zunquin G, Theunynck D. Geometric indices of hip bone strength in obese, overweight and normal-weight adolescent girls. *Osteoporos Int.* 2012; 23(5): 1593-600.
- El Hage Z, Theunynck D, Jacob C, Moussa E, Baddoura R, Zunquin G, El Hage R. Bone mineral content and density in obese, overweight and normal weight adolescent boys. *J Med Liban.* 2013; 61(3): 148-54.
- Ayoub ML, Maalouf G, Bachour F, Barakat A, Cortet B, Legroux-Gérot I, Zunquin G, Theunynck D, Nehme A, El Hage R. DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014; 100(8): 850-855.
- Ayoub ML, Maalouf G, Cortet B, Legroux-Gérout I, Zunquin G, El Hage R. Trabecular Bone Score and Osteoporotic Fractures in Obese Postmenopausal Women. *J Clin Densitom.* 2016 Oct; 19(4): 544-545.

**Publications associées aux études du projet 2 b :** Etude des déterminants de la masse osseuse : « Contribution relative de la consommation maximale d'oxygène, de la masse maigre et de la masse grasse aux valeurs de densité minérale osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé » :

- El Hage R, Zakhem E, Zunquin G, Moussa E, Theunynck D. Regional distribution of bone mass in adult athletes and adult sedentary men. *Science & Sports*. 2013; 28(6) 342-345.

- El Hage R, Zakhem E, Zunquin G, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Performances in vertical jump and horizontal jump tests are positive determinants of hip bone mineral density in a group of young adult men. *J Clin Densitom*. 2015; 18(1): 136-139.

- El Hage R, Zakhem E, Zunquin G, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Does soccer practice influence compressive strength, bending strength and impact strength indices of the femoral neck in young men? *J Clin Densitom*. 2014; 17(1): 213-4.

- Zakhem E, El Hage R, Zunquin G, Theunynck D. Standing long jump performance is a determinant of bone mineral density in young women. *J Clin Densitom*. 2013; 16(2): 129-30.

- El Hage R, Zakhem E, Theunynck D, Zunquin G, Bedran F, Sebaaly A, Bachour F, Maalouf G. Maximal oxygen consumption and bone mineral density in a group of young Lebanese adults. *J Clin Densitom*. 2014; 17(2): 320-4.

- El Hage R, Zakhem E, Zunquin G, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Does soccer practice influence compressive strength, bending strength, and impact strength indices of the femoral neck in young men? *J Clin Densitom*. 2014; 17(1): 213-4.

**Niveau d'avancement des thèses en cours :**

***Soutenances de thèse de Patchina Sebbagh et Boutros Finianos*** : prévues pour Septembre 2021.

---

### III.3.2.2. Contexte scientifique général du projet « Activité physique et santé osseuse »

---

Dans le projet « activité physique et santé osseuse », nous nous sommes, dans un premier temps, intéressés aux impacts des paramètres anthropométriques et de la composition corporelle sur la Densité Minérale Osseuse (DMO) et le Contenu Minéral Osseux (CMO). Nous avons étudié, dans un second temps, les déterminants environnementaux de la masse osseuse. Cette partie introduit les éléments communs aux études menées dans le cadre de ce projet : capital osseux, influence des facteurs mécaniques, pathologies liées à un faible capital osseux.

Le capital osseux se construit pendant les premières décennies de la vie pour atteindre un maximum, puis se ramanie constamment. Ce capital est sous l'influence de facteurs génétiques et environnementaux.

#### 1) Les facteurs intervenants dans le capital osseux

##### ○ 1.1 Les facteurs génétiques

Le capital osseux est influencé par la multi-variation génétique dont l'individu dispose à la naissance. Cette multi-variation agit également comme un modulateur de la sensibilité du tissu osseux à de nombreux paramètres environnementaux comme l'activité physique (Simonen et coll. 2003 ; Ropponen et coll. 2004 ; Bonjour et coll. 2007) et les apports nutritionnels (Krall et coll. 1993 ; Garabedian, 1995).

Les études réalisées chez des jumeaux homozygotes permettent d'affirmer que la génétique est le déterminant principal du pic de masse osseuse, représentant environ 60 à 80 % de sa variabilité (Legrand et coll. 2002).

D'après Eisman (1999), l'effet des facteurs génétiques est plus important au niveau des zones riches en os spongieux, comme le rachis lombaire, que dans des zones riches en os cortical, comme le col fémoral. L'os cortical subit de nombreuses contraintes mécaniques liées au poids, à la masse maigre et à l'activité physique influençant sa structure (Eisman, 1999).

L'évolution de la masse osseuse de l'être humain au cours de sa vie peut être définie par trois grandes phases :

- **Phase 1** : Phase de croissance osseuse rapide, de la naissance à l'âge de 18-20 ans :

Cette phase engendre un capital osseux « de base » qui dépend de nombreux facteurs (génétiques en particulier, ainsi que mécaniques, endocriniens et nutritionnels). Durant cette phase, une amélioration de 10 % du pic de masse osseuse pourra retarder l'apparition de l'ostéoporose de 13 ans (Bonjour et coll. 2009 ; Reid, 2010).

- **Phase 2** : Phase en plateau qui dure une quinzaine d'années (entre 20 et 35 ans) :

Le pic de masse osseuse est moins élevé chez les femmes. Cette différence est liée aux dimensions corporelles et à la DMO surfacique plus élevées chez l'homme.

- **Phase 3** : Phase de résorption osseuse (perte osseuse ou ostéopénie) conduisant à l'ostéoporose :

Dans la dernière partie de la vie, la destruction du tissu osseux devient supérieure à sa création : c'est l'ostéoporose.

Chez l'homme, la perte osseuse (lente, constante et linéaire) diffère de celle des femmes en raison de la ménopause (période d'accélération de la perte osseuse) (Riggs et coll. 2002).

## ○ 1.2 Les facteurs environnementaux

### ▪ Les facteurs mécaniques : l'activité physique

L'activité physique joue un rôle très important à tous les stades de transformation osseuse. Chez les enfants et les adolescents, le squelette est plus sensible aux contraintes mécaniques imposées par des exercices physiques, tels que les sauts, qu'un squelette plus âgé (Bailey et coll. 1999 ; Wang et coll. 2005). La pratique d'exercices physiques comprenant des sauts et des impacts élevés avant la phase pubertaire joue un rôle très important dans l'élévation du niveau du pic de masse osseuse (Wang et coll. 2005).

Chez les jeunes adultes, l'activité physique, et plus spécifiquement les contractions musculaires de grandes intensités, permettent d'obtenir et maintenir une masse osseuse plus élevée (pic de masse osseuse) (Kato et coll. 2006).

Chez les adultes (au-delà de 35 ans), la formation osseuse ralentit et une perte de masse osseuse de 0,3 à 1 % par an commence. L'activité physique permet alors de ralentir cette perte de masse osseuse (Blanchet et coll. 1998, Nordin et coll. 1990).

Cinq concepts ont été avancés par le collège américain de médecine du sport (ACSM) pour expliquer les répercussions de l'activité physique sur la DMO :

- *La surcharge* : Le stimulus mécanique doit être supérieur à la normale pour qu'il y ait une réponse osseuse. Le principe du Mécanostat permet d'expliquer cette réponse ostéogénique à l'exercice physique (Frost 1987).
- *La spécificité* : La réponse ostéogénique due aux contraintes mécaniques subies lors d'un exercice physique est limitée au niveau du site sollicité. Des différences significatives ont été retrouvées au niveau de la géométrie osseuse de la hanche chez des joueurs de football de haut niveau par rapport aux sédentaires et de la géométrie osseuse des bras dominants et non dominants chez les joueurs de tennis (Ducher et coll. 2004 ; El Hage et coll. 2013).
- *Le capital de départ* : Débuter un entraînement physique avec une DMO basse permet d'espérer des bénéfices plus importants (Baxter-Jones et coll. 2008).
- *La réversibilité* : Si la pratique régulière d'une activité physique reste maintenue, les effets positifs au niveau de l'os persisteront sinon ils disparaîtront progressivement (Baxter-Jones et coll. 2008).
- *L'entraînabilité* : Génétiquement, chaque sujet a une limite de DMO. Ce potentiel génétique détermine l'entraînabilité du sujet. Plus il est élevé, plus les progrès potentiels du sujet sont importants (Bonjour et coll. 2009).

La réponse du tissu osseux aux contraintes mécaniques est définie par la théorie du mécanostat. Cette théorie correspond à un système régulateur présent dans le tissu osseux qui ajuste en permanence la masse et l'architecture osseuse aux contraintes mécaniques imposées au squelette. Cette théorie, élaborée par Frost (1987) est basée sur la présence de

quatre fenêtres correspondant à différentes classes de déformations osseuses ou microdéformations :

- Lorsque les stimuli mécaniques sont d'ordre physiologique (200-1500  $\mu\epsilon$ ), un équilibre entre formation et résorption osseuses sera obtenu (phase de conservation de la masse osseuse).
- Lorsque les stimuli mécaniques sont entre 1500-2500  $\mu\epsilon$ , ils entraînent une augmentation de la masse osseuse (formation osseuse > résorption) (Ehrlich et coll. 2002).
- Lorsque les contraintes imposées sont trop faibles de (0-50  $\mu\epsilon$ ), elles entraînent une diminution de la masse osseuse (résorption osseuse > formation).
- Lorsque les contraintes mécaniques sont de l'ordre de 25000  $\mu\epsilon$ , l'os présente un risque de fracture (Frost, 1987).

1000  $\mu\epsilon$  (microstrain ou uE) correspondent à une modification de la longueur de l'os de 0,10 %.

La déformation osseuse est influencée par l'amplitude et la fréquence d'application de la charge, la distribution des déformations au sein de l'os et le nombre de cycles appliqués par jour (Lanyon, 1996). Dès 1987, certains auteurs comme Rubin et Lanyon ont pu prévenir la perte osseuse cubitale par une série de stimulations mécaniques durant une minute par jour. Cela permet de suggérer que la fréquence des stimulations est l'une des variables mécaniques les plus importantes dans les adaptations osseuses, et non pas sa valeur absolue (Rubin et Mcleod, 1994, Turner et coll. 1994).

Dans la dernière partie de la vie de l'individu, la destruction du tissu osseux devient supérieure à sa création malgré l'activité physique : les cas d'ostéoporose deviennent plus fréquents.

## 2) Généralités sur l'ostéoporose et sur la mesure de la DMO

### ○ 2.1 Définition et diagnostic de l'ostéoporose

L'ostéoporose est une « maladie généralisée du squelette, caractérisée par une densité minérale osseuse (DMO) basse et des altérations de la microarchitecture osseuse, responsable d'une fragilité osseuse exagérée et d'un risque élevé de fracture » (WHO, 1994). Cette définition a été actualisée et simplifiée en 2001. L'ostéoporose est désormais reconnue comme « *une maladie générale du squelette, caractérisée par une diminution de la résistance osseuse prédisposant le patient à un risque accru de fractures* » (NIH, 2001). En effet, le concept de la résistance mécanique de l'os est devenu primordial quant à la compréhension de cette maladie très fréquente chez les personnes âgées (NIH, 2001). A noter que la notion d'altération de la qualité osseuse dépasse la seule microarchitecture osseuse (NIH, 2001).

L'organisation mondiale de la santé (OMS) a donc proposé en 1994 une *définition quantitative de l'ostéoporose basée sur la mesure de la DMO surfacique mesurée par DXA*. Pour ce faire, les valeurs de DMO de la personne sont comparées à une courbe de référence pour chaque site de mesure. Cette comparaison est notée en déviations standards (DS) pour les sujets adultes. Le T-score est utilisé chez les sujets adultes pour la définition de l'ostéoporose densitométrique. En pratique, « *le T-score correspond à la différence, en DS, entre la DMO mesurée et la valeur moyenne de l'adulte jeune au pic de masse osseuse* ». Le

calcul du T-score se fait de la manière suivante : (DMO du patient – DMO de l'adulte jeune de même sexe) / (DS de l'adulte jeune de même sexe).

L'OMS (1994) distingue différents « états » :

- Le sujet est normal quand son T-score > -1,
- Le sujet est ostéopénique quand son T-score est compris entre -1 et -2,5,
- Le sujet est ostéoporotique quand son T-score est strictement inférieur à -2,5,
- Le sujet est ostéoporotique sévère si son T-score < -2,5 et qu'il présente une ou plusieurs fractures.

La DMO est un paramètre central retenu pour la définition de l'ostéoporose. Il existe plusieurs méthodes de mesure de la DMO.

## ○ 2.2 Les méthodes de mesure de la masse osseuse

### ▪ 2.2.1 L'imagerie à résonance magnétique (IRM)

L'IRM a une bonne capacité à distinguer le tissu osseux et la moëlle osseuse, le tissu osseux étant très pauvre en protons, la moëlle osseuse en contenant beaucoup. C'est un examen privilégié pour iconographier le tissu osseux (Ducher et Blimkie, 2006) mais il n'est pas utilisé en routine du fait de son coût élevé et du temps d'immobilisation.

### ▪ 2.2.2 La tomographie (TDM)

Cette technique a l'avantage de fournir une mesure tridimensionnelle mais l'inconvénient d'une irradiation non négligeable.

La Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) permet de mesurer la DMO volumétrique des os périphériques (Ducher et Blimkie, 2006).

### ▪ 2.2.3 La radiographie et la radiogrammétrie

La radiographie permet de détecter les anomalies anatomiques mais n'est pas précise dans l'évaluation de la qualité de la masse osseuse. La radiogrammétrie apprécie l'os cortical périphérique par la mesure du rapport épaisseur corticale/diamètre osseux. Ces examens ne sont pas utilisés en routine à cause des taux d'irradiation élevés (mais inférieurs à la tomographie).

### ▪ 2.2.4 Les ultrasons

On admet actuellement que les paramètres ultrasonores mesurés au niveau du calcaneum (avec les techniques actuelles) reflètent pour 80 % la densité de l'os examiné. Ces mesures ne doivent pas être considérées comme des mesures directes de la qualité osseuse. Du fait de la simplicité de ces mesures, les campagnes de prévention et de détection précoce de l'ostéoporose utilisent souvent les techniques ultrasonores. Cette technique a aussi été utilisée chez les sujets en cours de croissance afin d'explorer l'effet des contraintes mécaniques sur l'os (Rocher et coll. 2008).

### ▪ 2.2.5 La DXA

La mesure par absorptiométriebiphotonique ou ostéodensitométrie est aujourd'hui reconnue comme la méthode de référence d'évaluation de la DMO. Elle est basée sur l'atténuation d'un faisceau de photons par les tissus. A l'origine, ce sont des sources

radioactives qui ont été utilisées pour produire le faisceau de photons. Depuis 1987 les sources radioactives ont toutes été remplacées progressivement par des générateurs de rayons X qui offrent l'avantage de produire un faisceau de photons plus intense et donc de raccourcir de façon importante la durée des examens. L'atténuation des photons dépend de la nature du milieu traversé, c'est à dire de sa densité. Pour cette technique de mesure, le corps humain est supposé composé de deux milieux : le tissu osseux et les tissus mous. L'utilisation de deux sources de rayonnement d'énergie différentes permet de séparer quantitativement ces deux milieux et d'en déduire ainsi la masse osseuse (Mazess et coll. 1988).

Les appareils de mesure de la DXA existants peuvent être classés en deux catégories :

- Ceux qui utilisent un faisceau de rayons X finement collimaté en pinceau pour lequel les mesures sont faites point par point,
- Ceux qui utilisent un faisceau en éventail pour lequel les mesures de tous les points d'une ligne sont faites simultanément.

La durée d'examen est plus courte avec un système fan beam (géométrie du faisceau en éventail) Les sites osseux généralement explorés sont les vertèbres lombaires, le col du fémur, l'avant-bras ou le corps entier. Les résultats du patient sont comparés à une courbe de référence pour chaque site de mesure. Cette comparaison en écarts types s'effectue avec deux valeurs :

- **Le T-score** : C'est la différence, en écarts types, entre la DMO mesurée et la valeur moyenne de l'adulte jeune. 
$$\text{Le T score} = \frac{\text{DMO du patient} - \text{DMO de l'adulte jeune de même sexe}}{\text{Ecart type de la valeur de l'adulte jeune de même sexe}}$$

- **Le Z-score** : C'est la différence, en écarts types, entre la DMO mesurée et la valeur moyenne des personnes du même âge et de même sexe. 
$$\text{Le Z score} = \frac{\text{DMO du patient} - \text{DMO des personnes du même âge et de même sexe}}{\text{Ecart type de la valeur des personnes du même âge de même sexe}}$$

Une déviation standard est de l'ordre de 10 à 15 pour cent de la moyenne selon le site et la courbe.

La mesure de la DMO par DXA est une mesure surfacique (en deux dimensions). Par conséquent, Katzman et coll. (1991) ont utilisé des formules mathématiques afin de calculer une DMO volumétrique à partir de la masse osseuse, de la surface osseuse et des dimensions osseuses. Ces formules s'appliquent au corps entier, au rachis lombaire, au col fémoral et au 1/3 Radial (Carter et coll. 1992). Ces formules sont spécifiques pour les sujets en cours de croissance (c'est-à-dire chez les enfants et les adolescents).

Dans cette population, les points suivants sont à signaler :

- La mesure de la DMO par DXA est une mesure surfacique et dépend donc de la taille des os qui varie en fonction de la croissance,
- La croissance osseuse est différente d'un os à l'autre,
- Les sites de mesure chez les enfants sont de préférence le rachis lombaire et le corps entier,
- Le stade pubertaire n'est pas homogène chez les enfants de même âge civil,
- Il existe une variation de l'épaisseur des parties molles d'un examen à l'autre en raison de la croissance,
- Les enfants très jeunes restent difficilement immobiles pendant toute la durée de l'examen,

- Chez les enfants, la majorité des variabilités du CMO et de la DMO est expliquée par le poids du corps (Khan et coll. 2004, Leonard et coll. 1998, Nelson et coll. 1999, Shore et coll. 1995, Van Coeverden et coll. 2001).

La DXA permet aussi d'extraire autres paramètres géométriques :

- La longueur de l'axe du col fémoral,
- La largeur ou surface de la région trochantérienne,
- L'épaisseur du cotyle,
- L'angle cervico-diaphysaire,
- La largeur du col fémoral,
- La largeur de la tête fémorale,
- La taille des os,
- La division de la DMO du col fémoral en moitié supérieure et moitié inférieure (Beck et coll. 1990 ; Faulkner et coll. 1994 ; Karlsson et coll. 1996 ; Turner, 1991).

La DXA est la méthode de référence pour le diagnostic de l'ostéoporose et de l'ostéopénie. Elle permet également d'apprécier l'adiposité totale et régionale. Malgré quelques limites, l'utilisation de la DXA est aussi validée chez les sujets en cours de croissance.

### III.3.3. Projet 2a : L'influence du statut pondéral sur la masse et la géométrie osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé (Thèses n°1 et 2)

---

#### III. 3.3.1. Contexte général du projet 2a

---

**Intitulé du projet :** L'influence du statut pondéral sur la masse, la géométrie et la micro-architecture osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé

**Collaborations** Professeur Ghassan Maalouf, Hôpital Bellevue, Beyrouth.  
Professeur Bernard Cortet, Service de rhumatologie, CHRU de Lille.

**Financements** Projet Cèdre  
Projet Agence Universitaire de la Francophonie

**Thèses associées** Z. El Hage  
ML. Ayoub

**Ethique & Réglementaire** Comité d'éthique Universitaire de l'Université du Liban, Balamand (Dr. R. El Hage) {alignement}

Bien que l'ostéoporose concerne surtout les femmes âgées, l'incidence de cette maladie augmente aussi chez les hommes âgés (Pande, 2001). La DMO mesurée par DXA est l'un des meilleurs facteurs prédictifs du risque fracturaire (Marshall, 1996).

Dans les deux sexes, le pic de DMO atteint à la fin de l'adolescence, est un déterminant important des risques ostéoporotiques et fracturaires à un âge plus avancé (Rizzoli et coll. 2010). Il a en effet été démontré qu'une augmentation de dix pour cent du pic de DMO peut retarder l'apparition de l'ostéoporose de 13 ans (Hernandez et coll. 2003).

Une stratégie d'augmentation du pic de DMO du sujet jeune est donc préconisée dans le domaine de la prévention de l'ostéoporose (Bonjour et coll. 2007).

Les études menées sur le pic de DMO montrent qu'il est influencé par plusieurs facteurs : génétiques, hormonaux (hormones sexuelles, IGF-1, GH, insuline, etc.), nutritionnels (apports en protéines, calcium, vitamine D) et mécaniques. Le genre et le style de vie (exposition au soleil et prise de certains médicaments) influencent également ce pic.

En ce qui concerne les facteurs mécaniques, le poids du corps, la masse maigre et la pratique d'activités physiques avec des impacts à haute contrainte biomécanique sont des

déterminants positifs de la DMO dans les deux sexes (Nikander et coll. 2005, Reid, 2002, Rizzoli et coll. 2010).

L'indice de masse corporelle (IMC) est considéré comme un déterminant positif de la DMO de la hanche et un déterminant négatif du risque de fracture chez les sujets âgés (Reid, 2010). Cependant, l'influence du statut pondéral (obèse, en surpoids, normo-pondéré et en sous poids) sur la DMO chez les adolescents et les jeunes adultes n'est pas complètement élucidée. En effet, elle peut être spécifique de l'âge, du degré de maturation, du sexe et de l'origine (Ackerman et coll. 2006 ; Fintini et coll. 2011 ; Reid, 2010). Cet effet spécifique du statut pondéral sur la DMO pourrait être justifié par les différents mécanismes d'action (mécaniques, hormonaux et autres) du poids et de la masse grasse sur la DMO (Artz et coll. 2005 ; Reid, 2010).

Par ailleurs, la résistance mécanique de l'os (également appelée résistance au risque fracturaire) n'est pas seulement influencée par la DMO mais aussi par la microarchitecture et la géométrie osseuses (Beck et coll. 1990). A l'heure actuelle, il existe deux principales méthodes permettant d'évaluer la microarchitecture osseuse :

- La méthode dite « *Hip Structure Analysis* » développée par Martin et Burr (1984) puis par Beck et coll. (1990) permet d'évaluer les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche au niveau du col fémoral, de la région inter-trochantérienne et de la diaphyse fémorale (Beck et coll. 1990). Cette méthode a été utilisée afin d'explorer l'influence de l'âge, du genre, du poids et de l'activité physique sur la géométrie osseuse de la hanche (Beck et coll. 2009, Crabtree et coll. 2004, Petit et coll. 2005, Petit et coll. 2004, Yates et coll. 2000).

- La méthode du TBS (Trabecular Bone Score) est une mesure de texture osseuse (Hans et coll. 2001). Elle est corrélée à quelques paramètres de microarchitecture osseuse comme la fraction de volume osseux =  $BV/TV$  ( $BV$  : volume osseux trabéculaire /  $TV$  : volume total) et la densité de connectivité (Connectivity Density) (Hans et coll. 2011, Winzenrieth et coll. 2013, Roux et coll. 2013). Par ailleurs, le TBS et la DMO sont faiblement corrélés et il semble qu'ils aient des déterminants différents (El Hage et coll. 2014, Kim et coll. 2016, Leslie et coll. 2013, Romagnoli et coll. 2016).

**Objectifs** : L'objectif principal de ces travaux était d'explorer les relations entre caractéristiques morphologiques et anthropométriques (poids, taille, IMC, masse maigre et masse grasse), les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche ainsi que les valeurs de TBS chez des adolescents et des jeunes adultes (16 à 35 ans). L'objectif secondaire de ces travaux était d'étudier la capacité discriminante du TBS chez des femmes ménopausées Libanaises ayant des fractures ostéoporotiques comparativement à des femmes sans antécédent fracturaire.

---

### III. 3.3.2. Résumé des projets de thèse

---

**Thèse n° 1 :** Le but du projet était d'explorer les effets de l'obésité et du surpoids sur le contenu minéral osseux (CMO), la densité minérale osseuse (DMO) et la géométrie osseuse de la hanche chez des adolescents et des jeunes adultes Libanais.

Le poids et la taille ont été mesurés et l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé. La composition corporelle, le CMO du corps entier (CE), la DMO CE, la DMO du rachis lombaire (L2-L4), la DMO de la hanche et la DMO de l'avant-bras ont été mesurés par DXA. Le logiciel Hip Structure Analysis (HSA) a permis l'évaluation de la géométrie osseuse de la hanche, la surface de la section transversale (CSA), le moment d'inertie de la surface transversale (CSMI), le module de section (Z), l'épaisseur corticale (CT) et le buckling ratio (BR).

Ces travaux ont montré que :

- Dans les deux sexes, l'obésité et le surpoids étaient associés à une augmentation des valeurs absolues de CMO, de DMO et d'indices géométriques de résistance osseuse (CSA et Z) au niveau de la hanche.
- Chez les sujets de sexe masculin, le CMO CE, le rapport CMO CE/taille, la DMO CE et la DMO du Radius ultra-distal étaient significativement inférieurs chez le groupe obèse par rapport aux groupes en surpoids et normo-pondérés après ajustement pour le poids (en utilisant une analyse de covariance). Ce qui traduit une inadaptation du CMO à l'obésité chez les garçons obèses.
- Chez les sujets de sexe féminin, après ajustement pour le poids (en utilisant une analyse de covariance), la DMO du rachis lombaire était inférieure chez le groupe obèse à celle du groupe normo-pondéré alors qu'il n'y avait aucune différence entre les trois groupes (obèse, en surpoids et normo-pondéré) au niveau des indices géométriques de résistance osseuse de la hanche. La DMO de certains sites osseux (avant bras et hanche) n'est donc pas adaptée à l'excès de poids chez les jeunes obèses.

**Thèse n°2 :** Les buts de cette thèse étaient de définir les déterminants du TBS chez les jeunes adultes et les femmes ménopausées et de vérifier si le TBS était associé aux fractures ostéoporotiques chez les femmes ménopausées et les femmes ménopausées obèses.

Ces travaux ont montré que :

- Le fait d'être en surcharge pondérale n'est pas associé à des valeurs de TBS plus élevées. Le seul déterminant positif du TBS était la VO<sub>2</sub> max.
- L'obésité et le surpoids n'influencent pas positivement les valeurs de TBS : le poids et le pourcentage de masse grasse sont négativement corrélés au TBS ( $r = -0,28$  et  $r = -0,38$  respectivement  $p < 0,05$ ).
- Le TBS est associé à la présence des fractures ostéoporotiques prévalentes. Chez les femmes ménopausées, des corrélations positives existent entre la DMO du rachis lombaire et le TBS, et des corrélations négatives existent entre l'âge et le TBS.
- Le TBS n'est pas un déterminant indépendant des fractures ostéoporotiques prévalentes chez les femmes ménopausées obèses.

### III. 3.3.3. Contexte scientifique

La mesure de la DMO par la DXA permet de définir l'état ostéoporotique du sujet mais n'est pas suffisante pour prédire le risque de fracture. Ce risque de fracture est actuellement estimé par l'association d'une mesure de DMO par DXA et une prise en compte des facteurs de risque de fracture. L'évaluation de l'architecture (micro et macro) pourrait permettre d'évaluer la résistance de l'os.

- 1.3 Le concept de résistance osseuse
  - 1.3.1 La résistance osseuse

La résistance osseuse dépend de plusieurs facteurs :

- la DMO,
- la géométrie ou macroarchitecture osseuse,
- d'autres paramètres comme la microarchitecture, la minéralisation osseuse, le nombre de microlésions, le niveau de remodelage osseux et les propriétés mécaniques du tissu osseux (NIH, 2001).

Ces derniers paramètres permettent de compléter la mesure de la DMO surfacique par DXA. Ces paramètres font également l'objet de mesures quantitatives (Bouxsein, 2003, Seeman et Delmas, 2006).

Les limites de la mesure de la DMO par DXA sont inhérentes à cette technique (Beck, 2003). Pour une même mesure de DMO, une vertèbre de plus faible volume aura une résistance moindre qu'une vertèbre de volume plus important (Beck, 2003). La taille et la géométrie sont donc des paramètres qui ne sont pas pris en compte par la DXA car la DXA est une mesure de surface de la projection d'un volume (Beck, 2003 ; Thomas et coll. 2005).

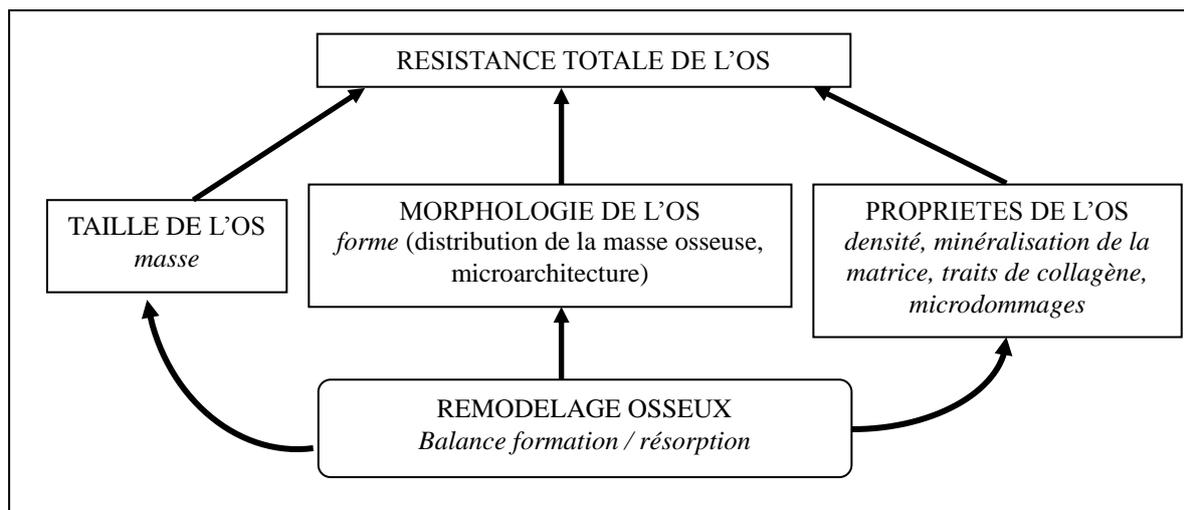


Figure 5 : Les déterminants de la résistance osseuse (adapté de Bouxsein (2005)).

La prise en compte de tous les déterminants de la résistance osseuse améliore la prédiction du risque fracturaire. Cela permet aussi d'évaluer l'impact des traitements indiqués dans la prise en charge de l'ostéoporose.

A titre d'exemple, si l'on associe la DMO à l'architecture osseuse, la prédiction de la résistance osseuse trabéculaire est améliorée. Cette association peut expliquer environ 90 % des propriétés mécaniques de l'os (Bouxsein, 2005, Ducher et Blimkie, 2006). La combinaison de la DMO surfacique aux paramètres qui reflètent la microarchitecture et la macroarchitecture osseuses trabéculaires pourrait améliorer la prédiction du risque fracturaire (Ammann et Rizzoli, 2003, Bouxsein, 2005, Ducher et Blimkie, 2006).

Les déterminants de la résistance osseuse sont l'ensemble des paramètres osseux quantitatifs et qualitatifs. Ils sont chacun régulés par le remodelage osseux. Les maladies et les traitements ayant un effet sur le métabolisme osseux influencent donc directement la résistance mécanique osseuse.

En réponse aux sollicitations mécaniques, l'os s'adapte en modifiant sa taille, sa forme et/ou les propriétés de sa matrice (Frost, 1987). La pratique d'activités physiques à « impacts biomécaniques » influence positivement le contenu minéral osseux, la DMO, la géométrie osseuse et les paramètres reflétant la microarchitecture osseuse (Kohrt et coll. 2004). Ainsi, chez les joueurs de tennis, une augmentation du volume des os du bras dominant par rapport au bras non dominant a été rapportée en 1977 par Jones et coll.

Le contenu minéral osseux (CMO) représente environ les deux tiers de la masse totale du squelette sec dégraissé. Il est utilisé pour évaluer le risque de fracture (Ducher et Blimkie, 2006). Le CMO expliquerait 30 à 40 % de la résistance mécanique de l'os (Ducher et Blimkie, 2006).

En pratique clinique, c'est la DMO surfacique ( $\text{g}/\text{cm}^2$ ) est le paramètre le plus couramment retenu. La DMO explique environ 70 % de l'élasticité et de la résistance mécanique de l'os trabéculaire. Fait à noter, la prise en compte de la microarchitecture osseuse en plus de la DMO, permettrait d'expliquer un pourcentage plus élevé des propriétés mécaniques du tissu trabéculaire (Ducher et Blimkie, 2006). Au niveau de l'os cortical, cette relation existe mais avec des pourcentages différents (Amman et Rizzoli, 2003). Le module de Young (ou module d'élasticité) est calculé à partir de la courbe contrainte/déformation qui décrit la déformation osseuse en fonction de la charge appliquée (Ducher et Blimkie, 2006). Pour d'autres auteurs, il est difficile d'augmenter la prédiction de la résistance mécanique osseuse et la seule DMO intervient à hauteur d'au moins 60 % (Bell et coll. 1967 ; Cortet et Marchandise, 2001).

### ▪ 1.3.2. Les propriétés de la matrice osseuse

Les propriétés intrinsèques de la matrice osseuse conditionnent la résistance osseuse. Les phases minérale et organique ont chacune leur importance relative sur l'accumulation de microfissures (Bouxsein, 2003).

#### • 1.3.2.1. Le collagène

Le vieillissement s'accompagne d'un changement de composition et de structure du collagène. Ce changement influence directement la résistance osseuse et le risque fracturaire (Burr, 2002). En effet, le collagène apporte à l'os sain sa ductilité et sa ténacité alors que le minéral contribue à la raideur et la résistance de celui-ci (Currey, 2003 ; Viguier-Carrin et coll. 2006).

La capacité de résistance osseuse en tension est due en partie à la protéine de collagène de type I grâce aux molécules de pontage. Ces molécules assurent les liaisons des fibrilles au sein de la fibre de collagène (Viguet-Carrin et coll. 2006). Ainsi, les modifications du collagène concernant la composition et le nombre des molécules de pontage conditionnent les propriétés biomécaniques osseuses (Currey, 2003). Viguet-Carrin et coll. (2006) ont montré que la ténacité du collagène diminue quand il est trop ou pas assez réticulé.

- 1.3.2.2. Les microfissures

Cliniquement, les contraintes mécaniques appliquées sur les os peuvent induire des microfissures ou des fractures (Lee et coll. 2002). Ce phénomène est naturel et le remodelage osseux conduit à la réparation de ces microfissures (Lee et coll. 2002, Burr, 2003). En revanche, les facteurs de risque agissant sur le remodelage osseux comme l'âge, certaines maladies et certains traitements médicamenteux pourraient altérer la fonction d'autoréparation (Lee et coll. 2002, Burr, 2003). Ces facteurs de risque augmentent la présence de microfissures, ce qui conduit à une altération des propriétés mécaniques osseuses et à une augmentation de la fragilité osseuse (Lee et coll. 2002 ; Burr, 2003).

Si le remodelage osseux est inhibé du fait de la présence d'un ou de plusieurs facteurs de risque, il y aura un déséquilibre entre l'accumulation des microfissures et le gain de la DMO (Fratzl, 1996, Grabner et coll. 2001). Mais l'hétérogénéité de la minéralisation locale empêche généralement le développement des microfissures (Fratzl, 1996 ; Grabner et coll. 2001 ; Boivin et Meinier, 2002). Toutefois, l'hétérogénéité de la minéralisation est diminuée quand le remodelage osseux est inhibé car il n'y a plus formation d'os neuf non minéralisé. L'homogénéisation de la minéralisation est favorable à l'accumulation des microfissures (Boivin et coll. 2000).

- 1.3.3. Les paramètres microarchitecturaux

Des études ex-vivo ont montré des relations positives ( $r^2 = 0,50$  à  $0,80$ ) entre la microarchitecture trabéculaire et ses propriétés biomécaniques (Keaveney et coll. 2001, MacNeil et Boyd. 2007). La microarchitecture des sites riches en os trabéculaire conditionne la résistance osseuse de ces zones (Seeman, 2002).

L'évaluation de la microarchitecture corticale suscite un vif intérêt (Wachter et coll. 2002, Burghardt et coll. 2010). Currey (1999) a démontré que l'association de la porosité avec la minéralisation peut expliquer environ 80 % de la raideur de l'os cortical.

Les études affirment l'importance de la microarchitecture trabéculaire dans la résistance osseuse et la physiopathologie des fractures ostéoporotiques (Aaron et coll. 2000, Jiang et coll. 2003). Le vieillissement s'accompagne d'une perte de masse osseuse qui engendre une détérioration osseuse structurale et mécanique (Seeman, 2002). Plus particulièrement, Aaron et coll. (2000) ont montré que chez les patientes ayant des fractures vertébrales, la microarchitecture trabéculaire est altérée et Genant et coll. (2007) ont montré que la sévérité des fractures vertébrales est en relation directe avec le niveau de dégradation de la microarchitecture osseuse. Chez les femmes ménopausées, le déficit en oestrogènes induit une augmentation de la résorption osseuse qui entraîne à son tour la perforation du réseau trabéculaire. Chez les hommes âgés, l'amincissement des travées explique la perforation et la perte de connectivité (Seeman, 2001, Khosla et coll. 2006). L'étude épidémiologique menée par Khosla et coll. (2006), utilisant une technique d'imagerie 3D de dernière génération, soutient cette théorie.

#### ▪ 1.3.4. Les paramètres macroarchitecturaux

La géométrie de l'os joue un rôle très important dans la résistance osseuse (Bouxsein et Karasik, 2006). L'épaisseur de l'os cortical et le diamètre externe des os longs contribuent à donner au squelette sa rigidité et sa capacité de résistance aux contraintes mécaniques (Bouxsein et Karasik, 2006).

D'un point de vue purement biomécanique, la résistance en flexion d'un objet cylindrique est fortement dépendante de son diamètre externe (Ducher et Blimkie, 2006). Il est admis que les os longs ont une forme tubulaire quasiment cylindrique. Il apparaît que le radius et le fémur sont les os les plus volumineux et les plus résistants (Lochmuller et coll. 2002). Une diminution de la section transversale du radius est associée à une augmentation de la prévalence des fractures du poignet chez les jeunes filles et les femmes ménopausées (Ahlborg et coll. 2003, Skaggs et coll. 2001).

Les charges appliquées sur les os sont généralement une combinaison de forces de tension et/ou de compression. Sur le plan mécanique, la résistance à la contrainte mécanique est bien meilleure quand la masse osseuse est distribuée loin de l'axe de torsion (Ducher et Blimkie, 2006). C'est le concept du « moment d'inertie » (Ducher et Blimkie, 2006). Le moment d'inertie d'un cylindre est proportionnel à son diamètre et à l'intensité de la force exercée (Ducher et Blimkie, 2006). Ainsi une petite augmentation du diamètre externe d'un os long est souvent associée à une augmentation de la résistance osseuse à la flexion ou la torsion (Bouxsein, 2003). Les études épidémiologiques ont montré que la surface de section transversale, le moment d'inertie de la surface transversale et l'épaisseur corticale au niveau du col fémoral influencent directement le risque fracturaire (Beck et coll. 2009, Kaptoge et coll. 2008).

A partir des scans densitométriques, le logiciel « Hip Structure Analysis » permet d'analyser la géométrie osseuse de la hanche et notamment :

- L'épaisseur corticale des os longs, prédictive du risque fracturaire même après ajustement sur la DMO,
- Le moment d'inertie (CSMI,  $\text{cm}^4$ ) qui dépend surtout de la taille des os,
- La surface de la section transversale (CSA,  $\text{cm}^2$ ), indicateur de la résistance osseuse en compression,
- Le module de section (Z,  $\text{cm}^3$ ), indicateur de la résistance osseuse en flexion,
- Le « Buckling Ratio », indice de la stabilité corticale à la déformation. Il reflète l'épaisseur relative du cortex de la région étudiée. Des valeurs élevées de BR sont indicatrices d'un risque élevé de fracture (Beck et coll. 1990, Beck et coll. 1992, Faulkner et coll. 1994, Gluer et coll. 1994, Martin et Burr, 1984).

#### ▪ 1.3.5. La densité minérale osseuse (DMO)

Une étude ex-vivo a montré que la DMO explique 70 à 90 % de variabilité de la résistance osseuse au niveau vertébral (Singer et coll. 1995). D'autres études ont également démontré que la diminution de la DMO est un facteur de risque majeur de la survenue des fractures vertébrales (Briggs et coll. 2007, Melton et coll. 2007). Globalement, le risque fracturaire est multiplié par deux pour chaque diminution d'une déviation standard de DMO (Marshall et coll. 1996, Cummings et coll. 2002). La seule mesure de la DMO surfacique pour l'estimation du risque fracturaire n'est pas suffisante étant donné que presque la moitié des fractures surviennent chez des sujets ayant une DMO normale (Briggs et coll. 2007, Melton et coll.

2007). A titre d'exemple, une étude menée sur 7806 sujets âgés de plus de 55 ans a montré que les fractures non vertébrales survenaient chez 56 % des femmes et 79 % des hommes ayant un T-score > -2,5 (Schuit et coll. 2004). De même, une étude menée sur des femmes ménopausées ayant un risque élevé de fracture au niveau de la hanche a montré que 50 % des femmes présentant des fractures non vertébrales avaient un T-score > -2 (Wainwright et coll. 2001). C'est pour cela qu'actuellement, l'estimation du risque fracturaire repose sur la combinaison de la DMO et des facteurs de risque d'ostéoporose (Briot et coll. 2012).

## 2. Méthodes d'évaluation de la microarchitecture osseuse

- Les principaux paramètres microarchitecturaux

Parfitt et coll. (1983) ont défini les paramètres de la microarchitecture osseuse. Ils peuvent être résumés par :

- La fraction volumique osseuse est le rapport du volume osseux sur le volume du tissu (bone volume/tissue volume). Cette fraction est mesurée par la méthode du MIL (Mean Intercept Length),
- Le nombre de travées (TbN) en utilisant la méthode du MIL,
- L'épaisseur des travées,
- L'espacement intratrabéculaire,
- La surface trabéculaire,
- Le rapport surface osseuse/volume osseux (BS/BV).

Les paramètres de Parfitt ci-dessus sont habituellement calculés à partir de données histomorphométriques. Ces paramètres peuvent aussi être mesurés à partir d'imageries tomodensitométriques ou par résonance magnétique (Lespessailles et coll. 2006).

A partir de ces paramètres, le nombre d'anastomoses entre les travées osseuses et le nombre d'extrémités libres correspondant à des segments déconnectés peuvent être calculés (Mellish et coll. 1991), tout comme l'indice d'interconnectivité de la moëlle osseuse (Le et coll. 1992).

D'autres indices évaluent la microarchitecture osseuse :

- Le Trabecular Bone Pattern Factor (TbPF) est un indice qui reflète la connectivité (Hahn et coll. 1992).
- Le « star volume » de la moëlle et la technique d'Euler reflèteraient la connexité (Vesterby et coll. 1989, Feldkamp et coll. 1989).
- Le « *Ridge Number Density* » introduit par Laib et coll. (1997) reflèterait la densité des travées.
- Le « *Structure Model Index* » quantifie la forme caractéristique d'une structure tridimensionnelle en termes de quantité de plaques et de poutres composant cette structure (Hildebrand et coll. 1997).

## 3. Paramètres densitométriques et incidence fracturaire

- Le score trabéculaire osseux ou Trabecular Bone Score (TBS)

Le TBS ou Score Trabéculaire Osseux est un paramètre de texture osseuse calculé par la quantification des variations locales des niveaux de gris à partir d'une mesure DXA au niveau du rachis lombaire (Nassar et coll. 2014).

La microarchitecture osseuse est un élément primordial à prendre en compte pour évaluer les propriétés de la résistance mécanique de l'os (Majumdar et coll. 1998). La DMO mesurée par DXA ne prend pas en compte la détérioration de la microarchitecture. Historiquement, le TBS a été développé pour répondre à la nécessité de disposer d'un outil capable d'évaluer cette microarchitecture osseuse (Pothuaud et coll. 2008). Cependant, les études récentes suggèrent que le TBS est considéré comme un paramètre de texture et qu'il ne permet pas de mesurer la microarchitecture osseuse pour des raisons liées à l'échelle et à la définition de l'image densitométrique en particulier (Bousson et coll. 2016).

La méthode TBS consiste à appliquer un traitement informatique à une image 2D de projection (cf figure 6). Elle est basée sur la quantification des variations locales de niveaux de gris (Pothuaud et coll. 2008). D'après Lamy et coll. (2011), « une structure osseuse ayant une architecture trabéculaire dense, a dans son image projetée, une grande quantité de variations de niveaux de gris de faible amplitude induisant une forte pente à l'origine du variogramme et donc une forte valeur de TBS ». Au contraire, « une structure osseuse ayant une architecture trabéculaire trouée dans son image projetée, a une faible quantité de variations de niveaux de gris mais de forte amplitude induisant une faible pente à l'origine du variogramme et donc une faible valeur de TBS » (Lamy et coll. 2011).

D'après Piveteau et coll. (2011), le variogramme expérimental de l'image « est calculé comme étant la somme des différences de niveaux de gris entre les pixels élevées au carré à une distance spécifique pour un appareil DXA et un site squelettique donné ».

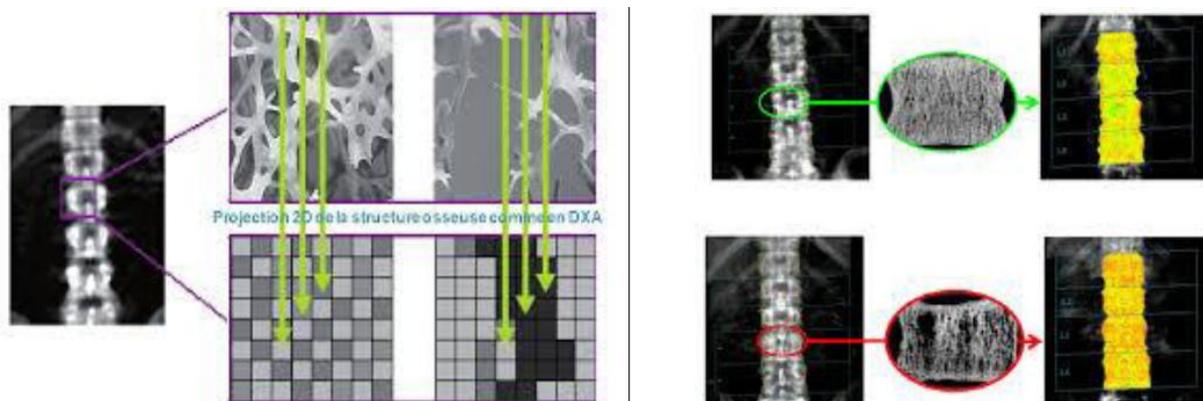


Figure 6 : Mesure du Trabecular Bone Score par projection

Le TBS n'est pas une mesure physique directe de la microarchitecture trabéculaire mais il est en corrélation avec les indices de la micro-tomographie (mesurant la fraction du volume osseux) comme la densité de connectivité, le nombre des travées, la séparation des travées et le comportement mécanique vertébral (Silva et coll. 2014).

Des études sur des vertèbres cadavériques mesurées par DXA ont montré une corrélation positive entre le TBS et plusieurs paramètres de microarchitecture osseuse tels que le nombre de travées ( $r$  entre 0,76 et 0,79) et l'espace intertrabéculaire ( $r$  entre - 0,66 et - 0,70) (Hans et coll. 2009, Hans et coll. 2011). Les relations entre le TBS et les paramètres de la microarchitecture osseuse restent significatives même après ajustement pour la DMO. Le TBS est corrélé positivement au rapport BV/TV et négativement au SMI (Silva et coll. 2014).

Le TBS pourrait éventuellement différencier des échantillons osseux ayant un même CMO mais des microarchitectures différentes. La reproductibilité du TBS donne un coefficient de variation comparable (1,47 et 1,48 %) à celui obtenu pour la DMO (1,20 %).

Les valeurs de TBS diminuent avec l'âge chez les femmes selon deux phases : une phase lente de 45 à 65 ans (0,004/an) et une phase plus rapide après 65 ans où le taux de décroissance augmente de 50 % (Hans et coll. 2009).

Plusieurs études ont démontré que le TBS, en complément ou non de la DMO prédit la fracture (Silva et coll. 2014). Cette relation est valide quel que soit le site de fracture et avec des résultats ajustés ou non pour l'âge et/ou la DMO. Les régressions logistiques multiples ont montré que pour une même valeur de DMO, par diminution d'une déviation standard du TBS, on a un rapport de cote de 1,95 (1,31-2,89) pour tout type de fracture ostéoporotique et de 2,66 (1,46-4,85) pour les fractures vertébrales (Pothuau et coll. 2009).

Le TBS possède une bonne valeur diagnostique additionnelle à la DMO et il est prédictif de la fracture ostéoporotique indépendamment de la DMO. De ce fait, le TBS, en complément de la DMO, pourrait être utilisé dans la prise en charge de l'ostéoporose. L'utilisation du TBS pourrait donc aider à établir un modèle discriminant les femmes à risque élevé de fracture (Lamy et coll. 2011, Piveteau et coll. 2011).

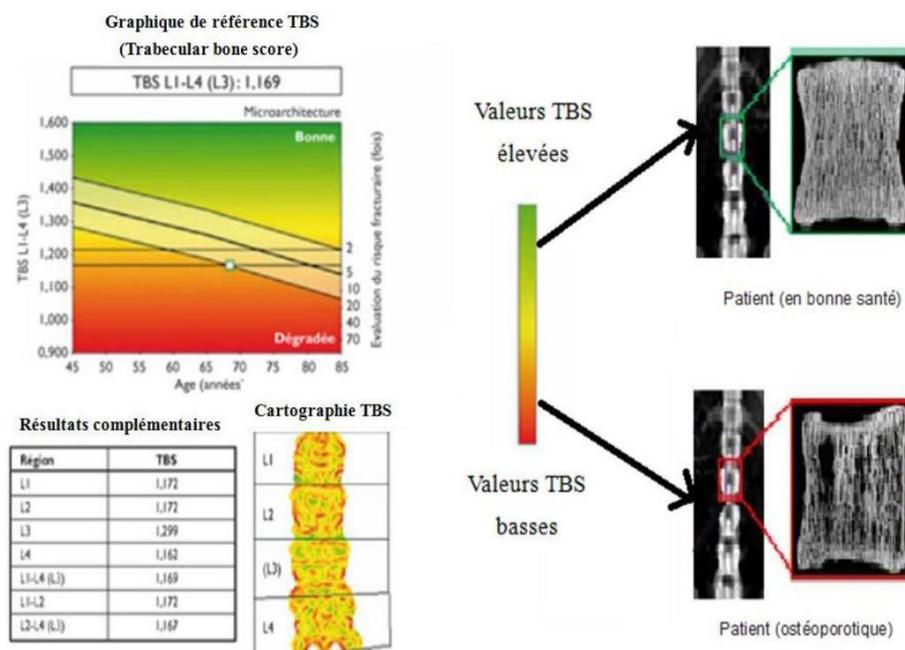


Figure 7 : Cartographie du Trabecular Bone Score (Lamy et coll. 2011)

**Donc, le TBS est capable (Lamy et coll. 2011) :**

- 1) De prédire le risque fracturaire indépendamment de la DMO et du FRAX® (Outil développé pour évaluer le risque de fracture),
- 2) De suivre l'évolution de la texture osseuse des patients. Cependant, le TBS varie peu et moins que la DMO dans le temps.

Afin de mieux caractériser le risque de fracture individuel du patient, il faudra prendre en compte la DMO, le TBS, les marqueurs biologiques et tous les facteurs cliniques de risque de fracture. Ceci permettra la personnalisation de la prise en charge.

Enfin, l'utilisation du TBS pour le suivi des patients traités par médicaments anti-ostéoporotiques n'est toujours pas scientifiquement justifiée (Cortet et Bousson, 2016).

---

#### **III. 3.3.4. Objectifs**

---

L'objectif de ce projet est :

- D'explorer l'influence de l'obésité et du surpoids sur la densité minérale osseuse et les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche chez des adolescents et des jeunes adultes,
- De préciser comment l'obésité et le surpoids influencent la DMO et la géométrie osseuse de la hanche chez des adolescents et des jeunes adultes,
- D'analyser l'influence du genre sur les relations entre statut pondéral et DMO ou géométrie osseuse chez des adolescents et des jeunes adultes,
- D'étudier la capacité discriminante du TBS chez des femmes ménopausées ayant des fractures ostéoporotiques comparativement à des femmes sans antécédent fracturaires,
- D'étudier la capacité discriminante du TBS chez des femmes ménopausées obèses ayant des fractures ostéoporotiques comparativement à des femmes obèses sans antécédent fracturaire.

---

#### **III. 3.3.5. Méthodologie**

---

##### **Sujets**

Thèse 1 : 131 Lycéens (67 de sexe masculin et 64 de sexe féminin) ont été inclus dans ce travail. Après avoir pris connaissance des conditions de l'expérimentation, les sujets âgés de 13 à 30 ans, ainsi que leurs parents (pour les mineurs) ont accepté de participer aux différentes études et ont donné leur consentement éclairé écrit. Ce protocole a reçu l'approbation du comité d'éthique de l'Université de Balamand.

Les sujets ont été recrutés dans plusieurs lycées privés afin d'assurer un recrutement dans une même catégorie socio-économique. Les sujets étaient tous non-fumeur et ne recevaient ni traitement hormonal, ni vitaminique susceptibles de modifier leur statut osseux. Ils ne possédaient pas d'antécédent de maladie métabolique ou osseuse et n'avaient jamais subi d'immobilisation prolongée. Les filles n'avaient pas de menstruation irrégulière. Le nombre d'années écoulées depuis la ménarche constituait un index de maturation pour les filles. La maturité sexuelle chez les sujets de sexe masculin a été évaluée par un questionnaire validé (Duke et coll. 1980).

Thèse 2 : 123 jeunes adultes (67 hommes et 56 femmes) âgés entre 18 et 30 ans, en bonne santé physique et mentale, sans antécédents médicaux affectant le métabolisme osseux et sans traitement hormonal ou vitaminique susceptible d'influencer le métabolisme osseux ont volontairement participé aux études. 1000 femmes Libanaises post-ménopausées âgées entre 45 à 89 ans (moyenne  $61,1 \pm 11,7$  ans) ont également participé aux études. Les femmes ont été recrutées par l'intermédiaire de publicités offrant des mesures ostéodensitométriques à coût réduit. Le consentement éclairé des participants a été obtenu. Ce protocole a reçu l'approbation du comité d'éthique de l'Université de Balamand.

### **Les mesures effectuées**

#### 1) Les mesures anthropométriques (Thèses 1 & 2)

Le poids et la taille ont été mesurés à l'aide d'une balance électronique (Taurus, précision = 0,1 kg) et d'une toise (Seca, précision = 0,1 cm). L'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé comme le poids corporel divisé par la taille au carré ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

#### 2) L'absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) (Thèses 1 & 2)

Des mesures absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) ont été réalisées au niveau du corps entier (CE), du rachis lombaire, de la hanche entière (HE) et du col fémoral (CF). Ces mesures ont été réalisées dans le même centre sur la même machine et par le même technicien certifié. Les paramètres mesurés sont : la densité minérale osseuse (DMO) exprimée en  $\text{g}/\text{cm}^2$ , le contenu minéral osseux (CMO) exprimé en g, la surface minérale osseuse (SMO) exprimée en  $\text{cm}^2$  et le trabecularbone score (TBS). Les coefficients de variation pour les mesures de DMO sont inférieurs à 1 %. Nous avons calculé l'indice de résistance en compression (CSI) et la DMOA du col fémoral.

#### 3) Analyse de la géométrie osseuse de la hanche par HSA (Thèse 1)

La géométrie de la hanche peut être étudiée sur des images obtenues par DXA. L'analyse de la géométrie osseuse de la hanche permet d'apporter des informations supplémentaires à celles apportées par la mesure de la DMO (Bonnick, 2007). Cette méthode nommée "Hip Structure Analysis" ou HSA a été validée sur 22 cadavres par l'équipe de Beck et coll. (1990) et repose sur la méthode d'abord décrite par Martin et Burr (1984). Les algorithmes développés dans le programme HSA permettent de calculer à la fois la DMO et la structure géométrique en 2D qui sous-tendent la résistance osseuse à partir d'un simple examen de DXA. Ainsi, à partir d'images de DXA sur trois régions d'intérêt (col fémoral, région inter-trochantérienne et diaphyse fémorale), différents paramètres peuvent être analysés : diamètre externe, épaisseur de la corticale et surface osseuse. Des indices indirects de la résistance osseuse peuvent être calculés : Z qui serait le reflet de la résistance à la flexion et la CSA qui serait un indicateur de la résistance à la compression (Beck et coll. 1990, Beck, 2003, Khoo et coll. 2005).

Cette méthode de mesure a néanmoins des limites :

- Corrélation des paramètres géométriques avec des valeurs de DMO,
- Utilisation d'images bi-dimensionnelles de faible résolution extrapolées pour reconstruire des images tridimensionnelles.

- Calculs basés sur des hypothèses sur la forme et la minéralisation du fémur non testées dans toutes les populations. Cela semble encore plus importante chez l'enfant (Petit et coll. 2005, Burnham et coll. 2007).

Cependant cette méthode a été et est toujours très utilisée dans les études chez l'enfant et l'adolescent que ce soit en situation pathologique ou non (Janz et coll. 2004, MacKelvie et coll. 2004, McKay et coll. 2005, Petit et coll. 2005, Burnham et coll. 2007).

#### 4) Mesures par questionnaires d'auto-évaluation

- Appréciation du sommeil par l'indice de qualité du sommeil de Pittsburgh (PSQI) (Thèse 2)

Le questionnaire de sommeil utilisé est le Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) traduit en français (Blais et coll. 1997). Il permet d'évaluer la qualité rétrospective et déclarative du sommeil des dernières semaines (Buysse et coll. 1989). Ce questionnaire a déjà été utilisé chez les jeunes Libanais (Zakhem et coll. 2014). Le PSQI « est associé ici à un recueil déclaratif des heures de coucher et de lever ainsi que de la latence d'endormissement estimée ». Ce questionnaire inclut « 19 questions d'auto-évaluation et 5 questions posées au conjoint ou au compagnon de chambre ». Seules les questions d'auto-évaluation sont prises en compte dans le score. Les 19 questions d'auto-évaluation se combinent pour donner 7 « composantes » du score global. Chaque composante reçoit un score de 0 à 3. D'après Buysse et coll. (1989), « un score de 0 indique qu'il n'y a aucune difficulté tandis qu'un score de 3 indique l'existence de difficultés majeures ». Les 7 composantes du score s'additionnent pour donner un score global compris entre 0 et 21 points. « Un score global de 0 signifie qu'il n'y a aucune difficulté alors qu'un score global de 21 indique au contraire des difficultés majeures » (Buysse et coll. 1989).

- Appréciation de la consommation calcique journalière (CCJ) (Thèses 1 & 2)

L'évaluation de la teneur en calcium du régime alimentaire est réalisée par le questionnaire de Fardellone (1991). Ce questionnaire a déjà été utilisé chez les jeunes Libanais (Zakhem et coll. 2014, El Hage et coll. 2014). Ce questionnaire comporte « 30 questions évaluant la consommation de produits laitiers, viandes, poissons, oeufs, diverses céréales, légumes secs, légumes verts, fruits, desserts, eau (minérale et du robinet), jus de fruits et boissons alcoolisées (vin, bière et cidre) ». Aucun sujet ne recevait de suppléments calciques dans notre étude.

- Consommation protéique journalière (CPJ) (Thèses 1 & 2)

La CPJ a été évaluée par un questionnaire fréquentiel préalablement validé (Morin et coll. 2005). Ce questionnaire a déjà été utilisé chez les jeunes Libanais (Zakhem et coll. 2014, El Hage et coll. 2014). Ce questionnaire « comporte 20 items : produits laitiers, fromages, viandes, poissons, oeufs, pommes de terres, haricots, lentilles, légumes secs, pains, pizzas, crèmes glacées... ». Aucun sujet ne recevait de suppléments protéiques dans notre étude.

- Activité physique (AP)

Le volume hebdomadaire d'activité physique a été enregistré à l'aide d'un questionnaire validé (Deheeger et coll. 1981). Ce questionnaire enregistre le type et la durée des activités physiques pratiqués de manière régulière (Thèse 1). Le volume hebdomadaire (heures/semaines) de pratique sportive a été évalué par un questionnaire validé (Ainsworth et coll. 2002). (Thèse 2)

---

### III. 3.3.6. Résultats

---

Les travaux menés chez les adolescents et les jeunes adultes ont montré que :

- Les valeurs de CMO, de DMO (exprimées en valeurs absolues) et les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche sont supérieures chez les adolescents et les jeunes adultes obèses et en surpoids par rapport aux adolescents et jeunes adultes normo-pondérés.
- Après ajustement pour le poids :
  - o Le CMO CE, la DMO CE et la DMO du Radius UD étaient inférieurs chez les garçons obèses par rapport aux garçons normo-pondérés.
  - o La DMO du rachis lombaire était inférieure chez les filles obèses par rapport aux filles normo-pondérés.
- Le passage du surpoids en obésité semble influencer négativement les valeurs de DMO ajustées au poids corporel chez les deux sexes.
- Les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche s'adaptent correctement à l'excès de poids chez les sujets obèses de sexe féminin.
- Le CMO, la DMO et les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche s'adaptent correctement à l'excès de poids chez les sujets en surpoids chez les deux sexes.

**Ce premier travail montre donc que la DMO au niveau de certains sites osseux (avant bras et hanche) n'est pas correctement adaptée à l'excès de poids chez les jeunes obèses.**

Les travaux menés chez les femmes ménopausées ont montré que :

- L'IRC du CF, la DMOA CF et le TBS sont inférieurs chez les femmes avec antécédents de fractures ostéoporotiques par rapport aux femmes sans antécédents de fractures ostéoporotiques.
- La DMOA du CF est inférieure chez les femmes avec antécédents de fractures ostéoporotiques par rapport aux femmes sans antécédents de fractures ostéoporotiques, et elle est associée avec la présence de fractures ostéoporotiques antécédentes.
- Le TBS est associé avec la présence de fractures ostéoporotiques prévalentes chez les femmes Libanaises post-ménopausées.
- Chez les femmes ménopausées obèses, le TBS n'est pas associé avec la présence de fractures ostéoporotiques antécédentes. Ainsi, il semblerait que le TBS ne soit pas un déterminant indépendant des fractures ostéoporotiques chez les femmes ménopausées obèses.

---

### III. 3.3.7. Apports des travaux et perspectives

---

Les premiers travaux ont montré que la DMO au niveau de certains sites osseux (col fémoral entier et avant bras) n'est pas correctement adaptée à l'excès de poids chez les jeunes obèses. Il est donc fondamental de prévenir et développer des programmes de réentraînement (dans le champ de l'EPS et dans le cadre de programme spécifiques APA) permettant de limiter l'excès pondéral chez les jeunes enfants et adolescents. En plus des paramètres métaboliques musculaires l'obésité entraîne des conséquences néfastes pour la santé osseuse.

D'un point de vue clinique, il pourrait être intéressant de mener une étude longitudinale pour explorer l'influence de l'obésité et du surpoids sur l'acquisition de la DMO chez les adolescents et les jeunes adultes obèses et non obèses. Un suivi régulier à long terme (d'une durée de 5 années) permettrait de connaître l'évolution de la DMO en fonction de leur IMC de base et l'évolution de leur statut pondéral.

Nos travaux ont également montré que les qualités de force maximale, de puissance musculaire et de puissance maximale aérobie sont des déterminants positifs du TBS chez les jeunes femmes. A la vue de nos résultats (et en particulier les corrélations entre les niveaux de performance physique et le TBS), il serait intéressant dans le futur de mener une étude randomisée contrôlée chez des enfants et des adolescents en cours de croissance.

Le but de cette étude sera de comparer les effets de deux protocoles d'entraînement physique (un protocole basé sur l'entraînement de la force musculaire et un protocole basé sur l'entraînement des qualités aérobies) sur le TBS. La durée de cette étude doit être comprise entre 18 et 24 mois à raison de 3 entraînements par semaine afin d'obtenir des résultats potentiellement significatifs sur le métabolisme osseux.

<p>Il est donc important de prévenir et développer les qualités physiques des enfants par des programmes d'activité physiques qui permettent de développer les différents paramètres corrélables à la santé métabolique et osseuse de l'individu.</p>
---

---

### III. 3.3.8. Références bibliographiques

---

- Aaron J.E., Shore P.A., Shore R.C., Beneton M., Kanis J.A.** Trabecular architecture in women and men of similar bone mass with and without vertebral fracture: II. Three dimensional histology. *Bone* **2000** 27(2): 277-82.
- Ackerman A, Thornton JC, Wang J, Pierson RN Jr, Horlick M.** Sex difference in the effect of puberty on the relationship between fat mass and bone mass in 926 healthy subjects, 6 to 18 years old. *Obesity (Silver Spring)* **2006** 14(5): 819-25.
- Ahlborg HG, Johnell O, Turner CH, Rannevik G, Karlsson MK.** Bone loss and bone size after menopause. *N Engl J Med* **2003** 349(4): 327-34.
- Ammann P, Rizzoli R.** Bone strength and its determinants. *Osteoporos Int* **2003** 14 Suppl 3:S13-8.
- Artz E, Haqq A, Freemark M.** Hormonal and metabolic consequences of childhood obesity. *Endocrinol Metab Clin North Am* **2005** 34(3): 643-58.
- Bailey DA, McKay HA, Mirwald RL, Crocker PR, Faulkner RA.** A six-year longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual in growing children: the University of Saskatchewan Bone Mineral Accrual Study. *J Bone Miner Res* **1999** 14(10): 1672-9.
- Baxter-Jones AD, Kontulainen SA, Faulkner RA, Bailey DA.** A longitudinal study of the relationship of physical activity to bone mineral accrual from adolescence to young adulthood. *Bone* **2008** 43(6): 1101-7.
- Beck TJ.** Measuring the structural strength of bones with dual-energy X-ray absorptiometry: principles, technical limitations, and future possibilities. *Osteoporos Int* **2003** 14:S81-S88.
- Beck TJ, Petit MA, Wu G, LeBoff MS, Cauley JA, Chen Z.** Does obesity really make the femur stronger? BMD, geometry, and fracture incidence in the women's health initiative-observational study. *J Bone Miner Res* **2009** 24(8): 1369-1379.
- Beck TJ, Ruff CB, Scott WW, Plato CC, Tobin JD, Quan CA.** Sex differences in geometry of the femoral neck with aging: a structural analysis of bone mineral data. *Calcif Tissue Int* **1992** 50(1):24-9.
- Beck TJ, Ruff CB, Warden KE, Scott WW Jr, Rao GU.** Predicting femoral neck strength from bone mineral data. A structural approach. *Invest Radiol* **1990** 25(1): 6-18.
- Blanchet C, Dodin S, Dumont M, Giguère Y, Turcot-Lemay L, Beauchamp J, Prud'homme D.** Bone mineral density in French Canadian women. *Osteoporos Int* **1998** 8(3): 268-73.
- Boivin G., Meunier P.J.** Changes in bone remodeling rate influence the degree of mineralization of bone. *Connect Tissue Res* **2002** 43(2-3): 535-7.
- Boivin GY, Chavassieux PM, Santora AC, Yates J, Meunier P.J.** Alendronate increases bone strength by increasing the mean degree of mineralization of bone tissue in osteoporotic women. *Bone* **2000** 27(5): 687-94.
- Bonjour JP, Benoit V, Pourchaire O, Ferry M, Rousseau B, Souberbielle JC.** Inhibition of markers of bone resorption by consumption of vitamin D and calcium-fortified soft plain cheese by institutionalised elderly women. *Br J Nutr* **2009** 102(7): 962-6.
- Bonjour JP, Chevalley T, Rizzoli R, Ferrari S.** Gene-environment interactions in the skeletal response to nutrition and exercise during growth. *Med Sport Sci* **2007** 51: 64-80.
- Bousson V, Bergot C, Sutter B, Thomas T.** Score de l'os trabéculaire : le point. *La Revue du Rhumatisme* **2016** 02.012.
- Bouxsein M.L.** Bone quality: where do we go from here? *Osteoporos Int* **2003** 14 Suppl 5:S118-27.
- Bouxsein M.L.** Determinants of skeletal fragility. *Best Pract Res Clin Rheumatol* **2005** 19(6): 897-911.
- Bouxsein M.L., Karasik D.** Bone geometry and skeletal fragility. *Curr Osteoporos Rep* **2006** 4(2): 49-56.
- Briggs AM, Greig AM, Wark JD.** The vertebral fracture cascade in osteoporosis: a review of aetiopathogenesis. *Osteoporos Int* **2007** 18: 575-84.
- Briot K, Cortet B, Thomas T, Audran M, Blain H, Breuil V, Chapuis L, Chapurlat R, Fardellone P, Feron JM, Gauvain JB, Guggenbuhl P, Kolta S, Lespessailles E, Letombe B, Marcelli C, Orcel P, Seret P, Trémollières F, Roux C.** Update of French guidelines for the pharmacological treatment of postmenopausal osteoporosis. *Joint Bone Spine* **2012** 79(3): 304-313.
- Burghardt A.J., Buie H.R., Laib A., Majumdar S., Boyd S.K.** Reproducibility of direct quantitative measures of cortical bone microarchitecture of the distal radius and tibia by HR-pQCT. *Bone* **2010** 47(3): 519-28.
- Burr D.B.** The contribution of the organic matrix to bone's material properties. *Bone* **2002** 31(1): 8-11.
- Burr DB.** Introduction-Bone turnover and fracture risk. *J Musculoskelet Neuronal Interact* **2003** 3(4): 408-9.
- Carter DR, Bouxsein ML, Marcus R.** New approaches for interpreting projected bone densitometry data. *J Bone Miner Res* **1992** 7(2): 137-145.
- Cortet B, Bousson V.** TBS and bone strength. *Bonekey Rep* **2016** 5:792.
- Cortet B, Marchandise X.** Bone microarchitecture and mechanical stiffness. *Joint Bone Spine* **2001** 68: 297-305.
- Crabtree NJ, Kibirige MS, Fordham JN, Banks LM, Muntoni F, Chinn D, Boivin CM, Shaw NJ.** The relationship between lean body mass and bone mineral content in paediatric health and disease. *Bone* **2004** 35: 965-972.
- Cummings SR, Melton LJ.** Epidemiology and outcomes of osteoporotic fractures. *Lancet* **2002** 359(9319): 1761-7.
- Currey J.D.** Role of collagen and other organics in the mechanical properties of bone. *Osteoporos Int* **2003** 14 Suppl 5: S29-36.
- Currey J.D.** What determines the bending strength of compact bone? *J Exp Biol* **1999** 202 (Pt 18): 2495-503.
- Dalén N, Hellström LG, Jacobson B.** Bone mineral content and mechanical strength of the femoral neck. *Acta Orthop Scand* **1976** 47(5): 503-8.

**Ducher G, Blimkie.** Adaptations architecturales du tissu osseux en réponse à l'exercice physique : intérêts et limites des méthodes non invasives utilisées chez l'homme. *Science et Sports* **2006** 21: 255-267.

**Ducher G, Prouteau S, Courteix D, Benhamou CL.** Cortical and trabecular bone at the forearm show different adaptation patterns in response to tennis playing. *J Clin Densitom* **2004** 7(4): 399-405.

**Ehrlich PJ, Lanyon LE.** Mechanical strain and bone cell function: a review. *Osteoporos Int* **2002** 13(9): 688-700.

**Eisman JA.** Genetics of osteoporosis. *Endocr Rev* **1999** 20(6): 788-804.

**El Hage R, Jaber M, Jacob C, Moussa E, Theunynck D.** Lumbar spine, hip and forearm bone mineral density in a group of Lebanese professional football players. *Sci Sports* **2013** 28(4): 204-6.

**El Hage R, Theunynck D, Rocher E, Baddoura R.** Geometric indices of hip bones strength in overweight and control elderly men. *J Med Liban* **2014** 62(3): 150-5.

**Faulkner KG, McClung M, Cummings SR.** Automated evaluation of hip axis length for predicting hip fracture. *J Bone Miner Res* **1994** 9(7): 1065-1070.

**Feldkamp LA, Goldstein SA, Parfitt AM, Jesion G, Kleerekoper M.** The direct examination of three-dimensional bone architecture in vitro by computed tomography. **1989** *J Bone Miner Res* 4(1): 3-11.

**Fintini D, Brufani C, Grossi A, Ubertini G, Fiori R, Pecorelli L, Calzolari A, Cappa M.** Gender differences in bone mineral density in obese children during pubertal development. *J Endocrinol Invest* **2011** 34:e86-91.

**Fratzl P, Schreiber S, Klaushofer K.** Bone mineralization as studied by small-angle x-ray scattering. *Connect Tissue Res* **1996** 34(4): 247-54.

**Frost H.M.** The mechanostat: a proposed pathogenic mechanism of osteoporoses and the bone mass effects of mechanical and non mechanical agents. *Bone Mineral* **1987** 2:73-85.

**Frost HM.** Bone "mass" and the "mechanostat": a proposal. *Anat Rec* **1987** 219(1): 1-9.

**Garabedian M.** Genetic aspects of osteoporosis. *Curr Opin Rheumatol* **1995** 7: 237-9.

**Genant HK, Delmas PD, Chen P, Jiang Y, Eriksen EF, Dalsky GP, Marcus R, San Martin J.** Severity of vertebral fracture reflects deterioration of bone microarchitecture. *Osteoporos Int* **2007** 18(1): 69-76.

**Glüer CC, Cummings SR, Pressman A, Li J, Glüer K, Faulkner KG, Grampp S, Genant HK.** Prediction of hip fractures from pelvic radiographs: the study of osteoporotic fractures. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *J Bone Miner Res* **1994** 9(5): 671-7.

**Grabner B., Landis W.J., Roschger P, Rinnerthaler S., Peterlik H., Klaushofer K., Fratzl P.** Age- and genotype-dependence of bone material properties in the osteogenesis imperfecta murine model (oim). *Bone* **2001** 29(5): 453-7.

**Hahn M, Vogel M, Pempus-Kempa M, Dellling G.** Trabecular bone pattern factor: a new parameter for simple quantification of bone microarchitecture. *Bone* **1992** 13: 327-30.

**Hans D, Goertzen AL, Krieg MA, Leslie WD.** Bone microarchitecture assessed by TBS predicts osteoporotic fractures independent of bone density: the Manitoba study. *J Bone Miner Res* **2011** 26(11): 2762-9.

**Hernandez CJ, Beaupré GS, Carter DR.** A theoretical analysis of the relative influences of peak BMD, age-related bone loss and menopause on the development of osteoporosis. *Osteoporos Int* **2003** 14: 843-847.

**Hildebrand T, Rüegsegger P.** Quantification of Bone Microarchitecture with the Structure Model Index. *Comput Methods Biomech Biomed Engin* **1997** 1(1): 15-23.

**Jiang Y., Zhao J.J., Mitlak B.H., Wang O., Genant H.K., Eriksen E.F.** Recombinant human parathyroid hormone (1-34) [teriparatide] improves both cortical and cancellous bone structure. *J Bone Miner Res* **2003** 18: 1932-41.

**Jones H.H., Priest J.D., Hayes W.C., Tichenor C.C., Nagel D.A.** Humeral hypertrophy in response to exercise. *J Bone Joint Surg Am* **1977** 59(2): 204-8.

**Kaptoge S, Beck TJ, Reeve J, Stone KL, Hillier TA, Cauley JA, Cummings SR.** Prediction of incident hip fracture risk by femur geometry variables measured by hip structural analysis in the study of osteoporotic fractures. *J Bone Miner Res* **2008** 23(12): 1892-904.

**Karlsson KM, Sernbo I, Obrant KJ, Redlund-Johnell I, Johnell O.** Femoral neck geometry and radiographic signs of osteoporosis as predictors of hip fracture. *Bone* **1996** 18(4): 327-330.

**Kato T, Terashima T, Yamashita T, Hatanaka Y, Honda A, Umemura Y.** Effect of low-repetition jump training on bone mineral density in young women. *J Appl Physiol* **2006** 100(3): 839-43.

**Katzman DK, Bachrach LK, Carter DR, Marcus R.** Clinical and anthropometric correlates of bone mineral acquisition in healthy adolescent girls. *J Clin Endocrinol Metab* **1991** 73: 1332-1339.

**Keaveny T.M., Morgan E.F., Niebur G.L., Yeh O.C.** Biomechanics of trabecular bone. *Annu Rev Biomed Eng* **2001** 3: 307-33.

**Khan AA, Bachrach L, Brown JP, Hanley DA, Josse RG, Kendler DL, Leib ES, Lentle BC, Leslie WD, Lewiecki EM, Miller PD, Nicholson RL, O'Brien C, Olszynski WP, Theriault MY, Watts NB.** Canadian Panel of the International Society of Clinical Densitometry. Standards and guidelines for performing central dual-energy x-ray absorptiometry in premenopausal women, men, and children. *J Clin Densitom* **2004** 7:51-64.

**Khosla S, Riggs BL, Atkinson EJ, Oberg AL, McDaniel LJ, Holets M, Peterson JM, Melton LJ.** Effects of sex and age on bone microstructure at the ultradistal radius: a population-based noninvasive in vivo assessment. *J Bone Miner Res* **2006** 21(1): 124-31.

**Khosla S., Riggs B.L., Atkinson E.J., Oberg A.L., McDaniel L.J., Holets M., Peterson J.M., Melton L.J.** Effects of sex and age on bone microstructure at the ultradistal radius: a population-based noninvasive in vivo assessment. *J Bone Miner Res* **2006** 21(1): 124-31.

**Kim JH, Choi HJ, Ku EJ, Hong AR, Kim KM, Kim SW, Cho NH, Shin CS.** Regional body fat depots differently affect bone microarchitecture in postmenopausal Korean women. *Osteoporos Int* **2016** 27(3): 1161-8.

**Kohrt W.M., Bloomfield S.A., Little K.D., Nelson M.E., Yingling V.R.**, American College of Sports Medicine. American College of Sports Medicine Position Stand: physical activity and bone health. *Med Sci Sports Exerc* **2004** 36(11): 1985-96.

**Krall EA, Dawson-Hughes B.** Heritable and life-style determinants of bone mineral density. *J Bone Miner Res* **1993** 8(1): 1-9.

**Laib A, Hildebrand T, Häuselmann HJ, Rüegsegger P.** Ridge number density: a new parameter for in vivo bone structure analysis. *Bone* **1997** 21(6): 541-6.

**Lamy O, Metzger M, Krieg MA, Aubry-Rozier B, Stoll D, Hans D.** La cohorte OstéoLaus : évaluation des outils de routine clinique pour la prédiction de la fracture ostéoporotique. *Rev Med Suisse* **2011** 7(315):2, 2130-2136.

**Lamy O, Metzger M, Krieg MA, Aubry-Rozier B, Stoll D, Hans D.** La cohorte OstéoLaus : évaluation des outils de routine clinique pour la prédiction de la fracture ostéoporotique. *Rev Med Suisse* **2011** 7(315):2, 2130-2136.

**Lanyon L, Skerry T.** Postmenopausal osteoporosis as a failure of bone's adaptation to functional loading: a hypothesis. *J Bone Miner Res* **2001** 16(11): 1937-47.

**Le HM, Holmes RE, Shors E, Rosenstein DA.** Computerized quantitative analysis of the interconnectivity of porous biomaterials. *Acta Stereol* **1992** 11: 267-72.

**Lee T.C., Staines A., Taylor D.** Bone adaptation to load: microdamage as a stimulus for bone remodelling. *J Anat* **2002** 201(6): 437-46.

**Legrand E, Insalaco P, Chappard D, Basle MF, Audran.** Physiopathologie de l'ostéoporose chez l'homme. Service de Rhumatologie. CHU d'Angers, 49033 Angers cedex, France **2002** 4:2.

**Leichter I, Margulies JY, Weinreb A, Mizrahi J, Robin GC, Conforty B, Makin M, Bloch B.** The relationship between bone density, mineral content, and mechanical strength in the femoral neck. *Clin Orthop Relat Res* **1982** 163: 272-81.

**Leonard MB, Feldman HI, Zemel BS, Berlin JA, Barden EM, Stallings VA.** Evaluation of low density spine software for the assessment of bone mineral density in children. *J Bone Miner Res* **1998** 13: 1687-1690.

**Leslie W, Kanis J, Lamy O, Johansson H, Oden A, McCloskey E.** Adjustment of FRAX probability according to lumbar spine Trabecular Bone Score (TBS): The Manitoba BMD Cohort. *J Clin Densitom* **2013** 16(Suppl): 267-268.

**MacNeil J.A., Boyd S.K.** Load distribution and the predictive power of morphological indices in the distal radius and tibia by high resolution peripheral quantitative computed tomography. *Bone* **2007** 41(1): 129-37.

**Majumdar S.** A review of magnetic resonance (MR) imaging of trabecular bone micro-architecture: contribution to the prediction of biomechanical properties and fracture prevalence. *Technol Health Care* **1998** 6(5-6): 321-327.

**Marshall D, Johnell O, Wedel H.** Meta-analysis of how well measures of bone mineral density predict occurrence of osteoporotic fractures. *BMJ* **1996** 18;312: 1254-1259.

**Martin RB, Burr DB.** Non-invasive measurement of long bone cross-sectional moment of inertia by photon absorptiometry. *J Biomech* **1984** 17(3): 195-201.

**Mazess RB, Sorenson JA, Hanson JA.** Bone densitometry: appendicular versus axial sites. *Am J Med* **1988** 85(4): 593-594.

**Mellish RW, Ferguson-Pell MW, Cochran GV, Lindsay R, Dempster DW.** A new manual method for assessing two-dimensional cancellous bone structure: comparison between iliac crest and lumbar vertebra. *J Bone Miner Res* **1991** 6(7): 689-96.

**Melton LJ, Riggs BL, Keaveny TM, Achenbach SJ, Hoffmann PF, Camp JJ, Rouleau PA, Bouxsein ML, Amin S, Atkinson EJ, Robb RA, Khosla S.** Structural determinants of vertebral fracture risk. *J Bone Miner Res* **2007** 22: 1885-92.

**Nassar K, Paternotte S, Kolta S, Fechtenbaum J, Roux C, Briot K.** Added value of trabecular bone score over bone mineral density for identification of vertebral fractures in patients with areal bone mineral density in the non-osteoporotic range. *Osteoporos Int* **2014** 25(1): 243-9.

**Nelson HD, Rizzo J, Harris E, Cauley J, Ensrud K, Bauer DC, Orwoll E.** Study of Osteoporotic Fractures Research Group. Osteoporosis and fractures in postmenopausal women using estrogen. *Arch Intern Med* **1999** 162(20): 2278-2284.

**NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy.** Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. *JAMA* **2001** 285(6): 785-95.

**Nikander R, Sievänen H, Heinonen A, Kannus P.** Femoral neck structure in adult female athletes subjected to different loading modalities. *J Bone Miner Res* **2005** 20 :520-528.

**Nordin BE, Need AG, Chatterton BE, Horowitz M, Morris HA.** The relative contributions of age and years since menopause to postmenopausal bone loss. *J Clin Endocrinol Metab* **1990** 70(1): 83-8.

**Pande I, Francis RM.** Osteoporosis in men. *Best Pract Res Clin Rheumatol* **2001** 15: 415-427.

**Parfitt AM.** Dietary risk factors for age-related bone loss and fractures. *Lancet* **1983** 2(8360): 1181-5.

**Petit MA, Beck TJ, Lin HM, Bentley C, Legro RS, Lloyd T.** Femoral bone structural geometry adapts to mechanical loading and is influenced by sex steroids: the Penn State Young Women's Health Study. *Bone* **2004** 35(3): 750-759.

**Petit MA, Beck TJ, Shults J, Zemel BS, Foster BJ, Leonard MB.** Proximal femur bone geometry is appropriately adapted to lean mass in overweight children and adolescents. *Bone* **2005** 36: 568-576.

**Piveteau T, Winzenrieth R, Hans D.** Trabecular bone score (TBS) the new parameter of 2D texture analysis for the evaluation of 3D bone micro architecture status. *J Clin Densitom* **2011** 14(2): 169.

**Pothuaud L, Carceller P, Hans D.** Correlations between grey-level variations in 2D projection images (TBS) and 3D microarchitecture: applications in the study of human trabecular bone microarchitecture. *Bone* **2008** 42(4): 775-87.

**Reid IR.** Fat and bone. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **2010** 503(1): 20-73.

**Reid IR.** Relationships among body mass, its components, and bone. *Bone* **2002** 31: 547-555.

**Riggs BL, Khosla S, Melton LJ.** Sex steroids and the construction and conservation of the adult skeleton. *Endocr Rev* **2002** 23(3): 279-302.

**Rizzoli R, Bianchi ML, Garabédian M, McKay HA, Moreno LA.** Maximizing bone mineral mass gain during growth for the prevention of fractures in the adolescents and the elderly. *Bone* **2010** 46: 294-305.

**Rocher E, Chappard C, Jaffre C, Benhamou CL, Courteix D.** Bone mineral density in prepubertal obese and control children: relation to body weight, lean mass, and fat mass. *J Bone Miner Metab* **2008** 26(1):7 3-78.

**Romagnoli E, Lubrano C, Carnevale V, Costantini D, Nieddu L, Morano S, Migliaccio S, Gnessi L, Lenzi A.** Assessment of trabecular bone score (TBS) in overweight/obese men: effect of metabolic and anthropometric factors. *Endocrine*. **2016** Nov;54(2): 342-347.

**Ropponen A, Levalahti E, Videman T, Kaprio J and Battie MC.** The role of genetics and environment in lifting force and isometric trunk extensor endurance. *Phys Ther* **2004** 84(7): 608-21.

**Roux JP, Wegrzyn J, Boutroy S, Bouxsein ML, Hans D, Chapurlat R.** The predictive value of trabecular bone score (TBS) on whole lumbar vertebrae mechanics: an ex vivo study. *Osteoporos Int* **2013** 24(9): 2455-60.

**Rubin CT, McLeod KJ.** Promotion of bony ingrowth by frequency specific, low-amplitude mechanical strain. *Clin Orthop Relat Res* **1994** 298: 165-174.

**Seeman E.** During aging, men lose less bone than women because they gain more periosteal bone, not because they resorb less endosteal bone. *Calcif Tissue Int* **2001** 69(4): 205-8.

**Seeman E.** Pathogenesis of bone fragility in women and men. *Lancet* **2002** 359: 1841-50.

**Seeman E., Delmas P.D.** Bone quality--the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med* **2006** 354(21): 2250-61.

**Shore RM, Langman CB, Donovan JM, Conway JJ, Poznanski AK.** Bone mineral disorders in children: evaluation with dual x-ray absorptiometry. *Radiology* **1995** 196(2): 535-540.

**Simonen RL, Videman T, Kaprio J, Levalahti E and Battie MC.** Factors associated with exercise lifestyle--a study of monozygotic twins. *Int J Sports Med* **2003** 24(70): 499-505.

**Singer K, Edmondston S, Day R, Breidahl P, Price R.** Prediction of thoracic and lumbar vertebral body compressive strength: correlations with bone mineral density and vertebral region. *Bone* 1995 17(2): 167-74.

**Skaggs DL, Loro ML, Pitukcheewanont P, Tolo V, Gilsanz V.** Increased body weight and decreased radial cross-sectional dimensions in girls with forearm fractures. *J Bone Miner Res* **2001** 16(7): 1337-42.

**Thomas S.R., Kalkwarf H.J., Buckley D.D., Heubi J.E.** Effective dose of dual-energy X-ray absorptiometry scans in children as a function of age. *J Clin Densitom* **2005** 8: 415-22.

**Travison TG, Araujo AB, Esche GR, Beck TJ, McKinlay JB.** Lean mass and not fat mass is associated with male proximal femur strength. *J Bone Miner Res* **2008** 23(2): 189-198.

**Turner CH, Forwood MR.** On animal models for studying bone adaptation. *Calcif Tissue Int* **1994** 55(4): 316-7.

**Turner CH.** Toward a cure for osteoporosis: reversal of excessive bone fragility. *Osteoporos Int* **1991** 2(1): 12-19.

**Van Coeverden SC, De Ridder CM, Roos JC, Van't Hof MA, Netelenbos JC, Delemarre-Van de Waal HA.** Pubertal maturation characteristics and the rate of bone mass development longitudinally toward menarche. *J Bone Miner Res* **2001** 16(4): 774-781.

**Vesterby A, Gundersen HJ, Melsen F, Mosekilde L.** Normal postmenopausal women show iliac crest trabecular thickening on vertical sections. *Bone* **1989** 10(5): 333-9.

**Viguet-Carrin S, Garnero P, Delmas P.D.** The role of collagen in bone strength. *Osteoporos Int* **2006** 17(3): 319-36.

**Wachter N.J., Krischak G.D., Mentzel M., arkar M.R., Ebinger T, Kinz L., Claes L., Augat P.** Correlation of bone mineral density with strength and microstructural parameters of cortical bone in vitro. *Bone* **2002** 31(1):9 0-5.

**Wainwright S, Phipps K, Stone J.** A large proportion of fractures in postmenopausal women occur with baseline bone mineral density T-score > 2.5. *J Bone Miner Res* **2001** 16:S155.

**Wang MC, Bachrach LK, Van Loan M, Hudes M, Flegal KM, Crawford PB.** The relative contributions of lean tissue mass and fat mass to bone density in young women. *Bone* **2005** 37(4): 474-81.

**Wang QJ, Suominen H, Nicholson PH, Zou LC, Alen M, Koistinen A, Cheng S.** Influence of physical activity and maturation status on bone mass and geometry in early pubertal girls. *Scand J Med Sci Sports* **2005** 15(2): 100-6.

**Winzenrieth R, Michelet F, Hans D.** Three-dimensional (3D) microarchitecture correlations with 2D projection image gray-level variations assessed by trabecular bone score using high-resolution computed tomographic acquisitions: effects of resolution and noise. *J Clin Densitom* **2013** 16(3): 287-96.

**World Health Organization (WHO).** Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis. Report of a WHO Study Group. *World Health Organ Tech Rep Ser* **1994** 843:1-129.

**Yates LB, Karasik D, Beck TJ, Cupples LA, Kiel DP.** Hip structural geometry in old and old-old age: similarities and differences between men and women. *Bone* **2007** 41: 722-732.

**III.3.4. Projet 2b** : Etude des déterminants de la masse osseuse : « Contribution relative de la consommation maximale d'oxygène, de la masse maigre et de la masse grasse aux valeurs de densité minérale osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé »

---

### III. 3.4.1 Contexte général du projet 2b

---

**Intitulé du projet** : Contribution relative de la consommation maximale d'oxygène, de la masse maigre et de la masse grasse aux valeurs de densité minérale osseuse chez l'adolescent, le jeune adulte et le sujet âgé

**Collaborations** Professeur Ghassan Maalouf, Hôpital Bellevue, Beyrouth  
Professeur Bernard Cortet, Service de rhumatologie, CHU de Lille  
Docteur Dominique Bouglé, CHU de Caen

**Financements** Bourse CNRS / ULCO

**Thèse associée** Eddy Zakhem

**Ethique & Réglementaire** : Comité d'éthique Universitaire de l'Université du Liban à Balamand (Dr. R.El Hage) ; Accord CNIL Université n° : 1989140 et n°: 1492162 (Dr. G. Zunquin)

De nombreux facteurs influencent l'acquisition de la masse osseuse comme l'hérédité, déterminant responsable d'environ 60 à 80% de la variabilité de la masse osseuse, mais aussi le sexe, l'ethnicité, le statut hormonal, le régime alimentaire (apports calciques, protéiques et vitaminiques (D), niveau d'exposition à l'alcool), l'exposition au soleil, la prise de certains médicaments et le tabagisme. Les facteurs mécaniques (le poids corporel, le niveau d'activité physique) et la composition corporelle sont également évoqués pour expliquer cette variabilité d'acquisition de la masse osseuse. Enfin, des temps réduits de sommeil ont eux aussi été évoqués comme déterminants (Fu et coll. 2011).

Les apports nutritionnels sont un déterminant important de la masse osseuse (Reid, 2010). De nombreuses études ont décrit des relations entre l'apport calcique et l'acquisition de la masse osseuse. Les caractéristiques anthropométriques et la composition corporelle affectent le métabolisme osseux. Le poids corporel et la masse maigre sont de bons facteurs prédictifs de la DMO chez les deux sexes (Cobayashi et coll. 2005, Petit et coll. 2005, Reid, 2010). Le poids et l'Indice de Masse Corporelle (IMC) sont des facteurs prédictifs de la masse

osseuse et leur augmentation semble réduire l'ostéoporose chez les adultes des deux sexes (Reid et coll. 1992, Reid, 2002, Wang et coll. 2005). Voir les études précédentes.

La masse grasse semble être un déterminant positif de la DMO chez les deux sexes mais elle semble influencer davantage la masse osseuse chez les femmes que chez les hommes après la puberté (Arabi et coll. 2004, Ackerman et coll. 2006, El Hage et coll. 2009, Sayers et coll. 2010, El Hage et coll. 2012). Cependant, la DMO au niveau de certains sites osseux (avant bras et col entier) n'est pas correctement adaptée à l'excès de poids chez les jeunes obèses (Thèse Zaher El Hage).

L'os s'adapte aux contraintes mécaniques qu'il subit. C'est le cas lors de la pratique des Activités Physiques (AP) en charge qui auraient une influence positive sur le squelette et en particulier sur les sites les plus sollicités par les contraintes. L'influence de l'AP sur la masse osseuse a été analysée chez les enfants et les adolescents. Elle aurait pour effet une augmentation de la DMO. En revanche, très peu d'études se sont attachées à décrire l'influence de l'AP sur la masse osseuse chez les jeunes adultes, période durant laquelle la masse osseuse atteint son pic (Riggs et coll. 2002).

Plus récemment, il a été avancé que la réduction chronique du temps de sommeil influencerait négativement la masse osseuse (Elgánét coll. 2005, Specker et coll. 2007, Casazza et coll. 2012). La bonne qualité du sommeil influencerait positivement la DMO chez des femmes adultes en surpoids (Elgánét coll. 2005).

**L'objectif principal** de ce travail est d'explorer l'influence des déterminants de la masse osseuse non génétiques et accessibles à des actions de prévention (masse grasse et masse maigre, niveau d'activité physique, apports nutritionnels et sommeil) chez des jeunes adultes (âgés de 17 à 40 ans).

**L'objectif secondaire** est de trouver le ou les meilleurs déterminants affectant la masse, la géométrie et la microarchitecture osseuse.

---

### III. 3.4.2. Résumé du projet

---

Le but de ce travail est d'explorer les relations entre le niveau de performance physique, le niveau d'activité physique usuel, les apports nutritionnels, les caractéristiques anthropométriques et le sommeil d'un côté et la densité minérale osseuse, la géométrie osseuse de la hanche et le trabecular bone score (TBS) chez des jeunes Libanais et Français âgés de 8 à 35 ans.

Dans un premier temps, nous avons mené trois séries d'études chez des enfants obèses Français et des jeunes adultes Libanais.

Dans un deuxième temps, nous avons mené une étude sur 535 jeunes adultes Français (342 femmes et 193 hommes) afin d'explorer les relations entre le niveau de performance physique, le niveau d'activité physique, la composition corporelle, les apports nutritionnels et la qualité de sommeil d'une part et les valeurs de BUA (Broadband Ultrasound Attenuation) d'autre part.

### Ces travaux ont montré que :

- Le poids, la masse maigre, la pratique d'activités physiques à impacts, la force maximale et le niveau de puissance musculaire sont des déterminants positifs de la DMO,
- La pratique d'activités physiques à impacts influence positivement les valeurs de TBS, les indices géométriques de résistance osseuse de la hanche (surface de la section transversale (CSA) et module de section (Z)) et les indices de résistance osseuse du col fémoral (Bending Strength Index (BSI), Compressive Strength Index (CSI) et Impact Strength Index (ISI)),
- L'existence de corrélations significatives entre les apports protéiques et calciques d'une part et la DMO d'autre part chez les jeunes hommes. Une des études préliminaires a suggéré que la qualité de sommeil est associée à une meilleure DMO chez les jeunes hommes.
- Les caractéristiques anthropométriques (poids, IMC, masse grasse, tour de taille et tour de hanche) sont des facteurs corrélables à la BUA chez les femmes mais pas chez les hommes.
- Il existe une tendance de corrélation positive entre la performance en détente verticale et la BUA chez les hommes.

---

### **III. 3.4.3. Contexte scientifique**

---

La masse grasse, la masse maigre, les paramètres de l'activité physique, les apports nutritionnels influencent la masse osseuse. Ce sont des déterminants non génétiques sensibles à des interventions cliniques. Quel est l'impact de ces facteurs ?

#### **1.1. Influence des paramètres de l'activité physique**

##### - Influence du type d'activité physique sur la DMO :

Une réponse ostéogénique est obtenue lors d'une activité physique supérieure et différente des contraintes mécaniques imposées habituellement (marche et course modérée) et d'une amplitude supérieure à 3 ou 4 g (Bass, 2000, Khan et coll. 2000, MacKelvie et coll. 2002). Le type d'activité physique joue un rôle très important sur l'influence de la masse osseuse. A titre d'exemple les sports collectifs (football, basketball, rugby...) et les sports individuels (tennis, squash, lancers...) sont caractérisés par des contraintes mécaniques variées (compression, flexion ou torsion) susceptible d'influencer la masse osseuse (Heinonen et coll. 2001, Ehrlich et Lanyon, 2002). De nombreux auteurs ont montré que lors de la pratique régulière d'activités physiques à contraintes mécaniques élevées, la force de préhension et les performances obtenues dans les tests athlétiques évaluant ces pratiques sportives (détente verticale, détente horizontale, triple-bond et 5 sauts pieds joints) sont corrélées positivement à la DMO (Dixon et coll. 2005, Sherk et coll. 2009, El Hage et coll. 2013, Zakhem et coll. 2013). Les activités induisant des forces de flexion et de compression très importantes, comme la musculation et l'haltérophilie, sont aussi associées positivement à la DMO. Chilibeck (1995) et Guadalupe-Grau (2009) ont ainsi montré une différence significative de 10 à 15 % de la DMO entre des sujets pratiquants l'haltérophilie et des sujets sédentaires. Par contre on trouve chez certains sujets pratiquant des sports en décharge tels que la natation et le cyclisme des valeurs de DMO comparables à celles des sujets

sédentaires. Ces sports ne subissent pas de contraintes mécaniques supérieures à la normale (Heinonen et coll. 1993, Fehling et coll. 1995).

- Influence du volume d'entraînement sur la DMO :

La DMO n'augmente pas linéairement avec la quantité d'AP. Il semblerait qu'un seuil de 6 heures hebdomadaire soit suffisant pour obtenir des valeurs osseuses optimales (Magnusson et coll. 2001). Aucune différence n'a été observée entre des joueurs de football pratiquant 6 ou 12 heures par semaine (Magnusson et coll. 2001). En effet, plusieurs auteurs ont montré qu'un entraînement intensif de plus de 20 heures par semaine possède des effets néfastes sur l'apparition de la ménarche chez les filles et sur la croissance en général (Bass et coll. 2002, Maïmoun, 2004, Thomis et coll. 2005). Cet entraînement intensif pourrait avoir une influence négative sur la minéralisation osseuse chez l'enfant, l'adolescent et même chez le jeune adulte (Bass et coll. 2000, Maïmoun, 2004, Thomis et coll. 2005).

- Influence de l'activité physique sur la géométrie osseuse et les indices de résistance osseuse du col fémoral :

La hanche est un site qui supporte beaucoup de poids. Sa géométrie osseuse est influencée par les facteurs mécaniques imposés comme l'activité physique qui engendre des contraintes mécaniques très élevées. De nombreuses études ont par ailleurs démontré l'effet des activités physiques à haute contrainte mécanique sur la géométrie osseuse (Faulkner et coll. 2003, El Hage et coll. 2013).

La prédiction de la fracture de la hanche a été examinée par les indices de résistance osseuse du col fémoral (Indice de force en compression (CSI), Indice de force en flexion (BSI) et Indice de force aux contraintes (ISI)). Ces indices intègrent la taille du col fémoral, les dimensions corporelles et la densité minérale osseuse. Ils reflètent la résistance à la charge axiale en compression et à la force en flexion ainsi que l'absorption de l'énergie provoquée par les contraintes mécaniques. De nombreux auteurs ont pu prédire la fracture de la hanche liée à l'ostéoporose par les indices de résistance osseuse du col fémoral (Karlamañla et coll. 2004, Faulkner et coll. 2006, Li et coll. 2013). El Hage (2014) a suggéré que la pratique du football chez les jeunes adultes de sexe féminin est associée à une augmentation des indices de résistance du col fémoral.

- Influence de l'activité physique sur la qualité osseuse (microarchitecture) :

La microarchitecture osseuse est l'un des paramètres les plus compliqués à étudier in-vivo chez l'être humain. La plupart des études qui déterminent l'effet de l'exercice physique sur la microarchitecture osseuse ont été menées chez l'animal. Cinq semaines d'entraînement sur tapis roulant ont été réalisées chez des rats âgés de 9 semaines. Ce type d'entraînement a montré une augmentation significative du nombre de travées osseuses au niveau de l'épiphyse du tibia, qui est associée à une réduction de l'espace inter trabéculaire. Chez les humains, une étude a montré que le tissu osseux trabéculaire s'adapte positivement aux contraintes mécaniques de la vie quotidienne (MacIntyre et coll. 1999). Les activités physiques qui présentent des contraintes mécaniques au-dessus de la normale (coté dominant) comme, le football, le basketball, le squash, le tennis et le badminton entraînent un meilleur indice de connexion du réseau trabéculaire, une réduction de la taille des espaces médullaires, une structure osseuse trabéculaire plus complexe, plus hétérogène et plus

dense du côté dominant par rapport au côté non dominant (Ducher et coll. 2005 ; Ducher et Blimkie, 2006; Modlesky et coll. 2008).

## **1.2. Influence des caractéristiques anthropométriques et de la composition corporelle**

La taille est bien corrélée avec la DMO et le CMO au niveau du rachis lombaire et de la hanche (Hrafinkelsson et coll. 2010), et avec le CMO au niveau du corps entier chez l'enfant (Reid, 2002, Hrafinkelsson et coll. 2010). La différence au niveau de la taille entre les deux sexes durant la phase de puberté a une influence sur les valeurs de DMO Surfacique (Forwood et coll. 2006).

Le poids et l'IMC influencent le métabolisme osseux par un effet gravitationnel direct et par un effet hormonal (Jurimae et coll. 2007, Leslie WD, 2008). Ceux-ci sont des facteurs prédictifs de la masse osseuse. Chez les adultes des deux sexes, le poids et l'IMC sont bien corrélés avec la masse osseuse et permettent de réduire l'ostéoporose (Reid et coll. 1992, Felson et coll. 1993, Reid 2002, Wang et coll. 2005). De même, chez l'enfant et l'adolescent, l'obésité est associée à une masse osseuse plus élevée (Wang et coll., 2005).

- La masse maigre est un ensemble complexe comprenant en particulier l'eau, les protéines musculaires, les protéines viscérales (marqueurs de la malnutrition qui comprennent des protéines sériques, les érythrocytes, les granulocytes, les lymphocytes), les autres organes de tissus solides (Gibson, 1990) et la masse osseuse. Elle est considérée comme le meilleur déterminant positif de la DMO et du CMO chez les adolescents et les jeunes adultes (Leonard et coll. 2004, El Hage et coll. 2010, Reid, 2010).

- La masse grasse totale représente environ 15 % du poids du corps chez l'homme jeune et 23 % chez la femme. Dans les deux sexes, la masse grasse est répartie sous différents dépôts de tissus adipeux : des dépôts intermusculaires et intramusculaires, des dépôts profonds ou intra-abdominaux, des dépôts superficiels ou sous-cutanés et des dépôts dans la moelle osseuse.

La répartition de cette masse évolue avec la croissance et différemment selon le sexe :

- Avant la puberté, la masse grasse est un déterminant positif de la DMO chez les deux sexes (Ackerman et coll. 2006),
- Pendant la phase pubertaire et la période adulte, la masse grasse reste un déterminant positif de la masse osseuse mais influence davantage les valeurs de CMO et de DMO chez les sujets féminins comparés aux sujets masculins (Arabi et coll. 2004, Ackerman et coll. 2006, El Hage et coll. 2009, Sayers et coll. 2010, El Hage et coll. 2012),
- Chez les hommes âgés et les femmes post-ménopausées, la masse grasse reste un déterminant important de la DMO (El Hage et coll. 2012).

La masse grasse peut se distinguer en deux grands types de tissus adipeux :

- **Le tissu adipeux brun** possède la capacité de brûler de l'énergie grâce à la présence de la protéine découplante (Nicholls et Locke, 1984). Ce tissu est richement vascularisé et très innervé par le système nerveux sympathique (Nnodim et coll. 1988). Il est riche en mitochondries (Nechay et coll. 1986). Des études menées chez les animaux ont démontré que le tissu adipeux brun en faible quantité est associé à une réduction de la DMO (Zanotti et coll. 2009, Motyl et coll. 2011). D'autres études in-vivo ont montré que le tissu adipeux

brun est un déterminant positif de la masse osseuse chez les jeunes femmes (Bredella et coll. 2013, Lee et coll. 2013).

- **Le tissu adipeux blanc** est localisé dans plusieurs zones de l'organisme : sous-cutanée superficielle et sous-cutanée interne ou profonde (viscérale, non viscérale, intra et périmusculaire) (Cinti, 1999, Shen et coll. 2003). Le tissu adipeux blanc sous-cutané influence positivement la masse osseuse chez les garçons (Campos et coll. 2012), les adolescentes et les jeunes femmes (Gilsanz et coll. 2009), les hommes âgés (Yerges-Armstrong et coll. 2010) et les femmes post-ménopausées en surpoids et obèses (Tarquini et coll. 1997). Le tissu adipeux blanc localisé autour des viscères est aussi appelé « **masse grasse viscérale** ». De nombreux auteurs ont montré que ce tissu est un prédicteur négatif de la DMO chez les adolescents, chez les adolescentes obèses (Russell et coll. 2010, Campos et coll. 2012, Júnior et coll. 2013) et chez les jeunes adultes (Gilsanz et coll. 2009, Choi et coll. 2010, Bredella et coll. 2011). Harman-Boehm et coll. (2007) ont suggéré d'après leurs résultats que le rôle négatif exercé par ce type de masse grasse sur la masse osseuse est dû à une corrélation entre le tissu adipeux viscéral et la sécrétion accrue de cytokines pro inflammatoires, causée par l'infiltration macrophagique.

- L'augmentation du **tissu adipeux de la moelle osseuse « adiposité médullaire »** augmente le risque de fracture périphérique (Czernic et coll. 1999). Une première étude, menée chez des femmes âgées ostéoporotiques, a montré une accumulation prononcée d'adipocytes dans la moelle osseuse par rapport aux jeunes femmes en bonne santé (Meunier et coll. 1971). Cela a été confirmé ultérieurement chez des femmes post-ménopausées ostéoporotiques, où une association négative a été observée entre la masse grasse de la moelle osseuse et le taux de la formation osseuse (Verma et coll. 2002). Plus récemment, Yeung et coll. (2005) ont montré que la moelle osseuse des femmes post-ménopausées contient à peu près deux fois plus de graisses que celle des femmes pré-ménopausées. Une DMO faible déterminée chez des femmes est associée à une adiposité plus importante dans la moelle osseuse par rapport à d'autres femmes (de même âge ayant une DMO normale) (Yeung et coll. 2005).

### 1.3 Influence des paramètres nutritionnels

Les nutriments jouent un rôle très important dans l'évolution de la masse osseuse. Ils ont des effets directs sur la DMO.

Certains nutriments, de par, leur qualité, leur quantité et leur temps d'ingestion ont un rôle essentiel sur la formation osseuse. C'est le cas pour des macronutriments (protéines et phyto-oestrogènes), des micronutriments (Calcium et vitamine D), la vitamine C, la vitamine K et quelques autres minéraux (Heaney et coll. 2002, Bonjour et coll. 2009). En revanche, l'excès de certaines matières a des effets néfastes sur l'os. Les acides, la caféine, l'alcool et certains oligoéléments (magnésium, iode, fer, cuivre...) sont parmi ces substances (Reid, 2010).

Afin d'obtenir une DMO optimale, il faudrait éviter, selon Rizzoli (2011), les régimes hypocaloriques qui peuvent entraîner une diminution de la formation osseuse et une augmentation de la résorption osseuse (perte de masse maigre donc diminution des contraintes mécaniques sur l'os). Il est essentiel, pour Bréban (2009), de suivre un régime alimentaire riche en protéines, en vitamine C (nécessaire à la synthèse du collagène), en

vitamine A, en vitamines B12 (qui influence le rapport ostéoblastes/ostéoclastes) et en minéraux (calcium, phosphore, magnésium, manganèse).

○ 1.3.1 Influence des apports protéiques

Un apport alimentaire riche en protéines impacte positivement les taux sériques de l'IGF-1 qui stimulent la prolifération des ostéoblastes et améliorent leur activité. Cela permet aussi d'influencer de façon importante la densité minérale osseuse et jouerait un rôle important dans la diminution du risque fracturaire à un âge plus avancé (Rizzoli, 2008). Un entraînement physique associé à une consommation élevée de protéines possède des effets positifs sur la masse osseuse. Néanmoins, un apport trop élevé en protéines peut induire une balance calcique négative et augmenterait la perte osseuse par le biais d'une acidose (Rizzoli et coll. 2004). L'impact des effets d'un apport adéquat en protéines est résumé dans la figure 8.

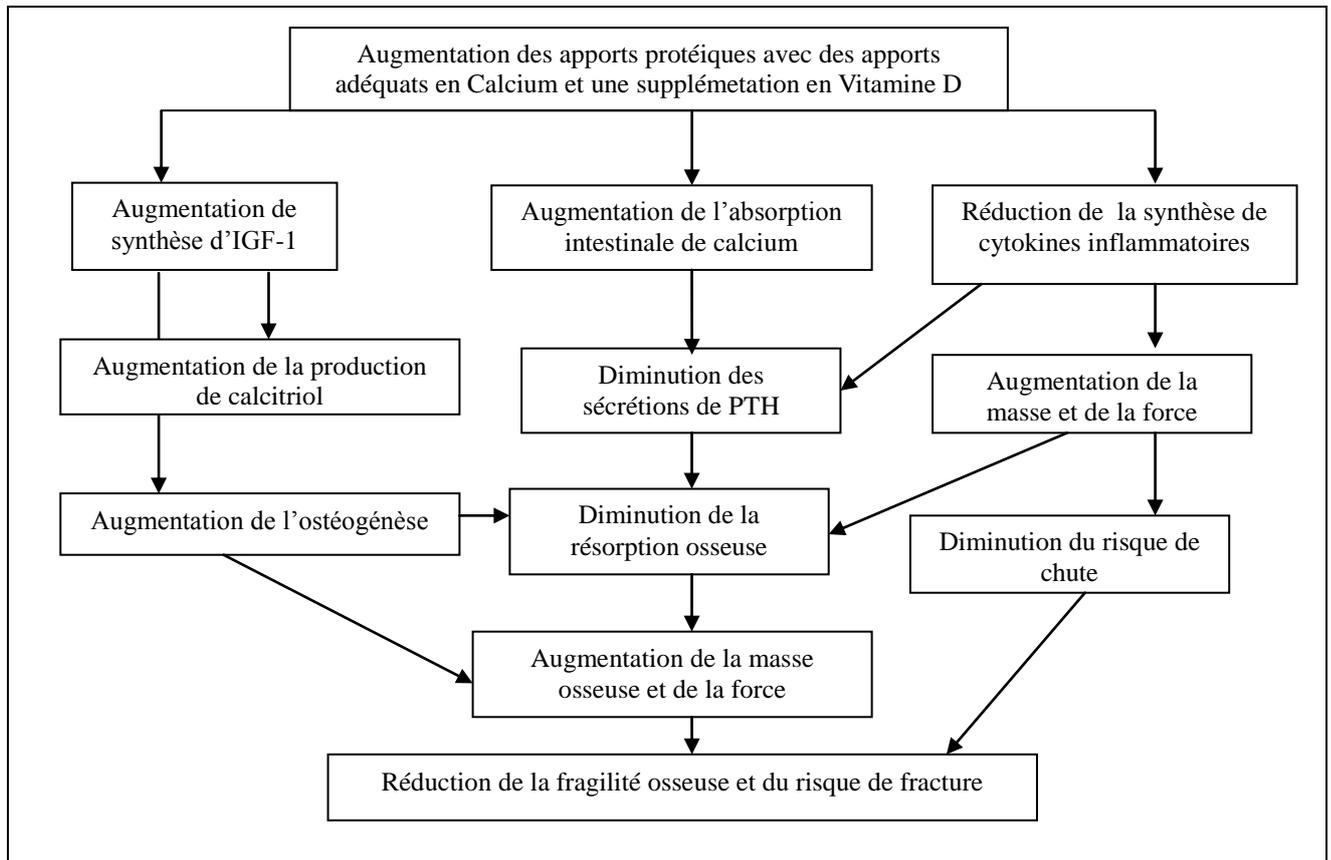


Figure 8 : Protéines et risque de fracture (adapté de Bonjour, 2011)

○ 1.3.2 Influence des apports calciques

Le calcium est un constituant essentiel du squelette. De nombreuses études ont rapporté des corrélations entre l'apport calcique et l'acquisition de la masse osseuse. Un apport calcique adapté chez les enfants permet une bonne acquisition de la masse osseuse à long terme (Bonjour et coll. 1997). Lloyd (1996) a démontré que la supplémentation en calcium entraîne une augmentation de la masse osseuse chez les adolescents. La supplémentation en calcium permet aussi de majorer l'effet de l'activité physique sur le tissu osseux. À son tour, l'activité physique a besoin d'un apport calcique important pour améliorer la DMO (Courteix et coll. 2005, Bass et coll. 2007). Les réponses à l'hypocalcémie sont synthétisées dans la figure 9.

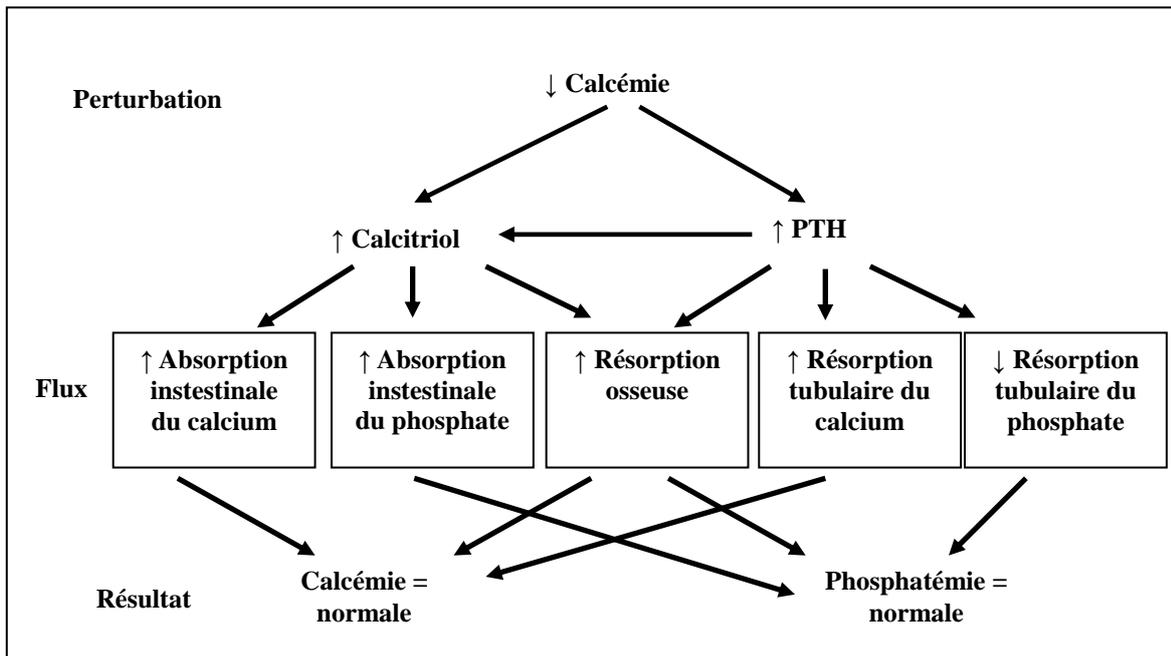


Figure 9 : Réponse à une hypocalcémie d'après Rizzoli et Bonjour, 1998

○ 1.3.3 Influence des apports en Vitamine D

La vitamine D est une vitamine liposoluble retrouvée dans l'alimentation. Elle peut être synthétisée au niveau de la peau, à partir d'un dérivé du cholestérol, sous l'action des rayonnements UVB de la lumière (forme D3).

La vitamine D alimentaire a une action particulièrement importante car elle facilite l'absorption du calcium et du phosphore présent dans le tube digestif. La vitamine D intervient aussi dans leur réabsorption par les reins, sous l'influence de la PTH.

Une carence grave et prolongée en vitamine D est responsable du rachitisme chez les enfants et de l'ostéomalacie chez les adultes. Dans certaines études, une carence non sévère en vitamine D est reliée à une augmentation de la production de parathormone (PTH), qui à son tour majore le turn-over osseux (Chapuy et coll. 1994). New (2001) a proposé une solution qui pourrait être également un facteur protecteur de l'ostéoporose : l'association entre la prise des deux suppléments, vitamine D et calcium. Les interactions entre les apports nutritionnels et le risque de fracture sont synthétisées dans la figure 11.

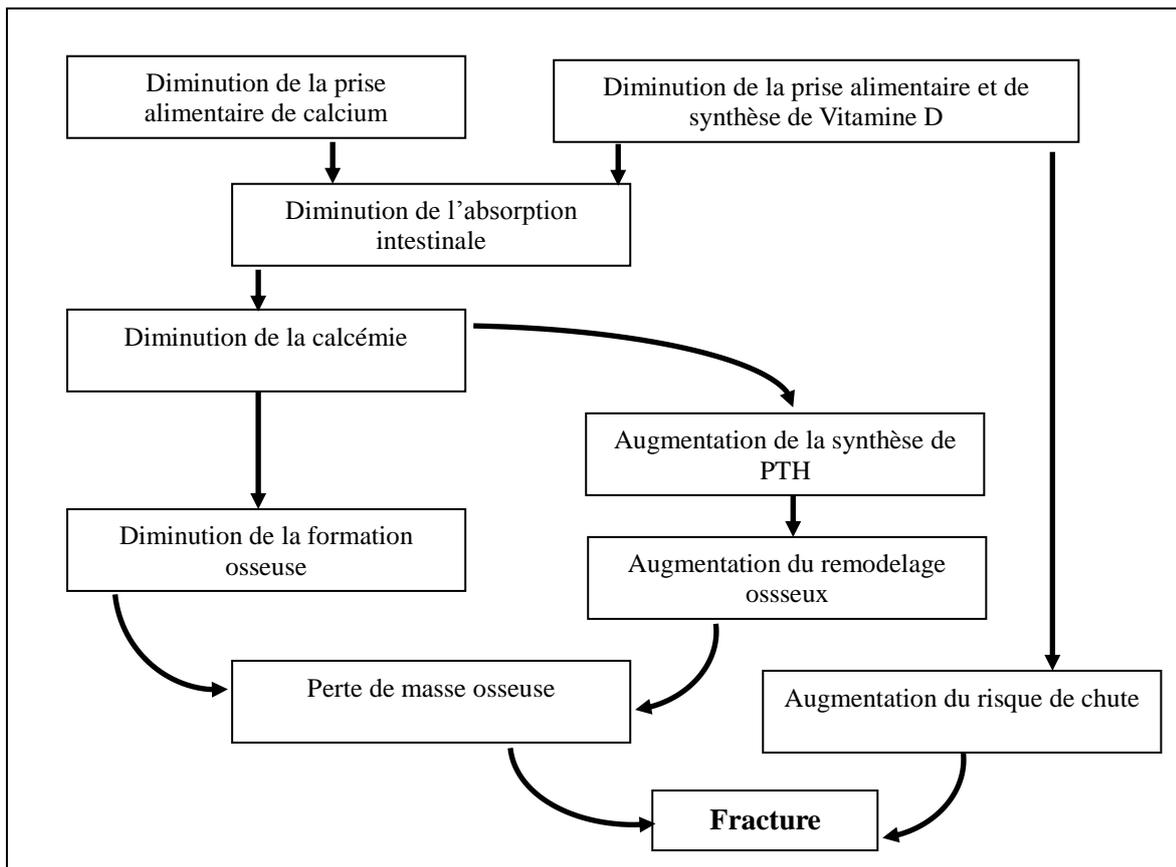


Figure 10 : Interactions entre apports nutritionnels et risque fracturaire (Rizzoli, 2008)

#### ○ 1.3.4 Influence de la consommation d'alcool

L'alcool possède un effet néfaste sur la masse osseuse. Il réduit la DMO et le CMO dans les deux types de tissu osseux : os cortical et os trabéculaire (Sampson et coll. 1998). L'abus d'alcool a des effets négatifs sur la masse osseuse : il diminue l'activité des ostéoblastes (Chavassieux et coll. 1993) et la différenciation de ces cellules (Fazeli et coll. 2012), augmente la résorption osseuse via son effet sur les ostéoclastes (Torricelli et coll. 2007) et augmente l'apoptose des ostéocytes qui est associée à une diminution de la DMO (Maurel et coll. 2011). L'abus d'alcool a aussi des effets indirects sur la composition corporelle (masse maigre et masse grasse), la leptine, l'hormone de croissance, l'IGF-1, la vitamine D, la PTH et la calcitonine (Maurel et coll. 2012).

---

### III. 3.4.4. Objectifs

---

Explorer l'influence des déterminants de la masse osseuse non génétiques et accessibles à des actions de prévention (IMC, masse grasse et masse maigre, niveau d'activité physique, apports nutritionnels et sommeil) chez de jeunes adultes (âgés de 17 à 40 ans).

---

### III. 3.4.5. Méthodologie

---

#### 1.1 Les protocoles utilisés

Trois protocoles ont été utilisés dans ce projet :

##### - Protocole DETERMINANTS

Des jeunes adultes Libanais (hommes et femmes) âgés entre 17 et 40 ans, en bonne santé physique et mentale, sans antécédents médicaux affectant le métabolisme osseux et sans traitement hormonal ou vitaminique susceptible d'influencer le métabolisme osseux ont volontairement participé à l'étude. Le recrutement a eu lieu dans plusieurs Universités privées. Les participants ont signé un consentement éclairé. Le protocole a reçu l'approbation du comité d'éthique de l'Université de Balamand.

##### - PROTOCOLE CAEN

Les enfants (47 filles et 67 garçons) ayant participé à cette étude étaient suivis par le Dr Bouglé, médecin au Centre Hospitalier Régional et Universitaire de Caen. Les différentes investigations réalisées faisaient partie de la prise en charge de l'enfant obèse dans le cadre d'un Protocole Hospitalier de Recherche Clinique (PHRC) ayant reçu l'accord du Comité Consultatif pour la Protection des Personnes participant à une Recherche Biomédicale (CCPPRB) de Basse Normandie.

Les critères de sélection pour les études étaient :

- Garçons ou filles de 9 à 17 ans dont l'IMC > 97ème percentile des courbes de référence (Rolland-Cachéra et coll., 1991),

- Inactifs,
- Sans maladies associées / sans prise médicamenteuse.

### - Protocole UNIVERSANTÉ

Les sujets de nos études étaient des jeunes adultes Français (âgés de 17 à 30 ans) des deux sexes (342 femmes et 193 hommes). Ils étaient en bonne santé physique et mentale et sans antécédents médicaux ni pathologiques affectant le métabolisme osseux.

## 1.2 Outils de mesure

### ○ 1.2.1 Les caractéristiques anthropométriques

Le poids et la taille ont été mesurés à l'aide d'une balance électronique (Taurus, précision = 0,1 kg) et d'une toise (Seca, précision = 0,1 cm). L'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé comme le poids corporel divisé par la taille au carré ( $\text{kg/m}^2$ ).

### ○ 1.2.2 L'absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) (Protocole DETERMINANTS, PROTOCOLE CAEN)

Des mesures absorptiométrie biphotonique à rayons-X (DXA) ont été réalisées au niveau du corps entier, du rachis lombaire, de la hanche entière et du col fémoral. Ces mesures ont été réalisées dans le même centre sur la même machine et par le même technicien certifié.

Les paramètres mesurés étaient : la densité minérale osseuse (DMO) exprimée en  $\text{g/cm}^2$ , le contenu minéral osseux (CMO) exprimé en g, la surface minérale osseuse (SMO) exprimée en  $\text{cm}^2$ , le trabecularbone score (TBS) et les indices géométriques de résistance osseuse du col fémoral (l'épaisseur corticale (CT), le moment d'inertie de la surface transversale (CSMI), la surface de la section transversale (CSA), le module de section (Z) et le Buckling Ratio (BR)). Les coefficients de variation pour les mesures de DMO sont inférieurs à 1 %.

Nous avons calculé aussi les indices de résistance osseuse du col fémoral (indice de force en compression (CSI), indice de force en flexion (BSI) et indice de force aux contraintes (ISI)) comme indiqué par Khoo et coll. (2005).

### ○ 1.2.3 L'ultrasonométrie (PROTOCOLE UNIVERSANTE)

Une mesure avec une machine de type Pegasus Smart Medlink<sup>®</sup> est réalisée au niveau du calcanéum (pied dominant). Les participants à cet examen ne doivent pas porter de prothèses. Ils doivent enlever leurs chaussures et leurs chaussettes, puis on leur applique une couche de gel spécifique sur les deux côtés du calcanéum (pied à examiner). Ensuite, ils placent leur pied dans le réceptacle de la machine (plante du pied collé au fond du réceptacle et talon d'Achille à l'arrière du réceptacle 'bien centré'). On termine l'installation des participants en positionnant une cale sur le tibia pour immobiliser leur pied. L'examen débute, deux transducteurs, un émetteur et un récepteur balayent en même temps le talon avec une fréquence centrale de 20 KHz, permettant de mesurer l'atténuation de l'intensité de l'onde ultrasonore (BUA) et la vitesse de propagation (SOS, speed-of-sound). Les mesures sont enregistrées sur un ordinateur portable, qui permet de vérifier la qualité du signal afin

de valider chaque mesure. La machine est étalonnée quotidiennement selon les indications du fabricant.

#### ○ **1.2.4 Le niveau de condition physique (Protocole DETERMINANTS)**

- Sauts athlétiques (détente horizontale, triple bonds et 5 sauts pieds joints) :

Les performances physiques dans les trois tests athlétiques (détente horizontale, triple bonds et 5 sauts pieds joints) ont été mesurées comme précédemment décrit (Chamari et coll.

2008, Hudgins et coll. 2012). Les mesures ont été effectuées dans la même journée et avec un temps de récupération de 5 minutes (entre les trois types de sauts). Trois essais ont été réalisés pour chaque test physique (avec trois minutes de récupération entre les essais) et le meilleur saut a été enregistré.

- Demi-squat (D-S) :

La force maximale en demi-squat a été évaluée par un appareil de musculation classique (Smith machine) en respectant les instructions de l'association nationale de conditionnement et de force musculaire (Hanson et coll. 2007).

- Détente verticale (DV) :

La détente verticale a été évaluée à l'aide d'un accéléromètre (Myotest Pro). Deux paramètres principaux ont été retenus : la détente verticale (centimètre) et la puissance (W). Les sujets réalisaient trois séries de cinq sauts (*Counter movement jump* ou CMJ) avec deux minutes de récupération entre les séries. Nous avons retenu le meilleur essai sur base de la détente verticale la plus élevée (Jidovtsseff et coll. 2008, McNair et coll. 2011).

#### ○ **1.2.5 Consommation maximale d'oxygène (PROTOCOLE CAEN)**

Lors de nos expérimentations, nous avons couplé l'épreuve d'effort à la calorimétrie indirecte ce qui nous a permis de calculer les taux d'oxydation des glucides et des lipides lors de l'exercice comme l'ont précédemment réalisé Achten et coll. (2002) à l'aide d'un protocole similaire. Ce test consiste à réaliser des paliers d'une durée suffisante (3 minutes 30 secondes) (Fawkner et Armstrong 2003) pour permettre d'obtenir des échanges gazeux stables. Cette stabilité des échanges gazeux permet d'utiliser le quotient respiratoire comme QR glucido-lipidique.

Les échanges gazeux sont mesurés au repos, pendant toute la durée des différents paliers et durant la récupération. L'échauffement, d'une durée comprise entre 5 et 10 minutes, était effectué à 0 Watt. Le premier palier était fixé à 30 Watts puis l'incrémentait de 20 Watts toutes les 3 minutes 30 secondes. La figure 22 représente schématiquement l'épreuve d'effort couplé à la calorimétrie indirecte que nous avons utilisé dans ce protocole.

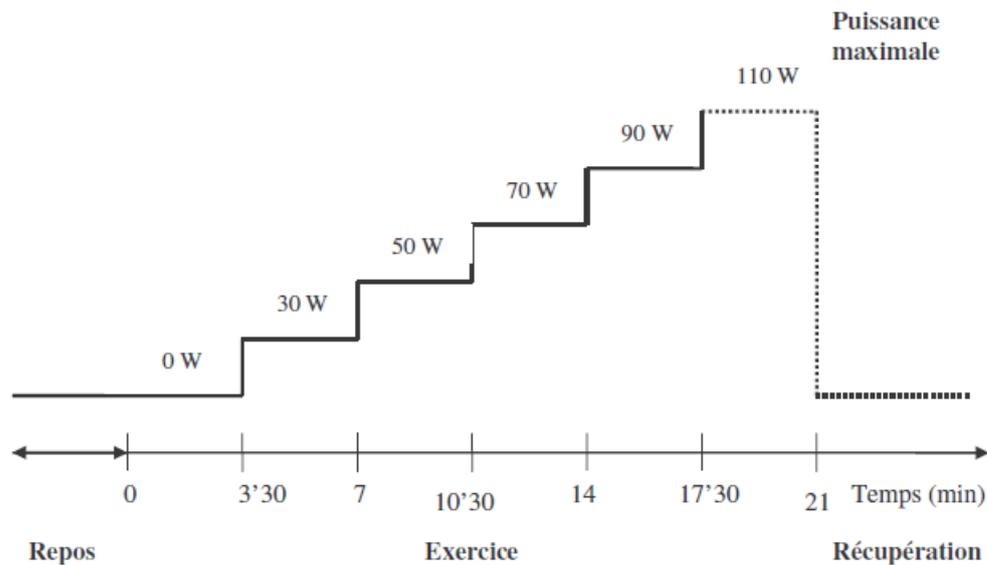


Figure 11: Représentation schématique de l'épreuve d'effort couplé à la calorimétrie indirecte

○ **1.2.6 Questionnaires d'auto-évaluation (PROTOCOLE DETERMINANTS & UNIVERSANTE)**

-Appréciation du sommeil par l'indice de qualité du sommeil de Pittsburgh (IQSP)

Le questionnaire de sommeil utilisé est le Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) traduit en français (Blais et coll. 1997). Il permet d'évaluer la qualité rétrospective et déclarative du sommeil des dernières semaines (Buysse et coll. 1989). Il est associé ici à un recueil déclaratif des heures de coucher et de lever ainsi que de la latence d'endormissement estimée. L'IQSP comprend 19 questions d'auto-évaluation et 5 questions posées au conjoint ou au compagnon de chambre. Seules les questions d'auto-évaluation sont incluses dans le score. Les 19 questions d'auto-évaluation se combinent pour donner 7 « composantes » du score global. Chaque composante reçoit un score de 0 à 3. Un score de 0 indique qu'il n'y a aucune difficulté tandis qu'un score de 3 indique l'existence de difficultés majeures. Les 7 composantes du score s'additionnent pour donner un score global allant de 0 à 21 points. Un score global de 0 signifie qu'il n'y a aucune difficulté alors qu'un score global de 21 indique au contraire des difficultés majeures (Buysse et coll. 1989).

- Appréciation de la consommation calcique journalière (CCJ)

L'évaluation de la teneur en calcium du régime alimentaire est réalisée par le questionnaire de Fadellone (1991). Ce questionnaire comporte 30 questions évaluant la consommation de produits laitiers, viandes, poissons, œufs, diverses céréales, légumes secs, légumes verts, fruits, desserts, eau (minérale et du robinet), jus de fruits et boissons alcoolisées (vin, bière et cidre).

- Consommation protéique journalière (CPI)

La CPJ a été évaluée par un questionnaire fréquentiel préalablement validé (Morin et coll. 2005). Ce questionnaire comporte 20 items : produits laitiers, fromages, viandes, poissons, œufs, pommes de terres, haricots, lentilles, légumes secs, pains, pizzas, crèmes glacées... Aucun sujet ne recevait de suppléments protéiques dans notre étude.

- Activité physique (AP)

Le volume hebdomadaire (heures/semaines) de pratique sportive a été évalué par un questionnaire validé (Ainsworth et coll. 2002)

---

### **III. 3.4.6. Résultats**

---

Le tableau ci dessous permet de récapituler les différentes études menées et les principales conclusions de l'impact des déterminants testés sur la masse osseuse.

## Etude n°1 : Relations entre le niveau d'activité physique et la santé osseuse

	Population	Objectifs	Outils de mesure	Résultats
<b>Etude 1a</b> Publication n° 9	45 femmes et 61 jeunes hommes âgés de 17 à 34 ans	Explorer les relations entre les niveaux de performance physique et la DMO	DV, DH, TB, D-S, DXA	Chez les femmes : taille, masse maigre et les performances tests physiques sont positivement corrélés aux valeurs de DMO et de CMO. Perf D-S corrélé positivement CMO CE ( $r = 0.6$ ; $p < 0.001$ ), DMO CE ( $r = 0.52$ ; $p < 0.001$ ), DMO L2-L4 ( $r = 0.72$ ; $p < 0.001$ ), HE DMO ( $r = 0.57$ ; $p < 0.01$ ), and CF DMO ( $r = 0.63$ ; $p < 0.05$ ) Chez les hommes, la masse maigre et la force maximale en D-S étaient positivement corrélées aux valeurs de DMO et de CMO : Perf D-S corrélé positivement CMO CE ( $r = 0.69$ ; $p < 0.001$ ), DMO CE ( $r = 0.73$ ; $p < 0.001$ ), DMO L2-L4 ( $r = 0.63$ ; $p < 0.001$ ), HE DMO ( $r = 0.59$ ; $p < 0.01$ ), and CF DMO ( $r = 0.51$ ; $p < 0.05$ )
<b>Etude 1b</b> Publication n° 19	20 femmes et 37 hommes âgés de 18 à 32 ans	Explorer les relations entre la VO <sub>2</sub> max et les paramètres osseux	VO <sub>2</sub> max, DXA, indices géométriques	Chez les hommes : La consommation maximale d'oxygène (L/min) est un déterminant positif du CMO, de la DMO et des indices géométriques de la hanche La VO <sub>2</sub> max (L/min) est positivement corrélée CMO CE ( $r = 0.57$ ; $p < 0.001$ ), DMO CE ( $r = 0.53$ ; $p < 0.001$ ), DMO L1-L4 ( $r = 0.50$ ; $p < 0.001$ ), HE DMO ( $r = 0.38$ ; $p < 0.01$ ), and CF DMO ( $r = 0.30$ ; $p < 0.05$ ) Chez les femmes: La consommation maximale d'oxygène (L/min) est un des meilleurs déterminants positifs du CMO, de la DMO et des indices géométriques de la hanche. La VO <sub>2</sub> max (L/min) est positivement corrélée au CMO CE ( $r = 0.82$ ; $p < 0.001$ ), DMO CE ( $r = 0.80$ ; $p < 0.001$ ), DMO L1-L4 ( $r = 0.73$ ; $p < 0.001$ ), HE DMO ( $r = 0.80$ ; $p < 0.001$ ), and CF DMO ( $r = 0.85$ ; $p < 0.001$ )
<b>Etude 1c</b> Publication n° 14	26 femmes Libanaises âgées de 18 à 28 ans	Explorer les relations entre les niveaux de performance physique et le TBS	VO <sub>2</sub> max, DV, DH, TB, D-S, TBS, DXA	Les performances obtenues aux tests physiques utilisés sont des déterminants positifs du TBS chez les jeunes femmes. DS et TBS sont positivement corrélés ( $r = 0.8$ ; $p < 0.001$ )
<b>Etude 1d</b> Publication n° 11	57 filles et 67 garçons Français âgés de 7 à 17 ans	Explorer les relations entre la VO <sub>2</sub> max, la Puissance Maximale Aérobie et les paramètres osseux	VO <sub>2</sub> max, DXA	La VO <sub>2</sub> max et la PMA sont des déterminants positifs du CMO et de la DMO chez les enfants en surpoids et obèses. La VO <sub>2</sub> max (L/min) est positivement corrélée au CMO CE ( $r = 0.78$ ; $p < 0.001$ ), DMO CE ( $r = 0.81$ ; $p < 0.001$ ), La PMA en W est positivement corrélée CMO CE ( $r = 0.72$ ; $p < 0.001$ ), DMO CE ( $r = 0.77$ ; $p < 0.001$ )

## Etude n°2 : Effets de l'activité physique à impacts sur la santé osseuse

<b>Etude 2a</b> Publication n°25	15 athlètes adultes (âge moyen de 23,3 ± 4,8 ans) et 20 jeunes hommes sédentaires (âge moyen de 22,4 ± 5,5 ans)	Explorer l'influence de l'activité physique sur la répartition de la DMO	Données associées à la DXA	La pratique d'activités physiques à impacts biomécaniques élevés est associée à une augmentation des valeurs de CMO et de DMO chez les jeunes hommes et influence la distribution de la masse osseuse.
<b>Etude 2b</b> Publication n°21	23 joueurs professionnels de football et 15 sujets sédentaires âgés de 17 à 30 ans	Explorer l'influence de la pratique du football sur les indices de résistance du col fémoral	Données associées à la DXA	la pratique de football est associée à une résistance plus importante du col fémoral.
<b>Etude 2c</b> Publication n°26	23 footballeurs professionnels et 21 témoins sédentaires de sexe masculin et âgés de 18 à 30 ans	Explorer l'influence de la pratique du football sur la géométrie osseuse de la hanche	Données associées à la DXA et logiciel HSA.	Chez les hommes jeunes, la pratique du football est associée à une augmentation des indices géométriques de résistance osseuse au niveau de la hanche.
<b>Etude 2d</b> Publication n°18	9 joueurs de rugby, 12 joueurs de foot-basket et 9 sédentaires âgés de 21 à 27 ans	Explorer l'influence du type d'activité physique sur la DMO, la géométrie osseuse et le TBS	Données associées à la DXA et logiciel HSA.	Les valeurs de DMO, de TBS (L1-L4) et des paramètres géométriques du col fémoral (CSA, CSMI et Z) sont significativement plus élevées chez les deux groupes de jeunes hommes sportifs (rugby et foot-basket) que chez les sédentaires.

## Etude n°3 : Effets du statut pondéral et de la qualité du sommeil sur la santé osseuse

	Population	Objectifs	Outils de mesure	Résultats
<b>Etude 3a</b> Publication n°8	35 femmes en surpoids (IMC >25 kg/m <sup>2</sup> ) et 116 femmes normo-pondérées (IMC <25 kg/m <sup>2</sup> ) âgées de 19 à 40 ans	Explorer l'influence du statut pondéral sur la TBS	Données associées à la DXA	La surcharge pondérale n'influence pas les valeurs de TBS chez les jeunes femmes.
<b>Etude 3b</b> Publication n°14	63 femmes en surpoids (IMC >25 kg/m <sup>2</sup> ) et 147 femmes normo-pondérées (IMC <25 kg/m <sup>2</sup> ) âgées de 19 à 40 ans	Explorer l'influence du statut pondéral sur le TBS	Données associées à la DXA	La surcharge pondérale est associée à une DMO plus élevée au niveau du rachis lombaire mais n'affecte pas les valeurs de TBS chez les jeunes femmes

<b>Etude 3c</b> Publication n°17	14 hommes Libanais âgés de 18 à 30 ans	Explorer la relation entre la qualité de sommeil et la DMO	Données associées à la DXA , CCJ, CPJ, IQSP	Une mauvaise qualité de sommeil influence négativement la DMO de la hanche.
<b>Etude n°4 : Déterminants de santé corrélables à la densité minérale osseuse évaluée par ultrasonométrie</b>				
<b>Étude</b> <b>Universanté</b> Publication n°13	342 femmes et 193 hommes âgés de 18 à 30 ans	Identifier les déterminants de la BUA dans une large population	IMC, MG, TT, TH, TS, TN 4 x 10 m, FP, GPAQ, IQSP CCJ, atténuation du signal ultrasonique (BUA)	Les caractéristiques morphologiques (l'IMC, le poids, la masse grasse, le tour de hanche et le tour taille) semblent des déterminants de santé corrélés à la BUA chez les jeunes femmes mais pas chez les jeunes hommes

Détente verticale (DV), détente horizontale (DH), triple bond (TB), 5 sauts pieds joints et force maximale des membres inférieures évaluée par le test de demi-squat (D-S). La composition corporelle, la DMO et le CMO du corps entier (CE), la DMO du rachis lombaire (L2-L4), la DMO de la hanche totale (HT) et la DMO du col fémoral (CF) ont été mesurés par (DXA).

Ces travaux nous ont permis d'identifier plusieurs facteurs corrélables à la DMO, à la géométrie osseuse et au TBS.

Cela nous a ainsi permis de confirmer et d'identifier de nouvelles relations entre les déterminants de santé et les paramètres osseux :

- 1) Les forces d'association entre la masse grasse et les paramètres osseux (BUA, CMO et DMO) sont plus fortes chez les femmes que chez les hommes.
- 2) La consommation maximale d'oxygène (L/min) est un déterminant positif de la DMO et des indices géométriques de la hanche (CSA et Z) chez les deux sexes.
- 3) La consommation maximale d'oxygène (L/min) et les performances obtenues aux tests physiques (DH, DV, TB, 5 sauts) semblent être des déterminants positifs du TBS chez les jeunes femmes.
- 4) La puissance musculaire et la force maximale des membres inférieurs, évaluées par des tests physiques (DV, DH, TB et 5 sauts) et par des mouvements de musculation (D-S), sont des déterminants positifs de la DMO chez les deux sexes.
- 5) La pratique des activités physique à impacts a des effets positifs sur plusieurs paramètres osseux comme :
  - a. Le CMO et la DMO
  - b. La répartition de la DMO (augmentation des DMO des régions sollicitées)
  - c. La géométrie osseuse de la hanche (CSA, CSMI, Z et CT)
  - d. Le TBS
  - e. Les indices de résistance osseuse du col fémoral (CSI, BSI et ISI)
- 6) Les apports protéiques et calciques sont des déterminants positifs de la DMO chez les hommes.
- 7) La qualité du sommeil semble être un déterminant positif de la DMO chez les hommes. Ceci suggère qu'une meilleure qualité de sommeil soit associée à une DMO plus élevée.

---

### III. 3.4.7. Perspectives

---

Il serait intéressant de mener une étude longitudinale chez des jeunes hommes et femmes. Cette étude, comporterait deux programmes d'entraînement physique (force et endurance) d'une durée de 18 mois au moins avec un suivi de l'évolution des facteurs influençant la masse osseuse retrouvés dans nos travaux (force musculaire, puissance musculaire, VO<sub>2</sub>max, niveau de pratique physique, apports nutritionnels, caractéristiques anthropométriques et qualité de sommeil) et les paramètres osseux que nous avons évalués (CMO, DMO, indices géométriques de la hanche, TBS et indices de résistance du col fémoral).

La mise en place d'une telle étude pourrait permettre de confirmer des relations de causalité entre les facteurs étudiés et les paramètres osseux.

---

### III. 3.4.8. Références bibliographiques

---

- Achten J, Gleeson M, Jeukendrup AE.** Determination of the exercise intensity that elicits maximal fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc.* **2002** Jan;34(1): 92-7.
- Ackerman A, Thornton JC, Wang J, Pierson RN Jr, Horlick M.** Sex difference in the effect of puberty on the relationship between fat mass and bone mass in 926 healthy subjects, 6 to 18 years old. *Obesity (Silver Spring)* **2006** 14(5): 819-25.
- Ainsworth BE, Youmans CP.** Tools for physical activity counseling in medical practice. *Obes Res* **2002** 10(1):69S-75S.
- Arabi A, Tamim H, Nabulsi M, Maalouf J, Khalifé H, Choucair M, Vieth R, El-Hajj Fuleihan G.** Sex differences in the effect of body-composition variables on bone mass in healthy children and adolescents. *Am J Clin Nutr* **2004** 80(5): 1428-35.
- Bass SL.** The prepubertal years: a uniquely opportune stage of growth when the skeleton is most responsive to exercise? *Sports Med* **2000** 30(2): 73-78.
- Bass SL, Naughton G, Saxon L, Iuliano-Burns S, Daly R, Briganti EM, Hume C, Nowson C.** Exercise and calcium combined results in a greater osteogenic effect than either factor alone: a blinded randomized placebo-controlled trial in boys. *J Bone Miner Res* **2007** 22(3): 458-64.
- Bass SL, Naughton G, Saxon L, Iuliano-Burns S, Daly R, Briganti EM, Hume C, Nowson C.** Exercise and calcium combined results in a greater osteogenic effect than either factor alone: a blinded randomized placebo-controlled trial in boys. *J Bone Miner Res* **2002** 2(3): 458-64.
- Blais FC, Gendron L, Mimeault V, Morin CM.** [Evaluation of insomnia: validity of 3 questionnaires]. *Encephale* **1997** Nov-Dec;23(6): 447-53.
- Bonjour JP, Ferrari S, Slosman D, Rizzoli R.** Calcium intake and bone growth. *Arch Pediatr* **1997** 4(8): 719-21.
- Bréban S.** Effet de l'activité physique de haut niveau sur la masse, l'architecture et le métabolisme osseux chez de jeunes adultes des deux sexes (16-30 ans). Étude longitudinale de 2 ans. École Doctorale Sciences et Technologies Unité INSERM U658. Thèse soutenue le: 22 Septembre 2009.
- Bredella MA, Fazeli PK, Lecka-Czernik B, Rosen CJ, Klibanski A.** IGFBP-2 is a negative predictor of cold-induced brown fat and bone mineral density in young non-obese women. *Bone* **2013** 53(2): 336-9.
- Bredella MA, Torriani M, Ghomi RH, Thomas BJ, Brick DJ, Gerweck AV, Harrington LM, Breggia A, Rosen CJ, Miller KK.** Determinants of bone mineral density in obese premenopausal women. *Bone* **2011** 48: 748-54.
- Buysse DJ, Reynolds CF 3rd, Monk TH, Berman SR, Kupfer DJ.** The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. *Psychiatry Res* **1989** 28: 193-213.
- Campos RM, Lazaretti-Castro M, Mello MT, Tock L, Silva PL, Corgosinho FC, Carnier J, Piano Ad, Sanches PL, Masquio DC, Tufik S, Dâmaso AR.** Influence of visceral and subcutaneous fat in bone mineral density of obese adolescents. *Arq Bras Endocrinol Metabol* **2012** 56(1): 12-8.
- Chamari K, Chaouachi A, Hambli M, Kaouech F, Wisløff U, Castagna C.** The five-jump test for distance as a field test to assess lower limb explosive power in soccer players. *J Strength Cond Res* **2008** 22: 944-950.
- Chapuy MC, Arlot ME, Delmas PD, Meunier PJ.** Effects of calcium and cholecalciferol treatment for three years on hip fractures in elderly women. *BMJ* **1994** 308(6936): 1081-1082.
- Chavassieux P, Serre CM, Vergnaud P, Delmas PD, Meunier PJ.** In vitro evaluation of dose-effects of ethanol on human osteoblastic cells. *Bone Miner* **1993** 22:95-103.
- Chilibeck PD, Sale DG, Webber CE.** Exercise and bone mineral density. *Sports Med* **1995** 19(2): 103-22.
- Choi HS, Kim KJ, Kim KM, Hur NW, Rhee Y, Han DS, Lee EJ, Lim SK.** Relationship between visceral adiposity and bone mineral density in Korean adults. *Calcif Tissue Int* **2010** 87(3): 218-25.
- Cinti S.** Adipose tissues and obesity. *Ital J Anat Embryol* **1999** 104(2): 37-51.
- Courteix D, Jaffre C, Lespessailles E, Benhamou L.** Cumulative effects of calcium supplementation and physical activity on bone accretion in premenarchal children: a double-blind randomised placebo-controlled trial. *Int J Sports Med* **2005** 26(5): 332-8.
- Czernic P, Visser B, Sun W, Savouré A, Deslandes L, Marco Y, Van Montagu M, Verbruggen N.** Characterization of an Arabidopsis thaliana receptor-like protein kinase gene activated by oxidative stress and pathogen attack. *Plant J* **1999** 18(3): 321-7.
- Dixon WG, Lunt M, Pye SR, Reeve J, Felsenberg D, Silman AJ, O'Neill TW.** European Prospective Osteoporosis Study Group. Low grip strength is associated with bone mineral density and vertebral fracture in women. *Rheumatology (Oxford)* **2005** 44(5): 642-6.
- Ducher G, Blimkie CJ.** Adaptations architecturales du tissu osseux en réponse à l'exercice physique : intérêts et limites des méthodes non invasives utilisées chez l'homme. *Science et Sports* **2006** 21: 255-67.
- Ducher G, Courteix D, Meme S, Magni C, Viala JF, Benhamou CL.** Bone geometry in response to long-term tennis playing and its relationship with muscle volume: a quantitative magnetic resonance imaging study in tennis players. *Bone* **2005** 37(4): 457-66.
- Ehrlich PJ, Lanyon LE.** Mechanical strain and bone cell function: a review. *Osteoporos Int* **2002** 13(9): 688-700.
- El Hage R, Jacob C, Moussa E, Benhamou CL, Jaffré C.** Total body, lumbar spine and hip bone mineral density in overweight adolescent girls: Decreased or increased ? See comment in PubMed Commons below. *J Bone Miner Metab* **2009** 27(5): 629-33.
- El Hage R, Moussa E, Jacob C.** Bone mineral content and density in obese, overweight, and normal-weighted sedentary adolescent girls. *J Adolesc Health* **2010** 47(6): 591-595.

**El Hage R, Zakhem E, Zunquin G, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G.** Does soccer practice influence compressive strength, bending strength, and impact strength indices of the femoral neck in young men? *J Clin Densitom* **2014** 17(1): 213–4.

**El Hage R.** Geometric indices of hip bone strength in obese, overweight, and normal-weight adolescent boys. *Osteoporos Int* **2012** 23: 15931–600.

**Faulkner KG, Wacker WK, Barden HS, Simonelli C, Burke PK, Ragi S, Del Rio L.** Femur strength index predicts hip fracture independent of bone density and hip axis length. *Osteoporos Int* **2006** 17(4): 593–9.

**Faulkner RA, Forwood MR, Beck TJ, Mafukidze JC, Russell K, Wallace W.** Strength indices of the proximal femur and shaft in prepubertal female gymnasts. *Med Sci Sports Exerc* **2003** 35(3): 513–8.

**Fawcner S, Armstrong N.** Oxygen uptake kinetic response to exercise in children. *Sports Med.* **2003** 33(9): 651–69.

**Fazeli PK, Bredella MA, Freedman L, Thomas BJ, Breggia A, Meenaghan E, Rosen CJ, Klibanski A.** Marrow fat and preadipocyte factor-1 levels decrease with recovery in women with anorexia nervosa. *J Bone Miner Res.* **2012** Sep;27(9): 1864–67.

**Fehling PC, Alekel L, Clasey J, Rector A, Stillman RJ.** A comparison of bone mineral densities among female athletes in impact loading and active loading sports. *Bone* **1995** 17(3): 205–10.

**Felson DT, Zhang Y, Hannan MT, Anderson JJ.** Effects of weight and body mass index on bone mineral density in men and women: the Framingham study. *J Bone Miner Res* **1993** 8(5): 567–73.

**Forwood MR, Baxter-Jones AD, Beck TJ, Mirwald RL, Howard A, Bailey DA.** Physical activity and strength of the femoral neck during the adolescent growth spurt: a longitudinal analysis. *Bone* **2006** 38(4): 576–83.

**Gibson RS.** Assessment of protein status. In: *Principles of Nutritional Assessment*. New York; Oxford: Oxford University Press 1990:307.

**Gilsanz V, Chalfant J, Mo AO, Lee DC, Dorey FJ, Mittelman SD.** Reciprocal relations of subcutaneous and visceral fat to bone structure and strength. *J Clin Endocrinol Metab* **2009** 94(9): 3387–93.

**Guadalupe-Grau A, Perez-Gomez J, Olmedillas H, Chavarren J, Dorado C, Santana A, Serrano-Sanchez JA and Calbet JA.** Strength training combined with plyometric jumps in adults: sex differences in fat-bone axis adaptations. *J Appl Physiol* **2009** 106: 1100–11.

**Hanson ED, Leigh S, Mynark RG.** Acute effects of heavy and light-load squat exercises on the kinetic measures of vertical jump. *J Strength Cond Res* **2007** 21(4): 1012–1017.

**Harman-Boehm I, Blüher M, Redel H, Sion-Vardy N, Ovadia S, Avinoach E, Shai I, Klötting N, Stumvoll M, Bashan N, Rudich A.** Macrophage infiltration into omental versus subcutaneous fat across different populations: effect of regional adiposity and the comorbidities of obesity. *J Clin Endocrinol Metab* **2007** 92(6): 2240–7.

**Heaney RP.** Protein and calcium: antagonists or synergists? *Am J Clin Nut* **2002** 75: 609–10.

**Heinonen A, McKay HA, Whittall KP, Forster BB, Khan KM.** Muscle cross-sectional area is associated with specific site of bone in prepubertal quantitative magnetic resonance imaging study. *Bone* **2001** 29(4): 388–392.

**Heinonen A, Oja P, Kannus P, Sievänen H, Mänttari A, Vuori I.** Bone mineral density of female athletes in different sports. *Bone Miner* **1993** 23(1): 1–14.

**Hrafinkelsson H, Sigurdsson G, Magnusson KT, Johannsson E, Sigurdsson EL.** Factors associated with bone mineral density and content in 7-year-old children. *Bone* **2010** 46(4): 1058–62.

**Hudgins B, Scharfenberg J, Triplett NT, McBride JM.** Relationship between jumping ability and running performance in events of varying distance. *J Strength Cond Res* **2012** 27(3): 563–567.

**Jidovtseff B, Crielaard JM, Cauchy S, Croisier JL.** Validité et reproductibilité d'un dynamomètre inertiel basé sur l'accélérométrie. *Sci Sports* **2008** 23: 94–7.

**Júnior IF, Cardoso JR, Christofaro DG, Codogno JS, de Moraes AC Fernandes RA.** The relationship between visceral fat thickness and bone mineral density in sedentary obese children and adolescents. *BMC Pediatr* **2013** 13: 37.

**Jurimae J, Jurimae T.** Plasma adiponectin concentration in healthy pre- and postmenopausal women: relationship with body composition, bone mineral, and metabolic variables. *Am J Physiol Endocrinol Metab* **2007** 293(1): E42–7.

**Karlamangla AS, Barrett-Connor E, Young J, Greendale GA.** Hip fracture risk assessment using composite indices of femoral neck strength: the Rancho Bernardo study. *Osteoporos Int* **2004** 15(1): 62–70.

**Khan K, McKay HA, Haapasalo H, Bennell KL, Forwood MR, Kannus P, Wark JD.** Does childhood and adolescence provide a unique opportunity for exercise to strengthen the skeleton? *J Sci Med Sport* **2000** 3(2): 150–164.

**Lee P, Brychta RJ, Collins MT, Linderman J, Smith S, Herscovitch P, Mollo C, Chen KY, Celi FS.** Cold-activated brown adipose tissue is an independent predictor of higher bone mineral density in women. *Osteoporos Int* **2013** 24(4): 1513–8.

**Leonard MB, Shults J, Wilson BA, Tershakovec AM, Zemel BS.** Obesity during childhood and adolescence augments bone mass and bone dimensions. *Am J Clin Nutr* **2004** 80(2): 514–523.

**Leslie WD.** Elevated bone mass: a weighty matter? *Skeletal Radiol* **2008** 37(12): 1063–7.

**Li GW, Chang SX, Xu Z, Chen Y, Bao H, Shi X.** Prediction of hip osteoporotic fractures from composite indices of femoral neck strength. *Skeletal Radiol* **2013** 42(2): 195–201.

**Lloyd T, Martel JK, Rollings N, Andon MB, Kulin H, Demers LM, Egli DF, Kieselhorst K, Chinchilli VM.** The effect of calcium supplementation and Tanner stage on bone density, content and area in teenage women. *Osteoporos int* **1996** 6(4): 276–83.

**MacIntyre NJ, Adachi JD, Webber CE.** In vivo detection of structural differences between dominant and nondominant radii using peripheral quantitative computed tomography. *J Clin Densitom* **1999** 2(4): 413–22.

**Mackelvie KJ, Khan KM, McKay HA.** Is there a critical period for bone response to weight-bearing exercise in children and adolescents? a systematic review. *Br J Sports Med* **2002** 36(4): 250–7.

**Magnusson H LC, Karlsson C, Obrant KJ, Karlsson MK.** Exercise may induce reversible low bone mass in unloaded and high bone mass in weight-loaded skeletal regions. *Osteoporos Int* **2001** 12(11): 950–5.

**Maïmoun L, Galy GO, Manetta J, Coste O, Peruchon E, Micallef JP, Mariano-Goulart D, Couret I, Sultan C, Rossi M.** Competitive season of triathlon does not alter bone metabolism and bone mineral status in male triathletes. *Int J Sports Med* **2004** 25(3): 230–4.

**Maurel DB, Jaffre C, Rochefort GY, Aveline PC, Boisseau N, Uzbekov R, Gosset D, Pichon C, Fazzalari NL, Pallu S, Benhamou CL.** Low bone accrual is associated with osteocyte apoptosis in alcohol-induced osteopenia. *Bone* **2011** 49(3): 543–52.

**Maurel DB, Boisseau N, Benhamou CL, Jaffre C.** Alcohol and bone: review of dose effects and mechanisms. *Osteoporos Int* **2012** 23(1): 1–16.

**McNair PJ, Colvin M, Reid D.** Predicting maximal strength of quadriceps from submaximal performance in individuals with knee joint osteoarthritis. *Arthritis Care Res (Hoboken)* **2011** 63: 216–222.

**Meunier P, Aaron J, Edouard C, Vignon G.** Osteoporosis and the replacement of cell populations of the marrow by adipose tissue. A quantitative study of 84 iliac bone biopsies. *Clin Orthop Relat Res* **1971** 80: 147–54.

**Modlesky CM, Majumdar S, Dudley GA.** Trabecular bone microarchitecture in female collegiate gymnasts. *Osteoporos Int* **2008** 19(7): 1011–8.

**Motyl KJ, Raetz M, Tekalur SA, Schwartz RC, McCabe LR.** CCAAT/enhancer binding protein  $\beta$ -deficiency enhances type 1 diabetic bone phenotype by increasing marrow adiposity and bone resorption. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* **2011** 300(5):R1250–60.

**Nechay BR, Nanninga LB, Nechay PS.** Vanadyl (IV) and vanadate (V) binding to selected endogenous phosphate, carboxyl, and amino ligands; calculations of cellular vanadium species distribution. *Arch Biochem Biophys* **1986** 15;251(1): 128–38.

**New SA.** Exercise, bone and nutrition. *Proc Nutr Soc* **2001** 60(2): 265–74.

**Nicholls DG, Locke RM.** Thermogenic mechanisms in brown fat. *Physiol Rev* **1984** 64(1): 1–64.

**Nnodim JO, Lever JD.** Neural and vascular provisions of rat interscapular brown adipose tissue. *Am J Anat* **1988** ;182(3): 283–93.

**Pedersen B.** Muscle as an endocrine organ: IL-6 and other myokines. *J Appl Physiol* **2009** 107: 1006–14.

**Reid IR.** Relationships among body mass, its components, and bone. *Bone* **2002** 31: 547–555.

**Reid IR, Plank LD, Evans MC.** Fat mass is an important determinant of whole body bone density in premenopausal women but not in men. *J Clin Endocrinol Metab* **1992** 75(3): 779–782.

**Reid IR.** Fat and bone. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **2010** 503(1): 20–73.

**Rizzoli R, Bonjour JP.** Dietary protein and bone health. *J Bone Miner Res* **2004** 19(4): 527–31.

**Rizzoli R, Ferrari S, Bonjour JP, Chevalley T.** Protéines et croissance osseuse. Elsevier Masson SAS **2011** 18: 105–106.

**Rizzoli R.** Nutrition: its role in bone health. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* **2008** 22(5): 813–829.

**Russell M, Mendes N, Miller KK, Rosen CJ, Lee H, Klibanski A, Misra M.** Visceral fat is a negative predictor of bone density measures in obese adolescent girls. *Clin Endocrinol Metab* **2010** 95(3): 1247–55.

**Sampson HW.** Effect of alcohol consumption on adult and aged bone: a histomorphometric study of the rat animal model. *Alcohol Clin Exp Res* **1998** 22(9): 2029–34.

**Sayers A, Tobias JH.** Fat mass exerts a greater effect on cortical bone mass in girls than boys. *J Clin Endocrinol Metab* **2010** 95(2): 699–706.

**Shen W, Wang Z, Punyanita M, Lei J, Sinav A, Kral JG, Imielinska C, Ross R, Heymsfield SB.** Adipose tissue quantification by imaging methods: a proposed classification. *Obes Res* **2003** 11(1): 5–16.

**Sherk VD, Palmer IJ, Bembem MG, Bembem DA.** Relationships between body composition, muscular strength, and bone mineral density in estrogen-deficient postmenopausal women. *J Clin Densitom* **2009** 12(3): 292–8.

**Tarquini B, Navari N, Perfetto F, Piluso A, Romano S, Tarquini R.** Evidence for bone mass and body fat distribution relationship in postmenopausal obese women. *Arch Gerontol Geriatr* **1997** 24(1): 15–21.

**Thomis M, Claessens AL, Lefevre J, Philippaerts R, Beunen GP, Malina RM.** Adolescent growth spurts in female gymnasts. *J Pediatr* **2005** 146(2): 239–244.

**Torricelli P, Fini M, Giavaresi G, Borsari V, Rimondini L, Rimondini R, Carrassi A, Giardino R.** Intermittent exposure to ethanol vapor affects osteoblast behaviour more severely than estrogen deficiency does in vitro study on rat osteoblasts. *Toxicology* **2007** 237: 168–176.

**Verma S, Rajaratnam JH, Denton J, Hoyland JA, Byers RJ.** Adipocytic proportion of bone marrow is inversely related to bone formation in osteoporosis. *J Clin Pathol* **2002** 55(9): 693–8.

**Wang MC, Bachrach LK, Van Loan M, Hudes M, Flegal KM, Crawford PB.** The relative contributions of lean tissue mass and fat mass to bone density in young women. *Bone* **2005** 37(4): 474–81.

**Yerges-Armstrong LM, Miljkovic I, Cauley JA, Sheu Y, Gordon CL, Wheeler VW, Bunker CH, Patrick AL, Zmuda JM.** Adipose tissue and volumetric bone mineral density of older Afro-Caribbean men. *J Bone Miner Res* **2010** 25(10): 2221–8.

**Yeung DK, Griffith JF, Antonio GE, Lee FK, Woo J, Leung PC.** Osteoporosis is associated with increased marrow fat content and decreased marrow fat unsaturation: a proton MR spectroscopy study. *J Magn Reson Imaging* **2005** 22(2): 279–85.

**Zakhem E, El Hage R, Bassil S, Moussa E, Zunquin G, Theunynck D.** Standing long jump performance is a positive determinant of bone mineral density in young adult women. *J Clin Densitom* **2013** 16(2): 129–30.

**Zanotti S, Stadmeier L, Smerdel-Ramoya A, Durant D, Canalis E.** Misexpression of CCAAT/enhancer binding protein beta causes osteopenia. *J Endocrinol* **2009** 201(2): 263–269.

## Chapitre IV – Perspectives

Dans le futur proche et à moyen terme, je souhaiterais essayer de répondre aux limites de nos travaux :

### **Thématique 1 : Activité physique et santé de l'enfant obèse**

En clinique, les protocoles d'activité physique adaptée (APA) actuellement proposés chez l'enfant obèse présentent plusieurs limites :

1) Les exercices proposés sont de type « continu d'intensité modérée » (Moderate Intensity Continuous Training - MICT). Pourtant, les bénéfices observés à la suite de ces programmes concernant les capacités aérobies sont parfois uniquement associés à une amélioration de la composition corporelle des enfants, et non à une augmentation significative de leurs capacités aérobies.

2) L'épreuve cardiorespiratoire de référence actuellement utilisée chez l'enfant est le 20m Shuttle Run test (Léger et coll. 1984) : un test maximal d'intensité croissante caractérisé par la présence d'un nombre important de phases de freinage-relance. La faible durée du test chez l'enfant obèse (Klijn et coll. 2007, Castro-Pineiro et coll. 2011) suggère l'existence d'une limite musculaire, entraînant dès lors une sous-estimation des capacités aérobies.

Récemment, la mise en place de programmes d'entraînement par intervalles à haute intensité (High Intensity Interval Training – HIIT) permet d'obtenir d'importants bénéfices sur le plan cardiovasculaire et métabolique chez des adolescents (Racil et coll. 2016, Dias et coll. 2018) et des jeunes adultes (Khammassi et coll. 2018). Sur le plan motivationnel, ces programmes seraient bien plus efficaces pour favoriser la poursuite d'une activité physique sur le long terme (Tjønna et coll. 2009) que les programmes MICT. La méta-analyse de Thivel et coll. (2018) suggère toutefois que les études actuelles ne permettent pas de conclure quant à une meilleure efficacité des programmes HIIT par rapport aux programmes MICT pour améliorer la santé des enfants obèses, en raison de données insuffisantes concernant les réponses au HIIT en fonction de l'âge, du sexe et de la maturation des enfants. Par ailleurs, Rey et coll. (2013) et Thivel et coll. (2016) ont validé le Spartacus test (Spartacus) chez des adolescents obèses, une épreuve incrémentale qui consiste à réaliser successivement 15 secondes d'exercice puis 15 secondes de récupération et qui se caractérise par l'absence de phase de freinage-réaccélération.

L'objectif de nos travaux futurs sur la prise en charge de l'obésité infantile sera de :

- 1) Mettre en pratique de Spartacus Test dans le cadre d'un programme HIIT,
- 2) Evaluer l'impact d'un programme HIIT sur les capacités aérobies, l'oxygénation cérébrale et musculaire, la perception de l'effort et les capacités aérobies en fonction de l'âge, du sexe et de la maturation d'adolescents obèses.

## **Thématique 2 : Activité physique et santé osseuse**

L'obésité et le surpoids augmentent le risque de plusieurs maladies métaboliques et cardiovasculaires et induisent également une altération de la qualité de vie (Kolotkin et coll. 2017, Kroes et coll. 2016). Néanmoins, l'indice de masse corporelle est positivement corrélé à la densité minérale osseuse (DMO) et l'obésité est associée à une diminution du risque fracturaire au niveau de la hanche chez les personnes âgées (Reid, 2008, Reid, 2010). Des études récentes ont indiqué que l'obésité est associée à une augmentation du risque fracturaire au niveau de l'humérus et de la cheville (Cortet et Roux, 2016, Compston, 2015, Premaor et coll. 2014).

Les mécanismes d'action de l'obésité et du surpoids sont multiples et incluent des facteurs mécaniques, hormonaux et d'autres liés au style de vie (Reid, 2008, Reid, 2010). Certains arguments sont en faveur d'un effet positif de l'obésité sur la masse osseuse alors que d'autres arguments sont en faveur d'un effet négatif sur la masse osseuse (Rosen et Bouxsein, 2006). En occurrence, l'obésité extrême peut être associée à un état inflammatoire altérant la masse et la qualité osseuses (Rosen et Bouxsein, 2006). Dans ce cadre, deux études viennent de démontrer que l'obésité est associée à une diminution des indices de résistance osseuse du col fémoral chez les jeunes adultes (El Khoury et coll. 2017, Berro et coll. 2018).

En réalité, chez les sujets obèses et en surpoids, l'augmentation de la DMO n'est pas suffisante pour compenser l'excès de poids (El Khoury et coll. 2017, Berro et coll. 2018, Rocher et coll. 2013). Ainsi, la mise en place de stratégies visant à augmenter la DMO chez les sujets obèses et en surpoids est intéressante pour la prévention de l'ostéoporose et l'ostéopénie (Berro et coll. 2018). Plusieurs études ont démontré des effets positifs de l'entraînement en course à pieds et de l'entraînement en force sur les paramètres osseux chez les jeunes adultes en surpoids et obèses (El Khoury et coll. 2017, El Hage et coll. 2018). Les études transversales ont également démontré que la force maximale et la consommation maximale d'oxygène sont des déterminants positifs de la DMO et des paramètres géométriques du col fémoral chez les jeunes adultes en surpoids et obèses (El Khoury et coll. 2018, Berro et coll. 2018). Cependant, l'effet ostéogénique de l'entraînement de sprint n'a toujours pas été étudié dans la population obèse et en surpoids. Une étude a démontré que la performance en sprint est un déterminant positif de la DMO chez des enfants or cette relation n'est pas élucidée chez les sujets obèses et en surpoids (Vicente-Rodriguez et coll. 2003).

Ainsi dans nos prochains travaux, nous allons évaluer les effets de 12 mois d'entraînement en sprint sur les paramètres osseux (CMO, DMO, indices géométriques, indices de Karlamangla et score de l'os trabéculaire) chez des jeunes femmes en surpoids et obèses.

## ANNEXE 1 : PUBLICATIONS, CHAPITRES D'OUVRAGES ET CONFÉRENCES

---

### PUBLICATIONS : 42 dont 31 indexées Pubmed

1. Khawaja A, Sabbagh P, Prioux J, **Zunquin G**, Baquet G, Maalouf G, El Hage R. Does muscular power predict bone mineral density in young adults? *J Clin Densitom.* 2019 Jan 2. **(Article; IF 3.1)**
2. Khawaja A, Sabbagh P, Prioux J, **Zunquin G**, Baquet G, Maalouf G, El Hage Z, Antoun A, El Hage R. The relationships between skeletal muscle index and bone variables in a group of young adults *Journal of Clinical Densitometry* 2019 epub of print. **(Article; IF 3.1)**
3. Brumboiu MI, Cazacu I, **Zunquin G**, Manole F, Mogosan CI, Porrovecchio A, Peze T, Tavalacci MP, Ladner J. Nutritional status and eating disorders among medical students from the Cluj-Napoca University centre. *Clujul Med.* 2018 Oct;91(4):414-421. **(Article; IF 0.3)**
4. Hurdiel R, Riedy SM, Millet GP, Mauvieux B, Pez   T, Elsworth-Edelsten C, Martin D, **Zunquin G**, Dupont G. Cognitive performance and self-reported sleepiness are modulated by time-of-day during a mountain ultramarathon. *Res Sports Med.* 2018 Oct-Dec;26(4):482-489. **(Article; IF 1.8)**
5. **Zunquin G**. Sedentariness of the obese child, from the definition of the concept to practical advice *Practices in nutrition.* 2017; 13 (50): 40-42. **(Article)**
6. Ladner J, Porrovecchio A, Masson P, **Zunquin G**, Hurdiel R, Pez   T, Theunynck D, Tavalacci MP. Physical activity of students: prevalence and profiles of associated risk behaviours. *Sante Publique.* 2016; 8;28 Suppl 1:S65-73. **(Article; IF 0.3)**
7. Hurdiel R, Watier T, Honn K, Pez   T, **Zunquin G**, Theunynck D. Effects of a 12-week physical activities program on sleep in female university students. *Res Sports Med.* 2017; 25(2):191-196. **(Article; IF 1.8)**
8. Ayoub ML, Maalouf G, Cortet B, Legroux-G  rout I, **Zunquin G**, El Hage R. Trabecular bone score and osteoporotic fractures in obese postmenopausal women. *J Clin Densitom.* 2016;19(4):544-545. **(Lettre à l'  diteur; IF 3.2)**
9. Zakhem E, **Zunquin G**, Pez   T, Theunynck D, El Hage R. Physical performance and bone mineral density in a group of young Lebanese adults *J Med Liban.* 2016 64(4) :193-199. **(Article; IF 0.8)**
10. **Zunquin G**. Sport d'endurance et sport contre résistance : impact de la nutrition sur les performances. *Correspondances en MHDN.* 2016; 4(20):1-6. **(Article)**
11. **Zunquin G**, Berro AJ, Bouglé D, Zakhem E, Theunynck D, Mawlawi G, Ayoub ML, El Hage R. Positive association between maximal oxygen consumption and bone mineral density in growing overweight children. *J Clin Densitom.* 2016; 20 (2), 265- 66. **(Lettre à l'  diteur; IF 3. 2)**
12. Potdevin F, Vanlerberghe G, **Zunquin G**, Pez   T, Theunynck D. Evaluation of global health in master swimmers involved in french national championships. *Sports Med Open.* 2015;1(1):1-12. **(Article)**
13. Zakhem E, El Hage R, Pez   T, Hurdiel R, **Zunquin G**. Factors associated with eating disorders in students of the Université of Littoral Côte d'Opale. *Rev Epidemiol Sante Publique.* 2015;63(4):259-65. **(Article; IF 0.9)**
14. Zakhem E, Ayoub ML, **Zunquin G**, Theunynck D, Bedran F, Sebaaly A, Bachour F, Maalouf G, El Hage R. Physical performance and trabecular bone score in a group of young Lebanese women. *J Clin Densitom.* 2015;18(2):271-2. **(Lettre à l'  diteur; IF 3.2)**
15. El Hage R, Zakhem E, **Zunquin G**, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Performances in vertical jump and horizontal jump tests are positive determinants of hip bone mineral density in a group of young adult men. *J Clin Densitom.* 2015; 18(1):136-7. **(Lettre à l'  diteur; IF 3.2)**

- 16.El Hage R, **Zunquin G**, Zakhem E, Theunynck D, Bouglé D. Maximal oxygen consumption and bone mass in french boys. J Clin Densitom. 2015;18(4):560-1. **(Lettre à l'éditeur; IF 3.2)**
- 17.Zakhem E, El Hage R, **Zunquin G**, Jacob C, Moussa E, Theunynck D. Sleep quality is a determinant of hip bone mineral density in a group of young Lebanese men. J Med Liban. 2014; 62(4):213-6. **(Article; IF 0.8)**
- 18.El Hage R, Zakhem E, **Zunquin G**, Theunynck D. Geometric indices of hip bone strength in male professional soccer players. J Med Liban. 2014;62(4):207-12. **(Article; IF 0.8)**
- 19.Ayoub ML, Maalouf G, Bachour F, Barakat A, Cortet B, Legroux-Gérot I, **Zunquin G**, Theunynck D, Nehme A, El Hage R. DXA-based variables and osteoporotic fractures in Lebanese postmenopausal women. Orthop Traumatol Surg Res. 2014;100(8):850- 855. **(Article; IF 1.4)**
- 20.El Hage R, Zakhem E, Theunynck D, **Zunquin G**, Bedran F, Sebaaly A, Bachour F, Maalouf G. Maximal oxygen consumption and bone mineral density in a group of young Lebanese adults. J Clin Densitom. 2014;17(2):320-4. **(Article; IF 3.2)**
- 21.El Hage R, Zakhem E, **Zunquin G**, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Does soccer practice influence compressive strength, bending strength, and impact strength indices of the femoral neck in young men? J Clin Densitom. 2014;17(1):213-4. **(Lettre à l'éditeur; IF 3.2)**
- 22.El Hage Z, Theunynck D, Jacob C, Moussa E, Baddoura R, **Zunquin G**, El Hage R. Bone mineral content and density in obese, overweight and normal weight adolescent boys J Med Liban. 2013; 61(3):148-54. **(Article; IF 0.8)**
- 23.Theunynck, D., **Zunquin. G.**, Hurdiel, R., et coll. Sommeil des étudiants de l'Université du Littoral Côte d'Opale. Premiers constats. Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology, 2013 ; 2 (43)150 :155. **(Article ; IF 0.5)**
- 24.El Hage R, Zakhem E, **Zunquin G**, Moussa E, Theunynck D. Regional distribution of bone mass in adult athletes and adult sedentary men. Science & Sports. 2013; 28(6) 342-345. **(Article; IF 0.5)**
- 25.El Hage R, Zakhem E, **Zunquin G**, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Performances in vertical jump and horizontal jump tests are positive determinants of hip bone mineral density in a group of young adult men. J Clin Densitom. 2015;18(1):136-139. **(Article; IF 3.2)**
- 26.El Hage R, Zakhem E, **Zunquin G**, Theunynck D, Moussa E, Maalouf G. Does soccer practice influence compressive strength, bending strength and impact strength indices of the femoral neck in young men? J Clin Densitom. 2014;17(1):213-4. **(Lettre à l'éditeur; IF 3.2)**
- 27.Zakhem E, El Hage R, **Zunquin G**, Theunynck D. Standing long jump performance is a determinant of bone mineral density in young women. J Clin Densitom. 2013;16(2):129-30. **(Lettre à l'éditeur; IF 3.2)**
- 28.El Hage R, El Hage Z, Moussa E, Jacob C, **Zunquin G**, Theunynck D. Geometric indices of hip bone strength in obese, overweight and normal-weight adolescent girls. Osteoporos Int. 2012;23(5):1593-600. **(Article; IF 3.2)**
- 29.El Hage R, Theunynck D, Jacob C, Moussa E, **Zunquin G**, Baddoura R. Anthropometric predictors of bone mineral density in healthy Lebanese subjects aged 13 to 25 years. Science & Sports 2012;27(4):241-245. **(Article; IF 0.5)**
- 30.Bouglé D, **Zunquin G**, Sesbouë B, Sabatier JP. Relationship of cardiorespiratory fitness with metabolic risk factors, inflammation and liver transaminases in obese overweight youth. Int J Pediatr 2010; 2010: 58097. **(Article; IF 2.7)**
- 31.Vanhelst J, Marchand F, Fardy P, **Zunquin G**, Mikulovic J, Bui-Xuan G, Béghin L, Theunynck D. The CEMHaVi Program: Control, Evaluation, and Modification of Lifestyles in Obese Youth: A Pilot Study. Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention. 2010;30(3):181-5. **(Article; IF 2.4)**
- 32.Vanhelst J, **Zunquin G**, Theunynck D, Mikulovic J, Bui-Xuan G, Béghin L. Equivalence of accelerometer data for walking and running: treadmill versus on land. J Sports Sci. 2010; 27(7) 669-675. **(Article; IF 1.4)**

33. Bouglé D, Bouhallab S, Bureau F, **Zunquin G**. Trace elements and calcium in diabetes and obesity, and their complications. Protecting effect of dairy products. *Mineral & Dairy Products*. 2009; 89 (2):175-183. **(Article; IF 1.7)**
34. **Zunquin G**, Theunynck D, Sesboue B, Arhan P, Bouglé D. Evolution of fat oxidation during exercise in obese pubertal boys: clinical implications, *Journal of Sport Science*. 2009; 27(4): 315. **(Article; IF 2.4)**
35. Vanhelst J, **Zunquin G**, Theunynck D, Mikulovic J, Bui-Xûan G, Béghin L. Agreement between triaxial accelerometer output data for walking and running : treadmill versus overland. *Journal of Sport Science*. 2009; 27 (7), 669-675. **(Article; IF 2.4)**
36. **Zunquin G**, Theunynck D, Sesboue B , Arhan P, Bouglé D. Comparison of fat oxidation during exercise between lean and obese pubertal boys: clinical implications, 2009 *British Journal of Sport Medicine* Oct;43(11):869-71. **(Article; IF 6.5)**
37. **Zunquin G**, Rouleau V, Bouhallab S, Bureau S, Theunynck D, Rousselot P, Arhan P, Bouglé D. Protein protection against iron induced intestinal peroxidation and carcinogenesis in rats: a preliminary report. *Milk science international*. 2008 ; 63 (3): 243-246. **(Article; IF 0.6)**
38. Bouglé D, **Zunquin G**, Sesbouë B, Sabatier JP, Daireaux A. Treatment of pediatric obesity: effects on body composition and physical fitness. *Arch Ped*. 2007; 14(5):439- **(Article; IF 0.6)**
39. **Zunquin G**, Rouleau V, Bouhallab S, Bureau S, Theunynck D, Neuville D, Garrel C, Rousselot P, Arhan P, Bouglé D. Iron and exercise induced alterations in antioxidant status: protection by dietary milk proteins. *Free Radicals Research*. 2006; 40 (5) 535-542 **(Article; IF 3.2)**
40. **Zunquin G**, Theunynck D, Sesboue B , Arhan P, Bouglé D. Effect of puberty on substrate oxidation rates during exercise over a wide range of intensities. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. 2006; 31(4):442-8. **(Article; IF 2.8)**
41. Theunynck D, Pezé T, Toumazou V, **Zunquin G**, Cohen O, Monges A. Optimization of the costs and the safety of maritime transport by routing. The use of currents forecast in the routing of racing sail boats as a prototype of route optimization for trading ships, *Ocean Yearbook, volume 20, 2006*. **(Article; IF 0.6)**.
42. Arhan P, Le Luyer B, Dupond C, Fetni I, Campeoto-Orsatelli F, **Zunquin G**, Devroed G. Réalisation et interprétation d'une manométrie anorectale. *Revue Internationale de Pédiatrie* 2004 329; 9-17. **(Article)**.

## CHAPITRES DE LIVRES

1. Porrovecchio A, Zakhem E, Warnault K, Caby I, Masson P, Kuehn C, Hurdiel R, Pezé T, **Zunquin G**, Theunynck D. Insegurança socio-económica, anomia e rituais. Hábitos desportivos nos estudantes de ensino superior do litoral de opal coast Exedra: *Revista Científica*, 77-93, 2016.
2. Theunynck D, Pezé T, **Zunquin G**, Mikulovic J, Bui-Xûan G. Pédagogie, conduites à tenir et cyberenseignement : de l'expérientiel à l'expertise in *Intervenir en éducation physique et en sport*, Presses Universitaires de Louvain, 2005.
3. **Zunquin G**, Theunynck D, Bui-Xûan G, Mikulovic J. La planche à voile : d'une pratique hédoniste à la reconnaissance olympique. XIIème carrefour d'histoire du sport : les pratiques corporelles et l'eau, 26-28 Octobre 2006.
4. Theunynck D, Peze T, Estruch X, **Zunquin G**. La course au large en solitaire; de l'exploit humain au sport mécanique high tech 1964-2005. XIIème carrefour d'histoire du sport : les pratiques corporelles et l'eau, 26-28 Octobre 2006.

## COMMUNICATIONS EN CONGRES INTERNATIONAUX AVEC PUBLICATION DES ACTES

(P: Présentateur)

### Communications orales, résumés publiés dans des revues indexées :

1. **Zunquin G (P)**, Cortet B, Vignau J, Legroux Gerault I, El Hage R. Vigorous Physical Activity And Bone Mineral Density In Anorexia Nervosa Female: 2514 June 1 1 Medicine & Science in Sports & Exercise 50 (5S), 623, 2018. (Congrès ACSM Minneapolis 2018).

2. Tavoracci MP (P), Porrovecchio S, Kern L, **Zunquin G**, Romo L, Hurdiel R, Ladner J. Neuroenhancement among university students: substance use, motivations and associated factors. The European Journal of Public Health 26 (suppl\_1), 2016.

3. Tavoracci MP (P), Porrovecchio S, Kern L, **Zunquin G**, Romo L, Hurdiel R, Ladner J. 7. B. Oral presentations: Mental health issues Congress Of European Journal of Public Health, 26, 1, 2016.

4. **Zunquin G (P)**, Bouglé D, Sesbouë B, Sabatier JP. Tests designed for calculating Fatmax in obese children: a methodological issue International Journal of Pediatric Obesity, Volume 3, Issue 1, Supplement 2, 01 October 2008, Pages 36 – 46 DOI: 10.1080/17477160802404723.

5. De La Motte, I (P), Gesret B, **Zunquin G**, Bouglé D. Functional limitations to movement in obese children International Journal of Pediatric Obesity, Volume 3, Issue 1, Supplement 2, 01 October 2008, Pages 36 – 46 DOI: 10.1080/17477160802404723.

6. Vanhelst J (P), Raosamanana P, Theunynck D, **Zunquin G**, Gottrand F, Béghin L Détermination des bornes minimales et maximales de différents niveaux d'activité physique par l'accéléromètre RT3 chez l'enfant et l'adolescent, Gastroenterol Clin Biol, 2007, vol 31, p119.

7. Vanhelst J (P), Rasoamanana P, Theunynck D, Meskini T, Iliescu C, **Zunquin G**, Turck D, Gottrand F, Béghin L. Determination of the levels of physical activity using accelerometer RT3 in children and adolescents annals of nutrition and metabolism, Vol 51 p 345, 2007.

8. **Zunquin G (P)**, Theunynck D, Sesbouë B, Bouglé D. Effect of Obesity on Fat Oxidation Rates During Exercise in Pubertal Males: 10294: 15 PM–4: 30 PM Medicine & Science in Sports & Exercise 38 (5), S105 (Congrès ACSM Denver 2006).

9. Theunynck D, **Zunquin G (P)**, Bouglé D. Effect of Gender on Fat Oxidation Rates During Exercise in Post Pubertal Adolescents, Medicine & Science in Sports & Exercise 38 (5), S105 (Congrès ACSM Denver 2006).

### Communications orales, résumés publiés dans des actes :

1. **Zunquin G (P)**, Vignau J, Legroux I, Cortet B, El Hage R, Verschelde A, Theunynck D. Caractéristiques de l'activité physique et du sommeil chez la jeune femme anorexique. 16<sup>ème</sup> Congrès de l'ACAPS, Nantes, 2015.

2. **Zunquin G**, Vanhelst J (P), Theunynck D, Pezè T, Bui-Xûan G, Mikulovic J, Lebas P. Internet comme outil d'éducation à la santé lors du suivi d'un public de jeunes obèses 24<sup>e</sup> Congrès de l'Association internationale de pédagogie universitaire, 16-18 mai 2007 Montréal (Québec), Canada. Actes du colloque AIPU 2007, Université de Montréal éditeur, Montréal, Canada, 2007.

3. **Zunquin G (P)**, Theunynck D, Bui-Xûan G, Mikulovic J, Munoz L. La planche à voile : d'une pratique hédoniste à la reconnaissance olympique. XII<sup>ème</sup> carrefour d'histoire du sport : les pratiques corporelles et l'eau, 26-28 Octobre 2006.

4. Theunynck D (P), Peze T, Estruch X, **Zunquin G**. La course au large en solitaire; de l'exploit humain au sport mécanique high tech 1964-2005. XIIème carrefour d'histoire du sport : les pratiques corporelles et l'eau, 26-28 Octobre 2006.

5. **Zunquin G (P)**, Theunynck D, Bouglé D. Conséquences de l'obésité sur l'oxydation des substrats énergétiques lors de l'exercice musculaire chez des garçons pubères. XIII Journées Francophones en Activité Physique Adaptées, 9-11 Mars 2006.

6. **Zunquin G (P)**, Theunynck D, Sesboüé B, Arhan P, Bouglé D. Les effets de la puberté sur la balance glucido lipidique lors de l'exercice de l'enfant obèse. Congrès de la Société Française de Nutrition, Marseille 17-19 nov. 2005.

7. **Zunquin G (P)**, Theunynck D, Verlet E, Ficheux J. Appréciation de la leptinémie comme marqueur du suivi du couplage régime alimentaire-protocole d'activité physique. Education pour la Santé et Activité Physique et Sportive, Editions AFRAPS 2003 ; 143-146.

8. Theunynck D, **Zunquin G (P)**, Theunynck S. Eléments d'adaptation de la voile au service de publics déficients. Education pour la Santé et Activité Physique et Sportive, Editions AFRAPS 2003 ; 145-146.

9. Theunynck D (P), **Zunquin G**, Vanpee C. Evolution des performances estimées par la mesure indirecte de la  $VO_{2max}$  en cours de saison haut niveau en sport collectif ; consommateurs de cannabis versus abstinentes. Education pour la Santé et Activité Physique et Sportive, Editions AFRAPS 2003 ; 183-187.

10. Theunynck D, Peze T, Mikulovic J (P), Toumazou V , **Zunquin G**. Collective and multiple-choice management of the improvement of the performance in solo sailing race; preliminary report. Daegu Universiade, Facing the Challenge, Daegu University Editor, S. Korea 2003; 1: 837-839.

11. Theunynck D, Mikulovic J, Kuehn C, Peze T, **Zunquin G**, They J Y. Solo yachting race and practical of the sailing by all: impact measurement of champion's image in an educational programme structured around the use of Internet. A preliminary report concerning the "Vendée Globe" and the "Route du Rhum". Daegu Universiade, Facing the Challenge, Daegu University Editor, S.Korea 2003; 1: 828-833.

12. **Zunquin G (P)**, Rouleau V, Bureau F, Neville D, Bouglé D. Fer et peroxydation lors de l'exercice d'endurance, 22ème Congrès de la Société Française de Médecine du Sport, Angers 2002 : 2.

#### **Communications affichées publiées dans des revues indexées :**

1. Berro AJ (P), Alwan A, **Zunquin G**, Bouglé D, El Hage R. Visceral fat mass and bone mineral density in a group of obese children. Osteoporosis International 27, S229-S230, 2016.

2. Zakhem E (P), Theunynck D, **Zunquin G**, Peze T, Hurdiel R, El Hage R. Determinants of quantitative ultrasonometry variables in a group of young french adults. Osteoporosis International 27, S372-S373, 2016.

3. Zakhem E (P), **Zunquin G**, Theunynck D, Peze T, El Hage R. Bone mass at the calcaneus among young male practicing a high impact-loading sports. Osteoporosis International 27, S471-S471, 2016.

4. El Hage R (P), **Zunquin G**, Bouglé D. Positive correlation between maximal oxygen consumption and bone mass in overweight children. Osteoporosis International 26, S474-S474, 2015.

5. El Hage R (P), Berro AJ, Theunynck D, Bouglé D, **Zunquin G**. Visceral fat mass and bone mineral density in overweight children. Osteoporosis International 26, S478-S478, 2015.

6. Zakhem E (P), Maalouf G, Theunynck D, **Zunquin G**, Alwan A, El Hage R. Influence of weight-status on trabecular bone score in young lebanese women. Osteoporosis International 26, S140-S140, 2015.

7. Zakhem E (P), **Zunquin G**, Bougle D, Theunynck D, Alwan A, El Hage R. The relationships between serum insulin, igf-1, cortisol, adipocytokines and bone mineral density in growing children. *Osteoporosis International* 26, S157-S157, 2015.
8. Zakhem E, Theunynck D (P), **Zunquin G**, Maalouf G, Rizkallah M, El Hage R. The influence of weight status on forearm bone mineral density in a group of young lebanese women. *Osteoporosis International* 26, S128-S128, 2015.
9. Zakhem E (P), El Khoury G, Maalouf G, Theunynck D, **Zunquin G**, El Hage R. Maximal oxygen consumption is a stronger determinant of bone mineral density than body weight in a group of young women. *Osteoporosis International* 26, S124-S125, 2015.
10. Zakhem E (P), Theunynck D, Hurdiel R, Peze T, **Zunquin G**, El Hage R. Determinants of quantitative ultrasonometry variables in a group of young french adults. *Osteoporosis International* 26, S179-S180, 2015.
11. **Zunquin G (P)**, El Hage R, Zakhem E, Theunynck D, Bougle D. Maximal Oxygen Consumption And Bone Mineral Density In Children: 208 Board# 46 May 28, 11. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46 (5S), 44. Congrès ACSM Orlando 2014.
12. Zakhem E (P), **Zunquin G**, Theunynck D, El Hage R. The relationships between physical performance variables and bone mineral density in a group of young lebanese adults. *Osteoporosis International* 25, S299-S299, 2014.
13. El Hage R, **Zunquin G (P)**, Legroux-Gerot I, Vignau J, Cortet B. Influence of body weight and body mass index on whole body bone mineral content in young women with anorexia nervosa *Osteoporosis International*, 24, S636-S636, 2013.
14. El Hage R (P), Ayoub ML, Zakhem E, Moussa E, Theunynck D, **Zunquin G**, Bachour F, Khairallah W, Issa M, Eid R, Bedran F, Fayad F, Maalouf G. Dxa surrogates for visceral fat are negatively correlated to femoral neck compressive strength in a group of lebanese young men. *Osteoporosis International*, 24, S122-S123, 2013.
15. El Hage R (P), Chatah R, Zakhem E, Ayoub ML, Razzouk E, Rouhana D, Nacouzi R, Moussa E, Theunynck D, **Zunquin G**, Maalouf G, Bedran F. Composite indices of femoral neck strength in adult female soccer players and controls *Osteoporosis International*, 24, S123, 2013.
16. El Hage R, Zakhem E (P), Theunynck D, **Zunquin G**, Moussa E, Maalouf G. Sleep Quality is a determinant of femoral neck BMD in a group of young adult men. *Osteoporosis International* 24, S118-S118.2013.
17. Hurdiel R (P), Vanhelst J, Fardy P, Marchand F, Zunquin G, Béghin L, Theunynck D. Evaluation Of Sleep Habits Among Obese Children After Multidisciplinary Program Of Exercise And Health Education: 1937 Board# 78 May 28 9: 00 AM-10: 30 AM. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41 (5), 178. Congrès ACSM Seattle 2009.
18. Vanhelst J (P), Fardy P, Marchand F, Zunquin G, Béghin L, Theunynck D. Academic Performance Among Obese Children And Adolescents After Multidisciplinary Program Of Exercise And Health Education: 1938 Board# 79 May 28 9: 00 AM-10: 30 AM *Medicine & Science in Sports & Exercise* 41 (5), 179. Congrès ACSM Seattle 2009.
19. Theunynck D, Vanhelst J (P), Rasoamanana P, Meskini T, Iliescu C, **Zunquin G**, Turck D, Gottrand F, Béghin L. Interinstrument Reliability of RT3 Accelerometer at Different Levels Of Physical Activity.: 2258 Board# 38 May 30 3: 30 PM-5: 00 PM *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (5), S415. Congrès ACSM Indianapolis 2008.
20. **Zunquin G (P)**, Vanhelst J, Theunynck D, Mikulovic J, Bui-Xuan G, Béghin L. Accelerometer Measurements Between The Treadmill And The Overland: 2257 Board# 37 May 30 3: 30 PM-5: 00 PM *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (5), S415. Congrès ACSM Indianapolis 2008.
21. **Zunquin G (P)**, Bouglé D, Sesboué B, Sabatier JP, Daireaux A. Treatment of paediatric obesity: effects on body composition and physical fitness. *Ann Nutr Metab* 2007; 51:345.

### **Communications affichées publiées dans des actes :**

1.Theunynck D (P), Hurdiel R, Vanhelst J, **Zunquin G**, Peze T, Bui-Xuan G. Analyse de la fatigue et du sommeil d'un coureur en course au large lors d'un tour du monde de 104 jours en solitaire et sans escale, Congrès de l'ACAPS, Louvain, 574-75, 2007.

2.Theunynck D (P), Hurdiel R, Vanhelst J, **Zunquin G**, Peze T, Bui-Xuan G. Etude des comportements et de la préparation aux stratégies de veille/travail/repos rythmant la vie à bord de l'élite de la course au large en solitaire. Congrès de l'ACAPS, Louvain, 576-77, 2007.

### **ANNEXE 2 : FINANCEMENTS**

---

**Résumé :** Beaucoup de demandes, peu d'obtention. Je travaille sur deux thématiques : Thématique 1 : l'obésité infantile et sa prise en charge par les activités physiques adaptées et Thématique 2 : L'impact de l'exercice sur le métabolisme osseux. La prise en charge de l'obésité se réalise par l'intermédiaire de la junior entreprise CEMHAVI qui reçoit depuis 11 ans des fonds récurrents provenant de la DRDJSCG, la mutualité française, la mairie de Dunkerque et de fonds liés à des appels à projet. Ce budget est d'environ 8 000 euros par an et sert à financer les travaux des étudiants qui viennent en stage (Master STAPS APAS professionnels et / ou Recherche).

#### ***Demande de bourse pour les étudiants encadrés en recherche :***

**Octobre 2018-Octobre 2020 :** Obtenu. Bourse Thèse pour LOUIS TOULOUSE : Pôle Métropolitain Côte d'Opale / ULCO. Titre : « Evaluation des effets d'un entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) sur la santé et les capacités aérobies d'enfants et adolescents obèses ».

**2018 :** Non obtenu. Demande de bourse pour un étudiant en Thèse de l'Ecole Doctorale 446 : LOUIS TOULOUSE sur le thème : « Evaluation des effets d'un entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) sur la santé et les capacités aérobies d'enfants et adolescents obèses ».

**2015 :** Obtenu. Bourse de Stage 6 mois Laboratoire URePSSS, Master 2 Recherche pour ALLOUCHE AL ALLAEDINE.

**2012-2015:** Obtenu. Bourse de thèse pour EDDY ZAKHEM : CNRS Libanais / ULCO. Titre « Relations entre le niveau de performance physique, le niveau d'activité physique usuel, les apports nutritionnels, les caractéristiques anthropométriques, le sommeil et les paramètres osseux chez les jeunes adultes sains ».

**2015 :** Obtenu. Bourse de Stage 6 mois Française, Master 2 Recherche pour ALLOUCHE AL ALLAEDINE.

**2011-2013 :** Obtenu. Bourse de thèse pour Zaher EL Hage par projet Cèdre. Titre : Détermination des liens entre activité physique, sédentarité, habitudes alimentaires, sommeil, et évaluation de la Densité Minérale Osseuse et du Contenu Minéral Osseux d'une population d'adolescents et de jeunes adultes Libanais.

## ANNEXE 3 : ACTIVITES D'ENSEIGNEMENT

### Activités d'enseignements

2010 et +	<b>Enseignant-Chercheur (MCF)</b> stagiaire puis titulaire au département STAPS de l'Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France
2008/2010	<b>Attaché de Recherche Clinique (ARC) puis Chef de projet clinique</b> , Investigations Thérapeutiques et Essais Cliniques (ITEC) Services, Cenon, France
2007/2008	<b>Contractuel</b> au département STAPS de l'Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France
2004/2006	<b>Attachée temporaire d'enseignement et de recherche (ATER)</b> au département STAPS de l'Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France
2002/2004	<b>Vacations d'enseignements (60h)</b> au département STAPS de l'Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France
2002/2003	<b>Enseignements de physiologie Tronc Commun du BEES 1<sup>er</sup> degré</b> , DRDJS Nord Pas de Calais
1999/2005	<b>Professeur d'Activités Physiques Adaptées</b> : Conception de programmes d'activités physiques adaptées au centre d'éducation thérapeutique du centre hospitalier de Bayeux (14). Entraînement d'enfants et d'adolescents obèses (aérobie et renforcement musculaire, activités variées), Programme de suivi de thèse.

De part ma formation universitaire, j'ai toujours été majoritairement impliqué dans la filière APAS. Dès ma prise de fonction j'ai participé aux réunions de la filière, participé activement à la mise en place des maquettes du Master APAS (2015-2020) et au recrutement de deux MCF ayant un profil Sciences de la Vie. Je suis devenu responsable Master APAS en 2018.

J'interviens donc essentiellement auprès des étudiants de la filière APAS (L3, M1, M2 et M2 Recherche) (2/3 de mon service) mais aussi dans les autres filières de L3 (Tronc Commun initiation à la Recherche, Éducation Motricité et Entraînement Sportif) (1/3 de mon service) (Tableau 1). J'interviens également en L2 (10h CM de physiologie appliquée).

Mes enseignements sur les déficiences métaboliques sont en adéquation avec les travaux de recherche que je mène sur le littoral Dunkerquois. Ceci me permet d'appuyer mon enseignement sur des bases scientifiques toujours actualisées (veille scientifique des articles sur le sujet, participation aux congrès en rapport avec cette thématique, discussion avec les cliniciens...). Je mets en pratique les résultats scientifiques de mes recherches et les diffuse à un public le plus large possible.

De part mes interactions constantes avec différents partenaires comme l'Hôpital Maritime de Zuydcoote, le Centre Hospitalier de Dunkerque et les thermes de Brides Les Bains, je contribue à la mise en stage des étudiants de Master 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> année APAS et favorise leur insertion professionnelle (Référént « professionnalisation des APAS » à la VP CFVU de l'ULCO).

**Tableau 1** : Enseignements dispensés au cours de ma carrière

Matières enseignées	Années	Volume horaire annuel	Promotions concernées
<b>Physiologie fondamentale (cellulaire)</b>	2004-2006 (2 ans)	14h CM	Licence 1 STAPS
	2013-2018 (4 ans)	10h CM	Licence 1 STAPS
<b>Physiologie fondamentale (musculaire)</b>	2004-2006 (2 ans)	20h TD	Licence 1 STAPS BI
	2010-2011 (1 an)	40h TD	Licence 1 STAPS BI, CI
	2011-2014 (3 ans)	20h TD	Licence 1 STAPS BI
<b>Physiologie appliquée (cardio-respiratoire)</b>	2004-2006 (2 ans)	14h CM	Licence 1 STAPS
	2010-2015 (5 ans)	12h CM	Licence 1 STAPS
<b>Physiologie appliquée (condition physique)</b>	2010-2011 (1 an)	24h TD	Licence 1 STAPS BI, Dk
	2011-2013 (2 ans)	12h TD	Licence 1 STAPS BI
	2014-2015 (1 an)	32hTD	Licence 1 STAPS BI,CL, Dk

<b>Physiologie appliquée (digestive)</b>	2002-2004 (2 ans)	8h CM	D.E.U.G. 2 STAPS
	2004-2007 (3 ans)	12h CM	Licence 2 STAPS
	2010-2013 (3 ans)	16h CM	Licence 2 STAPS
	Depuis 2014	10h CM	Licence 2 STAPS
<b>Physiologie fondamentale (cellulaire)</b>	2013-2018 (5 ans)	10h CM	Licence 2 STAPS
<b>Physiologie fondamentale (rein)</b>	2010-2015 (5 ans)	36h TD	Licence 2 STAPS BI, CI, Dk
<b>Physiologie appliquée (bioénergétique)</b>	2010-2011 (1 an)	24h TD	Licence 2 STAPS BI, CI, Dk
	2011-2013 (2 ans)	6h TD	Licence 2 STAPS BI
	2013-2014 (1 an)	18h TD	Licence 2 STAPS BI, CI
	2014-2016 (2 ans)	36h TD	Licence 2 STAPS BI, CI, Dk
<b>Contraintes liées à l'âge</b>	2010-2011 (1 an)	16h CM	L3 TC
	2011-2014 (3 ans)	8h CM	L3 TC
<b>Physiologie appliquée</b>	2010-2012 (2 ans)	18h CM	L3 TC
	2012-2014 (2 ans)	8h CM	L3 TC
<b>Initiation à la recherche</b>	Depuis 2010	6h TD	L3 TC
<b>Physiopathologie des déficiences métaboliques</b>	Depuis 2010	10h CM	L3 APAS
<b>Suivi de stage</b>	2010-2014	20h TD	L3 APAS
<b>Bioénergétique</b>	2004-2006 (2 ans)	30h TD	L3 ES
	2007-2008 (1 an)	30h CM	L3 ES
	2010-2015 (5 ans)	20h CM	L3 ES
<b>Adaptations humaines et amélioration de la performance</b>	Depuis 2014	12h TD	L3 ES
<b>Outils de mesure de la performance</b>	2010-2014 (4 ans)	8h CM	L3 ES
<b>Introduction au transfert physiologie – entraînement</b>	Depuis 2010	8h CM	L3 ES
<b>Analyse biomécanique</b>	2010-2014 (4 ans)	8h CM	L3 ES
<b>Contraintes liées à l'entraînement</b>	2004-2006 (2 ans)	5h TD	L3 ES
<b>Nutrition des déficiences</b>	2004-2006 (2 ans)	20h TD	M1 APAS
<b>Stress Oxydant et activité physique</b>	2004-2006 (2 ans)	10h TD	M1 APAS
	Depuis 2014	3h CM	M2 SSAP
<b>Physiologie de l'AP</b>	2010-2013 (3 ans)	4h CM + 2h TD	M1 enseignement
<b>Outils et mesure de la santé</b>	2004-2006 (2 ans)	5h TD	M1 APAS
<b>Public et intervention</b>	2004-2006 (2 ans)	24h TD	M1 APAS
	2010-2013	13h CM	M1 APAS
<b>Condition physique (tests de terrain et de laboratoire, ...)</b>	2004-2006 (2 ans)	16h TD	L1 STAPS
	2007-2008 (1 an)	24h TD	M1 APAS
<b>Déficiences métaboliques (obésité, diabète, anorexie) : prise en charge des publics et réentraînement métabolique</b>	2010-2015 (5 ans)	16h CM	M1 APAS
<b>Analyse et schémas de prise en charge des maladies cardio-respiratoires</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS

<b>Analyse et schémas de prise en charge des maladies métaboliques</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Habitudes de vies saines vs sédentarité</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Outils et méthodes d'évaluation de la santé physique</b>	Depuis 2015	12h CM	M1 APAS
<b>Recueil des données, traitement et biais</b>	Depuis 2015	10h TD	M1 APAS
<b>Maladies héréditaires, oncologie</b>	Depuis 2016	9h CM	M1 APAS
<b>Outils d'évaluation de la santé (spécialité Troubles du Comportement Alimentaire)</b>	Depuis 2016	10h CM	M1 APAS
<b>Vieillesse</b>	Depuis 2013	30h CM	M2 Balamand
<b>Biologie Fondamentale</b>	2010-2011 (1 an)	16h CM	IFSI 1 <sup>ère</sup> année : Dk, C, SO
	2011-2015 (4 ans)	20h CM	IFSI 1 <sup>ère</sup> année : C,
<b>Méthodologie de la recherche</b>	2011-2015 (4 ans)	6h CM	IFSI 2 <sup>ème</sup> année : Dk, C,
<b>Master Sciences Biologiques et Médicale</b>	2005-2006 (1 an)	8h TD	MSBM UFR Médecine Caen

**Légende** : L1 : Licence 1<sup>ère</sup> année ; L2 : Licence 2<sup>ème</sup> année ; DEUG 1 et 2 : DEUG 1<sup>ère</sup> et 2<sup>ème</sup> années ; L3 : Licence 3<sup>ème</sup> année ; M1 : Master 1<sup>ère</sup> année ; M2 : Master 2<sup>ème</sup> année ; APAS : Activités Physiques Adaptées Santé ; EM : Education Motricité ; ES : Entraînement Sportif ; EM : Education et Motricité, IFSI 1 : Institut de Soins Infirmiers 1<sup>ère</sup> année ; IFSI 2 : Institut de Soins Infirmiers 2<sup>ème</sup> année ; Bl : Site de Boulogne sur mer ; Be : site de Berk sur mer ; C : site de Calais, Dk : site de Dunkerque ; SO : Site de Saint-Omer, B : Site de Berk ; MSBM : Maitrise de Sciences Biologiques et Médicales.

#### **Les principaux cours que j'ai mis en place (dernière maquette) :**

- Initiation à la recherche (L3 Tronc Commun)
- Les schémas de prise en charge des maladies métaboliques et cardio-respiratoires
- Étude de cas et prescription d'APAS
- Prise en charge des maladies héréditaires et oncologie
- Habitus de vie saine versus sédentarité
- Éducation thérapeutique & promotion de la santé (Éducation Thérapeutique du Patient)

#### **Les cours que j'ai mis en place dans le cadre du projet Universanté (Projet Master STAPS APAS) :**

- Outils & méthodes d'évaluation de la santé physique : projet Universanté (tests d'évaluation de la tolérance à l'effort : test de marche de 6 minutes, de stepper...)
- Recueil des données, traitement, biais des outils pour la santé physique

#### **Encadrement d'étudiants en filière professionnelle (mémoires soutenus et obtenus uniquement) : Exemples pour l'année universitaire 2017-2018 :**

*APAS : Activités Physiques Adaptées*

**2017-2018** : GHYSEL GWENDOLINE, **Master 2 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Comment un programme de réhabilitation mettant en avant la marche a davantage de chances de réussite qu'un programme basé sur le renforcement musculaire chez des patients souffrants de pathologies cardiaques » soutenu en Septembre 2018.

**2017-2018** : HIDDEN ANTOINE, **Master 2 APAS Master 2 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Effets de l'activité physique sur l'obésité infantile et le syndrome métabolique » soutenu en Juin 2018.

**2017-2018** : MARTINS EUGENIE, **Master 2 APAS Master 2 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Effet du programme step trx stretching chez les patients lombalgiques chroniques » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : CDI comme éducateur en APA dans un établissement de cure thermale

**2017-2018** : TARTARE ROMANE, **Master 2 APAS Master 2 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Impact d'un programme d'APAS sur la composition corporelle de patients souffrant d'alcoolisme » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : Educateur APA dans le service addictologie, CH St Omer

**2017-2018** : BRABANT JULIEN, **Master 1 APAS Master 2 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Evaluation de l'intérêt d'un carnet suivi du programme apa au CH Calais » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : M2 APAS et CDI comme éducateur en APA

**2017-2018** : MASSET MARTIN, **Master 1 APAS Master 2 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Endurance musculaire et amélioration de la qualité de vie des patients lombalgiques » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : M2 APAS

**2017-2018** : WILLEMAN Mathieu, **Master 1 APAS** (ULCO, Calais France)

*Thème* : « Rôle de l'apa dans les différents services hospitaliers : stratégies de développement possibles dans les différents services du CH Calais » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : M2 APAS

**2017-2018** : IBRAHIM NASSIF, **Master 2 APAS** (Université de Balamand, Liban)

*Thème* : « Effets de deux types d'entraînement physique (entraînement intermittent à haute intensité vs. entraînement continu à intensité moyenne) sur les paramètres anthropométriques et métaboliques chez des sujets adultes atteints du syndrome métabolique » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : Enseignant EPS Liban, Vacataire UOB

**2017-2018** : ISRAK SARAH, **Master 1 APAS** (Université de Balamand, Liban)

*Thème* : « Facteurs prédictifs de la densité minérale osseuse chez les personnes âgées » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : M2 APAS

**2017-2018** : OBAIDA AL ABDUL, **Master 1 APAS** (Université de Balamand, Liban)

*Thème* : « Effet de l'entraînement physique et cognitif simultané sur la densité minérale osseuse et les paramètres de performance physique chez des personnes âgées » soutenu en Juin 2018.

*Devenir* : M2 APAS

## ANNEXE 4 : EXPERTISES

---

### Comités d'experts

Conseiller scientifique « Activité Physique » pour les thermes de Brides les bains (73)

Membre du ThinkTank Obésités : <https://thinktankobesites.wordpress.com/les-dossiers-du-think-tank-obesites/>

### Membre de Sociétés/Associations

American College of Sports Medicine (ACSM)

Association des Chercheurs en Activités Physiques et Sportives (ACAPS)

Association pour la prévention et la prise en charge de l'Obésité Pédiatrique (APOP)

### Expertises d'articles :

- Journal of Clinical Densitometry :
  - JCLINDENSITOM\_2017\_113
  - JCLINDENSITOM\_2018\_7
  - JCLINDENSITOM\_2017\_143
  - JCLINDENSITOM\_2017\_125
  - JCLINDENSITOM\_2017\_95
- Sciences & Motricité / Movement & Sport Science :
  - Ms sm180003
- Archives of Gerontology and Geriatrics :
  - AGG-D-16-00538
- Journal of Physical Education and Sport Management :
  - JPESM-11-013
- Pediatric Exercise Science :
  - 10-73

## ANNEXE 5 : RESPONSABILITES ADMINISTRATIVES ET JURYS DE THESES

- **Responsabilités administratives**

**2017-2022** : Elu au Conseil de département STAPS, Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO)  
**2018-** : **Référent ULCO** « Professionnalisation des métiers de l'APAS »  
**2018-** : **Responsable ECU** " Analyse Scientifique en Sciences du Sport et de l'Activité Physique et anglais " intégré au sein du Master Recherche Science du Sport et de l'Activité Physique (M2SAP)  
**2018-** : **Responsable du Master STAPS APAS** de l'ULCO  
**2018-** : **Correspondant du Master Recherche** « Science du Sport et de l'Activité Physique (M2SAP) » Grand Nord à l'ULCO  
**2018-** : **Responsable de la coordination des enseignements** en Sciences de la Vie et Cohérence des enseignements entre les niveaux de formation Licence - Master au département STAPS de l'ULCO  
**2015-2016** : **Responsable du projet** Universanté (ULCO)  
**2008-** : **Président et chef du projet CEMHaVI** (Contrôle Evaluation et Modification des Habitudes de Vies), Junior entreprise de l'ULCO

- **Organisation d'événements et actions de valorisation de la recherche**

**16 et 17 Juin 2015** : Participation à l'organisation du séminaire de l'URePSSS sur Métabolisme et Exercice  
**2008** : Participation au suivi du projet Vendée Globe de Joe SEETEN  
**2004** : Participation à l'organisation du congrès de l'Association Francophone de Recherche sur les Activités Physiques et Sportives, Dunkerque, France  
*Missions : Accueil des participants chaque jour, transport*  
**2019** : Reportage télévisé Junior Entreprise CEMHaVI sur la prise en charge de l'obésité infantile  
**2009** : Article du British Journal Of Sport Medicine faisant l'objet d'un communiqué de presse mondial « *Fat kids need less intensive exercise for effective weight loss ?* », Science Daily

- **Jurys de Thèse**

**27 juin 2017** : Examineur de la thèse de Biologie de **Najate ACHAMRAH** (Université de Normandie) intitulée « Etude de la barrière intestinale dans un modèle murin d'anorexie, le modèle ABA (Activity-Based-Anorexia) : effets de la renutrition et de l'activité physique » (encadrée par le Pr Pierre Dechelotte)  
**11 Juillet 2016** : Examineur de la thèse STAPS de **Marie Louise AYOUB** (Université de Lille) intitulée « Facteurs influençant les valeurs du TBS chez des jeunes adultes sains et des femmes ménopausées avec ou sans antécédents de fractures ostéoporotiques (encadrée par le Pr Bernard Cortet, Co-encadrement)  
**03 Juillet 2015** : Examineur de la thèse STAPS d'**Eddy ZAKHEM** (Université du Littoral Côte d'Opale) intitulée « Relations entre le niveau de performance physique, le niveau d'activité physique usuel, les apports nutritionnels, les caractéristiques anthropométriques, le sommeil et les paramètres osseux chez les jeunes adultes sains » (encadrée par le Pr. D. Theunynck, Co-encadrement)  
**06 Janvier 2011** : Examineur de la thèse STAPS d'**Eric WATRIN** (Université du Littoral Côte d'Opale) intitulée « Les méthodes de renforcement musculaire atteignent-elles leurs objectifs ? Quels sont leurs ratios bénéfice risque en terme de sport santé ? » (Encadrement Pr. D. Theunynck)

- **Autres implications administratives**

**2018** : Organisation des comités de suivi de thèse de Patchina SEBBAGH & Boutros FINIANOS  
**2018** : Membre du comité de sélection pour le poste 0055 « Physiologie de l'exercice et plasticité cérébrale », CNU74, Département STAPS, Université du Littoral Côte d'Opale  
*Mission : Aide à la constitution du jury, organisation des réunions, présidence des délibérations et du processus*

**2016** : Membre du comité de suivi de thèse (CST) de Nathalie Al Rassy, Laboratoire PMOI, ULCO, Boulogne sur Mer, France

**2016** : Membre de Comités de Sélection pour le poste 0548, « Sommeil et Activité physique », CNU74, **Département STAPS**, Université du Littoral Côte d'Opale

*Mission : Aide à la constitution du jury, organisation des réunions, présidence des délibérations et du processus*