



Faculté des Sciences de Kénitra  
CED : Sciences de la Vie et de l'Environnement

## THESE

Présentée pour obtenir le Diplôme de  
Doctorat National en Biologie  
Option : Nutrition et Santé

Par

**Abdeslam HAMRANI**

Sous le thème

**Estimation de la composition corporelle, des niveaux d'activité physique et des habitudes alimentaires chez l'adolescent Marocain**

Soutenue le 16 juillet 2012 devant la commission d'examen :

**Président**

**Monsieur Hassan AGUENAOU**

Professeur, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra

**Examineurs**

**Madame Khadija OUNINE**

Professeur, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra

**Monsieur Nouredine EL HALOUI**

Professeur, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra

**Madame Rekia BELAHSEN**

Professeur, Faculté des Sciences, Université Chouaïb Doukkali, El Jadida

**Madame Asmaa EL HAMDouchi**

Docteur, Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires, Rabat

**Monsieur Hakim BELGHITI**

Docteur, Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V, Rabat

**Madame Najat MOKHTAR**

Professeur, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra  
Directeur des Sciences, Académie Hassan II des Sciences, Rabat

Dédicace et remerciement

**Chers parents,**

*C'est auprès de vous que j'ai trouvé l'énergie nécessaire, le soutien permanent et sans faille pendant toutes ces années d'étude. Je vous dédie ce travail.*

**Cher Docteur Asmaa El Hamdouchi,**

*Avec une profonde émotion, je tiens à vous adresser mes vifs remerciements pour la fraternité et l'aide que vous m'aviez apportées et qui resteront marquées sur ma mémoire et ma vie. Je vous dédie ce travail.*

**Chers membres de ma famille,**

*Avec tout l'amour que je vous porte, en témoignage de l'affection que je vous ai toujours réservée, que vous trouvez à travers ce travail l'expression de mes sentiments les plus chaleureux. Je vous dédie ce travail.*

*" There is inside you  
All of the potential  
To be whatever you want to be "*

**Donna Levine**

**A mes maîtres et juges,**

Monsieur le professeur **Hassan Aguentaou**, je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude d'avoir accepté de présider et de juger ce travail. Je tiens aussi à vous exprimer mon profond respect et ma très haute considération.

Madame le professeur **Khadija Ounine**, je vous remercie vivement pour le grand honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail. Je tiens aussi à vous exprimer ma grande reconnaissance et mon profond respect.

Madame le professeur **Rekia Belahsen**, je vous remercie vivement pour le grand honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail. Je tiens à vous exprimer ma grande reconnaissance et mon profond respect.

Monsieur le professeur **Noureddine El Haloui**, je vous remercie vivement pour le grand honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail. Je tiens aussi à vous exprimer ma grande reconnaissance et mon profond respect.

Madame le Docteur **Asmaa El Hamdouchi**, je vous remercie vivement pour le grand honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail. Je tiens aussi à vous exprimer ma grande reconnaissance et mon profond respect.

Monsieur le Docteur **Hakim Belghiti**, je vous remercie vivement pour le grand honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail. Je tiens aussi à vous exprimer ma grande reconnaissance et mon profond respect.

Madame le professeur **Najat Mokhtar**, je tiens à vous exprimer toute ma reconnaissance et ma profonde gratitude d'avoir accepté de diriger et de juger ce travail. Je tiens aussi à vous exprimer mon profond respect et ma très haute considération.

**Chers Directeur et Codirecteur de thèse,**

Mes vifs remerciements vont à Mme **Najat Mokhtar**, Professeur d'enseignement supérieur à l'Université Ibn Tofaïl, et Directeur à l'Académie Hassan II des Sciences, Rabat ; et à Mr **Hassan Aguentaou**, Professeur d'enseignement supérieur à l'Université Ibn Tofaïl, et Directeur de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation siégée au sein du Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTN) de Rabat, qui m'ont soutenu, aidé, encouragé, encadré durant ces trois années de thèse. Merci de votre disponibilité, accompagnement et tous les conseils que vous m'aviez apportés.

**Cher Professeur,**

Mes vifs remerciements vont à Mr **Abderrazak Khadmaoui**, Professeur d'enseignement supérieur à l'Université Ibn Tofaïl, qui m'a bien aidé, encouragé et appris quelques outils importants en statistique appliquée. Merci beaucoup professeur.

**Chers Docteurs Khalid El Kari et Mohammed El Mzibri,**

Avec une profonde émotion, je tiens à vous adresser mes vifs remerciements pour l'aide et le soutien que vous m'aviez apportés pour réaliser ce travail.

**Chères Imane Zouad, Bahia Bouabid, Fatima El Hilah, Ghizlane Choua, Naima Attalhi et Hanane Labraimi**

Avec une profonde émotion, je tiens à vous adresser mes vifs remerciements pour l'aide que vous m'aviez apportée.

**Chers amis et frères,**

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à Mr **Slimane Mehdad**, Docteur et Chef de la Division des Etudes, de la Programmation et de la Promotion de la Recherche Scientifique au ministère d'éducation et d'enseignement supérieur, Mr **Ahmad Badahi**, Docteur et Délégué du ministère de la santé à la province de Chtouka-Aït Baha, et Mr **Hakim Belghiti** Docteur à l'unité de nutrition, service d'hygiène et médecine de collectivité à l'Hôpital Militaire d'Instruction Mohammed V, qui m'ont vraiment aidé et encouragé, qu'ils trouvent en ce présent mémoire l'expression de ma très haute considération et ma profonde reconnaissance.

**Chers collègues et ami(e)s,**

Mes vifs remerciements vont à Mme **Saïda Bayna** Directrice et Gérante de la Société de Conseil « NUTRICONSEIL », Mme **El Menchaoui Imane** Docteur généraliste, Mlles **Majda Samih**, **Sanaa Youssir** et **Kaotar Dimou** étudiantes en doctorat, Mrs **Abderrahim Raaboub**, **Redouan Mrifag**, **Mohammed Boukbal**, **Mounim Laamri**, **Redouan Nakache**, **Hakim Harchaoui**, **Mouhammed Zouirech**, **Rabi Akerkouch**, **N'Go Pacôme** et **Elom Aglago** étudiants en doctorat, Mlle **Kaotar Benjeddou**, Mr **Mehdi Baymo**, Mlle **Hajiba Damoun** et Mme **Karima El Hatimi**.

**Personnels du CNESTN, Al-Irfane,**

Mes vifs remerciements vont à Mme **Naima Saeid** cadre supérieur à l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation, Mme **Laila Benbacer**, Mme **Imane Chaoui**, Mr **Rabii Ameziane**, Mr **Aziz Smouni**, **Mohammed Attaleb** et **Hassan Jaddi** cadres supérieurs à l'Unité de Biologie de Recherche Médicale, Mr **Mostapha Boukhriss** cadre et responsable de logistique au CNESTN, Mr **Merzoug Lhcen** cadre et technicien

au CNESTN, Mme **Tamou Marouane**, Mme **Aziza Ghalboune** et Mr **Jilali Belghali** qui m'ont encouragé.

**Chers Directeurs et Enseignants des établissements visités**

Mes remerciements les plus vifs vont à tous les directeurs et enseignants qui ont contribué de près ou de loin pour réussir ce travail de recherche.

**Agence Internationale de l'Energie Atomique et Centre Arabe de Nutrition**

Nos remerciements les très particuliers vont à l'Agence Internationale de l'Energie Atomique et au Centre Arabe de Nutrition, de toute contribution à la réalisation de ce travail de recherche.

## Liste des abréviations

<b><math>^2\text{H}</math></b>	:	Deutérium ou D
<b><math>^{40}\text{K}</math></b>	:	Potassium 40
<b>ATLS</b>	:	Etude du style de vie des adolescents arabes (Arab Teens Lifestyle Study)
<b>BIA</b>	:	Analyse d'impédance bioélectrique (bioelectrical impedance analysis)
<b>CNESTN</b>	:	Centre National de l'Énergie, des Sciences et des Techniques Nucléaires
<b><math>\text{CO}_2</math></b>	:	Dioxyde de carbone
<b>CRPs</b>	:	Projets de recherche coordonnée (Coordinated Research Projects)
<b><math>\text{D}_2\text{O}</math></b>	:	Oxyde de deutérium ou $^2\text{H}_2\text{O}$
<b>DXA</b>	:	Absorptiométrie biphotonique à rayons X (dual energy x-ray absorptiometry)
<b>ECT</b>	:	Eau corporelle totale
<b>EEC</b>	:	Eau extracellulaire
<b>EIC</b>	:	Eau intracellulaire
<b>FTIR</b>	:	Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (Fourier transform infrared spectroscopy)
<b><math>\text{H}_2\text{O}</math></b>	:	Molécule d'eau
<b>IMC</b>	:	Indice de masse corporelle ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )
<b>IOTF</b>	:	Task-force internationale sur l'obésité (International Obesity Task Force)
<b>MET</b>	:	Equivalent métabolique de task (metabolic equivalent of task)
<b>OMS</b>	:	Organisation Mondiale de la Santé
<b>ppm</b>	:	Partie par million
<b>SD</b>	:	Ecart-type
<b>SEE</b>	:	Erreur standard de l'estimation (standard error of the estimate)
<b>SPSS</b>	:	Logiciel de statistiques pour les sciences sociales (Statistical Package for the Social Sciences)

## Table des matières

<b>Avant-propos</b>	<b>1</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>3</b>
<b>Chapitre I: Synthèse bibliographique</b>	
<b>I- Composition corporelle</b>	<b>7</b>
<b>II- Compartiments corporels</b>	<b>7</b>
II-1- Modèle anatomique	7
II-2- Modèle biochimique	7
II-3- Modèles physiologiques	8
II-3-1- Modèle à deux compartiments	8
II-3-2- Modèle à trois compartiments	8
II-3-3- Modèle à quatre compartiments	8
II-3-4- Modèle à multi-compartiments	8
<b>III- Méthodes d'étude des compartiments corporels</b>	<b>9</b>
III-1- Indice de masse corporelle	10
III-1-1- Pour adulte	10
III-1-2- Pour enfant et adolescent	10
III-2- Mesure des plis cutanés	11
III-2-1- Méthode à 3 emplacements	12
III-2-2- Méthode à 4 emplacements	12
III-3- Estimation de la masse musculaire	13
III-4- Impédancemétrie bioélectrique	13
III-4-1- Types d'impédancemétrie bioélectrique	14
III-4-1-1- Impédancemétrie bioélectrique mono-fréquence	14
III-4-1-2- Impédancemétrie bioélectrique multifréquence	14
III-4-1-3- Spectroscopie bioélectrique	15
III-4-1-4- Impédancemétrie bioélectrique segmentaire	15
III-5- Mesure de la conductivité corporelle totale	15
III-6- Absorptiométrie biphotonique	16
III-7- Hydrodensitométrie	16
III-8- Pléthysmographie	17
III-9- Dilution isotopique	18
III-9-1- Mesure d'enrichissement de deutérium	18
III-10- Comptage du potassium 40	20
III-11- Tomodensitométrie computerisée	20
III-12- Résonance magnétique nucléaire	20
III-13- Activation neutronique	21
III-14- Analyse anatomique	21
<b>IV- Variations de la composition corporelle</b>	<b>21</b>
IV-1- Age	21
IV-2- Modulation hormonale	21
IV-3- Genre	22
IV-4- Ethnie	22
IV-5- Activité physique	22
IV-6- Alimentation	22
<b>V- Activité physique</b>	<b>23</b>
V-1- Définitions	23
V-2- Dimensions d'activité physique	23

---

V-3- Pratique régulière d'activité physique	23
V-4- Sédentarité	24
V-5- Recommandations de l'organisation mondiale de la santé	24
V-5-1- Types d'activité physique et sportive	24
V-5-2- Durée et fréquence d'activité physique et sportive	25
V-6- Méthodes d'évaluation de l'activité physique	25
V-6-1- Questionnaires	25
V-6-2- Podomètre	26
V-6-3- Accéléromètre	27
V-6-4- Moniteurs de fréquence cardiaque	27
V-6-5- Calorimétrie indirecte	28
V-6-5-1- Calorimétrie indirecte en chambre	28
V-6-5-2- Méthode à l'eau doublement marquée	29
V-6-6- Calorimétrie directe	29
V-7- Métabolisme de base	29
V-8- Variations d'activité physique et sportive	30
<b>VI- Alimentation</b>	<b>31</b>
VI-1- Classification des aliments	31
VI-2- Aliments	31
VI-2-1- Fruits et légumes	32
VI-2-2- Pain et féculents	32
VI-2-3- Lait et produits laitiers	32
VI-2-4- Viandes, poissons et œufs	33
VI-2-5- Matières grasses	33
VI-2-6- Aliments et boissons sucrées	33
VI-2-7- Boissons	33
VI-3- Nutriment	33
VI-3-1- Macronutriments	34
VI-3-1-1- Glucides	34
VI-3-1-2- Protéines	34
VI-3-1-3- Lipides	34
VI-3-2- Micronutriments	35
VI-3-2-1- Vitamines	35
VI-3-2-2- Minéraux	35
VI-3-2-3- Oligo-éléments	35
<b>VII- Objectifs de recherche</b>	<b>35</b>

## Chapitre II : Matériels et méthodes

<b>I- Contexte du travail de recherche</b>	<b>37</b>
<b>II- Equipe de recherche</b>	<b>38</b>
<b>III- Population étudiée</b>	<b>39</b>
<b>IV- Anthropométrie de la population étudiée</b>	<b>39</b>
IV-1- Poids corporel	39
IV-2- Taille	40
IV-3- Indice de masse corporelle	40
IV-4- Tour de taille	40
IV-5- Tour de taille / taille	41
IV-6- Tour de hanche	41

IV-7- Surface corporelle	41
<b>V- Stade pubertaire</b>	<b>42</b>
<b>VI- Pression artérielle</b>	<b>42</b>
<b>VII- Evaluation du style de vie de la population étudiée</b>	<b>42</b>
VII-1- Evaluation de l'activité et l'inactivité physiques	42
VII-2- Evaluation des habitudes alimentaires	43
<b>VIII- Analyse d'impédance bioélectrique</b>	<b>44</b>
<b>IX- Technique de dilution isotopique</b>	<b>45</b>
IX-1- Préparation et administration des doses	45
IX-2- Échantillonnage de salive	45
IX-3- Analyse par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier	46
IX-4- Calcul de la composition corporelle	47
<b>X- Analyse statistique</b>	<b>48</b>

### **Chapitre III : Activité physique et habitudes alimentaires des adolescents**

<b>I- Introduction</b>	<b>51</b>
<b>II- Résultats</b>	<b>52</b>
II-1- Age et caractéristiques anthropométriques de la population étudiée	52
II-2- Prévalence de surpoids et d'obésité	52
II-3- Taux d'hypertension systolique et diastolique	53
II-4- Activité physique de la population étudiée	53
II-4-1- Fréquence de la pratique d'activité physique	53
II-4-1-1- Fréquence de la pratique d'activité physique modérée	53
II-4-1-2- Fréquence de la pratique d'activité physique intense	54
II-4-2- Temps consacré à l'activité physique	54
II-4-2-1- Durée consacrée à l'activité physique totale	55
II-4-2-2- Durée consacrée à l'activité physique modérée	55
II-4-2-3- Durée consacrée à l'activité physique intense	56
II-4-3- Energie dépensée en activité physique	56
II-4-4- Lieux de pratique d'activité physique	57
II-4-5- Accompagnement à la pratique d'activité physique	57
II-4-6- Période de la pratique d'activité physique	58
II-4-7- Raison derrière la pratique de l'activité physique	59
II-5- Inactivité physique de la population étudiée	59
II-5-1- Taux d'adolescents inactifs	59
II-5-2- Temps consacré à regarder la télévision	60
II-5-3- Temps consacré à utiliser l'ordinateur	60
II-5-4- Durée de sommeil	61
II-6- Profil nutritionnel de la population étudiée	61
II-6-1- Habitudes alimentaire saines	61
II-6-2- Mauvaises habitudes alimentaires	62
<b>III- Discussion</b>	<b>63</b>

---

**Chapitre IV : Estimation de la composition corporelle des adolescents marocains**

<b>I- Introduction</b>	<b>70</b>
<b>II- Résultats</b>	<b>71</b>
II-1- Age et caractéristiques anthropométriques de la population étudiée	71
II-2- Composition corporelle par la technique de l'oxyde de deutérium	71
II-3- Composition corporelle par la technique d'impédance bioélectrique	72
II-4- Stade pubertaire selon Tanner	72
II-5- Développement du modèle	73
II-6- Validation du modèle développé	73
II-7- Analyse d'association et de Bland et Altman	74
II-8- Confirmation de la nécessité de développer un modèle spécifique	75
<b>III- Discussion</b>	<b>75</b>

**Chapitre V : Discussion générale et conclusion**

<b>I- Etude du style de vie des adolescents</b>	<b>80</b>
<b>II- Estimation de la composition corporelle des adolescents</b>	<b>82</b>
<b>III- Conclusion</b>	<b>83</b>

**Perspectives**

<b>I- Etude du style de vie des adolescents</b>	<b>86</b>
<b>II- Etude de l'estimation de la composition corporelle des adolescents</b>	<b>86</b>

<b>Références bibliographiques</b>	<b>88</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>98</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>100</b>
<b>Liste des publications et des communications</b>	<b>103</b>
<b>Annexes</b>	<b>108</b>

Avant-propos

Deux études ont été menées pour réaliser ce travail de recherche :

- Etude du style de vie des adolescents, qui rentre dans le cadre d'un projet régional ATLS (Arab Teens Lifestyle Study) coordonné par le Centre Arabe de Nutrition, et incluait l'Arabie Saoudite, les Emirats Arabes Unis, le Bahreïn, le Koweït, l'Irak, la Jordanie, l'Oman, la Tunisie et le Maroc.
  - L'objectif de cette étude est de décrire le style de vie (activité physique et habitudes alimentaires) chez un groupe d'adolescents marocains âgés de 15-19.9 ans.
  
- Etude de la composition corporelle des adolescents, qui rentre dans le cadre d'un projet international de recherche coordonnée, financé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique, et incluait les Etats-Unis d'Amérique, le Mexique, l'Australie, le Liban, le Maroc, le Bangladesh, la Chine, la Malaisie, l'Inde et la Nouvelle-Zélande.
  - Objectif de cette étude est de développer un modèle mathématique spécifique à l'adolescent marocain pour estimer la composition corporelle en utilisant l'impédance bioélectrique (BIA).

Ce travail de recherche a été encadré par Mr Hassan Aguentaou, Directeur de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation à Rabat, et Professeur à l'Université Ibn Tofaïl de Kénitra, et Mme Najat Mokhtar, Directeur scientifique à l'Académie Hassan II des Sciences et Techniques de Rabat, et Professeur à l'Université Ibn Tofaïl de Kénitra.

## Introduction générale

L'obésité et les maladies associées chez l'enfant et l'adolescent dans les pays en développement sont en croissance [OMS, 2010]. Chez l'enfant et l'adolescent, le surpoids est associé non seulement à un risque accru d'obésité et de maladies non transmissibles à l'âge adulte, mais aussi à plusieurs problèmes de santé immédiats, comme l'hypertension et l'insulinorésistance [OMS, 2010a]. La prévalence croissante des maladies non transmissibles et de leurs facteurs de risque est un problème mondial qui touche aussi bien les pays à faible revenu que les pays à revenu intermédiaire [OMS, 2010].

Dans le monde, l'obésité infantile est un problème de santé publique, [Reilly et al., 2003] et la prévalence de l'obésité chez les enfants a considérablement augmenté dans les pays développés et ceux en développement [Lobstein et al., 2004]. En 2010, plus de 42 millions d'enfants de moins de cinq ans ont un surpoids ou sont obèses, et près de 35 millions d'entre eux vivent dans des pays en développement [OMS, 2010a].

Au Maroc, 13% des enfants préscolaires (0-5 ans) sont en surpoids, 14.3% des garçons et 12.4% des filles [Profil Nutritionnel du Maroc, 2011]. 25.7% des femmes adultes de 15-49 ans sont en surpoids et 11% sont obèses. 25.5% des hommes adultes de  $\geq 20$  ans sont en surpoids et 8.0% sont obèses [Profil Nutritionnel du Maroc, 2011]. En ce qui concerne les jeunes, malheureusement très peu de travaux de recherche sur le surpoids et l'obésité chez l'adolescent au Maroc.

La lutte contre l'obésité nécessite des outils simples, peu coûteux et fiables pour l'évaluation des interventions qui promeuvent la pratique d'activité physique et améliorent les habitudes alimentaires. Les outils conventionnels qui existent actuellement (anthropométrie, plis cutanés, ...) sont peu précis particulièrement chez les enfants et les adolescents.

Dans ce travail de recherche, nous avons développé un modèle qui a été validé contre la méthode de dilution isotopique ( $D_2O$ ) pour estimer la composition corporelle (masse maigre et masse grasse) chez les adolescents marocains. La composition corporelle est importante pour l'appréciation de l'état nutritionnel et de ses variations aussi bien dans le cas des maladies, la suralimentation, la sous-alimentation, les changements physiologiques et en particulier lors des programmes d'intervention pour réduire le poids chez les enfants et les adolescents obèses [NIH, 1994; Wabitsch et al., 1994]. La composition corporelle est influencée par plusieurs facteurs parmi lesquels on trouve l'activité physique et l'alimentation [Forbes, 1985].

Dans ce travail, nous avons aussi décrit les niveaux d'activité physique et les habitudes alimentaires des jeunes marocains. L'activité physique régulière et les habitudes alimentaires saines peuvent maintenir et améliorer la santé physique et mentale des individus, et le bien-être [OMS, 2002]. Les enfants et les adolescents qui participent à des niveaux plus élevés de l'activité physique sont moins susceptibles de développer des facteurs de risque de maladie cardiovasculaire [Boreham et Riddoch, 2001; Strong et al., 2005] et plus susceptibles d'avoir des résultats positifs [Gutin et al., 2002; Lemura et Maziekas, 2002] dans la régulation du poids corporel.

L'activité physique insuffisante contribue à l'obésité et le risque de complications de maladies chroniques telles que le diabète de type II [US DHHS, 1996]. L'inactivité physique et la mauvaise alimentation sont considérées parmi les principales causes des maladies majeures non transmissibles, contribuant ainsi considérablement à la charge mondiale de morbidité, mortalité et handicap dans les pays arabes [Khatib, 2004]. Près de 2 millions de décès par an dans le monde sont attribuables à l'inactivité [OMS, 2002].

Les objectifs spécifiques de ce travail de recherche sont :

- Décrire l'activité et l'inactivité physiques chez un groupe d'adolescents marocains dans le cadre d'un projet régional ;
- Décrire les habitudes alimentaires d'un groupe d'adolescents marocains dans le cadre d'un projet régional ;
- Développer un modèle mathématique spécifique à l'adolescent marocain pour estimer la composition corporelle en utilisant l'impédance bioélectrique (BIA) dans le cadre d'un projet international.

Ce mémoire de thèse s'articule autour de cinq chapitres :

- Le Chapitre I traite de la revue de littérature actualisée des thèmes étudiés, notamment la composition corporelle, l'activité physique et l'alimentation de l'adolescent ;
- Le Chapitre II présente la méthodologie utilisée pour réaliser ce travail de recherche ;
- Le Chapitre III relate les résultats de l'étude sur les niveaux d'activité physique et les habitudes alimentaires des adolescents ;
- Le Chapitre IV relate les résultats de l'étude sur l'estimation de la composition corporelle des adolescents ;
- Le Chapitre V est une discussion générale et conclusion concernant les résultats obtenus.

Enfin nous terminons ce travail par les perspectives.

# Chapitre I

## Synthèse bibliographique

## **I- Composition corporelle**

La composition corporelle reflète l'état métabolique de l'organisme et l'action d'un ensemble de régulations endocriniennes des substrats énergétiques [Roubenoff, 1997]. Elle est un indicateur plus important qui permet de savoir de quoi le poids corporel d'un individu est constitué [IAEA, 2010].

L'évaluation de la composition corporelle est importante pour l'appréciation de l'état nutritionnel (masse grasse, masse non grasse) et de ses variations aussi bien dans le cas des maladies, la suralimentation, la sous-alimentation, les changements physiologiques et en particulier lors des programmes d'intervention pour réduire le poids chez les enfants et les adolescents obèses [NIH, 1994; Wabitsch et al., 1994]. L'étude de la composition corporelle concerne trois domaines interconnectés [Heymesfield et al., 2005] :

- Le premier domaine inclut les règles et les modèles de la composition corporelle, et concerne les composants eux-mêmes, les définitions, et les liens entre eux ;
- Le deuxième domaine concerne les différentes méthodes utilisées pour étudier la composition corporelle ;
- Le troisième domaine concerne la variation de la composition corporelle qui implique les changements liés aux conditions physiologiques et pathologiques.

## **II- Compartiments corporels**

Un compartiment corporel regroupe des composants fonctionnellement liés entre eux, indépendamment de leur localisation anatomique ou de leur nature chimique. L'étude des compartiments de l'organisme (Fig. 1-1) est l'une des bases de la nutrition clinique [Barbe, 2001] qui fait appel à des modèles et des systèmes de représentation du corps humain [Barbe et Ritz, 2005].

### **II-1- Modèle anatomique**

Le modèle anatomique sépare le corps en différents tissus à savoir le tissu musculaire, le tissu adipeux, les organes, etc. C'est un modèle descriptif qui permet de comprendre l'organisation spatiale des différents constituants et leur niveau d'interconnexion [Barbe, 2001].

### **II-2- Modèle biochimique**

Le modèle biochimique sépare les composants de l'organisme en fonction de leurs propriétés chimiques : l'eau, les lipides, les protéines, les glucides, les minéraux, etc. Ainsi,

l'azote corporel correspond presque uniquement aux protéines, le calcium et le phosphore correspondent à l'os, le carbone correspond aux lipides (les glucides étant comparativement très peu abondants). Le potassium est presque uniquement intracellulaire et le sodium est extracellulaire, ... [Barbe, 2001].

### **II-3- Modèles physiologiques**

Les modèles physiologiques permettent d'introduire la notion de compartiments regroupant des composants corporels [Barbe, 2001].

#### **II-3-1- Modèle à deux compartiments**

Le modèle à deux compartiments a été développé en 1963 [Heymesfield et al., 2005]. Il oppose la masse grasse et le reste, la masse maigre. La masse grasse correspond aux triglycérides stockés dans les adipocytes. La masse maigre correspond à la somme de l'eau, des os, des organes, en excluant la partie grasse [Barbe, 2001].

#### **II-3-2- Modèle à trois compartiments**

Le modèle à trois compartiments a été développé en 1961 [Heymesfield et al., 2005]. Il sépare la masse maigre en [Barbe, 2001] :

- Masse cellulaire active qui correspond à l'ensemble des cellules des différents organes et muscles ;
- Eau extracellulaire (EEC) qui correspond à l'ensemble des liquides interstitiels et au plasma. Elle s'ajoute à l'eau intracellulaire (EIC) pour constituer l'eau corporelle totale (ECT).

Le troisième compartiment est la masse grasse [Barbe, 2001].

#### **II-3-3- Modèle à quatre compartiments**

Le modèle à quatre compartiments a été développé en 1978 [Heymesfield et al., 2005]. C'est un modèle à trois compartiments plus un compartiment supplémentaire introduit dans la masse maigre qui est la masse minérale osseuse correspondant aux cristaux de phosphates tricalciques du squelette [Barbe, 2001].

#### **II-3-4- Modèle à multi-compartiments**

Le modèle à multi-compartiments est subdivisé en quatre niveaux : le niveau atomique, moléculaire, cellulaire et fonctionnel. Il est basé sur un modèle à deux compartiments avec le principe de mesures additionnelles [Barbe, 2001].

Graisse	Graisse	Graisse	Graisse	SEC	Graisse	Graisse
Ca <sup>++</sup>	Masse maigre	Protéine et minéral	Minéral	FEC	Minéral osseux	Minéral
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup>						
N		Eau	Eau	Eau et protéines	MCC	Tissu maigre sans os
Eau						Eau
<b>Modèle* atomique à 6 compartiments</b>	<b>Modèle moléculaire à 2 compartiments</b>	<b>Modèle moléculaire et de l'eau à 3 compartiments</b>	<b>Modèle moléculaire et minéral à 3 compartiments</b>	<b>Modèle cellulaire à 3 compartiments</b>	<b>Modèle tissulaire à 3 compartiments</b>	<b>Modèle moléculaire à 4 compartiments</b>

Figure 1-1 : Modèles à 2- et à multi-compartiments corporels. SEC, solides extracellulaires ; FEC, fluide extracellulaire ; MCC, masse cellulaire corporelle ; \*Dans ce modèle, l'ECT, Azote (N), Calcium (Ca<sup>2+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>), potassium (K<sup>+</sup>), et chlorure (Cl<sup>-</sup>) ont été utilisés pour prédire le poids sans graisse [Vivian et al., 2004].

### III- Méthodes d'étude des compartiments corporels

Les compartiments corporels peuvent être étudiés par plusieurs méthodes dont on cite la technique de D<sub>2</sub>O, l'absorptiométrie biphotonique à rayons X (DXA), la pesée dans l'eau, le potassium corporel total, l'indice de masse corporelle (IMC), la technique des plis cutanés et la BIA, etc. Les méthodes de D<sub>2</sub>O, DXA, pesée dans l'eau et potassium corporel total sont les méthodes les plus précises, mais elles sont coûteuses, nécessitent une connaissance spécifique et ne conviennent pas pour les études sur le terrain. Tandis que l'IMC et la technique des plis cutanés sont faciles à effectuées, pas chères, mais les estimations du pourcentage de la masse grasse corporelle sont moins précises [Ellis, 2000; Maynard et al., 2001]. Le tableau I-1 présente les principales techniques utilisées pour la mesure de la composition corporelle.

Tableau I-1 : Méthodes de mesure des compartiments corporels [Ritz, 2006].

Méthodes	Mesures	Paramètres calculés
Pesée dans l'eau	Densité du corps	Adiposité
Pléthysmographie (Bod-pod)	Densité du corps	Adiposité
Plis cutanés	Densité du corps	Adiposité
D <sub>2</sub> O	Enrichissement isotopique	Eau totale, masse maigre
BIA	Résistance à un courant électrique	Eau totale, masse maigre
DXA	Atténuation de rayons X	Masse maigre, masse grasse, masse osseuse, masse musculaire

D<sub>2</sub>O, dilution de l'oxyde de deutérium ; BIA, technique de l'impédance bioélectrique ; DXA, absorptiométrie biphotonique à rayons X.

### III-1- Indice de masse corporelle

L'IMC est une technique anthropométrique largement utilisée même s'il ne renseigne pas directement sur la composition corporelle [Couet, 2001]. L'IMC correspond au rapport du poids (kg) sur le carré de la taille (cm) [Couet, 2001].

$$\text{IMC} = \text{Poids} / \text{Taille}^2$$

Avec le poids en kg, la taille en cm.

#### III-1-1- Pour adulte

Chez l'adulte, l'IMC est utilisé pour classer les sujets selon leur statut nutritionnel (tableau I-2) en utilisant les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Un IMC « normal » se situe entre 18.5 kg/m<sup>2</sup> et 24.9 kg/m<sup>2</sup>. Un IMC entre 25 kg/m<sup>2</sup> et 29.9 kg/m<sup>2</sup> correspond au surpoids, et au dessus de 30 kg/m<sup>2</sup> on parle d'obésité [OMS, 2000].

Tableau I-2 : Dénutrition en fonction de l'indice de masse corporelle [OMS, 2000].

IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Etat nutritionnel
<10	Dénutrition stage V
10-12.9	Dénutrition stade IV
13-15.9	Dénutrition stade III
16-16.9	Dénutrition stade II
17-18.5	Dénutrition stade I
18.5-24.9	Normale
25-29.9	Surpoids
30-34.9	Obésité stade I
35-39.9	Obésité stade II
≥40	Obésité stade III

#### III-1-2- Pour enfant et adolescent

Chez l'enfant et l'adolescent (5-19 ans), l'OMS a publiée en 2007 des nouvelles courbes d'IMC-pour-âge (Fig. 1-2) pour définir la maigreur sévère, la maigreur, le poids santé, le surpoids et l'obésité [OMS, 2007]. La surcharge pondérale est indiquée par un Z-score > +1 SD. L'obésité est indiquée par un Z-score > +2 SD. Un Z-score < -2 indique la maigreur et un Z-score < -3 SD indique la maigreur sévère.

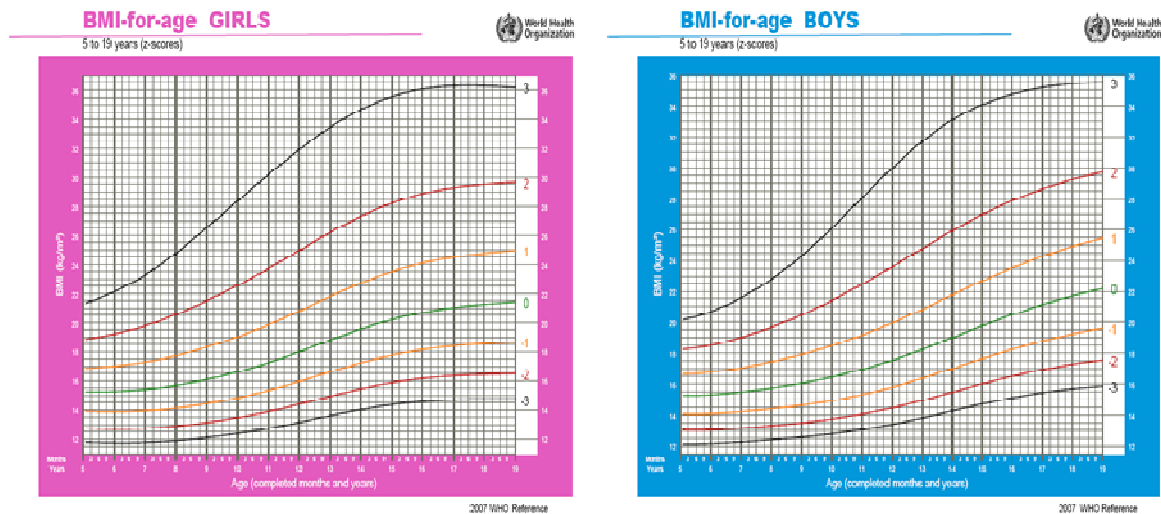


Figure 1-2 : Courbes d'IMC-pour-âge pour définir les indices d'obésité chez l'enfant et l'adolescent (5-19 ans) [OMS, 2007].

### III-2- Mesure des plis cutanés

La mesure des plis cutanés (Fig. 1-3) est une technique préconisée par Heymsfield et Williams (1988). Cette technique consiste à une traction franche du pli entre le pouce et l'index afin de ne saisir que la peau et la graisse sous-cutanée en excluant le muscle à l'aide d'un matériel approprié (Fig. 1-4). La mesure est lue avec une précision de 0.1 mm. Plusieurs équations utilisent les plis cutanés pour mesurer la densité corporelle, et par la suite on calcule le pourcentage de la graisse corporelle [Barbe et Ritz, 2005].

La technique des plis cutanés correspond à deux méthodes : méthode à 3 emplacements et méthode à 4 emplacements.

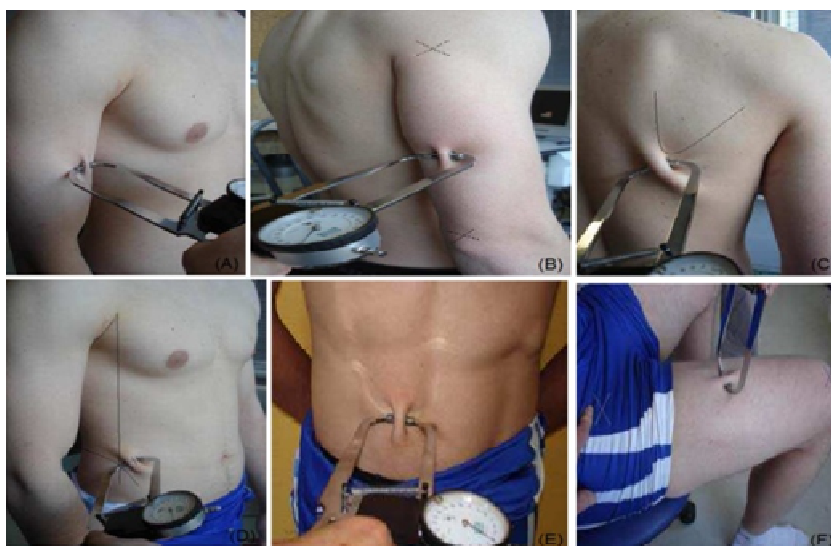


Figure 1-3 : Mesure des plis cutanés. A : biceps, B : triceps, C : sous-scapulaire, D : supraïliaque, E : abdominal, F : cuisse [Barbe et Ritz, 2005].

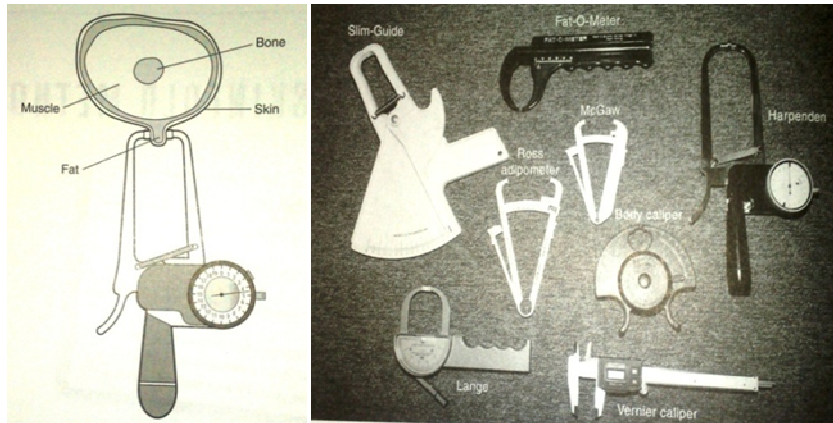


Figure 1-4 : Compas pour la mesure des plis cutanés [Vivian et al., 2004].

### III-2-1- Méthode à 3 emplacements

La méthode à trois emplacements mesure les plis cutanés à trois emplacements pour les hommes et les femmes [Barbe et Ritz, 2005] :

- **Pour hommes** : les valeurs des plis cutanés (poitrine, abdominal et cuisse) sont utilisées pour calculer la densité corporelle à l'aide de l'équation de Jackson et Pollock à 3 plis [Jackson et Pollock, 1985].

$$\text{Densité corporelle} = 1.0990750 - 0.0008209 \times (\sum 3 \text{ Plis}) + 0.0000026 \times (\sum 3 \text{ Plis})^2 - 0.0002017 \times (\text{Age, ans}) - 0.005675 \times \text{TT} + 0.018586 \times \text{CB}$$

Avec TT est le tour de taille en cm, ( $\sum 3 \text{ Plis}$ ) est la somme en mm des trois plis (poitrine, abdominal et cuisse), CB est la circonférence de l'avant-bras en cm.

- **Pour femmes** : les valeurs des plis cutanés (triceps, suprailliaque et cuisse) sont utilisées pour calculer la densité corporelle à l'aide d'une autre équation de Jackson et Pollock à 3 plis [Jackson et Pollock, 1985].

$$\text{Densité corporelle} = 1.1470292 - 0.0009376 \times (\sum 3 \text{ plis}) + 0.0000030 \times (\sum 3 \text{ Plis})^2 - 0.0001156 \times (\text{Age, ans}) - 0.0005839 \times \text{TB}$$

Avec ( $\sum 3 \text{ plis}$ ) est la somme en mm des trois plis (triceps, cuisse et suprailliaque), TB est le tour de bassin en cm.

### III-2-2- Méthode à 4 emplacements

La méthode à quatre emplacements est utilisée pour homme et femme, et consiste à mesurer les plis cutanés suivants : biceps, triceps, sous-scapulaire et suprailliaque [Barbe et Ritz, 2005]. Les valeurs des 4 plis cutanés sont ensuite utilisées pour calculer la densité corporelle à l'aide de l'équation de Durnin et Wormersley [Durnin et Wormersley, 1974] en utilisant des constantes relatives à l'âge et au genre (Tableau I-3).

**Densité corporelle = C – M×Log<sub>10</sub> (Σ4 plis)**

Avec (Σ4 plis) est la somme en mm des 4 plis (biceps, triceps, sous-scapulaire et supraillaque).

**Tableau I-3 : Constantes M et C de l'équation de Durnin et Wormersley.**

<b>Hommes</b>	<b>17-19 ans</b>	<b>20-29 ans</b>	<b>30-39 ans</b>	<b>40-49 ans</b>	<b>50 ans et +</b>
C	1.1620	1.1631	1.1422	1.1620	1.1715
M	0.0630	0.0632	0.0544	0.0700	0.0779
<b>Femmes</b>	<b>16-19 ans</b>	<b>20-29 ans</b>	<b>30-39 ans</b>	<b>40-49 ans</b>	<b>50 ans et +</b>
C	1.1549	1.1599	1.1423	1.1333	1.1339
M	0.0678	0.0717	0.0632	0.0612	0.0645

**III-3- Estimation de la masse musculaire**

L'estimation de la masse musculaire corporelle se base sur la méthode de la 3-méthylhistidine urinaire développée en 1981 [Heymesfield et al., 2005]. Cette technique permet une appréciation de l'évolution de la masse musculaire au cours d'une situation clinique [Barbe et Ritz, 2005].

La créatinine de la 3-méthylhistidine est un métabolite de la créatine (dont le débit urinaire des 24 h reflète le pool total de créatine) situé à 98% dans le muscle. La 3-méthylhistidine est un acide aminé présent dans les protéines myofibrillaires, n'est pas recyclé après protéolyse, et excrété directement dans les urines. La mesure de l'excrétion s'effectue après un régime de trois jours sans viandes, ni poissons afin d'éviter les apports exogènes. Le calcul de la masse musculaire est basé sur une équivalence de 17.9 kg à 20 kg de muscle par gramme de créatinine [Barbe et Ritz, 2005].

La masse musculaire peut aussi être appréciée par mesures anthropométriques à partir de la circonférence musculaire brachiale dérivée de la circonférence brachiale et du pli cutané tricipital [Barbe et Ritz, 2005].

**III-4- Impédancemétrie bioélectrique**

La BIA est une méthode de prédiction [Barbe et Ritz, 2005] largement utilisée pour estimer la composition corporelle [NIH, 1994]. Elle est relativement simple, rapide et non invasive. Elle mesure de l'opposition des tissus de l'organisme à l'écoulement d'un petit courant alternatif. Une quantité d'environ 800 µA du courant est introduite dans le corps le plus souvent à une fréquence de 50 kHz. Le courant passe entre deux électrodes et génère des tensions entre les différents points dans le volume du corps selon la loi d'Ohm [NIH, 1994].

Cette technique mesure l'impédance qui est une fonction de deux composantes : la résistance des tissus eux-mêmes, et l'opposition supplémentaires, appelée réactance, en raison de la capacitance des membranes, les interfaces des tissus, et les tissus non ioniques [NIH, 1994].

$$\text{Impédance} = (\text{Résistance}^2 + \text{Réactance}^2)^{1/2}$$

Les valeurs de l'ECT dérivées de la BIA permettent d'estimer la masse maigre et la graisse corporelle (adiposité) [NIH, 1994].

Les propriétés électriques des tissus ont été décrites depuis 1871 [Hermann, 1871] pour une large gamme de fréquences sur une plus grande gamme de tissus, y compris ceux qui ont été endommagés ou en train de changer après la mort. Dans les années 1970 les fondations de BIA ont été établies. Une variété d'analyseurs de BIA mono-fréquences est ensuite devenue disponible dans le commerce, et dans les années 1990, le marché comprenait plusieurs analyseurs multifréquences [Kyle et al., 2004].

#### **III-4-1- Types d'impédancemétrie bioélectrique**

Plusieurs types de BIA sont disponibles parmi lesquels on cite : la BIA mono- et multifréquence, la spectroscopie bioélectrique et la BIA segmentaire.

##### **III-4-1-1- Impédancemétrie bioélectrique mono-fréquence**

La BIA mono-fréquence (généralement à 50 kHz) utilise des électrodes de surface placées sur la main et le pied (Fig. 1-5). Certains instruments de BIA utilisent d'autres endroits tels que des électrodes de pied-à-pied [Jebb et al., 2000 ; Utter et al., 1999] ou main-à-main. La BIA mono-fréquence permet d'estimer la masse maigre et l'ECT, mais ne peut pas déterminer les différences en EIC. La BIA mono-fréquence n'est pas valide dans des sous-conditions d'hydratation significativement altérée [Kyle et al., 2004].

##### **III-4-1-2- Impédancemétrie bioélectrique multifréquence**

La BIA multifréquence utilise une variété de fréquences allant de 0 à 500 kHz pour estimer l'ECT, l'EIC, l'EEC et la masse maigre. A des fréquences inférieures à 5 kHz, et supérieures à 200 kHz, une mauvaise reproductibilité a été notée [Hannan et al., 1994]. La BIA multifréquence est incapable de détecter les changements dans la distribution ou le mouvement du fluide entre les espaces extracellulaires et intracellulaires chez les patients âgés [Olde Rikkert et al., 1997].

### III-4-1-3- Spectroscopie bioélectrique

La spectroscopie bioélectrique utilise la modélisation mathématique et plusieurs équations [Cole, 1941 ; Hanai, 1968] pour générer des relations entre la résistance et les fluides des compartiments corporels, puis développer des équations empiriques de prédiction [Cornish et al., 1996]. Les modèles de la spectroscopie bioélectrique, les constantes et les équations générées au sein des populations en bonne santé sont précis, avec un biais minimal chez les sujets physiologiquement non-perturbés [Patel et al., 1994]. La détermination des valeurs précises de résistivité a présenté plusieurs difficultés [Hannan et al., 1995 ; Deurenberg et al., 1996]. En outre, les constantes de résistivité utilisées doivent être ajustées pour la population étudiée [De Lorenzo et al., 1997 ; Van Loan et al., 1995 ; Ellis et Wong, 1998].

### III-4-1-4- Impédancemétrie bioélectrique segmentaire

La BIA segmentaire utilise deux électrodes supplémentaires sur le poignet et le pied sur le côté opposé [Organ et al., 1994], ou des électrodes détecteurs sur le poignet, l'épaule, la cheville, ... [Zhu et al., 1999], ou des électrodes sur la partie proximale de l'avant-bras et la jambe inférieure, l'épaule et la partie supérieure de la cuisse [Gudivaka et al., 1999 ; Scheltinga et al., 1992].

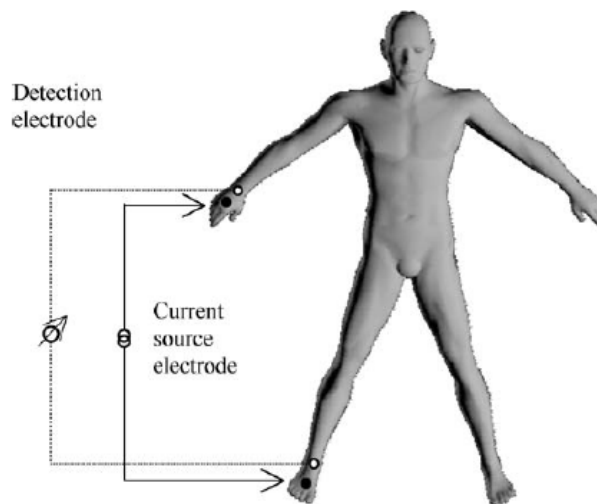


Figure 1-5 : Emplacement standard des électrodes pour l'impédance bioélectrique monofréquence tétrapolaire et multifréquence [Kyle et al., 2004].

### III-5- Mesure de la conductivité corporelle totale

La mesure de la conductivité électrique corporelle totale (TOBEC) est une variante de l'impédancemétrie qui a été introduite en 1973 [Heymesfield et al., 2005]. C'est une technique qui ne présente pas d'avantages majeurs par rapport à la BIA [Boulier, 1992 ;

Khaled, 1997]. Le courant est imposé dans le corps humain par induction et non pas par des électrodes. Le prix du matériel et sa lourdeur sont dissuasifs [Boulier, 1992].

La pédiatrie paraît être le domaine d'application le plus justifié.

### III-6- Absorptiométrie biphotonique

La DXA (Fig. 1-6) consiste à balayer l'ensemble du corps avec un faisceau de rayons X à deux niveaux d'énergie. Le rapport des atténuations de ces deux rayonnements est la fonction de la composition de la matière traversée. L'irradiation imposée au patient est faible. La DXA permet de séparer trois compartiments (masse grasse, masse maigre et contenu minéral osseux) avec une précision excellente [Barbe et Ritz, 2005].

L'utilisation de DXA est limitée par le coût, la rareté des installations, et l'inadaptation des appareils aux sujets présentant une obésité massive, et aux patients qui ne peuvent se déplacer facilement (situation de réanimation, ...) [Barbe et Ritz, 2005].

La DXA a été développée pour estimer la composition corporelle (1963-1970). En 1990, elle a été utilisée pour estimer la masse musculaire squelettique [Heymesfield et al., 2005].

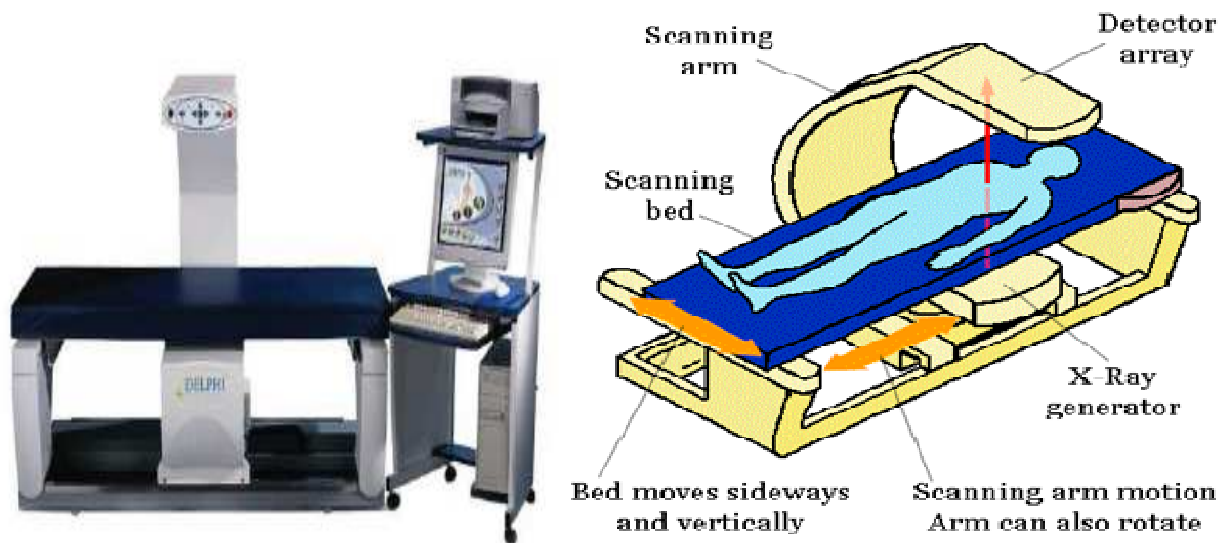


Figure 1-6 : Absorptiométrie biphotonique à rayons X.

### III-7- Hydrodensitométrie

L'hydrodensitométrie (Fig. 1-7) est une méthode d'estimation qui permet de déterminer la densité corporelle par pesage dans l'eau selon le principe d'Archimède [Heymesfield et al., 2005]. Ce principe consiste à mesurer un volume en l'immergeant dans l'eau à l'aide d'une cuve de taille suffisante et d'un équipement adapté pour déterminer les volumes des gaz respiratoires et intestinaux [Barbe et Ritz, 2005]. Chez l'homme, les proportions de la

masse maigre et la masse grasse ont été estimées en 1942, en se basant sur le principe d'Archimède [Heymesfield et al., 2005].

Une fois la densité corporelle est déterminée par hydrodensitométrie, on applique l'équation de Siri [Siri, 1956] pour calculer le pourcentage de la masse grasse :

$$\% \text{ Masse grasse} = 100 \times (4.95/\text{Densité} - 4.50)$$

L'hydrodensitométrie ne peut être utilisée chez les enfants, les malades, les personnes âgées à mobilité réduite et les patients à coopération réduite [Barbe et Ritz, 2005].



Figure 1-7 : Pesage dans l'eau [Heymesfield et al., 2005].

### III-8- Pléthysmographie

La pléthysmographie (Fig. 1-8) (Air displacement plethysmography) est une méthode d'estimation qui permet de déterminer la densité corporelle en utilisant la loi de Boyle-Mariote ( $pression \times volume = constante$ ). Ainsi, si un corps est introduit dans une cabine de volume connu, le régime de pression de la cabine est modifié en proportion du volume introduit. Le volume corporel d'un individu peut-être mesuré en quelques minutes (environ 5 minutes) sans agression physique et avec un niveau de coopération limité [Barbe et Ritz, 2005]. La pléthysmographie a été développée et commercialisée durant la période 1992-2003 [Heymesfield et al., 2005].

Une fois la densité corporelle est déterminée par pléthysmographie, on applique l'équation de Siri [Siri, 1956] pour calculer le pourcentage de la masse grasse :

$$\% \text{ Masse grasse} = 100 \times (4.95/\text{Densité} - 4.50)$$

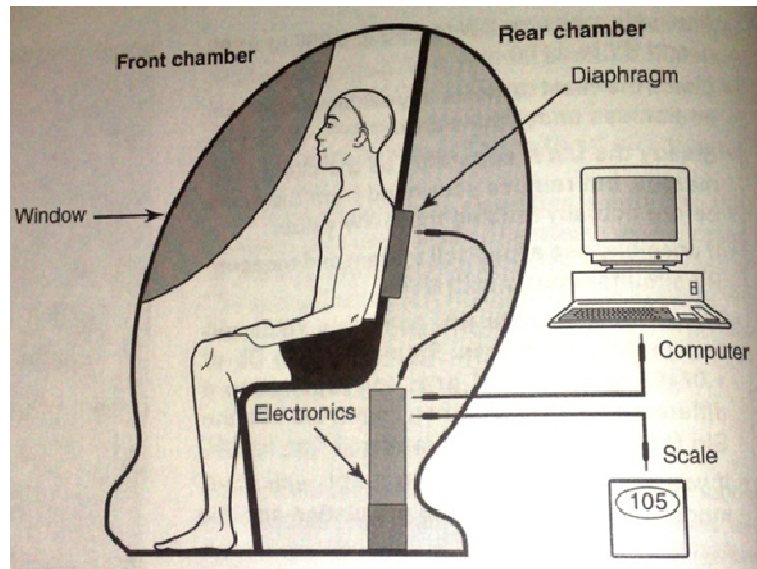


Figure 1-8 : Pléthysmographie (système de Bod Pod à deux chambre) [Vivian et al., 2004].

### III-9- Dilution isotopique

La dilution isotopique au  $D_2O$  est une technique de référence utilisée pour mesurer la composition corporelle. Elle consiste à administrer oralement une dose de deutérium ( $^2H$ ) sous forme de  $D_2O$  (fig. 1-9). Après que cette dose soit mélangée avec l'eau corporelle, le  $^2H$  est éliminé du corps dans les urines, la salive, la sueur et le lait maternel qui montrent peu de fractionnement. Cependant, l'eau quittant l'organisme dans la respiration et l'évaporation transdermique contient moins de  $^2H$  que l'eau corporelle et concentre le  $D_2O$  laissé, ce qui pourrait mener à une sous-estimation de l'ECT et donc une surestimation de la masse grasse [IAEA, 2010].

Le  $^2H$  est un isotope stable d'hydrogène qui a été utilisé en 1934 pour estimer le volume de l'ECT. En 1955, l'ECT et la production du dioxyde de carbone ont été mesurées en utilisant la méthode de dilution du  $^2H$  et l'oxygène 18 ( $^{18}O$ ) [Heymesfield et al., 2005].

#### III-9-1- Mesure d'enrichissement de deutérium

L'enrichissement de  $^2H$  dans des échantillons de salive est mesuré par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) (Fig. 1-10). L'absorbance au milieu de la zone infrarouge du spectre électromagnétique est due à des vibrations moléculaires. La position

des pics est communément exprimée en termes d'absorbance ( $\text{cm}^{-1}$ ), de fréquence (Hz), ou de longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ ). Le pic dû à l'oxyde de  $^2\text{H}$  est à  $2504 \text{ cm}^{-1}$  (75.07 Hz ou  $3.994 \mu\text{m}$ ). Le séparateur de faisceau et les miroirs composent l'interféromètre. L'un des miroirs est fixe, tandis que l'autre est monté sur une assemblée qui se déplace dans les deux sens à vitesse constante (miroir mobile). La radiation de la source est dirigée vers le séparateur de faisceau. C'est une matière semi-transparente/semi-réfléctive qui reflète la moitié de la radiation incidente vers le miroir fixe et transmet la moitié vers le miroir mobile. Après réflexion sur les miroirs, les deux rayons sont recombinaés au séparateur de faisceau et traversent ensemble l'échantillon et se concentrent sur le détecteur [IAEA, 2010].

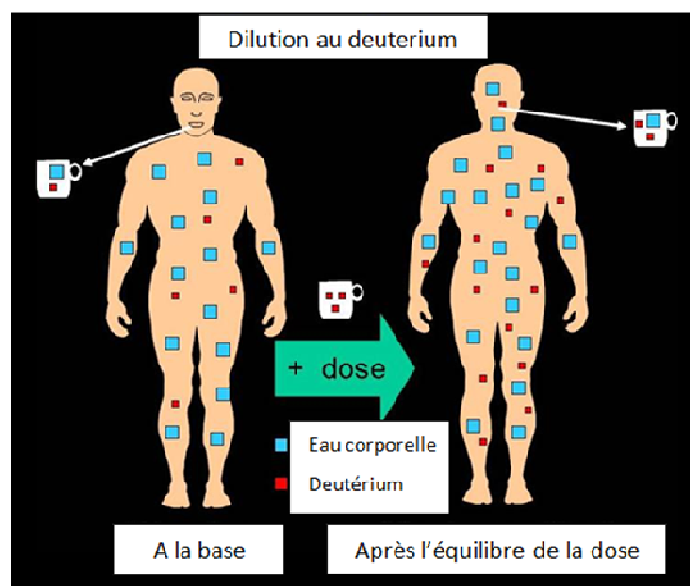


Figure 1-9 : Estimation de l'ECT par dilution de l'oxyde de deutérium [IAEA, 2010].

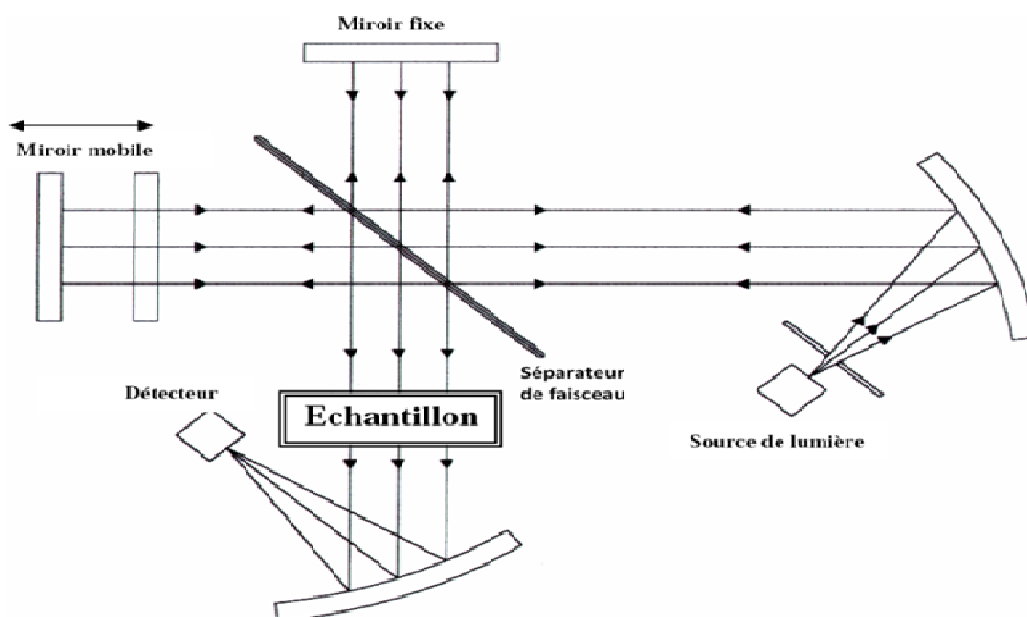


Figure 1-10 : Diagramme schématique de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

### III-10- Comptage du potassium 40

Le potassium 40 ( $^{40}\text{K}$ ) est un isotope présent de façon naturelle dans l'organisme à des taux strictement constant : 0.012% du potassium total (soit environ 0.49 mmoles pour un homme de 70 kg). On mesure le  $^{40}\text{K}$  pour calculer le potassium total puis la masse maigre qui contient chez l'homme 68.1 mmoles de K/kg et chez la femme 64.2 mmoles de K/kg [Khaled, 1997 ; Figard-fabre, 2005].

$$\text{Masse maigre (homme)} = \text{Potassium total} / 68.1$$

$$\text{Masse maigre (femme)} = \text{Potassium total} / 64.2$$

### III-11- Tomodensitométrie computerisée

La tomodensitométrie computerisée (Computed tomography) utilise des rayons X pour réaliser des coupes anatomiques abdominales, et identifier dans un plan horizontal les tissus en fonction de leur densité. Elle ne fournit pas une mesure de la masse grasse viscérale en kg mais un calcul des surfaces des tissus adipeux profonds et superficiels. La méthode est rapide (quelques minutes si on se limite à une seule coupe) et avec une bonne précision [Barbe et Ritz, 2005].

Les premières images de la tomodensitométrie computerisée ont été rapportées en 1973. Ces images ont révolutionné la médecine clinique et la recherche sur la composition corporelle. En 1979, la tomodensitométrie computerisée axiale a été utilisée pour l'analyse de la composition corporelle. Cette technique est devenu de plus en plus pratique même dans le cadre clinique durant la période 1992-2003 [Heymesfield et al., 2005].

### III-12- Résonance magnétique nucléaire

La résonance magnétique nucléaire est une technique basée sur l'étude de la résonance des protons soumis à un champ magnétique intense, ou à un ou plusieurs champs d'onde électromagnétiques [Khaled, 1997 ; Ellis, 2000].

La résonance magnétique nucléaire permet de mesurer la graisse (erreur < 3% soit 1 kg), de distinguer la masse grasse viscérale de la masse grasse sous-cutanée, et d'effectuer des études segmentaires. Elle n'a aucun risque d'irradiation. L'utilisation de la résonance magnétique nucléaire est limitée par la durée de l'examen qui est longue (1h), le coût élevé, et l'inadaptation aux gros obèses dont le diamètre sagittal est supérieur à 65 cm.

### **III-13- Activation neutronique**

L'activation neutronique est une méthode directe qui consiste à bombarder la masse corporelle avec des neutrons pour une estimation précise du carbone dans la graisse, l'os et les protéines. C'est une technique qui permet d'analyser quatre compartiments (protéines, os, graisse et eau) avec une grande précision (erreur < 3%) mais elle présente deux inconvénients majeurs : le coût élevé et la forte irradiation [Cohn et al., 1984 ; Boulier, 1992 ; Khaled, 1997].

### **III-14- Analyse anatomique**

L'analyse anatomique est une méthode directe qui correspond à la dissection de cadavres et permet d'obtenir la masse des compartiments. Les techniques et les conditions opératoires variables (cadavre formolé, cause de la mort non précisée, évaporation non contrôlée, ...) limitent l'intérêt de cette technique [Barbe et Ritz, 2005].

On peut citer quelques études faites sur cadavres [Heymesfield et al., 2005] :

- L'analyse du contenu en eau d'un cadavre adulte humain 1863 ;
- La détermination de la composition moléculaire du corps entier (eau, gras, protéines, cendres, calcium et phosphore) sur un cadavre adulte (1945) ;
- La détermination de la composition atomique du corps entier (Ca, P, K, Na, Mg, Fe, Cu et Zn) sur un cadavre adulte (1951).

## **IV- Variations de la composition corporelle**

La composition corporelle varie selon l'âge, la modulation hormonale, le genre, l'ethnie, l'activité physique, l'alimentation, etc.

### **IV-1- Age**

Avec l'âge, le poids corporel augmente chez les deux genres jusqu'à 55-64 ans et diminue lentement à 65-70 ans puis plus rapidement. Les études concordent à décrire une perte de masse maigre et un gain de masse grasse avec l'âge, indépendamment de l'état de sante [Lilienthal Heitmann et Garby, 2002]. La masse maigre est maximale entre 35 et 44 ans chez les hommes, et entre 45 et 55 ans chez les femmes, et reste ensuite constante jusqu'à 60 ans [Kyle et al., 2001].

### **IV-2- Modulation hormonale**

Le surpoids qui apparaît avec l'âge est dû à un processus physiologique impliquant une cascade de changements hormonaux et de nombreux facteurs physiologiques. Ainsi l'âge,

la mauvaise alimentation, le manque d'exercice ou la mauvaise gestion du stress dérèglent profondément l'homéostasie hormonale avec l'augmentation de la graisse corporelle. De nombreuses hormones interviennent dans la modulation de la masse grasse corporelle comme par exemple les hormones thyroïdiennes qui favorisent le catabolisme des lipides, diminuent les réserves graisseuses, ... [Thivolet, 1999] ou l'hormone de croissance qui a une action directe sur la composition corporelle de l'individu [Franco et al., 2006] car elle augmente la masse maigre et diminue la masse grasse [Wardle et al., 2006].

#### **IV-3- Genre**

La masse maigre de l'homme est en moyenne de 36 à 38%, et plus élevée que celle de la femme. Cette différence reste quasi constante tout au long de la vie. La masse grasse est plus importante chez la femme (+38%) et cette différence s'accroît avec l'âge, bien que l'homme gagne également de la masse grasse avec le temps [Kyle et al., 2001].

#### **IV-4- Ethnie**

Les individus de race noire ont une masse maigre plus abondante que ceux de race blanche. Leur masse osseuse et musculaire est plus importante [Ortiz et al., 1992]. Ces différences pourraient être dues à une sécrétion d'hormones anabolisantes (hormone de croissance, 17-beta-estradiol, ...) plus importante [Wright et al., 1995] et à une densité protéique intramusculaire plus grande [Schutte et al., 1984].

Les populations asiatiques présentent, pour un même IMC, un pourcentage de masse grasse plus élevé [Deurenberg et al., 2002].

#### **IV-5- Activité physique**

Les sportifs de compétition ont, en général, une masse maigre plus élevée et une masse grasse plus faible que les sujets non sportifs. L'activité physique a des conséquences plus fonctionnelles et métaboliques sur les principaux compartiments de l'organisme que réellement morphologiques, en absence de manipulations hormonales [Forbes, 1985].

#### **IV-6- Alimentation**

L'alimentation affecte la composition corporelle [Forbes, 1985]. Une alimentation apportant tous les nutriments nécessaires au bon fonctionnement de l'organisme, est cruciale pour le maintien de l'état de santé. L'obésité comme la dénutrition sont associées à des risques accrus de morbidité et de mortalité [Chandra et al., 1991].

## **V- Activité physique**

### **V-1- Définitions**

L'activité physique est définie comme tout mouvement corporel produit par la contraction des muscles squelettiques et augmentant la dépense énergétique au-dessus de la dépense de repos [US DHHS, 1996].

Une activité physique d'intensité modérée est le type d'activité qui élève le rythme cardiaque et provoque une sensation de chaleur et un léger essoufflement. Elle porte le métabolisme au moins à trois fois le niveau enregistré au repos, soit trois équivalents métaboliques de task (MET). Alors qu'une activité physique d'intensité élevée porte le métabolisme au moins à six fois le niveau enregistré au repos (soit 6 METs) [Cavill et al., 2006].

La condition physique est un ensemble d'attributs relatifs à l'aptitude à accomplir une activité physique et que les gens possèdent ou acquièrent. L'exercice se définit comme un mouvement corporel planifié, structuré et répétitif accompli pour améliorer ou entretenir une ou plusieurs composantes de la condition physique [Caspersen et al., 1985].

### **V-2- Dimensions d'activité physique**

Les dimensions de l'activité physique définies par l'OMS [OMS, 2010] sont :

- Le type qui est le mode de participation à l'activité physique. C'est des formes diverse telles que l'endurance, la force, l'assouplissement et l'équilibre que peut prendre l'exercice physique ;
- La durée qui est la période de temps pendant laquelle une activité ou un exercice est pratiqué ;
- La fréquence qui est le nombre de fois par semaine où une activité physique est pratiquée ;
- L'intensité qui est le rythme auquel l'activité est pratiquée ou l'importance de l'effort nécessaire pour pratiquer une activité ou un exercice ;
- Le volume (quantité totale) qui est l'exposition à un exercice d'endurance comme l'interaction entre l'intensité, la fréquence et la durée de la période, et la longueur du programme. Le produit de ces caractéristiques peut être considéré comme un volume.

### **V-3- Pratique régulière d'activité physique**

La pratique d'activité physique régulière réduit le risque de cardiopathie coronarienne et d'accident vasculaire cérébral, de diabète de type II, d'hypertension, de cancer du côlon, de

cancer du sein et de dépression. En outre, l'exercice physique est un déterminant essentiel de la dépense énergétique et donc fondamental pour l'équilibre énergétique et le contrôle du poids [OMS, 2002, 2009].

#### **V-4- Sédentarité**

La sédentarité est une forme d'inactivité physique qui correspond au temps passé à des occupations spécifiques dont la dépense énergétique est proche de la valeur de repos [Dietz, 1996]. Le temps passé devant un écran (télévision, vidéo, jeux vidéo, ordinateur, ...) est actuellement l'indicateur de sédentarité le plus utilisé [Dietz, 1996] mais d'autres indicateurs sont en cours d'évaluation [Bertrais et al., 2005]. La sédentarité est considérée le quatrième facteur de risque de mortalité à l'échelle mondiale (6% des décès). Le niveau de sédentarité augmente dans plusieurs pays, avec des conséquences majeures pour la santé générale des populations et pour la prévalence des maladies non transmissibles, comme les maladies cardiovasculaires, le diabète et le cancer, et leurs facteurs de risque tels que l'hypertension, le taux élevé de sucre dans le sang et la surcharge pondérale [OMS, 2009]. Sur le plan mondial, 5% de la mortalité est imputable à la surcharge pondérale et à l'obésité [OMS, 2009].

#### **V-5- Recommandations de l'organisation mondiale de la santé**

Les recommandations définies par l'OMS en 2010 concernent le type, la durée et la fréquence d'activité physique et sportive.

##### **V-5-1- Types d'activité physique et sportive**

Les types d'activité physique et sportive sont définis par l'OMS pour les enfants et les jeunes gens de 5-17 ans, les adultes âgés de 18-64 ans, etc.

Pour les enfants et les jeunes gens de 5-17 ans, l'activité physique englobe le jeu, les sports, les déplacements, les activités récréatives, l'éducation physique ou l'exercice planifié, dans le contexte familial, scolaire ou communautaire [OMS, 2010].

Pour les adultes âgés de 18-64 ans, l'activité physique englobe les activités récréatives ou les loisirs, les déplacements (marche ou vélo), les activités professionnelles (travail), les tâches ménagères, le jeu, les sports ou l'exercice planifié, dans le contexte quotidien, familial ou communautaire [OMS, 2010].

### **V-5-2- Durée et fréquence d'activité physique et sportive**

La durée et la fréquence de l'activité physique et sportive pour améliorer l'endurance cardio-respiratoire, la forme musculaire, l'état osseux, et la réduction du risque de maladies non transmissibles, sont définies pour les enfants et les jeunes gens de 5 à 17 ans, les adultes de 18-64 ans, etc.

Pour les enfants et les jeunes gens de 5 à 17 ans, il faut accumuler au moins 60 minutes/jour d'activité physique d'intensité modérée à soutenue. L'activité physique quotidienne doit être essentiellement une activité d'endurance. Les activités d'intensité soutenue, notamment celles qui renforcent le système musculaire et l'état osseux, doivent être incorporées au moins 3 fois/semaine [OMS, 2010].

Pour les adultes âgés de 18-64 ans, il faut pratiquer au moins, au cours de la semaine, 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée, ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue. L'activité d'endurance doit être pratiquée par période d'au moins 10 minutes. Les exercices de renforcement musculaire doivent être pratiqués au moins 2 jours/semaine [OMS, 2010].

### **V-6- Méthodes d'évaluation de l'activité physique**

Les méthodes utilisées pour évaluer l'activité physique sont : le questionnaire, le podomètre, l'accéléromètre, le cardiomètre, et l'eau doublement marquée qui est considérée comme une méthode de références pour valider les autres méthodes peu précises.

#### **V-6-1- Questionnaires**

Les questionnaires représentent, en générale, la méthode la plus répandue d'évaluation de l'activité physique habituelle [Oppert, 2001 ; Vuillemin et al., 1998]. Ils peuvent être auto-administrés ou remplis lors d'un entretien [Oppert, 2006]. Les données recueillies peuvent concerner la situation « habituelle » ou la période des sept jours ou 12 mois précédents. Pour traduire l'activité physique en dépense énergétique, les tables disponibles indiquent le coût énergétique (en MET, ou multiples de la dépense de repos) de nombreuses activités physiques quelque soit le domaine considéré [Ainsworth et al., 2000].

Un des inconvénients majeurs de l'utilisation des questionnaires d'activité physique dans le cadre de l'obésité est le biais de surestimation [Montoye et al., 1996]. L'intérêt des questionnaires au niveau individuel reste limité, mais ils permettent en général de classer

correctement les sujets d'une population donnée en fonction de leur activité physique habituelle [Oppert, 2006].

### V-6-2- Podomètre

Le podomètre est un appareil (Fig. 1-11) qui permet d'évaluer l'activité physique. Il se présente sous forme d'une petite boîte [Oppert, 2006] qui se fixe latéralement à la ceinture au-dessus de la hanche à l'aide d'un clip, et permet d'évaluer le nombre de pas (Tableau I-4) effectués par un sujet [Oppert, 2001 ; Montoye et al., 1996].

Lors de la marche, le contact du pied avec le sol à chaque pas entraîne une accélération verticale de la hanche et un mouvement de haut en bas du levier. L'extrémité de celui-ci vient alors au contact du composant électronique qui enregistre un événement (pas). Après avoir mesuré la longueur du pas habituel du sujet, le résultat peut être converti en distance parcourue. Donc, le podomètre ne mesure que le nombre de pas ou d'impulsions effectuées en marchant ou en courant et ne permet pas d'évaluer l'intensité du mouvement [Oppert, 2006]. Le podomètre n'est pas destiné à l'évaluation de la dépense énergétique liée à l'activité [Bertrais et al., 2004].

**Tableau I-4 : Équivalences approximatives entre nombre de pas par jour et durée d'activité physique modérée [Leermakers et al., 2000].**

	Nombre de pas/jour	Minutes/jour d'activité physique modérée
Inactivité	< 3000	0
Activité faible	3000-6000	15
Recommandations d'activité physique pour la population générale	≥ 10 000	30
Activité physique nécessaire pour une perte de poids ou le maintien du poids après amaigrissement	12 000-15 000	60



**Figure 1-11 : Podomètre.**

### V-6-3- Accéléromètre

L'accéléromètre (Fig. 1-12) est un appareil qui mesure le mouvement et son intensité, et peut définir des profils individuels d'activité physique. Il se fixe en général à la ceinture et peut mesurer l'accélération du tronc selon l'axe vertical uniquement (accélération de type uniaxial), ou dans les trois plans de l'espace (accélération de type triaxial).

Lors du mouvement, le tronc est soumis à des accélérations et décélérations théoriquement proportionnelles à la force musculaire exercée et donc à l'énergie dépensée [Oppert, 2001 ; Montoye et al., 1996 ; Westerterp, 1999]. À partir des mesures brutes (coups), des résultats en termes de dépense énergétique liée à l'activité peuvent être obtenus mais les équations de conversion utilisées ne sont pas divulguées par les constructeurs [Oppert, 2006].

Le coût des accéléromètres portables limite leur utilisation en pratique [Oppert, 2006].



Figure 1-12 : Accéléromètre.

### V-6-4- Moniteurs de fréquence cardiaque

Les moniteurs de fréquence cardiaque (Fig. 1-13) sont souvent utilisés dans le cadre de programmes d'entraînement. Ces moniteurs permettent de déterminer la fréquence cardiaque moyenne, le pourcentage du temps passé au-dessus de la fréquence de repos ou d'un autre seuil de fréquence cardiaque donné et de déterminer des profils individuels d'activité [Montoye et al., 1996 ; Spurr et al., 1988].

Pour convertir les données de fréquence cardiaque en dépense énergétique, une calibration individuelle est toutefois nécessaire pour déterminer la relation entre fréquence cardiaque et consommation d'oxygène lors d'exercices standardisés. Cette relation n'est linéaire qu'au-dessus d'un certain seuil d'activité dit « point d'inflexion de la fréquence cardiaque » [Oppert, 2006].

Chez les sujets moins actifs, la plus grande partie du temps d'enregistrement pourra être passée en dessous du point d'inflexion. De plus, dans certaines circonstances (stress,

température externe élevée, ...), la fréquence cardiaque peut être augmentée sans relation avec l'activité physique. Enfin, dans le cas particulier des sujets obèses, l'hypersudation très fréquente pourra limiter l'utilisation de ce type de matériel [Oppert, 2006].



Figure 1-13 : Cardiofréquencemètre.

### V-6-5- Calorimétrie indirecte

La calorimétrie indirecte repose sur le fait que l'énergie utilisée par l'organisme est produite par l'oxydation des nutriments à savoir les lipides, les protéines, les glucides, etc. La production d'énergie par litre d'oxygène consommé est de 5.01 kcal (20.96 kJ) pour le glucose, 4.66 kcal (19.5 kJ) pour les lipides et 4.34 kcal (18.16 kJ) pour les protéines. Il est donc possible d'utiliser la consommation globale d'oxygène de l'organisme comme témoin des oxydations mitochondriales [Laville M, 2008].

#### V-6-5-1- Calorimétrie indirecte en chambre

La calorimétrie indirecte en chambre repose sur le rapport Oxygène (O<sub>2</sub>) consommé / Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) produit qui est de 1.0 lors de l'oxydation de glucides et de 0.7 lors de l'oxydation de lipides. La mesure des échanges gazeux respiratoires s'effectue en collectant l'air expiré à l'aide soit d'un masque, soit d'un embout buccal, soit encore d'un boîtier placé sur la tête du sujet. Le boîtier est ventilé avec une quantité constante d'air. La mesure du débit d'air au travers du boîtier et des différences de concentration d'O<sub>2</sub> et de CO<sub>2</sub> à l'entrée et à la sortie du boîtier permettent le calcul de la consommation d'O<sub>2</sub> et de la production de CO<sub>2</sub>. L'inconfort lié au port du boîtier sur la tête limite cependant la durée des mesures à quelques heures. Cette mesure ne permet donc pas d'évaluer les dépenses réelles de la vie quotidienne [Laville M, 2008].

Pour pallier ces limitations, certains centres d'investigation disposent d'une chambre calorimétrique. Il s'agit de chambres hermétiques, ventilées, qui permettent de mesurer les dépenses d'énergie selon le même principe qu'avec un boîtier ventilé, mais pendant des périodes prolongées (24 heures et plus) [Ravussin et al., 1986].

#### **V-6-5-2- Méthode à l'eau doublement marquée**

La méthode à l'eau doublement marquée est l'un des outils de la calorimétrie indirecte, puisqu'elle repose sur la mesure de la production de CO<sub>2</sub>. Cette production est calculée à partir de la différence entre les cinétiques d'élimination de <sup>2</sup>H et de <sup>18</sup>O. Tous les deux sont apportés sous forme d'eau marquée (isotope d'eau) : <sup>2</sup>H<sub>2</sub>O ou D<sub>2</sub>O (eau deutérée) et H<sub>2</sub><sup>18</sup>O (eau enrichie en <sup>18</sup>O) [Laville M, 2008].

L'eau doublement marquée ingérée se dilue dans l'eau totale de l'organisme. Le <sup>2</sup>H de l'eau n'est éliminé que dans les urines alors que le <sup>18</sup>O marque également le pool de CO<sub>2</sub>, du fait d'échanges isotopiques par l'anhydrase carbonique.

L'intégration des cinétiques isotopiques est réalisée sur environ 14 jours chez les adultes. La production de CO<sub>2</sub> calculée est donc une moyenne sur cette période. Une certaine stabilité de la situation métabolique est nécessaire pendant la période de la mesure. La dépense énergétique totale est calculée à partir de cette production de CO<sub>2</sub> et de la détermination ou de l'estimation du quotient respiratoire (VO<sub>2</sub>/VCO<sub>2</sub>) [Ritz et Coward, 1995].

#### **V-6-6- Calorimétrie directe**

La calorimétrie directe repose sur le principe de l'égalité entre production de chaleur et dépenses d'énergie de l'individu. La réalisation de la mesure nécessite une enceinte de taille réduite et hermétique permettant la quantification des différentes composantes de la perte de chaleur. Les mesures obtenues sont très précises. La calorimétrie directe est une méthode peu utilisée en raison de ses limitations et du nombre réduit d'institutions disposant de l'équipement nécessaire [Laville M, 2008].

#### **V-7- Métabolisme de base**

Le métabolisme de base est la dépense d'énergie mesurée chez un individu à jeun, couché, éveillé et en thermoneutralité. Il représente la consommation d'énergie nécessaire pour assurer les fonctions vitales de l'organisme : travail des pompes membranaires nécessaires pour maintenir les gradients ioniques, renouvellement des constituants de l'organisme (en particulier des protéines), travail cardiaque et respiratoire. Il existe une grande variabilité interindividuelle du métabolisme de base. L'âge, le sexe, et la composition corporelle sont à l'origine de la majeure partie de cette variabilité. Le métabolisme de repos peut être estimé à l'aide de différentes équations de prédiction [Laville M, 2008]. La plus couramment utilisée est l'équation de Harris-Benedict [Harris et Benedict, 1919] :

$$MR_{\text{Femmes}} = 2.741 + 0.0402 \times P + 0.711 \times T - 0.0197 \times A$$

$$MR_{\text{Hommes}} = 0.276 + 0.0573 \times P + 2.073 \times T - 0.0285 \times A$$

Avec MR est le métabolisme de repos, P est le poids corporel en kg, T est la taille en m, A est l'âge en années.

Le résultat est exprimé en mégajoules (MJ), sachant que 1 MJ = 236 kcal [Laville M, 2008].

### V-8- Variations d'activité physique et sportive

La pratique d'activité physique et sportive est influencée par plusieurs facteurs (Fig. 1-14) tels que les facteurs individuels, les facteurs interpersonnels et le microenvironnement, les facteurs sociétaux, politiques et législatifs [INPES, 2011].

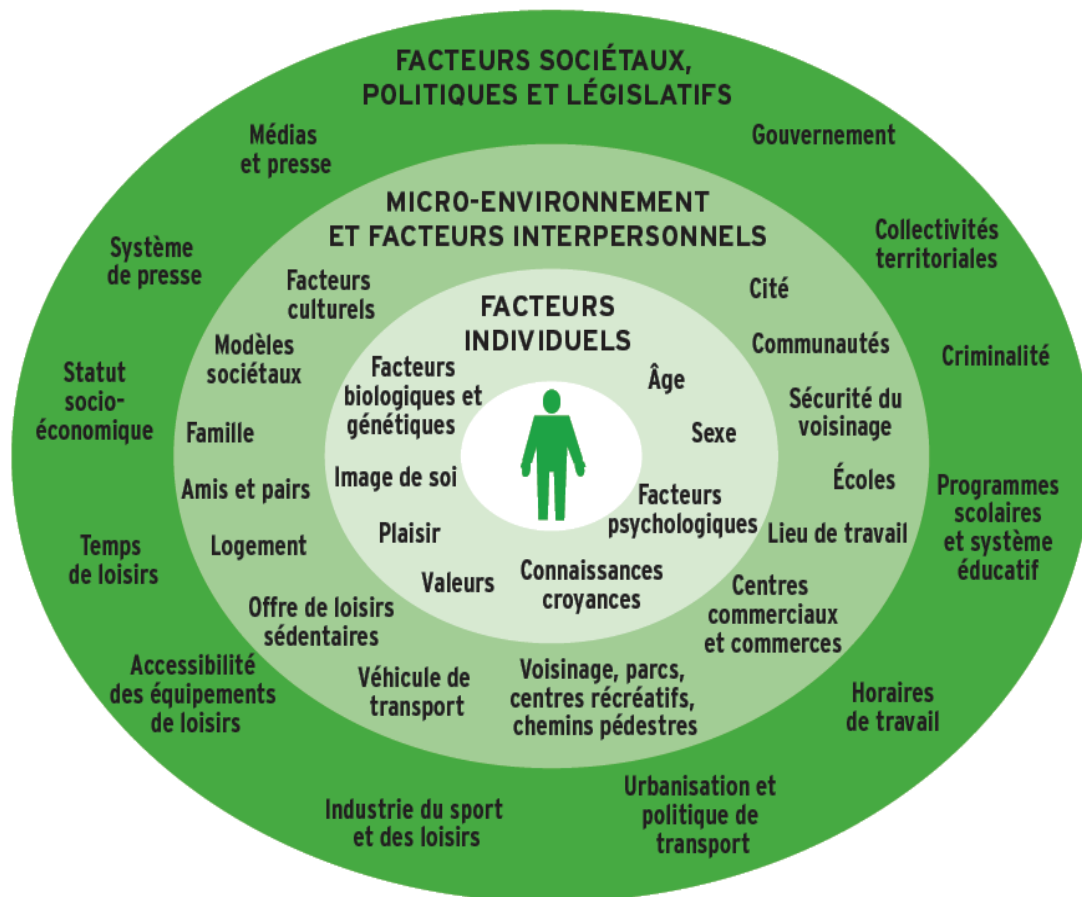


Figure 1-14 : Variations de l'activité physique, d'après Booth [Booth et al., 2001].

Les facteurs psychologiques (facteurs individuels) sont représentés par le vécu et la confiance des individus en leur capacité à réaliser une activité physique ou à rechercher le soutien et les moyens pour y parvenir [INPES, 2011].

Les facteurs interpersonnels et le microenvironnement sont représentés par la famille, les amis, les enseignants, les éducateurs, la cité, la sécurité du voisinage, etc. Ces facteurs peuvent influencer la pratique d'activité physique et sportive par leur attitude et la transmission de valeurs ou, plus directement, par une incitation à la pratique voire leur participation aux activités. Les parents jouent bien sûr un rôle en tant que modèle sociétal mais aussi par leur capacité à contrôler les comportements de leurs enfants. L'aspect convivial des activités, la rencontre avec des amis sont des motifs souvent cités pour la pratique d'activité physique et sportive de loisirs et sa poursuite à l'adolescence [INPES, 2011].

Les facteurs sociétaux, politiques et législatifs sont représentés par les programmes scolaires et système éducatif, le statut socioéconomique, le temps de loisirs, l'urbanisation et la politique de transport, ... [INPES, 2011].

## **VI- Alimentation**

### **VI-1- Classification des aliments**

La classification des aliments en groupes d'aliments en fonction de leur intérêt nutritionnel permet d'identifier plus facilement les profils alimentaires. Les différents groupes d'aliments sont [CEN, 2010] :

- Groupe 1 : lait et produits laitiers. C'est la source des protéines animales, du calcium et de vitamines (B<sub>2</sub>, A, D) ;
- Groupe 2 : viandes, poissons et œufs. C'est la source des protéines animales, du fer et de vitamines (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, A) ;
- Groupe 3 : corps gras. C'est la source des lipides, d'énergie et de vitamines (A et D) ;
- Groupe 4 : céréales et dérivés, pommes de terre et légumes secs. C'est la source des glucides, d'énergie, des protéines végétales et des fibres ;
- Groupe 5 : légumes frais et fruits. C'est la source de la vitamine C, des minéraux, d'eau, des fibres et des glucides ;
- Groupe 6 : sucre et produits sucrés. C'est la source des glucides simples et d'énergie ;
- Groupe 7 : boissons.

### **VI-2- Aliments**

Les aliments sont tous indispensables pour assurer un équilibre nutritionnel, mais certains doivent être consommés avec modération, tandis que d'autres sont à privilégier [PNNS, 2002].

Les principaux aliments à limiter sont [PNNS, 2002] :

- La consommation des graisses totales (lipides totaux) et particulièrement des graisses dites saturées ;
- La consommation de sucre et d'aliments riches en sucre (sodas, confiserie, chocolat, pâtisseries, desserts sucrés, ...) ;
- La consommation de sel (toujours préférer le sel iodé).

### **VI-2-1- Fruits et légumes**

Les fruits et les légumes sont riches en minéraux et en vitamines, dont la vitamine C. Ils contiennent aussi des fibres qui calment l'appétit de façon rapide et durable et qui facilitent le transit intestinal. Ils apportent peu de calories grâce à leur teneur élevée en eau, et sont donc des aliments de choix pour la prévention de l'obésité, du diabète, des maladies cardiovasculaires et des cancers. Les antioxydants qu'ils renferment (bêta-carotène, vitamines C et E, polyphénols, ...) pourraient expliquer l'effet protecteur reconnu des fruits et légumes vis-à-vis des maladies cardiovasculaires et des cancers. Ces aliments doivent être consommés au moins 5 fois par jour [PNNS, 2002].

### **VI-2-2- Pain et féculents**

Le pain et les féculents fournissent des protéines végétales et des glucides complexes indispensables, en particulier aux muscles et au cerveau. Les céréales complètes sont également riches en fibres. Ces aliments doivent être consommés à chaque repas et selon l'appétit [PNNS, 2002].

La famille des féculents regroupe [PNNS, 2002] :

- Les aliments céréaliers ou aliments d'origine céréalière : riz, semoule, blé (entier ou concassé), pâtes, farines et pain, céréales du petit-déjeuner ;
- Les légumes secs et légumineuses : lentilles, pois chiches, pois cassés, flageolets, haricots blancs, haricots rouges, fèves ;
- Les pommes de terre, le manioc et son dérivé le tapioca.

### **VI-2-3- Lait et produits laitiers**

Le lait et les produits laitiers (yaourts, fromages, ...) constituent une source très importante de calcium qui a un rôle pour une bonne santé des os en particulier pendant l'enfance, l'adolescence et le 3<sup>ème</sup> âge. Le calcium intervient aussi dans d'autres phénomènes vitaux

tels que la contraction musculaire, la coagulation sanguine, etc. Ces aliments doivent être consommés trois fois par jour [PNNS, 2002].

#### **VI-2-4- Viandes, poissons et œufs**

Les viandes, les poissons et les œufs sont des sources de protéines d'excellente qualité, de vitamines et de minéraux (fer, ...). Ces aliments doivent être consommés 1 à 2 fois par jour. Ils doivent être un des composants du plat principal et non pas l'élément dominant [PNNS, 2002].

#### **VI-2-5- Matières grasses**

Les matières grasses sont d'origine animale ou végétale. Les principales matières grasses sont les huiles, la margarine, le beurre, la crème et la mayonnaise (constituée essentiellement d'huile). Selon les acides gras qu'elles contiennent, elles ont des effets plus ou moins favorables sur la santé (surtout sur le cholestérol sanguin et l'état des artères). La consommation excessive de matières grasses ajoutées (limiter la consommation) ainsi que des matières grasses cachées dans les aliments favorise la prise du poids car elles sont toutes très caloriques [PNNS, 2002].

#### **VI-2-6- Aliments et boissons sucrées**

Les aliments et boissons sucrées (limiter la consommation) doivent être consommés avec modération, etc. Les effets du sucre sur la santé dépendent surtout de la quantité et de la façon dont il est consommé. Ainsi, manger fréquemment et en trop grande quantité des aliments sucrés (notamment des boissons sucrées) augmente le risque de déséquilibre nutritionnel et d'obésité [PNNS, 2002].

#### **VI-2-7- Boissons**

Concernant les boissons, la priorité est à l'eau qui est la seule boisson indispensable. Il faudrait boire de l'eau au moins un litre et demi par jour, pendant et entre les repas, telle quelle ou sous forme de boissons chaudes (thé, tisane, infusion, etc.) [PNNS, 2002].

#### **VI-3- Nutriment**

Les nutriments sont des éléments constituant des aliments (lipides, glucides, protéines, minéraux, ...). Ils sont notamment absorbés par les cellules intestinales et se retrouvent ainsi dans la circulation sanguine. On distingue deux types : les macro- et les micronutriments [PNNS, 2002].

### **VI-3-1- Macronutriments**

Les macronutriments regroupent les glucides (ou sucres), les lipides (ou graisses) et les protéines (ou protides) [PNNS, 2002].

#### **VI-3-1-1- Glucides**

Les glucides sont appelés plus communément sucres. Ce sont des sources de glucose, qui est lui-même la principale source d'énergie (1g de glucide = 4 kcal). On distingue [PNNS, 2002] :

- Les sucres simples comme le glucose, le galactose, le fructose (dans les fruits), le saccharose (qui est le sucre que l'on mange tel quel) et le lactose (dans le lait) ;
- Les sucres complexes comme l'amidon.

#### **VI-3-1-2- Protéines**

Les protéines sont des composés permettant la fabrication, la croissance et le renouvellement de notre corps (1g de protéines = 4 kcal). Elles sont constituées d'acides aminés. L'ordre des acides aminés est spécifique de chaque protéine. Les protéines sont, par exemple, des constituants indispensables des muscles, des os, de la peau, etc. Les protéines sont apportées dans les aliments d'origine animale comme la viande ou les œufs par exemple. Les protéines des légumineuses manquent de certains acides aminés, notamment essentiels [PNNS, 2002].

#### **VI-3-1-3- Lipides**

Les lipides sont des constituants majeurs des matières grasses comme les huiles, les margarines, le beurre, les graisses animales, ... (1 g de lipides = 9 kcal). Ils sont également présents dans de nombreux autres aliments. On distingue souvent [PNNS, 2002] :

- Les lipides visibles qui sont ceux ajoutés aux aliments au moment de la cuisson ou à table (huile pour cuire un steak, beurre ou margarine sur les tartines, assaisonnement des salades) ;
- Les lipides cachés qui sont présents naturellement dans l'aliment (noix, avocat, olive, fromages, viandes, etc.) ou ajoutés, sans que l'on puisse les distinguer dans un aliment (viennoiserie, barre chocolatée, charcuterie, ...).

### **VI-3-2- Micronutriments**

Les micronutriments sont des nutriments sans valeur énergétique, mais vitaux pour l'organisme. Ils regroupent les vitamines, les minéraux et les oligo-éléments. Ils sont actifs à de très faibles doses [PNNS, 2002].

#### **VI-3-2-1- Vitamines**

Les vitamines sont des substances organiques indispensables en petites quantités pour le bon fonctionnement de l'organisme. Elles doivent être obligatoirement apportées par l'alimentation car elles ne peuvent être synthétisées par l'organisme (à l'exception de la vitamine D synthétisée par la peau sous l'effet des rayonnements ultraviolets). Elles ont un rôle fondamental dans de nombreux processus chimiques [PNNS, 2002].

#### **VI-3-2-2- Minéraux**

Les minéraux sont des substances nécessaires en petites quantités à l'organisme. Ils comprennent le sodium, le chlore, le potassium, le calcium, le phosphore et le magnésium [PNNS, 2002].

#### **VI-3-2-3- Oligo-éléments**

Les oligo-éléments sont des éléments minéraux qui interviennent à de très faibles doses dans le métabolisme et sont présents en de très petites quantités dans le corps ; ils sont toutefois indispensables à la croissance et à son fonctionnement normal. Ce terme est en général réservé au fer, à l'iode, au zinc, au cuivre, au sélénium, au manganèse, au fluor, ... [PNNS, 2002].

### **VII- Objectifs de recherche**

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons mené deux études dont le but est de :

- Décrire le style de vie (activité physique et habitudes alimentaires) chez un groupe d'adolescents marocains en utilisant un questionnaire dans le cadre d'un projet régional ;
- Développer un modèle mathématique spécifique à l'adolescent marocain pour estimer la composition corporelle en utilisant la BIA dans le cadre d'un projet international.

## Chapitre II

### Matériels et méthodes

## I- Contexte du travail de recherche

Dans ce chapitre, nous allons décrire la méthodologie utilisée pour réaliser ce travail de recherche qui concerne deux études (tableau II-1) :

- Etude du style de vie des adolescents qui rentre dans le cadre d'un projet régional ATLS (Arab Teens Lifestyle Study) coordonné par le Centre Arabe de Nutrition ;
- Etude de l'estimation de la composition corporelle des adolescents qui rentre dans le cadre d'un projet international de recherche coordonnée, financé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique.

Tableau II-1 : Contexte des deux études faites à Kénitra et à Rabat.

Eudes	Style de vie des adolescents	Estimation de la composition corporelle des adolescents
<b>Projets</b>	Projet régional (ATLS)	Projet international (CRP)
<b>Pays participants</b>	Arabie Saoudite, Emirats Arabes Unis, Bahreïn, Koweït, Irak, Jordanie, Oman, Tunisie, Maroc (Fig. 2-1) Une ville par pays a été incluse à l'exception de l'Arabie Saoudite qui a inclus trois villes	Etats-Unis d'Amérique, Mexique, Australie, Liban, Maroc, Bangladesh, Chine, Malaisie, Inde, Nouvelle-Zélande
<b>Villes</b>	Etude faite à la ville de Kénitra (Fig. 2-2)	Etude faite à la ville de Rabat (Fig. 2-2)
<b>Problématiques</b>	Quel est le style de vie des adolescents marocains ?	Quels sont les outils les plus appropriés, pour évaluer les interventions qui promeuvent un mode de vie sain ?
<b>Objectifs</b>	Estimer les niveaux d'activité physique et les habitudes alimentaires chez les adolescents marocains âgés de 15 à 19.9 ans	Développer un modèle validé pour estimer la composition corporelle et en l'occurrence la masse grasse chez les adolescents marocains âgés de 11 à 17 ans
<b>Effectifs prévus</b>	Echantillon minimal requis pour chaque ville a été déterminée de sorte que la proportion de l'échantillon serait à $\pm 0.05$ de la proportion de la population avec un niveau de confiance de 95%	200 adolescents
<b>Effectif étudié</b>	669 adolescents (325 garçons; 344 filles)	294 adolescents dont un échantillon de 143 sujets (34 garçons et 109 filles) a été subdivisé en deux sous-échantillons : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sous-échantillon de prédiction (n=71, garçons 18 et filles 53) utilisé pour développer le modèle ;</li> <li>– Sous-échantillon de validation (n=72, garçons 16 et filles 56) utilisé pour valider le modèle.</li> </ul>
<b>Etablissements publics</b>	Cinq lycées (voir annexe 4), un au nord, un au sud, un à l'est et deux dans le centre de Kénitra	Sept établissements (collèges ou autre) (voir annexe 4)
<b>Classes</b>	Classes mixtes (garçons et filles) Une classe par niveau (niveau 1, 2 et 3) plus une autre classe du niveau qui avait le plus grand nombre de classes	Classes mixtes (garçons et filles)
<b>Autorisations obtenues</b>	Autorisation du Ministère d'Education Nationale	Autorisation du Ministère d'Education Nationale
<b>Consentements</b>	Eclairé	Ecrit (signé par leurs parents ou tuteurs)

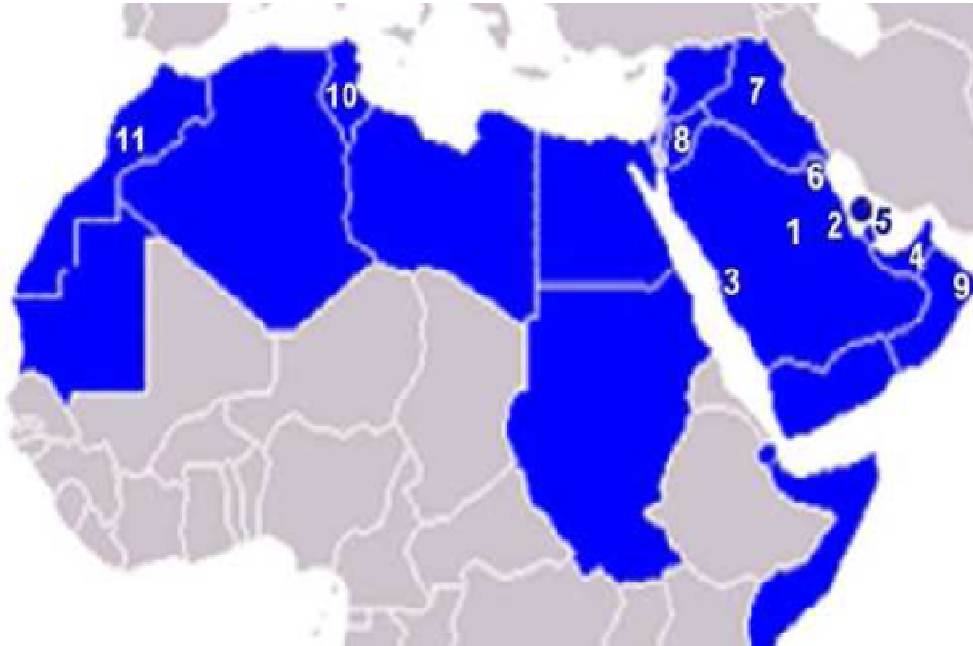


Figure 2-1 : Pays participants dans le projet ATLS [Al-Hazzaa et al., 2011].

Arabie Saoudite (1, Riyad ; 2, Al-Khobar ; 3, Jeddah), Émirats Arabes Unis (4, Dubaï), Bahreïn (5), Koweït (6), Irak (7, Moselle), Jordanie (8, Amman), Oman (9, Muscat), Tunisie (10, Tunisie), Maroc (11, Kénitra).



Figure 2-2 : Villes de Kénitra et Rabat [Maroc, 2012].

## II- Equipe de recherche

L'équipe de recherche de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation était composée d'environ 14 chercheurs, y compris des professeurs d'enseignement supérieur, des pédiatres, des infirmières et des étudiants chercheurs (Fig. 2-3).



Figure 2-3 : Equipe de recherche de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation.

### III- Population étudiée

La population étudiée (Fig. 2-4) composait des élèves âgés de 11 à 19.9 ans. Tous les élèves ont participé volontairement dans ce travail de recherche. Ils ont été tous en bonne santé et sans aucun handicap physique. Le recrutement a été fait au hasard.



Figure 2-4 : Quelques élèves de la population étudiée.

### IV- Anthropométrie de la population étudiée

Les paramètres anthropométriques de la population étudiée incluaient le poids corporel, la taille, l'IMC, le tour de taille, le tour de hanche, le rapport tour de taille / taille, et la surface corporelle.

Tous les paramètres anthropométriques ont été mesurés en privé dans un site d'examen à chaque établissement (collèges ou autre, lycées) dans la matinée et selon les recommandations de Lohman [Lohman et Roche, 1988]

#### IV-1- Poids corporel

Le poids corporel a été mesuré à 100 g près à l'aide d'une balance mécanique et portative ( $150 \pm 0.1$  kg) avec un cadran rond (Seca 750, Allemagne). La balance a été placée sur une surface plane. Les sujets étaient habillés en un minimum de vêtements et sans chaussures. La balance a été quotidiennement calibrée.

#### IV-2- Taille

La taille a été mesurée (Fig. 2-5) à 1 mm près en utilisant une toise (Seca, Allemagne, 200.0±0.1 cm).

La toise a été placée sur une surface plane. Le sujet était debout, tout droit avec les talons au contact du poste vertical de la toise et sans chaussures. Les genoux ont été droits. Les sujets regardaient tout droit (les yeux et les oreilles étaient au même niveau). Les coiffures complexes ont été défaits, pour que la partie mobile de la toise touche correctement le sommet de la tête [IAEA, 2010].



Figure 2-5 : Mesure de taille à l'aide d'une toise mécanique.

#### IV-3- Indice de masse corporelle

L'IMC a été calculé en divisant le poids par le carré de la taille [Couet, 2001].

$$\text{IMC} = \text{Poids} / \text{Taille}^2$$

Avec, l'IMC en kg/m<sup>2</sup>, le poids en kg, et la taille en m.

Les valeurs de l'IMC ont été utilisées pour définir les indices de l'obésité (poids normal, surpoids, obésité) dans l'étude du style de vie des adolescents marocains. Ces indices ont été définis selon la task-force internationale sur l'obésité (IOTF) [Cole et al., 2000] chez les adolescents entre 14 et 17 ans, et selon l'OMS [WHO, 2000] pour les sujets âgés 18 ans et plus.

#### IV-4- Tour de taille

Le tour de taille a été mesuré à 0.1 cm près en utilisant un ruban-mètre. Le sujet était en position debout. La mesure du tour de taille (Fig. 2-6) a été prise à mi-chemin entre la dernière côte et la crête iliaque et à la fin de l'expiration normale.



Figure 2-6 : Mesure du tour de taille à l'aide d'un ruban-mètre.

#### IV-5- Tour de taille / taille

Le rapport tour de taille / taille a été calculé en divisant le tour de taille (cm) par la taille (cm).

La norme de référence du rapport tour de taille / taille de 0.50 a été utilisée pour définir l'obésité abdominale chez les garçons et les filles [McCarthy et Ashwell, 2006].

Une valeur du rapport tour de taille / taille strictement inférieure à 0.50 veut dire que le sujet ne présente pas d'obésité abdominale.

#### IV-6- Tour de hanche

Le tour de hanche (Fig. 2-7) a été mesuré à 0.1 cm près en utilisant un ruban-mètre. Le sujet était en position debout. La mesure a été prise à l'endroit le plus large au-dessus des fesses.

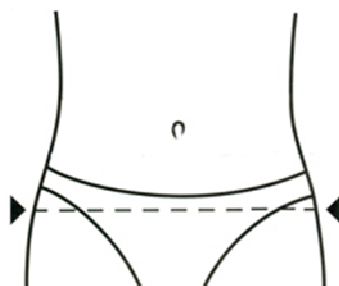


Figure 2-7 : Mesure du tour de hanche à l'aide d'un ruban-mètre.

#### IV-7- Surface corporelle

La surface corporelle a été calculée selon la formule de DuBois [DuBois D et DuBois EF, 1916].

$$SC = 0.007184 \times \text{poids}^{0.425} \times \text{taille}^{0.725}$$

Avec, la SC est la surface corporelle en m<sup>2</sup>, le poids en kg, et la taille en cm.

## **V- Stade pubertaire**

Le stade pubertaire a été déterminé par un pédiatre selon les stades de Tanner de développement pubertaire [Duke et al., 1980].

Une fois le stade pubertaire est déterminé, les élèves ont été classés en deux groupes :

- Prépubère correspond au stade 1 ;
- Pubère correspond aux stades 2 à 5.

## **VI- Pression artérielle**

Les pressions artérielles (systolique et diastolique) ont été mesurées par un pédiatre en utilisant un sphygmomanomètre standard en pédiatrie à 2 mmHg près. La mesure a été prise sur le bras droit et en position assise après 5-minutes de repos et dans un site d'examen à conditions optimales.

## **VII- Evaluation du style de vie de la population étudiée**

### **VII-1- Evaluation de l'activité et l'inactivité physiques**

Le questionnaire de recherche d'ATLS (voir partie I de l'annexe 3) utilisé pour la collecte d'informations sur le style de vie, se compose de 47 items pour l'évaluation de l'activité physique et la sédentarité. Le questionnaire d'activité physique est un questionnaire modifié basé sur un questionnaire d'activité physique développé précédemment pour les jeunes. Le questionnaire original a précédemment démontré une fiabilité et une validité acceptables contre le podomètre [Al-Hazzaa et Al-Ahmadi, 2003 ; Al-Ahmadi et Al-Hazzaa, 2004].

Les participants étudiés ont rempli les questionnaires à la classe avec la supervision de leurs professeurs et au moins l'un des assistants de recherche durant le mois de Mars en 2011.

Le questionnaire recueille des informations complètes sur la fréquence, la durée et l'intensité d'une variété d'activités physiques d'intensité faible, modérée et intense pendant une semaine typique. Il couvre les domaines tels que les activités de transport, les activités domestiques, les activités de forme et les activités sportives.

L'activité physique d'intensité modérée comprend des activités telles que la marche à pas normal, la marche rapide, la natation récréative, les activités domestiques et les sports récréatifs d'intensité modérée telles que le volleyball, le badminton, le tennis de table, etc. Les activités physiques d'intensité modérée ont été assignées des valeurs de MET en se

basant sur les tables des compendiums d'activité physique (voir annexe 5) [Ainsworth et al., 2000 ; Ridley et al., 2008]. Les sports récréatifs d'intensité modérée de loisirs ont été assignés d'une valeur moyenne de MET équivalent à 4 METs. La marche lente, la marche à pas normal, et la marche rapide ont été assignées des valeurs de MET de 2.8, 3.5 et 4.5 METs respectivement, en se basant sur les valeurs de MET modifiées à partir du compendium d'activité physique des jeunes [Ridley et al., 2008].

L'activité physique intense et les sports incluent des activités telles que la montée d'escaliers, le jogging, la course, le cyclisme, l'auto-défense, la musculation, et les sports intenses comme le football, le basketball, le handball, le tennis individuel, etc. Les sports intenses ont été assignés d'une valeur moyenne de MET équivalent à 8 METs.

En outre, le questionnaire d'ATLS comprenait certains éléments sur le temps consacré chaque jour à regarder la télévision, utiliser l'ordinateur et l'Internet ainsi que le nombre d'heures de sommeil par jour (nuit et jour). Le temps maximal consacré à la sédentarité (regarder la télévision, utiliser l'ordinateur) a été pris pour classer la population étudiée en deux catégories ( $\leq 2$  et  $> 2$  heures/jour). Deux heures par jour est la durée recommandée par l'Académie Américaine des directives pédiatriques [American Academy of Pediatrics, 2001].

Les participants étudiés ont été classés en deux groupes (actif ou inactif) en se basant sur les scores totaux d'activité physique de 1680 METs-minutes par semaine (60 minutes par jour  $\times$  7 jours par semaine  $\times$  4 METs) qui correspond à 1 heure d'activité physique d'intensité modérée à chaque jour [Al-Hazzaa et al., 2011]. Une heure d'au moins une activité physique d'intensité modérée par jour est la durée d'activité physique minimale recommandée pour les enfants et les jeunes [Tremblay et al., 2011].

La dépense énergétique se calcule comme suit :

$$\text{Dépense énergétique} = \text{Fréquence} \times \text{Durée} \times \text{Intensité}$$

Avec la fréquence est le nombre de fois de la pratique d'activité physique par semaine, la durée est le temps consacré à l'activité physique par une fois, l'intensité est la valeur de MET (voir annexe 5) relative à chaque type d'activité physique.

## VII-2- Evaluation des habitudes alimentaires

Le questionnaire d'ATLS (voir partie II de l'annexe 3) comprenait des éléments supplémentaires pour recueillir des informations sur les habitudes alimentaires de la population étudiée.

Les habitudes alimentaires ont été classées en deux catégories :

- Habitudes alimentaires saines telles que la prise du petit déjeuner, la consommation des légumes, des fruits, du lait et des produits laitiers ;
- Mauvaises habitudes alimentaires telles que la consommation des boissons sucrées, des beignets, des gâteaux, des biscuits, des bonbons, du chocolat, des boissons énergisantes et des fast-foods.

Les réponses des élèves concernaient le nombre de fois de la prise d'un repas ou la consommation d'un aliment durant une semaine typique. Les élèves avaient le choix de réponses allant de zéro (rien) à un maximum de 7 jours par semaine (tous les jours).

### VIII- Analyse d'impédance bioélectrique

La BIA multifréquence (4000-Bodystat Quadscan) est un appareil utilisé souvent dans notre laboratoire de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation. Il nous permet de mesurer la résistance, la réactance, l'impédance, l'eau corporelle (totale, extracellulaire et intracellulaire), la masse maigre et la masse grasse à des fréquences variant de 5 à 200 kHz.

Dans notre étude de l'estimation de la composition corporelle chez un groupe d'adolescents marocains, nous avons pris seulement les valeurs mesurées à 50 kHz.

Toutes les mesures ont été faites après une nuit à jeûne et selon les recommandations de Lukaski [Lukaski et al., 1985]. Les sujets ont été invités à vider leur vessie, à porter des vêtements sans métal et d'enlever leurs chaussures, bijoux et pinces à cheveux, et de s'allonger sur le dos avec les mains à leurs côtés, et les jambes séparées. Par la suite, quatre électrodes auto-adhésives ont été placées sur la surface dorsale de la main droite et du pied droit (Fig. 2-8). L'étalonnage de l'équipement a été périodiquement effectué avec une résistance électrique.



Figure 2-8 : Mesure de la composition corporelle par l'impédance bioélectrique.

## **IX- Technique de dilution isotopique**

La technique de D<sub>2</sub>O est une méthode de référence utilisée pour mesurer la composition corporelle. Elle est souvent utilisée pour valider les valeurs de la composition corporelle mesurées par la technique de BIA.

La technique de D<sub>2</sub>O consiste à administrer une dose d'environ 0.5 g de D<sub>2</sub>O/kg de poids corporel. La technique est bien décrite dans le manuel de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique [IAEA, 2010].

### **IX-1- Préparation et administration des doses**

La préparation des doses du D<sub>2</sub>O requiert des bouteilles équipées de vis étanches pour éviter des pertes pendant le stockage et éviter la contamination par l'humidité de l'atmosphère. Tout l'équipement utilisé pour préparer les doses a été complètement sec [IAEA, 2010].

Pour faciliter le travail sur le terrain, nous avons préparé quatre doses standards de D<sub>2</sub>O (15 g, 20 g, 25 g et 30g) à l'aide d'une balance de précision (Fig. 2-9). La quantité de la dose la plus proche de 0.5 g de D<sub>2</sub>O par kg de poids corporel a été administrée au sujet [IAEA, 2010]. Après l'administration de la dose, les bouteilles ont été rincées deux fois avec de l'eau minérale (quantité totale < 100 mL). Les sujets ont bu encore cette quantité d'eau de rinçage.



Figure 2-9 : Balance de précision.

### **IX-2- Échantillonnage de salive**

La collecte des échantillons de salive (Fig. 2-10) a été faite avant l'administration de la dose du D<sub>2</sub>O (échantillon pré-dose), et à 3-4 heures après l'administration de la dose (échantillon post-dose). Les sujets n'ont rien mangé ou bu au moins une heure avant la collecte de salive et ont évité la pratique d'activité physique jusqu'à ce que le dernier échantillon de salive soit collecté [IAEA, 2010].

Deux gants neufs jetables et deux seringues jetables de 20 mL pour chaque sujet ont été utilisés. Le sujet a reçu une boule de coton pour absorber la salive, en lui demandant de la faire tourner dans la bouche pendant 2 minutes ou jusqu'à qu'elle soit saturée de salive, tout en gardant la bouche fermée durant cette opération. Puis le sujet a transféré la boule de coton directement de sa bouche dans le corps de la seringue pour extraire la salive du coton et la transférer dans un tube. Deux tubes (à couvercle-vis) de stockage d'échantillon ont été étiquetés (numéro d'identification et heure de collecte). Les échantillons de salive ont été conservés congelés (-20°C) séparément jusqu'à analyse par FTIR [IAEA, 2010].



Figure 2-10 : Collecte des échantillons de salive.

### IX-3- Analyse par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

L'enrichissement de  $^2\text{H}$  a été mesuré par FTIR [Jennings et al., 1999]. Le FTIR (Fig. 2-11) requiert une grande dose de  $\text{D}_2\text{O}$ , approximativement dix fois plus, que la spectrométrie de masse de rapport isotopique à flux continue. Les paramètres mesurés sont l'eau corporelle totale, la masse maigre et la masse grasse. L'exactitude de l'analyse de  $^2\text{H}$  dans l'intervalle des valeurs d'enrichissements susceptibles d'être rencontrées a été vérifiée en utilisant des standards préparés. Des volumes plus petits (par exemple 100 mL) de ces standards ont été préparés en diluant du  $\text{D}_2\text{O}$  avec de l'eau consommée par la population (eau potable locale) dans une fiole jaugée. L'enrichissement s'étendait de 0 (l'eau potable d'abondance naturelle) à 2000 mg/kg (enrichissement probablement supérieur à celui qui pourra être trouvée dans des échantillons de salive). La solution de calibration a été conservée dans un endroit frais et à l'abri de la lumière, et non pas au même endroit que le  $\text{D}_2\text{O}$  [IAEA, 2010].

Les échantillons de salive ont été complètement dégelés avant l'analyse. Les tubes contenant les échantillons de salive ont été centrifugés pendant au moins 10 minutes. La

cellule (capacité d'environ 150  $\mu\text{L}$ ) (Fig. 2-12) du FTIR a été remplie avec une seringue jetable de 1 mL. La cellule a été légèrement surélevée d'un coté à l'aide d'un objet approprié. La fenêtre de la cellule a été nettoyée à l'aide d'un mouchoir propre [IAEA, 2010].



Figure 2-11 : Analyse d'enrichissement de deutérium par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.



Figure 2-12 : Remplissage de la cellule de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier.

#### IX-4- Calcul de la composition corporelle

La composition corporelle par  $\text{D}_2\text{O}$  a été calculée comme suit [IAEA, 2010] :

- Espace de  $^2\text{H}$  (l) = Dose administrée (g)  $\times 10^{-3}$  / (Enrichissement en ppm  $\times 10^{-6}$ )
- ECT (l) = Espace de  $^2\text{H}$  (l) / 1.041

L'espace de dilution de  $^2\text{H}$  est légèrement plus grand que l'ECT. L'espace de  $^2\text{H}$  est 1.041 fois supérieur que celui de l'ECT. La valeur de 1.041 est un facteur de correction.

L'ECT a été utilisée pour estimer la masse maigre chez les adolescents. Le facteur d'hydratation (tableau II-2) a été choisi selon l'âge et le genre [Lohman, 1986, 1992].

La masse maigre et la masse grasse ont été calculées comme suit :

- Masse maigre (kg) = ECT (l) / (Facteur d'hydratation)
- Masse grasse (kg) = Poids corporel (kg) – masse maigre (kg)
- Masse grasse (%) = masse grasse (kg) × 100 / Poids corporel (kg)

**Tableau II-2 : Hydratation de la masse maigre (%masse maigre) selon l'âge et le genre [Lohman, 1992].**

Age (années)	Garçons	Filles
1	79.0	78.8
1-2	78.6	78.5
3-4	77.8	78.3
5-6	77.0	78.0
7-8	76.8	77.6
9-10	76.2	77.0
11-12	75.4	76.6
13-14	74.7	75.5
15-16	74.2	75.0
17-20	73.8	74.5

## X- Analyse statistique

Toutes les analyses ont été effectuées avec le logiciel de Statistiques pour les Sciences Sociales (SPSS, version 17.0) et le tableur Excel (version 2007). Les données ont été représentées en moyenne ± écart-type (SD) ou médiane (interquartiles à 25 et 75), et pourcentage.

La normalité de distribution a été testée par le test de Kolmogorov-Smirnov. Le test de chi-deux ou Fisher ont été utilisés pour tester l'association entre les variables nominales. Dans le cas de distribution anormale, le test de Mann-Whitney a été utilisé pour comparer les médianes entre deux échantillons indépendants. Dans le cas de distribution normale et si les variances sont homogènes, le test d'ANOVA à un facteur entre 2 ou plusieurs échantillons indépendants a été utilisé. Le test t apparié a été utilisé pour tester la signification entre deux échantillons dépendants. L'âge a été ajusté pour comparer correctement les sujets n'ayant pas le même âge. Les valeurs de  $p < 0.05$  ont été considérées significatives.

Concernant la filtration des données et pour éviter la sur-déclaration, les scores d'activité physique ont été filtrés et tronqués à des niveaux raisonnables. Le temps déclaré pour

chaque activité physique intense telle que le jogging, la course, la musculation, le basketball, le handball et le football a été tronqué à 120 minutes par jour, tandis que le temps consacré à l'activité domestique a été tronqué à 180 minutes par jour. En outre, le nombre maximal de niveaux d'escalier pris par élève et par jour a été limité à 30 étages. Cela signifie que 10 étages par trois fois par jour. Pour attribuer une valeur de MET pour l'utilisation d'escalier, nous supposons qu'un adolescent ordinaire nécessite environ 20 secondes pour effectuer une montée complète d'escaliers de 28-30-pas. Enfin, le temps maximal total consacré à l'activité physique par semaine a été tronqué à 1680 minutes (28 heures), ou 4 heures d'activité physique par jour.

La masse maigre (kg) mesurée par D<sub>2</sub>O a été considérée comme une variable dépendante. Les variables qui semblent prédire la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O étaient : le genre (garçon=0, fille=1), l'âge, le poids corporel, l'indice d'impédance (taille<sup>2</sup>/résistance à 50 kHz), le rapport tour de taille / tour de hanche, le stade pubertaire (prépubère=0, pubère=1) et la réactance à 50 kHz. La méthode pas-à-pas (stepwise method) a été utilisée pour sélectionner le bon modèle qui avait un R<sup>2</sup> plus grand et une SEE plus petite. Le modèle final, développé à partir de l'échantillon de prédiction par la méthode pas-à-pas et l'analyse de régression linéaire, a été appliqué dans l'échantillon de validation pour prédire la masse maigre (kg). La force d'association entre la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O et celle mesurée par le modèle a été mesurée par l'analyse de la régression linéaire. L'analyse de Bland et Altman a été utilisée pour tracer les différences entre les deux méthodes (D<sub>2</sub>O et modèle) contre leur moyenne, et pour étudier le biais entre les techniques [Bland et Altman, 1986]. Les mesures de la tolérance (T) et du facteur d'inflation de la variance ont été utilisées. Les limites de concordance ont été exprimées en moyenne de la différence entre les deux méthodes (D<sub>2</sub>O et modèle)  $\pm 1.96$  SD.

## Chapitre III

# Activité physique et habitudes alimentaires des adolescents

### Résumé

L'objectif de cette étude était de décrire le style de vie (activité physique et habitudes alimentaires) chez un groupe d'adolescents marocains dans le cadre d'un projet régional ATLS (Etude du style de vie des adolescents arabes) financé par le Centre Arabe de Nutrition et incluait l'Arabie Saoudite, les Emirats Arabes Unis, le Bahreïn, le Koweït, l'Irak, la Jordanie, l'Oman, la Tunisie et le Maroc. Cette étude a été faite à Kénitra sur un effectif total de 669 jeunes marocains recrutés au hasard. L'activité physique et les habitudes alimentaires ont été déterminées par un questionnaire validé. Les résultats ont montré que 9% des adolescents ont un surpoids, 2% sont obèses, 13.3% avaient une obésité abdominale, 11.8% avaient une hypertension systolique et 17.9% avaient une hypertension diastolique. Un adolescent sur cinq est inactif. Les garçons sont plus actifs que les filles. Les filles pratiquent le sport la plupart du temps au lycée par contre chez les garçons le sport est pratiqué au lycée, dans les salles de sport et dans la rue. La plupart ne prennent pas le petit-déjeuner, ne consomment pas les fruits, le lait et les produits laitiers, les légumes de façon journalière. Plus que la moitié consomment des beignets, des gâteaux, des biscuits, des bonbons et du chocolat plus de 3 fois/semaine. Presque la moitié des adolescents consomment des boissons sucrées plus de 3 fois/semaine. En conclusion, il est ressortit que les adolescents étudiés ont un mode de vie à risque de développer des maladies chroniques et ceci à travers leurs habitudes alimentaires et l'activité physique. Cependant, il est recommandé de faire un échantillon plus large pour en tirer des conclusions définitives.

**Mots-clés :** Style de vie ; activité physique ; habitudes alimentaires ; promotion de la santé ; adolescent marocain.

## **I- Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de l'étude du style de vie (activité physique et habitudes alimentaires) des adolescents marocains.

Lors de cette étude, nous avons déterminé les niveaux d'activité physique et le profil nutritionnel de 669 adolescents (325 garçons; 344 filles) âgés de 15 à 19.9 ans qui ont été recrutés au hasard auprès de cinq lycées publics de la ville de Kénitra (milieu urbain). La sélection des lycées a été basée sur l'orientation d'ATLS pour l'échantillonnage. Après cela, quatre classes ont été choisies de chaque lycée : une classe par niveau (niveau 1, 2 et 3) plus une autre classe du niveau qui avait le plus grand nombre de classes. Toutes les classes étaient mixtes (garçons et filles) et tous les adolescents sélectionnés étaient apparemment en bonne santé et sans aucun handicap physique. Puis les questionnaires d'ATLS ont été appliqués pour tous les élèves à chaque lycée.

Les indices d'obésité ont été définis en se basant sur les références de l'IMC définies par l'IOTF selon l'âge et le genre chez les adolescents entre 14 et 17 ans. Tandis que pour les sujets âgés 18 ans et plus, nous avons utilisé les standards de l'adulte définis par l'OMS.

Les paramètres anthropométriques mesurés incluaient le poids corporel, la taille, l'IMC, le tour de taille, le rapport tour de taille / taille, et la surface corporelle. Les pressions artérielles (systolique et diastolique) ont été mesurées.

Le profil nutritionnel et les niveaux d'activité physique de la population étudiée ont été déterminés en utilisant un questionnaire approprié (voir annexe 3).

Le consentement éclairé des élèves et l'autorisation du Ministère d'Education Nationale ont été obtenus.

## II- Résultats

### II-1- Age et caractéristiques anthropométriques de la population étudiée

Les caractéristiques générales de la population étudiée à savoir l'âge, le poids corporel, la taille, le tour de taille, la surface corporelle et l'IMC chez les garçons et les filles sont présentées dans le tableau III-1.

On remarque une différence significative concernant le poids plus élevé chez les garçons, la taille, la surface corporelle élevée chez les garçons, et l'IMC élevé chez les filles.

Tableau III-1 : Age et caractéristiques anthropométriques des adolescents par genre.

	Garçons (325)	Filles (344)	p
Age, ans	17.0 (16.0-18.0)	17.0 (16.0-18.0)	0.372
Poids corporel, kg	58.0 (53.0-65.0)	52.5 (48.0-58.4)	0.000
Taille, cm	173.4 (168.5-177.6)	160.9 (157.5-165.0)	0.000
Tour de taille, cm	72.0 (69.0-77.0)	72.0 (67.0-78.0)	0.306
Surface corporelle, m <sup>2</sup>	1.7 (1.6-1.8)	1.5 (1.5-1.6)	0.000
IMC, kg/m <sup>2</sup>	19.4 (18.0-21.2)	20.3 (18.7-22.4)	0.000

Résultats présentés en médianes (interquartiles à 25 et 75) ; IMC, indice de masse corporelle.

### II-2- Prévalence de surpoids et d'obésité

La prévalence du surpoids et de l'obésité chez les garçons, les filles et la population totale est présentée dans la figure 3-1.

On constate que les prévalences du surpoids et de l'obésité sont plus élevées chez les filles que chez les garçons, de même l'obésité abdominale est plus élevée chez les filles.

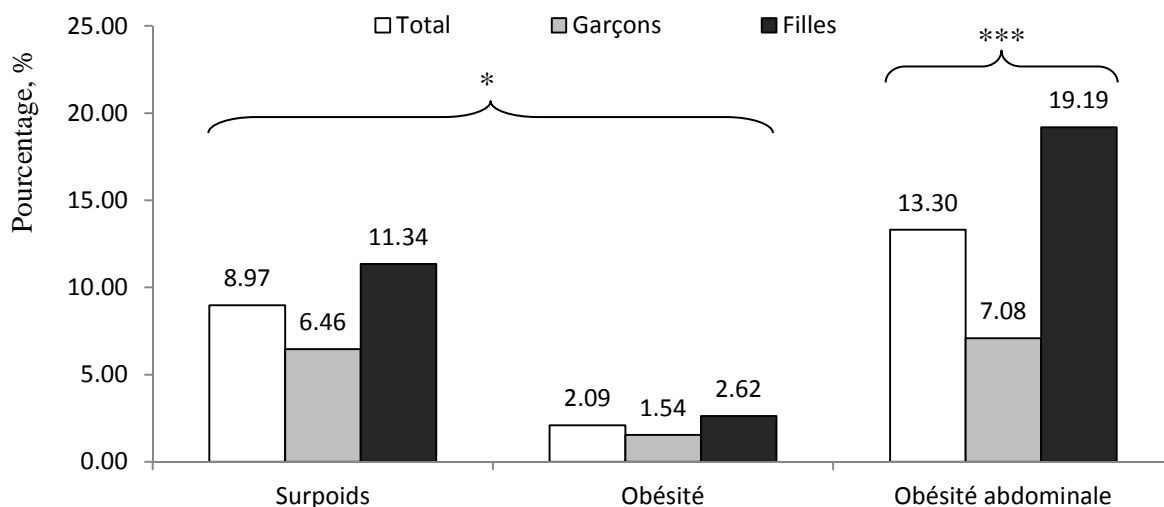


Figure 3-1 : Prévalence de surpoids et d'obésité chez les adolescents.  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

### II-3- Taux d'hypertension systolique et diastolique

Le taux d'hypertension systolique et diastolique chez les garçons, les filles et la population totale est présenté dans la figure 3-2.

On remarque un taux d'hypertension systolique plus élevé chez les garçons que chez les filles, et près de 18% des filles et garçons présentent une hypertension diastolique.

La moyenne d'hypertension systolique des garçons ( $121.95 \pm 12.66$  mmHg) diffère significativement ( $p=0.000$ ) de celle des filles ( $116.13 \pm 12.44$  mmHg). Contrairement à la moyenne d'hypertension diastolique qui ne diffère pas significativement ( $p=0.095$ ) entre les garçons ( $74.37 \pm 10.42$  mmHg) et les filles ( $75.66 \pm 9.47$  mmHg).

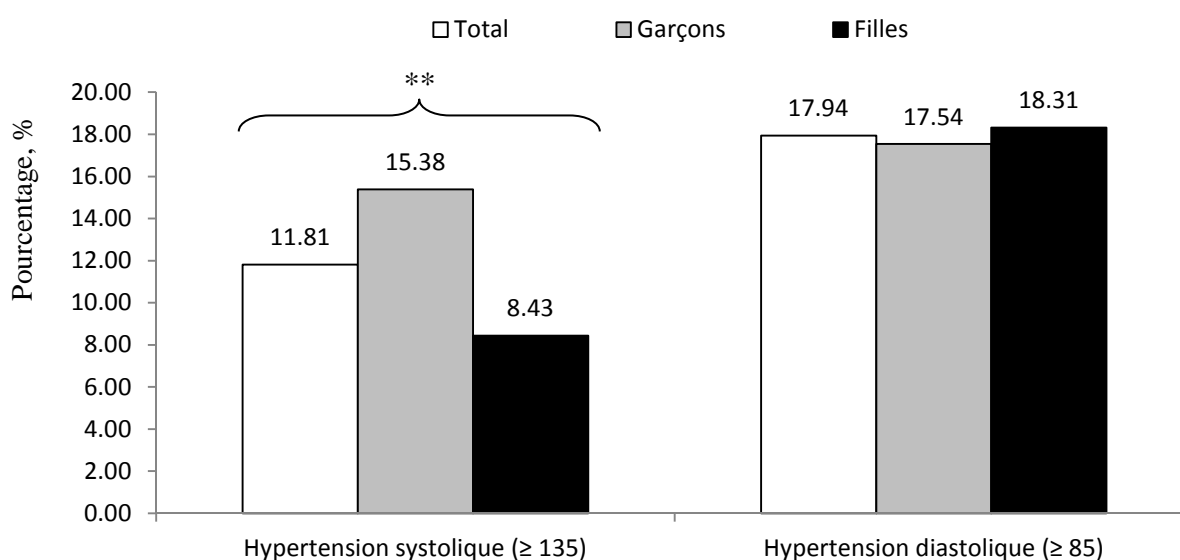


Figure 3-2 : Taux d'hypertension systolique et diastolique chez les adolescents.  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

### II-4- Activité physique de la population étudiée

L'activité physique correspond aux activités physiques modérées (marche, natation, activités récréatives d'intensité modérée, activités domestiques, ...) et aux activités physiques intenses (montée d'escaliers, jogging, course, utilisation du vélo, activités récréatives intenses, auto-défense, musculation, ...).

#### II-4-1- Fréquence de la pratique d'activité physique

##### II-4-1-1- Fréquence de la pratique d'activité physique modérée

La fréquence de la pratique d'activité physique modérée chez les garçons, les filles et la population totale est présentée dans la figure 3-3.

On constate que près de 95% des adolescents pratiquent l'activité physique modérée 3 fois par semaine ou plus.

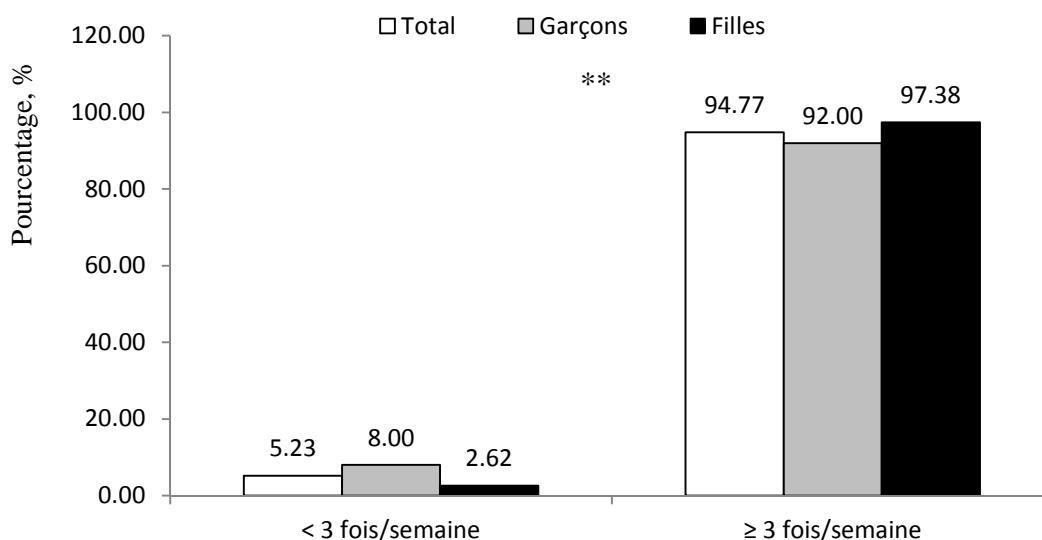


Figure 3-3 : Fréquence de la pratique d'activité physique modérée chez les adolescents.  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

#### II-4-1-2- Fréquence de la pratique d'activité physique intense

La fréquence de la pratique d'activité physique intense chez les garçons, les filles et la population totale est présentée dans la figure 3-4.

On constate que plus de 98% des adolescents pratiquent l'activité physique intense 3 fois par semaine ou plus.

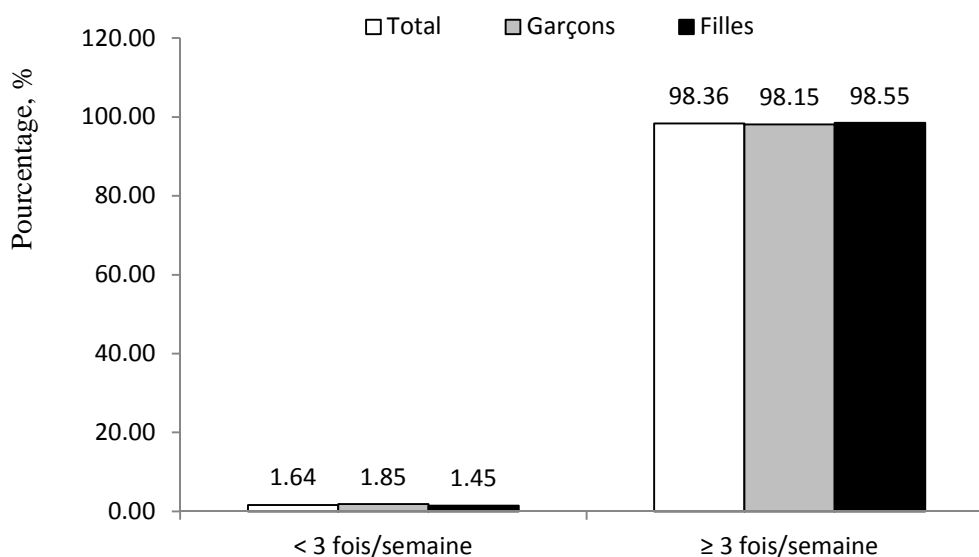


Figure 3-4 : Fréquence de la pratique d'activité physique intense chez les adolescents.  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

#### II-4-2- Temps consacré à l'activité physique

Le temps, en heures par semaine, consacré à l'activité physique totale, modérée et intense chez les filles et les garçons est présenté dans le tableau III-2.

On constate que les garçons consacrent plus de temps à l'activité physique et particulièrement lorsqu'il s'agit d'activité physique intense que les filles. Alors que les filles consacrent plus de temps par semaine à l'activité physique modérée que les garçons.

**Tableau III-2 : Temps consacré à l'activité physique des adolescents par genre.**

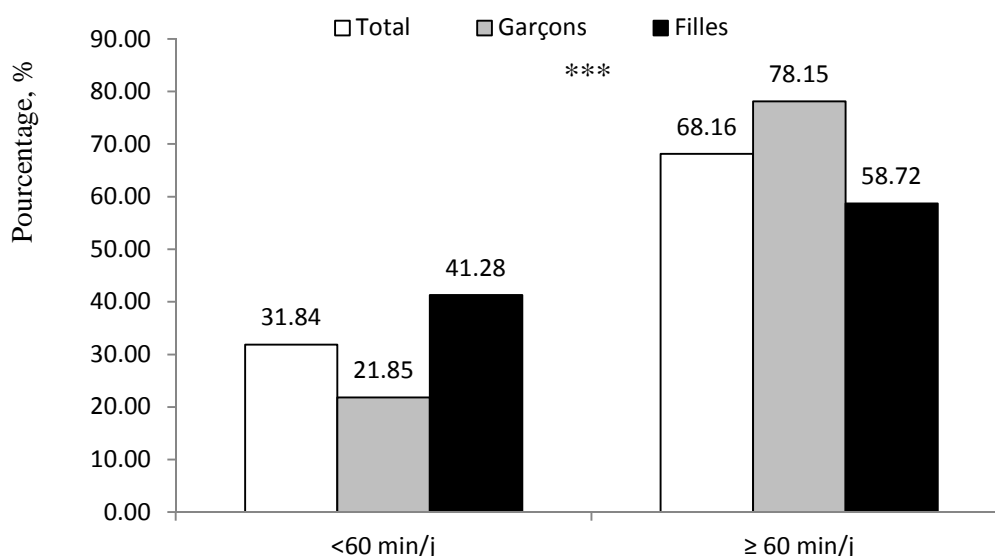
	Garçons (325)	Filles (344)	p
Activité physique totale, h/sem	11.2 (7.6-17.0)	8.1 (5.0-12.7)	0.000
Activité physique modérée, h/sem	3.3 (2.0-5.3)	5.8 (3.3-10.3)	0.000
Activité physique intense, h/sem	6.8 (4.0-11.1)	1.7 (0.9-2.5)	0.000

Résultats présentés en médianes (interquartiles à 25 et 75) ; h, heures ; sem, semaine.

#### II-4-2-1- Durée consacrée à l'activité physique totale

La durée consacrée à l'activité physique totale chez les garçons, les filles et la population totale est présentée dans la figure 3-5.

On constate que la plupart des adolescents consacrent une heure par jour ou plus à la pratique d'activité physique totale.

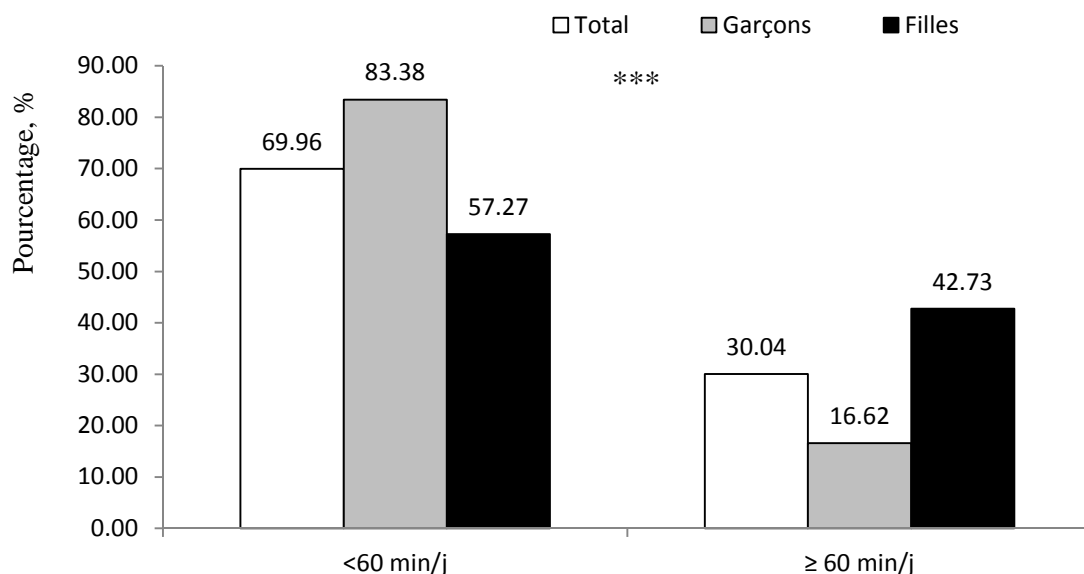


**Figure 3-5 : Durée consacrée à l'activité physique totale chez les adolescents.**  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

#### II-4-2-2- Durée consacrée à l'activité physique modérée

La durée consacrée à l'activité physique modérée chez les garçons, les filles et la population totale est présentée dans la figure 3-6.

On constate que la plupart des adolescents consacrent moins d'une heure par jour à la pratique d'activité physique modérée.

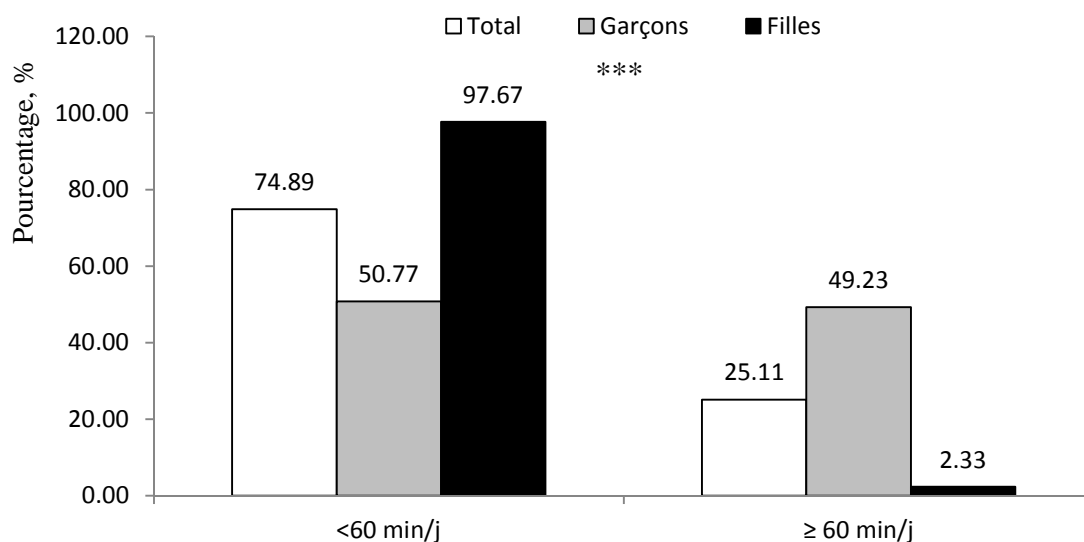


**Figure 3-6 : Durée consacrée à l'activité physique modérée chez les adolescents.**  
 Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

#### II-4-2-3- Durée consacrée à l'activité physique intense

La durée consacrée à l'activité physique intense chez les garçons, les filles et la population totale est présentée dans la figure 3-7.

On constate que la plupart des adolescents consacrent moins d'une heure par jour à la pratique d'activité physique intense.



**Figure 3-7 : Durée consacrée à l'activité physique intense chez les adolescents.**  
 Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

#### II-4-3- Energie dépensée en activité physique

L'énergie dépensée en activité physique chez les filles et les garçons est présentée dans le tableau III-3.

On remarque que les garçons dépensent presque le double d'énergie en activité physique totale et presque le triple d'énergie en activité physique intense que les filles. Alors que les filles dépensent plus d'énergie en activité physique modérée que les garçons.

Tableau III-3 : Energie dépensée en activité physique chez les adolescents par genre.

	Garçons (325)	Filles (344)	p
Activité physique totale, MET-min/sem	4064.7 (2708.8-6268.3)	2183.9 (1429.1-3197.0)	0.000
Activité physique modérée, MET-min/sem	705.0 (432.0-1225.0)	1200.0 (675.0-1990.0)	0.000
Activité physique intense, MET-min/sem	3194.7 (1903.3-5159.7)	811.6 (437.3-1212.3)	0.000

Résultats présentés en médianes (interquartiles à 25 et 75) ; min, minutes ; h, heures ; sem, semaine.

#### II-4-4- Lieux de pratique d'activité physique

Les lieux de pratique d'activité physique chez les filles, les garçons et la population totale sont présentés dans la figure 3-8.

On constate que la plupart des filles pratiquent l'activité physique au lycée (67%), alors que chez les garçons s'est réparti (27%) entre le lycée, la rue et les salles de sports.

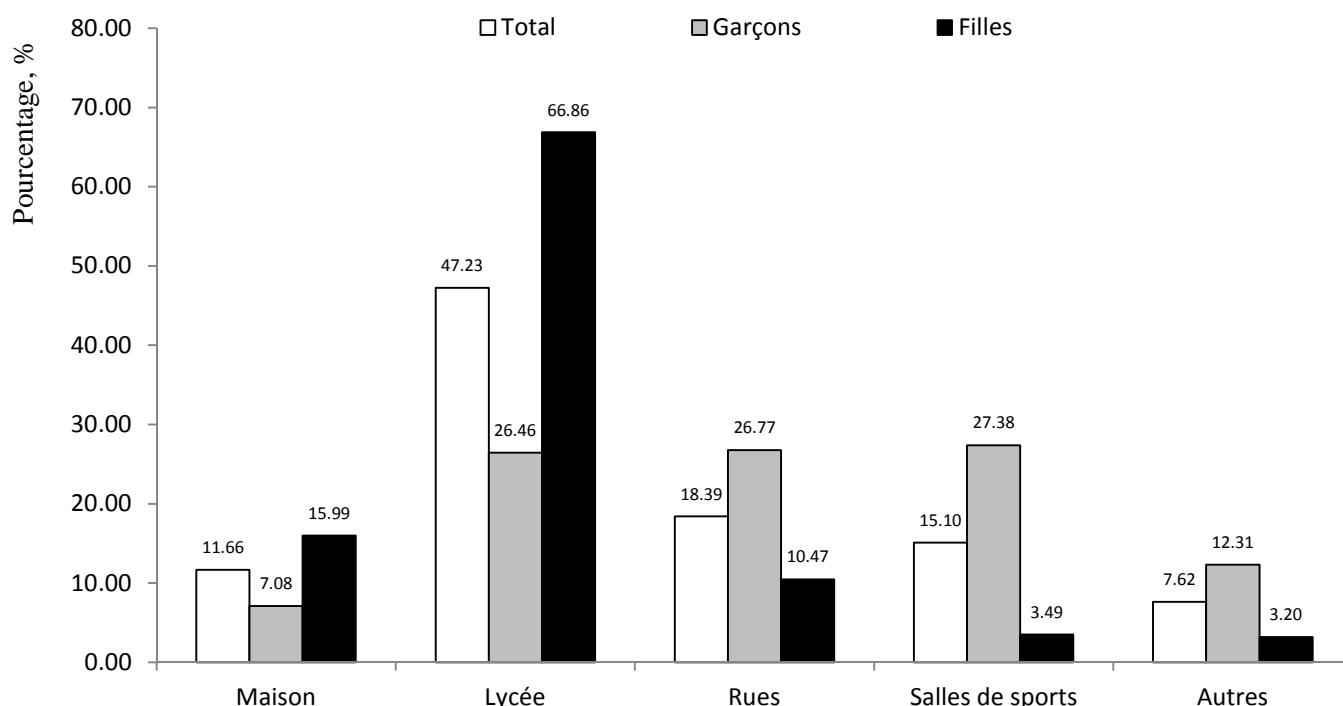


Figure 3-8 : Lieux de pratique d'activité physique chez les adolescents.  
( $p=0.000$ )

#### II-4-5- Accompagnement à la pratique d'activité physique

L'accompagnement à la pratique d'activité physique chez les filles, les garçons et la population totale est présenté dans la figure 3-9.

On constate que la plupart des garçons pratiquent l'activité physique avec les amis (70%) alors que la plupart des filles pratiquent l'activité physique avec les camarades de classe (55%).

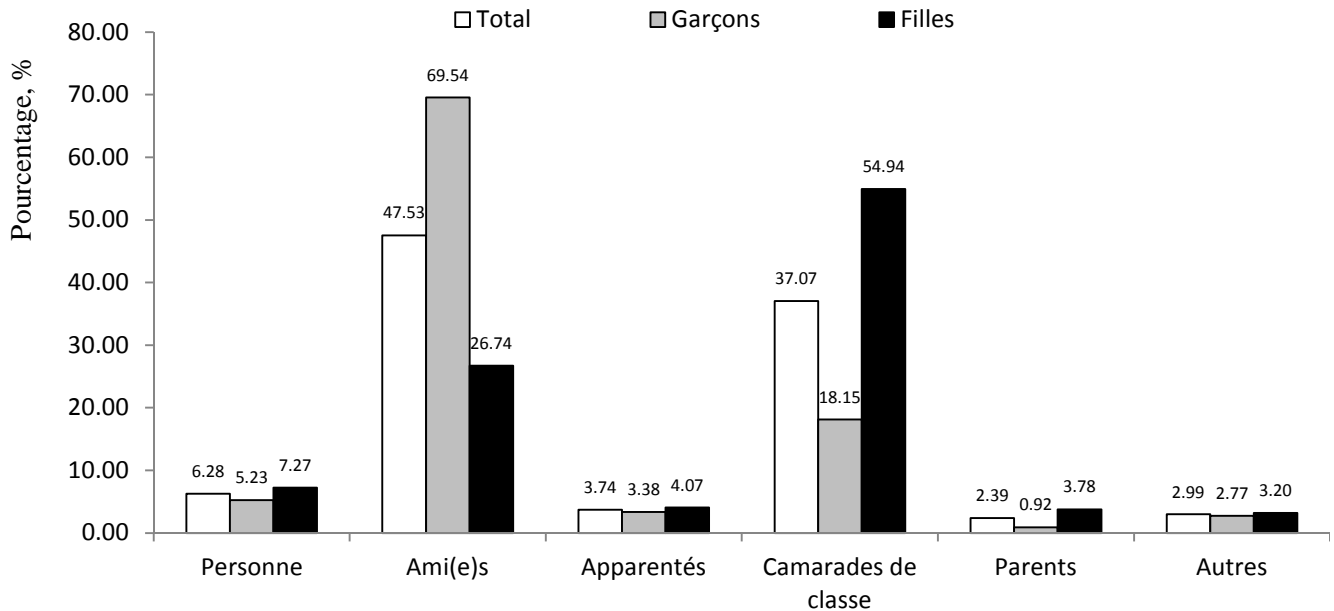


Figure 3-9 : Accompagnement à la pratique d'activité physique chez les adolescents. ( $p=0.000$ )

#### II-4-6- Période de la pratique d'activité physique

La période de pratique d'activité physique chez les filles, les garçons et la population totale est présentée dans la figure 3-10. On constate que la plupart des adolescents pratiquent des activités physiques matinales.

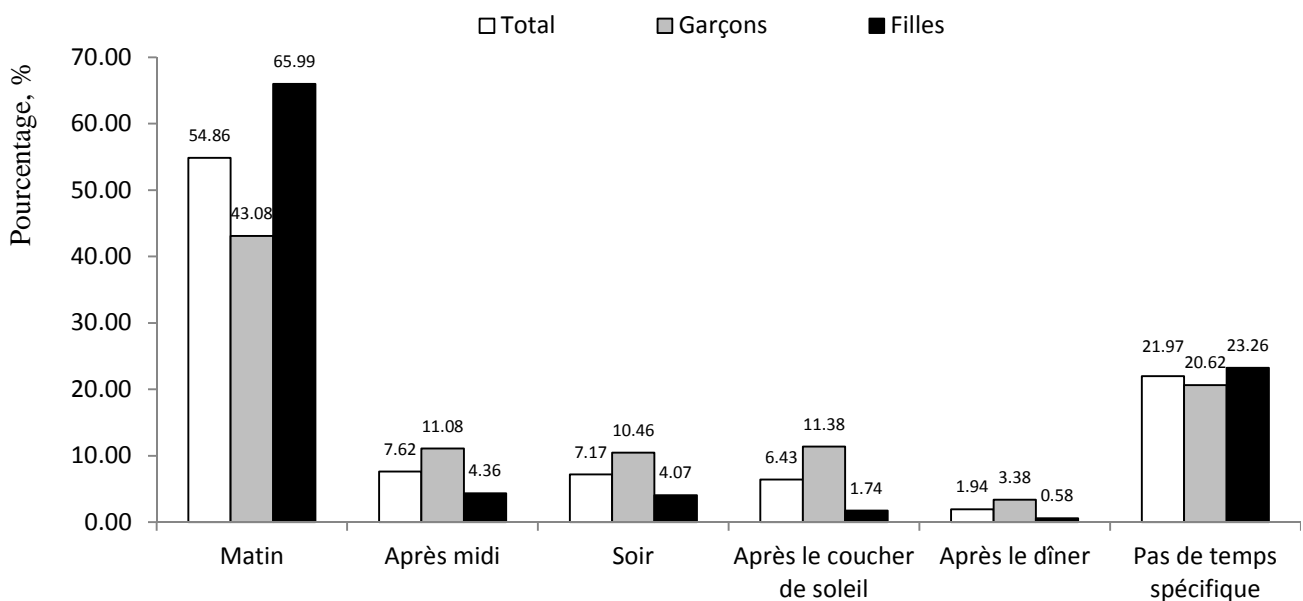


Figure 3-10 : Période de pratique d'activité physique chez les adolescents. ( $p=0.000$ )

## II-4-7- Raison derrière la pratique de l'activité physique

Les raisons derrière la pratique d'activité physique chez les filles, les garçons et la population totale sont présentées dans la figure 3-11.

On constate que la plupart des adolescents pratiquent l'activité physique pour la santé.

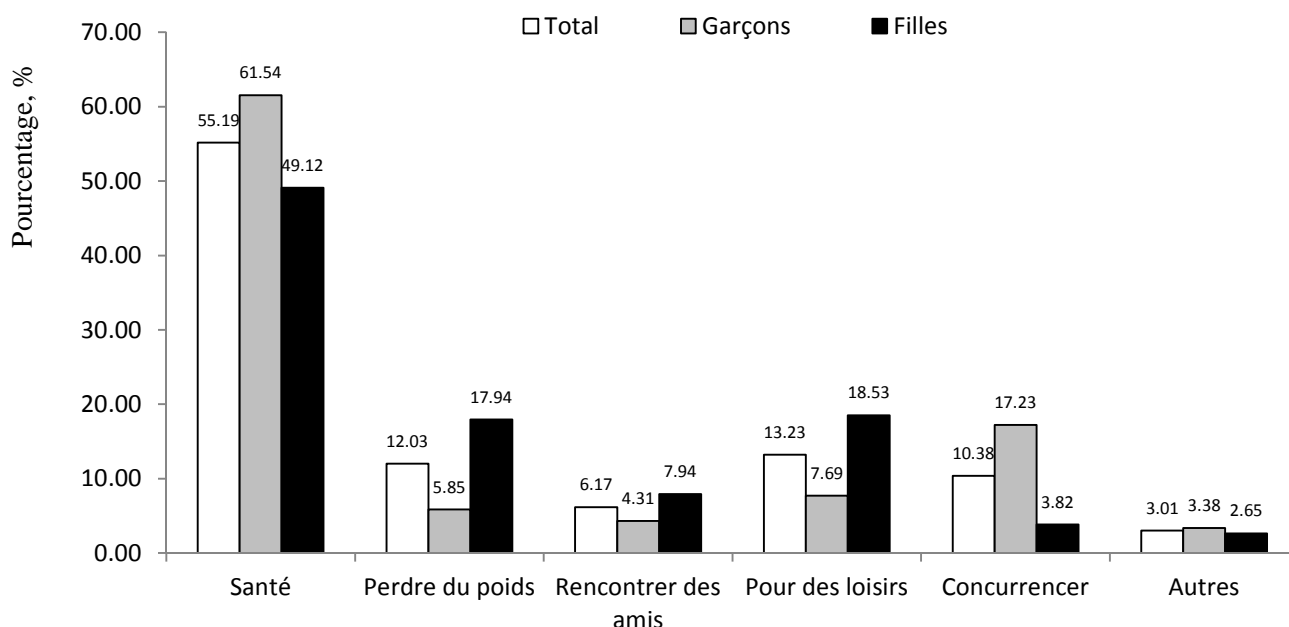


Figure 3-11 : Raisons derrière la pratique d'activité physique chez les adolescents. ( $p=0.000$ )

## II-5- Inactivité physique de la population étudiée

### II-5-1- Taux d'adolescents inactifs

Le taux d'adolescents inactifs chez les filles, les garçons et la population totale est présenté dans la figure 3-12.

On constate que :

- 33% des filles sont plus inactives contre 9% chez les garçons ;
- Un adolescent sur cinq est inactif.

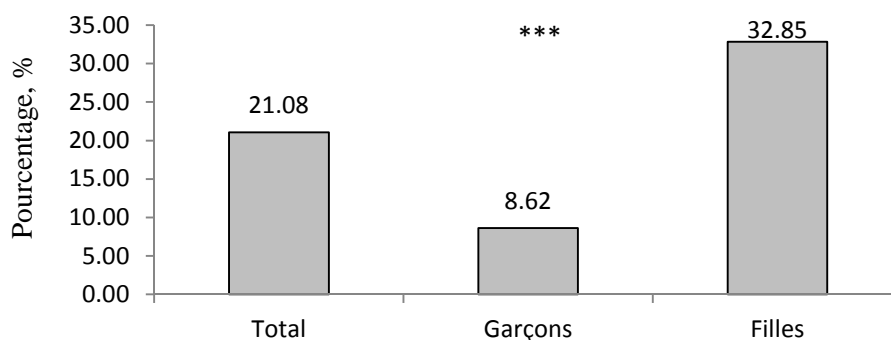


Figure 3-12 : Taux d'adolescents inactifs. Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

### II-5-2- Temps consacré à regarder la télévision

Le temps consacré à regarder la télévision chez les filles, les garçons et la population totale est présenté dans la figure 3-13.

On remarque que près de 45% des adolescents consacrent plus de 2 heures par jour à regarder la télévision.

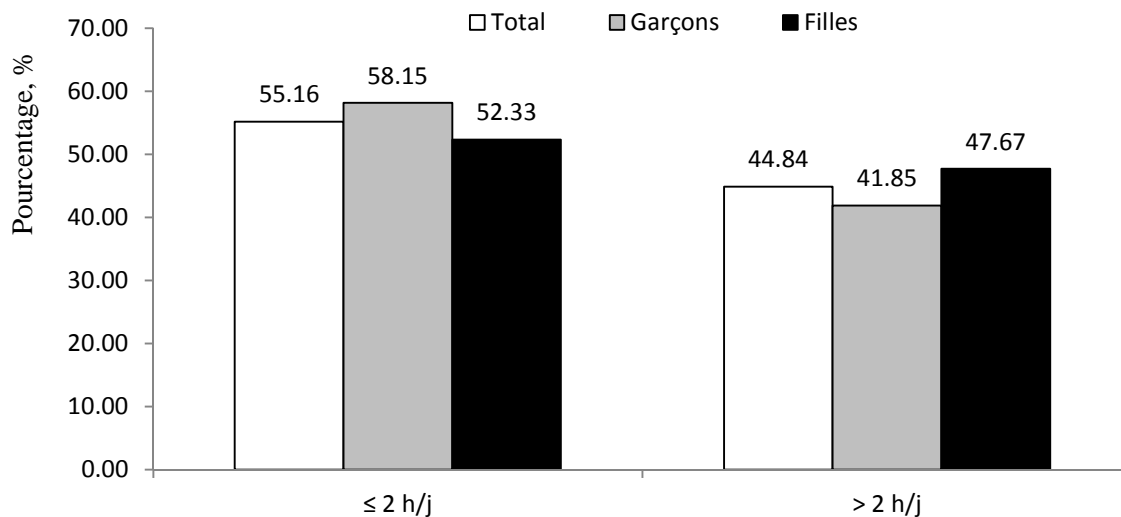


Figure 3-13 : Temps consacré à regarder la télévision chez les adolescents.  
( $p=0.140$ )

### II-5-3- Temps consacré à utiliser l'ordinateur

Le temps consacré à utiliser l'ordinateur chez les filles, les garçons et la population totale est présenté dans la figure 3-14.

On constate que 38% des adolescents utilisent l'ordinateur plus de deux heures par jour.

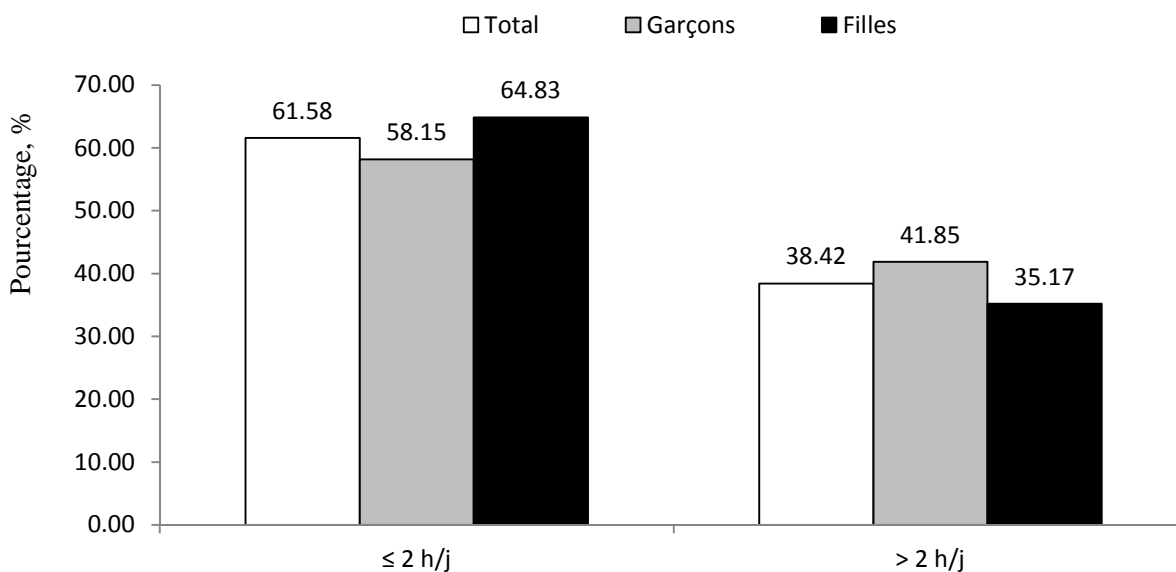


Figure 3-14 : Temps consacré à utiliser l'ordinateur chez les adolescents.  
( $p=0.081$ )

### II-5-4- Durée de sommeil

La durée de sommeil chez les filles, les garçons et la population totale sont présentées dans la figure 3-15.

Ce graphique montre que :

- La plupart des adolescents ont une durée de sommeil entre 7-8 h/jour ;
- Près de 15% des adolescents ont une durée courte de sommeil ;
- Près de 25% des adolescents ont une durée longue de sommeil.

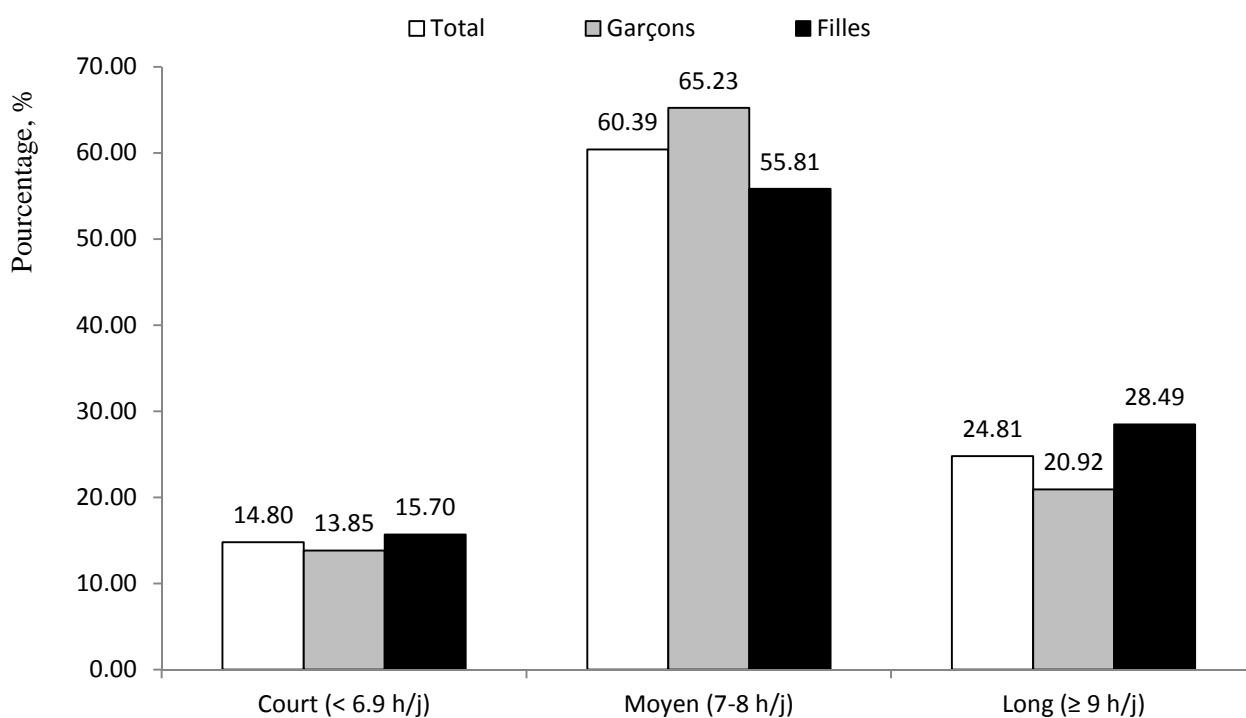


Figure 3-15 : Durée de sommeil chez les adolescents.  
( $p=0.035$ )

### II-6- Profil nutritionnel de la population étudiée

#### II-6-1- Habitudes alimentaire saines

Les habitudes alimentaires saines (1 fois/jour) chez les filles, les garçons et la population totale sont présentées dans la figure 3-16.

Ce graphique montre que :

- Près de 60% des adolescents ne prennent pas le petit-déjeuner, ni le lait et les produits laitiers de façon journalière ;
- Plus de 50% des adolescents ne consomment pas des légumes de façon journalière ;
- Près de 70% des adolescents ne consomment pas des fruits de façon journalière.

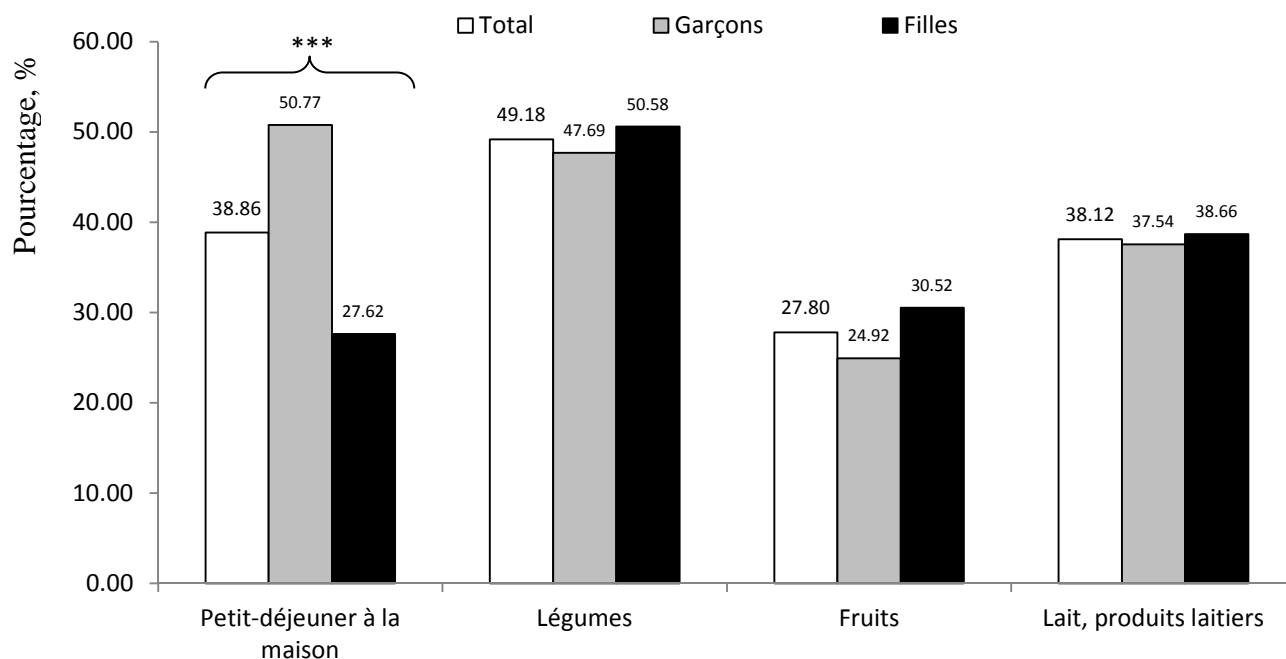


Figure 3-16 : Habitudes alimentaires saines (1 fois/jour) chez les adolescents.  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

## II-6-2- Mauvaises habitudes alimentaires

Les mauvaises habitudes alimentaires (plus de 3 fois/semaine) chez les filles, les garçons et la population totale sont présentées dans la figure 3-17.

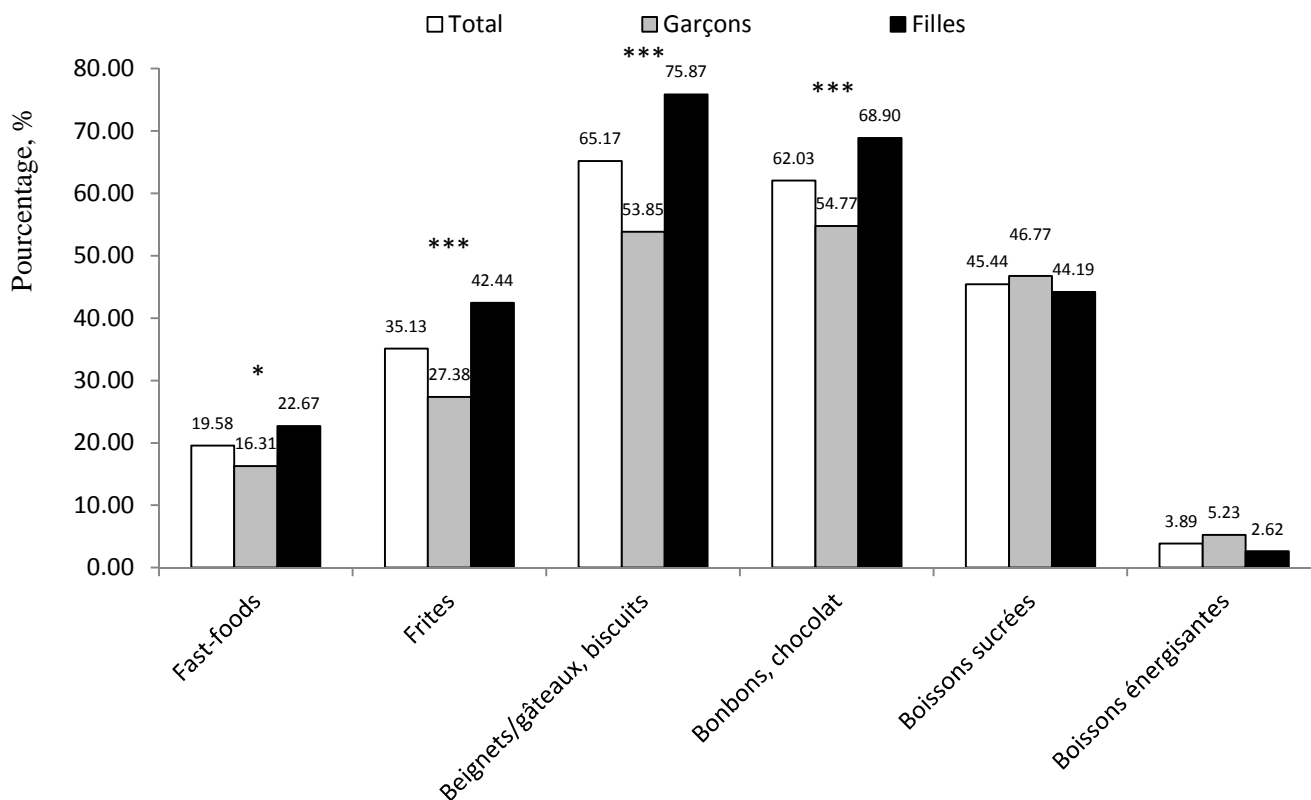


Figure 3-17 : Mauvaises habitudes alimentaires (plus de 3 fois/semaine) chez les adolescents.  
Signification à 0.05 (\*), à 0.01 (\*\*), à 0.001 (\*\*\*)

Ce graphique montre que :

- Plus de 60% des adolescents consomment les beignets, les gâteaux, les biscuits, les bonbons et le chocolat plus de 3 fois/semaine ;
- Presque la moitié des adolescents consomment des boissons sucrées plus de 3 fois/semaine.

### **III- Discussion**

La présente étude est la première qui décrit le style de vie (activité physique et habitudes alimentaires) chez l'adolescent marocain. En effet, les interventions qui promeuvent un mode de vie actif et sain jouent un rôle important dans la lutte contre l'obésité. L'obésité et les maladies associées chez l'enfant et l'adolescent dans les pays en développement sont en croissance [OMS, 2010]. Dans le monde, l'obésité infantile est un problème de santé publique [Reilly et al., 2003], et la prévalence de l'obésité chez les enfants a considérablement augmenté dans les pays développés et ceux en développement [Lobstein et al., 2004].

Cette étude a révélé que les prévalences du surpoids et de l'obésité sont plus élevées chez les filles que chez les garçons, de même l'obésité abdominale est plus élevée chez les filles. Sur le plan mondial, 5% de la mortalité est imputable à la surcharge pondérale et à l'obésité [OMS, 2009]. Les adolescents marocains ayant le surpoids et l'obésité sont à risque de contracter des maladies chroniques. Cependant, plusieurs études ont prouvé que l'obésité est un réel facteur de risque pour les maladies chroniques en l'occurrence l'hypertension, l'apnée du sommeil, ... [Moran, 1999 ; Cabrinety et Coll., 2002].

Chez les adolescents étudiés, le taux d'hypertension systolique est plus élevé chez les garçons que chez les filles, et près de 18% des filles et garçons présentent une hypertension diastolique. Ce pourcentage énorme et très alarmant d'hypertension diastolique peut être dû aux stress et à l'excitation lors de la mesure de la pression artérielle chez les adolescents. L'effectuation des mesures sur une large population pour faire des conclusions définitives est recommandée. La pression artérielle est associée directement avec l'augmentation de l'IMC chez les adolescents [Garnett et Coll., 2007 ; Biro et Coll., 2010]. Cependant, l'hypertension chez les adolescents étudiés peut être expliquée par l'IMC élevé chez les filles, et le poids et la surface corporelle élevés chez les garçons. La relation entre l'hypertension artérielle et les paramètres tels que l'IMC, le poids et la surface corporelle sera bien étudiée chez l'adolescent marocain dans nos prochaines études pour confirmer

ces suggestions. L'IMC élevé chez les filles peut être expliquée d'une part, par la forte proportion d'inactivité physique et plus particulièrement du temps et de la dépense énergétique en activité physique intense qui sont plus faibles que chez les garçons, et d'autre part, par les facteurs physiologiques (hormones), génétiques et nutritionnels. Toutefois, l'activité physique intense insuffisante pourrait être un facteur de risque pour un IMC élevé chez les adolescents (garçons et filles) [Patrick et al., 2004].

Les résultats de cette étude ont montré que les garçons consacrent plus de temps à l'activité physique que chez les filles, particulièrement lorsqu'il s'agit d'activité physique intense, alors que les filles consacrent plus de temps à l'activité physique modérée. Cependant, les enfants et les adolescents qui participent à des niveaux plus élevés d'activité physique sont moins susceptibles de développer des facteurs de risque de maladie cardiovasculaire [Boreham et Riddoch, 2001 ; Strong et al., 2005] et plus susceptibles d'avoir des résultats positifs dans la régulation du poids corporel [Gutin et al., 2002 ; Lemura et Maziakas, 2002]. Les filles marocaines sont à risque de développer des maladies cardiovasculaires car elles ne consacrent pas assez de temps en activité physique intense, et ne dépensent que la moitié d'énergie en activité physique que les garçons, ceci peut être aussi un facteur de risque pour la santé et la bonne forme. Toutefois, les enfants et les adolescents ont besoin d'activité physique régulière pour une croissance et un développement normaux, et le maintien d'une bonne santé et bonne forme [US DHHS, 1996, 1997 ; Al-Hazzaa, 1997 ; Biddle et al., 1998]. La pratique d'activité physique régulière réduit le risque de cardiopathie coronarienne, accident vasculaire cérébral, diabète de type II, hypertension, cancer du côlon, cancer du sein et dépression. En outre, l'exercice physique est un déterminant essentiel de la dépense énergétique et fondamental pour l'équilibre énergétique et le contrôle du poids [OMS, 2002, 2009].

L'activité physique modérée (près de 95%) ou intense (plus de 98%) sont pratiquées 3 fois par semaine ou plus par la plupart des adolescents étudiés. Cependant, le comité américain qui travaille sur l'activité physique recommande d'inclure au moins trois fois/semaine, des activités qui permettent d'améliorer la force musculaire, la capacité cardiorespiratoire, la santé osseuse, ... [US DHHS, 2008]. En plus du nombre de fois de la pratique d'activité physique, on cite une autre dimension plus importante qui est la durée consacrée à la pratique d'activité physique. La durée d'activité physique est importante pour améliorer l'état de santé. En outre, la plupart des adolescents étudiés consacrent une heure par jour ou plus à l'activité physique (modérée et intense). Cependant, la durée recommandée qui

doit être consacrée à l'activité physique d'intensité modérée à soutenue est d'au moins 60 minutes/jour pour les enfants et jeunes gens âgés de 5 à 17 ans ; tandis que les adultes âgés de 18 à 64 ans devraient pratiquer au moins, au cours de la semaine, 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue [OMS, 2010]. Selon les résultats rencontrés, la plupart des adolescents marocains consacrent plus que la durée recommandée par l'OMS en activité physique (modérée et intense).

Dans cette étude, la plupart des filles pratiquent l'activité physique au lycée (67%), alors que chez les garçons s'est réparti (27%) entre le lycée, la rue et les salles de sports. Le lycée semble être le lieu commun le plus utilisé pour la pratique d'activité physique par les adolescents étudiés. L'activité physique est pratiquée en général le matin. Les garçons pratiquent l'activité physique avec les amis alors que les filles pratiquent l'activité physique avec les camarades de classe. Par conséquent, les interventions qui ont pour but de promouvoir l'activité physique doivent cibler le lycée et organiser des activités matinales.

Un adolescent sur cinq est inactif, soit 33% des filles marocaines sont inactives contre 9% chez les garçons. Le taux d'inactivité physique chez les filles marocaines est donc plus élevé que ceux rapportés dans d'autres pays [Caspersen et al., 1994] comme la Finlande (16%), l'Australie (27%) et les États-Unis (31%). Ce résultat est semblable à ce qui a été rapporté dans une étude réalisée en Arabie Saoudite sur les adolescents et a montré que les garçons étaient plus susceptibles que les filles à participer à des activités physiques et sportives [Loucaides et al., 2011 ; Gordon-Larsen et al., 2000]. Toutefois, en Egypte, Irak, Jordanie, Koweït, Arabie Saoudite, Soudan et Syrie, le manque de l'activité physique chez les adultes varie de 33% à 86% [Al-Shayji et Akanji, 2004]. Dans le monde, l'inactivité attribue au décès de près 2 millions de personnes [OMS, 2002]. En plus, l'activité physique insuffisante contribue à l'obésité et le risque de complications de maladies chroniques telle que le diabète de type II [US DHHS, 1996].

Dans cette étude, nous avons considéré le temps consacré à regarder la télévision ou à utiliser l'ordinateur comme deux formes qui déterminent la sédentarité. Les résultats ont montré que 45% des adolescents consacrent plus de 2 heures par jour à regarder la télévision, et 38% utilisent l'ordinateur plus de deux heures par jours. La durée passée devant un écran (télévision, vidéo, jeux vidéo, ordinateur, ...) est actuellement l'indicateur

de sédentarité le plus utilisé [Dietz, 1996]. En plus, la durée consacrée à regarder la télévision est associée au risque métabolique [Ekelund et al., 2006]. Cependant, les enfants qui regardent la télévision 1 ou moins d'heures par jour ont une prévalence d'obésité plus faible. Alors que la prévalence de l'obésité est plus élevée chez les enfants qui regardent la télévision 4 ou plus d'heures par jour [Crespo et al., 2001]. Une étude a montré que la durée consacrée à regarder la télévision est positivement associée à l'obésité chez les filles [Crespo et al., 2001]. La sédentarité est considérée le quatrième facteur de risque de mortalité à l'échelle mondiale (6% des décès). Le temps consacré que ce soit à regarder la télévision ou utiliser l'ordinateur, y compris la navigation Internet, semble être un facteur de risque de l'obésité et les maladies associées chez les adolescents étudiés.

L'estimation de la durée du sommeil a montré que 15% des adolescents étudiés ont une durée courte de sommeil (<6.9 h/jour) et 25% ont une durée longue ( $\geq 9$  h/jour). Cependant, une recherche récente suggère une relation entre la durée courte du sommeil et l'obésité [Marshall et al., 2008]. Le sommeil adéquat est essentiel à la santé humaine et au bien-être. Les êtres humains dépensent presque un tiers de leur durée de vie au sommeil [Chen et al., 2006 ; Dahl et Lewin, 2002]. Une étude saoudienne a montré que la durée courte de sommeil est significativement associée à un risque accru de surpoids et d'obésité [Al-Hazzaa et al., 2012]. Les adolescents étudiés (15%) qui consacrent moins de temps au sommeil (<6.9 h/jour) semblent être à risque accru de surpoids et d'obésité. En effet, cette conclusion reste discutable et doit être confirmée statistiquement dans nos prochains papiers scientifiques.

En ce qui concerne les habitudes alimentaires, les résultats de cette étude ont montré que 60% des adolescents ne prennent pas le petit-déjeuner de façon journalière. Le petit-déjeuner est considéré comme un repas important pour une bonne santé [PNNS, 2002]. Le pourcentage des adolescents étudiés qui ne prennent pas le petit-déjeuner est beaucoup plus élevé que ceux rapportés aux Etats-Unis et en Europe et qui varient de 10% à 30% [Rampersaud et al., 2005]. La plupart des adolescents étudiés ne consomment pas du lait et des produits laitiers de façon journalière. Les produits laitiers (lait, yaourts et fromages) constituent une source très importante de calcium, en particulier pendant l'enfance, l'adolescence et le 3<sup>ème</sup> âge [PNNS, 2002]. Cependant, les adolescents qui ne consomment pas du lait et des produits laitiers semblent être à risque de carence en calcium qui est beaucoup plus important à la santé des os. Ces adolescents sont aussi plus à risque de santé physique et mentale, ... [OMS, 2002] car la plupart ne consomment pas des légumes et

fruits de façon journalière. La consommation des légumes et fruits est recommandée par l'OMS [WHO, 2004] car ils sont riches en minéraux et vitamines, et apportent peu de calories grâce à leur teneur élevée en eau, et entrent dans la prévention de l'obésité et du diabète [PNNS, 2002]. Les légumes et fruits font partie des habitudes alimentaires saines qui participent à l'amélioration de la santé physique et mentale des individus, et le bien-être [OMS, 2002]. Donc les adolescents de notre population peuvent développer l'obésité et les maladies associées. Cependant, tous les adolescents étudiés doivent être encouragés pour consommer les légumes et fruits au moins 5 fois par jour [PNNS, 2002] comme facteur protecteur contre l'obésité, le diabète, les maladies cardiovasculaires et les cancers.

Cette étude a aussi montré que la plupart des adolescents ont une mauvaise habitude alimentaire telle que la consommation des beignets, gâteaux, biscuits, bonbons, chocolat et boissons sucrées plus de 3 fois/semaine. Les habitudes alimentaires de ces adolescents étudiés ne semblent donc pas être appropriées pour un mode de vie sain. L'adolescent marocain est à risque de développer des maladies non transmissibles car la mauvaise alimentation est considérée parmi les principales causes des maladies majeures non transmissibles [Khatib, 2004]. L'adolescent marocain doit limiter la prise de tout aliment et repas pouvant causer des complications de santé et le développement de l'obésité qui est considérée comme problème inquiétant dans le monde, et particulièrement au Maroc.

Le secteur d'enseignement privé n'a pas été inclus dans cette étude. Cette exclusion est due principalement aux difficultés d'accès, et au petit nombre des établissements privés. Suite aux informations statistiques que nous avons collectées sur les élèves des lycées de la ville de Kénitra, auprès de la délégation du Ministère de l'éducation nationale, nous avons constaté que durant l'année scolaire 2010-2011, 22601 élèves (11473 filles) étaient aux lycées publics, et seulement 1673 élèves (790 filles) aux lycées privés. Le secteur privé à la ville de Kénitra ne représentait donc que 6.89%.

En conclusion, cette étude est la première de son genre qui décrit le style de vie des adolescents marocains.

Il est ressortit de cette étude que :

- Les filles étudiées sont plus à risque de surpoids et d'obésité abdominale que les garçons et sont donc à risque de développer des maladies cardiovasculaires car elles ne consacrent pas assez de temps pour l'activité physique et ne dépensent pas assez d'énergie ;

- Les habitudes alimentaires des adolescents étudiés ne semblent pas être appropriées pour un mode de vie sain.

Des interventions scolaires et communautaires seront nécessaires à développer pour promouvoir l'activité physique et une bonne alimentation chez les adolescents marocains. Concernant la promotion de l'activité physique, ces interventions doivent cibler le lycée et organiser des activités matinales. Cependant, il est recommandé de faire un échantillon plus large pour en tirer des conclusions définitives.

## Chapitre IV

# Estimation de la composition corporelle des adolescents marocains

### Résumé

L'objectif de cette étude était de développer un modèle mathématique spécifique à l'adolescent marocain pour estimer la composition corporelle en utilisant la BIA, dans le cadre d'un projet international de recherche coordonné, financé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique et incluait les Etats-Unis d'Amérique, le Mexique, l'Australie, le Liban, le Maroc, le Bangladesh, la Chine, la Malaisie, l'Inde et la Nouvelle-Zélande. Cette étude a été faite à Rabat sur un effectif total de 294 jeunes marocains recrutés au hasard dont seulement 143 sujets âgés de 11 à 17 ans ont été inclus pour développer et valider le modèle en utilisant la technique d'impédance bioélectrique, l'âge, les paramètres anthropométriques et l'oxyde de deutérium (D<sub>2</sub>O). Le modèle développé est la masse maigre (kg) déterminée par  $D_2O = 0.578 \times Taille^2 / Résistance \text{ à } 50 \text{ kHz (cm}^2/\Omega) + 0.176 \times Poids \text{ corporel (kg) - } 2.296 \times Genre \text{ (garçon=0, fille=1) + } 0.791 \times Age \text{ (ans) - } 3.768$ . Il n'y avait pas de différence significative entre la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O et celle estimée par le modèle développé. En conclusion, le modèle développé sera un outil très pratique aux professionnels de la santé pour définir facilement la composition corporelle des adolescents et évaluer les interventions qui ont pour objectif de promouvoir un mode de vie sain et de réduire l'obésité et les risques liés à la santé chez les personnes jeunes.

**Mots-clés :** Dilution de l'oxyde de deutérium ; impédance bioélectrique ; développement d'un modèle ; adolescent marocain.

## **I- Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats de l'étude qui fournit un modèle mathématique spécifique à l'adolescent marocain pour estimer la composition corporelle en utilisant la BIA.

Lors de cette étude, nous avons estimé la composition corporelle de 143 adolescents (34 garçons et 109 filles) âgés de 11 à 17 ans. Cet échantillon a été sélectionné à partir d'un échantillon total de 294 adolescents (33% des garçons et 67% des filles) recrutés au hasard auprès de sept établissements (collèges ou autre) de la ville de Rabat. Tous les adolescents ont participé à cette étude volontairement.

Les adolescents étaient apparemment en bonne santé et sans aucun handicap physique. Les sujets diabétiques ou ayant des maladies cardiovasculaires ou toute condition qui peut causer un déséquilibre hydro-électrolytique ont été exclus.

L'échantillon de 143 adolescents comprenait seulement les sujets ayant pris le D<sub>2</sub>O. Cet échantillon a été séparé aléatoirement en deux sous-échantillons. Le sous-échantillon de prédiction (n=71) comportait 18 garçons et 53 filles, tandis que le sous-échantillon de validation (n=72) comportait 16 garçons et 56 filles.

Les mesures anthropométriques et le prélèvement de salive ont été effectués à chaque établissement. Le stade pubertaire selon Tanner a été déterminé. La composition corporelle (ECT, masse maigre, masse grasse) a été mesurée par les techniques de BIA et de D<sub>2</sub>O (voir annexe 2).

Le consentement écrit (voir annexe 1) des élèves et l'autorisation du Ministère d'Education Nationale ont été obtenus.

## II- Résultats

### II-1- Age et caractéristiques anthropométriques de la population étudiée

Les caractéristiques générales chez les adolescents par genre et par groupe sont présentées dans le tableau IV-1. On constate que :

- Le poids corporel et le rapport tour de taille / tour de hanche sont élevés chez les garçons que chez les filles ;
- L'âge et les caractéristiques anthropométriques des adolescents ne diffèrent pas significativement entre le sous-échantillon de prédiction et celui de validation.

**Tableau IV-1 : Age et caractéristiques anthropométriques chez les adolescents par genre et par groupe.**

	Genre		Sous-échantillon		p (prédiction vs. validation)
	Garçons (n=34)	Filles (n=109)	Prédiction (n=71)	Validation (n=72)	
Age, ans	14.04±0.94	14.27±1.19	14.31±1.16	14.13±1.12	0.330
Poids corporel, kg	58.03±11.95	53.05±13.18	54.26±12.87	54.21±13.28	0.980
Taille, m	1.59±0.10	1.58±0.07	1.58±0.08	1.58±0.08	0.800
IMC, kg/m <sup>2</sup>	22.77±3.65	21.23±4.46	21.54±4.28	21.64±4.39	0.900
TT/TH	0.84±0.06	0.78±0.06	0.80±0.06	0.79±0.06	0.600

Résultats présentés en moyenne ± écart-types ; IMC, indice de masse corporelle ; TT, tour de taille ; TH, tour de hanche.

### II-2- Composition corporelle par la technique de l'oxyde de deutérium

La composition corporelle par la technique de D<sub>2</sub>O des adolescents par genre et par groupe est présentée dans le tableau IV-2. On constate que :

- La masse maigre est plus élevée chez les garçons que chez les filles ;
- La composition corporelle (ECT, masse maigre et masse grasse) des adolescents ne diffère pas significativement entre le sous-échantillon de prédiction et celui de validation.

**Tableau IV-2 : Composition corporelle par la technique de D<sub>2</sub>O des adolescents par genre et par groupe.**

	Genre		Sous-échantillon		p (prédiction vs. validation)
	Garçons (n=34)	Filles (n=109)	Prédiction (n=71)	Validation (n=72)	
ECT, l	30.85±5.72	27.12±4.31	27.90±5.03	28.11±4.86	0.800
Masse maigre, kg	41.32±7.75	35.94±5.81	37.12±6.86	37.32±6.58	0.860
Masse grasse, kg	16.71±7.88	17.10±8.74	17.14±8.20	16.88±8.87	0.860
Masse grasse, %	27.77±10.26	30.63±8.41	30.29±8.71	29.61±9.18	0.650

Résultats présentés en moyenne ± écart-types ; ECT, eau corporelle totale.

### II-3- Composition corporelle par la technique d'impédance bioélectrique

La composition corporelle par la technique de BIA chez les adolescents par genre et par groupe est présentée dans le tableau IV-3. On constate que :

- La masse maigre est plus élevée chez les garçons, tandis que la masse grasse est élevée chez les filles ;
- L'ECT, la masse maigre, la masse grasse, l'indice d'impédance (taille<sup>2</sup>/Résistance à 50 kHz), la résistance et la réactance à 50 kHz des adolescents ne diffèrent pas significativement entre le sous-échantillon de prédiction et celui de validation.

**Tableau IV-3 : Composition corporelle par la technique d'impédance bioélectrique des adolescents par genre et par groupe.**

	Genre		Sous-échantillon		p (prédiction vs. validation)
	Garçons (n=34)	Filles (n=109)	Prédiction (n=71)	Validation (n=72)	
ECT, l	31.48±5.49	28.19±4.09	28.86±4.67	29.08±4.68	0.780
Masse maigre, kg	45.16±9.45	37.98±6.49	39.37±8.24	39.99±7.56	0.640
Masse grasse, kg	13.66±8.47	15.07±8.38	14.89±8.12	14.58±8.70	0.820
Masse grasse, %	22.84±12.09	26.86±8.84	26.39±9.73	25.43±9.95	0.560
Taille <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> , cm <sup>2</sup> /Ω	41.11±9.08	36.90±5.83	37.63±7.05	38.17±6.89	0.650
R <sub>50</sub> , Ω	632.85±70.74	685.76±91.28	681.43±101.09	665.04±76.24	0.280
X <sub>C50</sub> , Ω	63.03±17.31	67.62±16.99	64.37±9.13	68.66±22.24	0.130

Résultats présentés en moyenne ± écart-types ; R<sub>50</sub>, résistance mesurée à 50 kHz ; X<sub>C50</sub>, réactance mesurée à 50 kHz ; ECT, eau corporelle totale.

### II-4- Stade pubertaire selon Tanner

Le stade pubertaire des adolescents par genre et par groupe est présenté dans le tableau IV-4. On constate que :

- La plupart des filles et des garçons sont pubères ;
- Le stade pubertaire des adolescents ne diffère pas significativement entre le sous-échantillon de prédiction et celui de validation.

**Tableau IV-4 : Stade pubertaire des adolescents par genre et par groupe.**

	Genre		Sous-échantillons		p (prédiction vs. Validation)
	Garçons (n=34)	Filles (n=109)	Prédiction (n=71)	Validation (n=72)	
Prépubère	8 (23.5)	7 (6.4)	9 (12.7)	6 (8.3)	0.560
Pubère	26 (76.5)	102 (93.6)	62 (87.3)	66 (91.7)	0.590

Résultats présentés en n (%).

## II-5- Développement du modèle

Le modèle développé à partir du sous-échantillon de prédiction des adolescents (n=71 ; 18 garçons et 53 filles) est présenté dans le tableau IV-5.

On constate que :

- Le modèle développé, en utilisant l'analyse de régression linéaire et la méthode pas-à-pas (stepwise method), présente un plus grand R<sup>2</sup> (0.93) et une plus petite SEE (1.89 kg) ;
- Tous les variables incluses dans le modèle sont significatives.

Le modèle développé est le suivant :

$$\text{MM} = 0.578 \times \text{Taille}^2 / \text{R}_{50} + 0.176 \times \text{Poids corporel} - 2.296 \times \text{Genre} + 0.791 \times \text{Age} - 3.768$$

Avec MM est la masse maigre en kg déterminée par la technique de D<sub>2</sub>O, Taille en cm, R<sub>50</sub> est la résistance en Ω mesurée à 50 kHz par la BIA, Poids corporel en kg, Age en ans, Genre (garçon=0, fille=1).

Tableau IV-5 : Modèle développé à partir du sous-échantillon de prédiction (n=71) des adolescents.

	Coefficient de régression (ES)	p	R <sup>2</sup>	SEE	Colinéarité	
					Tolérance	FIV
Intercepte	-3.768 (3.026)	0.220	0.929	1.89		
Taille <sup>2</sup> /R <sub>50</sub> , cm <sup>2</sup> /Ω	0.578 (0.046)	0.000			0.48	2.07
Poids corporel, kg	0.176 (0.025)	0.000			0.49	2.04
Genre, (garçon=0, fille=1)	-2.296 (0.577)	0.000			0.80	1.26
Age, ans	0.791 (0.208)	0.000			0.88	1.14

Facteur dépendant (masse maigre) ; R<sub>50</sub>, résistance mesurée à 50 kHz ; SEE, erreur standard de l'estimation ; ES, erreur standard ; FIV, facteur d'inflation de la variance.

## II-6- Validation du modèle développé

La composition corporelle des adolescents par D<sub>2</sub>O et par le modèle est présentée dans le tableau IV-6.

On constate que :

- Il n'y avait pas de différence significative entre la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O et celle estimée par le modèle dans le sous-échantillon de validation avec une valeur de p=0.647 ;
- Il n'y avait également aucune différence significative entre les valeurs de la masse maigre et la masse grasse obtenues par D<sub>2</sub>O et par le modèle dans l'échantillon total.

**Tableau IV-6 : Composition corporelle des adolescents par la dilution d'oxyde de deutérium et par le modèle.**

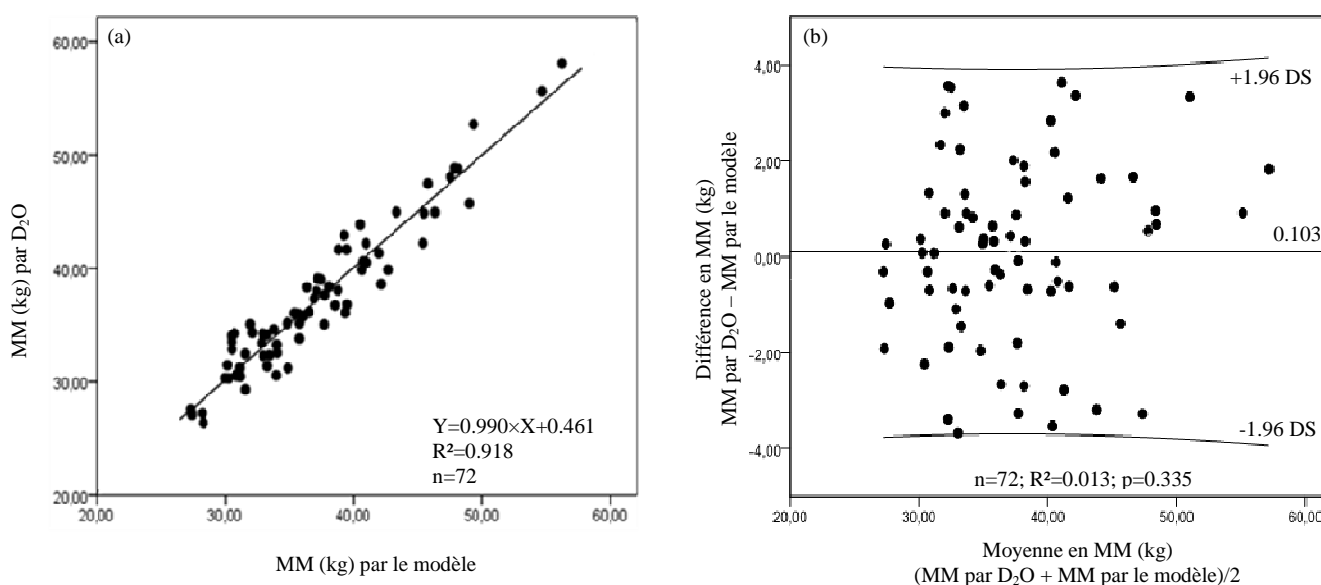
	D <sub>2</sub> O	Modèle développé	p
Echantillon de validation (n=72)			
Masse maigre, kg	37.32±6.58	37.22±6.37	0.650
Echantillon total (n=143)			
Masse maigre, kg	37.22±6.70	37.18±6.47	0.780
Masse grasse, kg	17.01±8.52	17.05±8.32	0.780
Masse grasse, %	29.95±8.93	30.02±8.52	0.820

Résultats présentés en moyenne ± écart-types ; D<sub>2</sub>O, oxyde de deutérium.

### II-7- Analyse d'association et de Bland et Altman

L'analyse d'association et la représentation de Bland et Altman dans l'échantillon de validation sont présentées dans la figure 4-1.

L'analyse de régression linéaire a montré qu'il y a une association très forte entre la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O et celle estimée par le modèle avec un coefficient de détermination R<sup>2</sup>=0.918. L'intercepte (0.461) n'était pas significativement différente de zéro (p=0.73) et la pente (0.990) n'était pas significativement différente de 1.0 (p <0.0001) (fig. 4-1a). La représentation de Bland et Altman a révélé que le biais exprimé en moyenne de la différence de la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O et celle estimée par le modèle était de 0.103±1.891 kg (moyenne de différence = 0.103, SD = ±1.891) avec un intervalle de confiance à 95% de -0.34 et 0.55 kg (Fig. 4-1b).



**Figure 4-1 : A- Masse maigre (MM) par l'oxyde de deutérium (D<sub>2</sub>O) tracée contre celle par le modèle appliqué dans l'échantillon de validation. B- Analyse de Bland et Altman de la différence entre la MM par D<sub>2</sub>O et par le modèle tracée contre leur moyenne.**

Les limites de concordance (définies comme la moyenne de la différence entre les deux méthodes  $\pm 1.96 \times SD$ ) étaient de -3.60 et 3.81 kg (Fig. 4-1b). Il n'y avait pas d'association significative ( $p=0.335$ ) entre la différence et la moyenne des deux mesures de la masse maigre obtenues par D<sub>2</sub>O et par le modèle validé (Fig. 4-1b).

## II-8- Confirmation de la nécessité de développer un modèle spécifique

La comparaison de notre modèle à d'autres modèles développés pour les adolescents et appliqués dans nos données ( $n=143$ ), est présentée dans le tableau IV-7.

On constate que la masse maigre déterminée par notre modèle était significativement différente ( $p<0.05$ ) de celles déterminées par les autres modèles. Ceci confirme la nécessité de développer un modèle spécifique à l'adolescent marocain pour estimer la composition corporelle en utilisant la BIA.

**Tableau IV-7 : Comparaison de notre modèle à d'autres modèles développés pour les adolescents et appliqués dans nos données.**

Auteurs, année	Formules pour calculer la masse maigre	Région, âge	Méthode de référence	Paramètres de comparaison	
				Biais $\pm$ SD	p
Deurenberg et al., 1991	$0.406 \times 10^4 \times \text{Taille}^2 / R + 0.360 \times \text{Poids} + 5.58 \times \text{Taille} + 0.56 \times \text{Sex} - 6.48$ (garçon=1, fille=2, Taille en m, $R^2=0.97$ , $SEE=1.68$ kg)	Pays-Bas, $\leq 15$ ans	Densitométrie	-1.05 $\pm$ 2.13 kg	0.000
De Lorenzo et al., 1998	$2.33 + 0.588 \times \text{Taille}^2 / R + 0.211 \times \text{Poids}$ (Taille en cm ; $r=0.96$ ; $SEE=1.0$ kg)	Italie, 7.7-13 ans	DXA	1.12 $\pm$ 1.15 kg	0.000
Cordain et al., 1988	$6.86 + 0.81 \times \text{Taille}^2 / R$ (Taille en cm ; $r=0.83$ ; $SEE=4.08$ )	Fort Collins (États-Unis), Garçons : 12.5 $\pm$ 1.0 ans Filles : 11.6 $\pm$ 0.9 ans	Densitométrie, TBK	-0.38 $\pm$ 2.28 kg	0.048
Houtkooper et al., 1992	$0.61 \times \text{Taille}^2 / R + 0.25 \times \text{Poids} + 1.31$ (Taille en cm, $SEE=2.1$ kg, $R^2=0.95$ )	USA, 10-19 ans	Densitométrie, D <sub>2</sub> O	-0.81 $\pm$ 1.29 kg	0.000
Schaefer et al., 1994	$0.65 \times \text{Taille}^2 / R + 0.68 \times \text{Age} + 0.15$ (Taille en cm ; $R^2=0.97$ ; $SEE=1.98$ kg)	Allemagne, 11.8 $\pm$ 3.7 ans	TBK	2.73 $\pm$ 2.37 kg	0.000

Poids en kg ; R, résistance ; USA, États-Unis d'Amérique ; DXA, absorptiométrie biphotonique à rayons X; D<sub>2</sub>O, dilution d'oxyde de deutérium; TBK, potassium corporel total;  $R^2$  et  $r$ , coefficients de régression ;  $SEE$ , erreur standard de l'estimation;  $SD$ , écart-type.

## III- Discussion

La présente étude est la première qui fournit des outils validés pour estimer la composition corporelle (masse maigre, masse grasse) chez l'adolescent marocain. En effet, l'évaluation des interventions qui promeuvent un mode de vie actif et sain pour lutter contre l'obésité,

nécessite des outils simples, peu coûteux et fiables pour estimer facilement la composition corporelle et en l'occurrence la masse grasse.

Dans cette étude, nous avons développé un modèle validé pour estimer la composition corporelle (masse maigre, masse grasse) chez les adolescents marocains en utilisant la BIA qui est une technique largement utilisée pour estimer la composition corporelle et particulièrement utile dans les grandes études de population, car elle est rapide, portable, peu coûteuse et non invasive. De nombreuses études transversales ont montré que la BIA prédit l'ECT [Davies et al., 1988 ; Bandini et al., 1997], la masse maigre [Deurenberg et al., 1991 ; Houtkooper et al., 1992] et la masse grasse ou le pourcentage de la graisse corporelle [Houtkooper et al., 1989 ; Young et Sinha, 1992] chez les enfants sains de différents âges. Cependant, il existe plusieurs instruments de BIA et chacun développe ses équations sur une population spécifique. Des études [Fuller et Elia, 1989 ; Okosun et al., 2000] ont montré qu'il existe des différences concernant la composition corporelle qui font qu'on ne peut utiliser un seul modèle pour toutes les populations. Ainsi, il est recommandé de développer un modèle spécifique à chaque groupe ethnique. Les modèles spécifiques estiment des valeurs exactes et précises de la masse maigre et la masse grasse [Rising et al., 1991].

Pour développer un modèle spécifique à l'adolescent marocain, nous avons séparé notre échantillon en deux groupes (prédiction et validation). Cette séparation a été confirmée comme adéquate car il n'y avait pas de différence significative entre le groupe de prédiction et celui de validation.

Le modèle développé dans cette étude pour l'estimation de la masse maigre chez les adolescents marocains a eu le plus grand  $R^2=0.93$  et la plus petite  $SEE=1.89$  kg. Ce modèle incluait l'indice d'impédance ( $Taille^2/Résistance$  à 50 kHz), le poids corporel, l'âge et le genre qui ont été considérés comme étant les meilleurs prédicteurs dans les modèles visant à estimer la masse maigre [Guo et al., 1996 ; Lukaski et al., 1986]. Selon la méthode pas-à-pas et l'analyse de régression linéaire, le stade pubertaire n'était pas significatif ( $p<0.05$ ) pour qu'il soit inclus dans le modèle et donc n'influçait pas la prédiction de la masse maigre, et par conséquent cette variable a été automatiquement exclue de notre modèle.

La comparaison entre la masse maigre prédite par le modèle et celle mesurée par  $D_2O$  n'a montré aucune différence significative. En outre, les analyses de régression linéaire entre les valeurs de la masse maigre estimées par le modèle et par  $D_2O$  ont montré que ce

modèle est juste et estime bien le pourcentage de graisse corporelle chez les adolescents marocains. En plus, il n'y avait pas de différence entre le pourcentage de la graisse corporelle calculée par le modèle et celle mesurée par D<sub>2</sub>O. Cependant, plusieurs études ont montré une faible précision quand des modèles validés sur une population, et utilisés pour prédire la masse grasse sur d'autres populations [Newton et al., 2005].

La procédure de Bland et Altman a été également utilisée pour évaluer les limites de concordance [Bland et Altman, 1986]. Cette procédure a été basée sur la comparaison de deux méthodes (la technique de D<sub>2</sub>O et le modèle) en traçant leur différence contre leur moyenne. La différence de la masse maigre entre ces deux méthodes a révélé un biais ( $0.103 \pm 1.891$  kg de la masse maigre) plus proche de zéro. Cependant les méthodes qui estimaient la valeur réelle seraient susceptibles d'avoir une différence qui est proche ou égale à zéro et d'avoir une petite variation.

Aucun modèle n'a été développé et validé avant, chez ce groupe ethnique d'adolescents, pour estimer la masse maigre et en l'occurrence la masse grasse. Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons développé un modèle précis et fiable en utilisant l'âge, les paramètres anthropométriques, la technique de BIA et D<sub>2</sub>O. Cependant, les modèles spécifiques à une population peuvent surmonter certaines limitations dues aux différences des modes de distribution de la graisse et de la longueur du membre (bras et jambe) [Okosun et al., 2000] entre les groupes ethniques qui pourraient affecter l'exactitude et la précision de la technique de BIA [Fuller et Elia, 1989].

Dans cette étude, nous avons comparé nos données (avec notre modèle) à d'autres données estimées par des modèles développés par d'autres chercheurs [Deurenberg et al., 1991; Houtkooper et al., 1992; De Lorenzo et al., 1998; Cordain et al., 1988; Schaefer et al., 1994]. La masse maigre prédite par notre modèle était significativement différente ( $p < 0.05$ ) de celles déterminées par les autres modèles développées pour d'autres populations d'adolescents. Suite à cette comparaison, nous avons conclu qu'il y a une nécessité de développer un modèle spécifique à la population, car 1) il n'y a pas de modèles, pour estimer la masse maigre, développés et validés chez les adolescents marocains, 2) les modèles qui sont déjà développés pour d'autres populations [Deurenberg et al., 1991; Houtkooper et al., 1992; De Lorenzo et al., 1998; Cordain et al., 1988; Schaefer et al., 1994] prédisent différemment la masse maigre que notre modèle. D'où, la nécessité de développer un modèle spécifique à notre population.

L'échantillon du développement et de la validation du modèle est assez déséquilibré en termes de genre (34 garçons et 109 filles). Ce déséquilibre est dû principalement aux difficultés de recrutement, telles que le refus des parents pour que leurs enfants boivent de l'eau deutérée. Cependant, nous demeurons confiants de la qualité de nos résultats, car la méthode de dilution du D<sub>2</sub>O est précise et peut être effectuée sur un échantillon de petite taille [IAEA, 2010].

En conclusion, cette étude est la première de son genre qui fournit des outils fiables pour l'évaluation du style de vie et de l'impact des interventions qui ont pour objectif de promouvoir un mode de vie sain et réduire l'obésité et les risques liés à la santé chez les personnes jeunes.

Ce modèle précis et fiable sera un outil très pratique aux professionnels de la santé pour 1) définir facilement la composition corporelle à savoir la masse corporelle grasse et musculaire, 2) et évaluer les interventions qui promeuvent un mode de vie actif et sain.

## **Chapitre V**

**Discussion générale et conclusion**

La présente étude est la première, de son genre, qui décrit le style de vie (activité physique et habitudes alimentaires), et fournit des outils validés pour estimer la composition corporelle (masse maigre, masse grasse) chez l'adolescent marocain. En effet, l'évaluation des interventions qui promeuvent un mode de vie actif et sain pour lutter contre l'obésité, nécessite des outils simples, peu coûteux et fiables. Les outils conventionnels qui existent actuellement (IMC, plis cutanés, ...) sont peu précis chez les enfants et les adolescents, particulièrement lorsqu'il s'agit de l'estimation de la composition corporelle et en l'occurrence la masse grasse [Ellis, 2000; Maynard et al., 2001].

### **I- Etude du style de vie des adolescents**

La présente étude a révélé que les filles sont plus à risque de développer des maladies chroniques car elles présentent plus de surpoids et d'obésité et de même l'obésité abdominale que chez les garçons. Plusieurs études ont montré que l'obésité est un facteur réel de risque pour les maladies chroniques en l'occurrence l'hypertension, l'apnée du sommeil, ... [Moran, 1999 ; Cabrinety et Coll., 2002]. Les garçons sont également à risque car ils ont un taux d'hypertension systolique plus élevé que chez les filles.

Les adolescents étudiés présentent un taux d'hypertension diastolique énorme et très alarmant qui peut être expliquée d'une part, par le stress et l'excitation lors de la mesure de la pression artérielle de ces adolescents, d'autre part, par le poids et la surface corporelle élevés chez les garçons, et l'IMC élevé chez les filles. Cependant, la pression artérielle est associée directement avec l'augmentation de l'IMC chez les adolescents [Garnett et Coll., 2007 ; Biro et Coll., 2010]. La relation entre l'hypertension artérielle et les paramètres tels que l'IMC, le poids et la surface corporelle sera bien étudiée chez l'adolescent marocain dans nos prochains papiers scientifiques.

L'IMC élevé chez les filles peut être expliquée d'une part, par la forte proportion d'inactivité physique et plus particulièrement du temps et de la dépense énergétique en activité physique intense qui sont plus faibles que chez les garçons, et d'autre part, par les facteurs physiologiques (hormones), génétiques et nutritionnels. Toutefois, l'activité physique intense insuffisante pourrait être un facteur de risque pour un IMC élevé chez les adolescents (garçons et filles) [Patrick et al., 2004].

Les filles de notre population sont à risque de développer des maladies cardiovasculaires car elles consacrent moins de temps à l'activité physique intense et ne dépensent que la moitié d'énergie en activité physique que chez les garçons. Cependant, les enfants et les

adolescents qui participent à des niveaux plus élevés d'activité physique sont moins susceptibles de développer des facteurs de risque de maladie cardiovasculaire [Boreham et Riddoch, 2001 ; Strong et al., 2005] et plus susceptibles d'avoir des résultats positifs dans la régulation du poids corporel [Gutin et al., 2002 ; Lemura et Maziekas, 2002]. En effet, pour encourager les adolescents à pratiquer plus d'activité physique, il est nécessaire de réaliser des interventions qui ciblent le lycée et organisent des activités matinales.

Les adolescents marocains regardent la télévision (45%) et utilisent l'ordinateur (38%) plus de 2 heures par jour. Ce temps consacré que ce soit à regarder la télévision ou utiliser l'ordinateur, y compris la navigation Internet, semble être un facteur de risque de l'obésité [Crespo et al., 2001] et des maladies associées. En outre, les adolescents étudiés (15%) qui consacrent moins de temps au sommeil (<6.9 h/jour) semblent être à risque accru de surpoids et d'obésité [Al-Hazzaa et al., 2012]. Cependant, une recherche récente suggère une relation entre la durée courte du sommeil et l'obésité [Marshall et al., 2008]. En effet, cette conclusion reste discutable et doit être confirmée statistiquement dans nos prochains papiers scientifiques.

Dans cette étude, la plupart des adolescents semblent être à risque de carence en calcium et peuvent contracter des problèmes de santé car ils ne prennent pas le petit-déjeuner, ni le lait et les produits laitiers de façons journalière. Ces adolescents sont également plus à risque de santé physique et mentale, ... [OMS, 2002] car la plupart ne consomment pas des légumes et fruits de façon journalière. Cependant, la consommation des légumes et fruits est recommandée par l'OMS [WHO, 2004] car ils sont riches en minéraux et vitamines, et apportent peu de calories grâce à leur teneur élevée en eau, et entrent dans la prévention de l'obésité et du diabète [PNNS, 2002]. Les légumes et fruits font partie des habitudes alimentaires saines qui participent à l'amélioration de la santé physique et mentale des individus, et le bien-être [OMS, 2002]. Donc les adolescents de notre population semblent être à risque de développer l'obésité et les maladies associées. Cependant, tous les adolescents étudiés doivent être encouragés pour consommer les légumes et fruits au moins 5 fois par jour [PNNS, 2002] comme facteur protecteur contre l'obésité, le diabète, les maladies cardiovasculaires et les cancers.

Cette étude a aussi montré que la plupart des adolescents ont une mauvaise habitude alimentaire telle que la consommation des beignets, gâteaux, biscuits, bonbons, chocolat et boissons sucrées plus de 3 fois/semaine. Les habitudes alimentaires de ces adolescents étudiés ne semblent donc pas être appropriées pour un mode de vie sain. L'adolescent

marocain semble être à risque de développer des maladies non transmissibles car la mauvaise alimentation est considérée parmi les principales causes des maladies majeures non transmissibles [Khatib, 2004]. L'adolescent marocain doit limiter la prise de tout aliment et repas pouvant causer des complications de santé et le développement de l'obésité qui est considérée un problème inquiétant dans le monde et particulièrement au Maroc.

Le secteur d'enseignement privé n'a pas été inclus dans cette étude. Cette exclusion est due principalement aux difficultés d'accès, et au petit nombre des établissements privés à la ville de Kénitra.

## **II- Estimation de la composition corporelle des adolescents**

Dans la présente étude, nous avons développé un modèle validé pour estimer la composition corporelle (masse maigre et masse grasse) chez les adolescents marocains en utilisant la BIA qui est une technique largement utilisée pour estimer la composition corporelle et particulièrement utile dans les grandes études de population, car elle est rapide, portable, peu coûteuse et non invasive. De nombreuses études transversales ont montré que la BIA prédit l'ECT [Davies et al., 1988 ; Bandini et al., 1997], la masse maigre [Deurenberg et al., 1991 ; Houtkooper et al., 1992] et la masse grasse ou le pourcentage de la graisse corporelle [Houtkooper et al., 1989 ; Young et Sinha, 1992] chez les enfants sains de différents âges. Cependant, il existe plusieurs instruments de la BIA et chacun développe ses modèles sur une population spécifique. Des études [Fuller et Elia, 1989 ; Okosun et al., 2000] ont montré qu'il existe des différences concernant la composition corporelle qui font qu'on ne peut utiliser un seul modèle pour toutes les populations. Ainsi, il est recommandé de développer un modèle spécifique à chaque groupe ethnique. Les modèles spécifiques estiment des valeurs exactes et précises de la masse maigre et la masse grasse [Rising et al., 1991].

Le modèle validé dans cette étude par la technique de référence D<sub>2</sub>O incluait l'indice d'impédance (Taille<sup>2</sup>/Résistance à 50 kHz), le poids corporel, l'âge et le genre qui ont été considérés comme étant les meilleurs prédicteurs dans les modèles visant à estimer la masse maigre [Guo et al., 1996 ; Lukaski et al., 1986].

La comparaison entre la masse maigre prédite par le modèle et celle mesurée par D<sub>2</sub>O n'a montré aucune différence significative. La différence de la masse maigre entre les deux méthodes (la technique de D<sub>2</sub>O et le modèle) a révélé un biais (0.103±1.891 kg de la masse

maigre) plus proche de zéro. Cependant les méthodes qui estimaient la valeur réelle seraient susceptibles d'avoir une différence qui est proche ou égale à zéro et d'avoir une petite variation. Dans le cadre de ce travail de recherche, nous avons développé ce modèle précis et fiable car les modèles spécifiques à une population peuvent surmonter certaines limitations dues aux différences, des modes de distribution de la graisse et de la longueur du membre (bras et jambe) [Okosun et al., 2000] entre les groupes ethniques qui pourraient affecter l'exactitude et la précision de la technique de BIA [Fuller et Elia, 1989].

Dans cette étude, la comparaison de nos données (avec notre modèle) à d'autres données estimées par des modèles développés par d'autres chercheurs [Deurenberg et al., 1991; Houtkooper et al., 1992; De Lorenzo et al., 1998; Cordain et al., 1988 ; Schaefer et al., 1994] nous a permis de conclure qu'il y a une nécessité de développer un modèle spécifique à la population, car 1) il n'y a pas de modèles, pour estimer la masse maigre, développés et validés chez les adolescents marocains, 2) et les modèles qui sont déjà développés pour d'autres populations [Deurenberg et al., 1991; Houtkooper et al., 1992; De Lorenzo et al., 1998; Cordain et al., 1988; Schaefer et al., 1994] prédisent différemment la masse maigre que notre modèle.

L'échantillon du développement et de la validation du modèle est assez déséquilibré en termes de genre (34 garçons et 109 filles). Ce déséquilibre est dû principalement aux difficultés de recrutement, telles que le refus des parents pour que leurs enfants boivent de l'eau deutérée. Cependant, nous demeurons confiants de la qualité de nos résultats, car la méthode de dilution du D<sub>2</sub>O est précise et peut être effectuée sur un échantillon de petite taille [IAEA, 2010].

### **III- Conclusion**

En conclusion, cette étude est la première de son genre qui décrit le style de vie des adolescents marocains et aussi qui fournit des outils fiables pour l'évaluation du style de vie et de l'impact des interventions qui ont pour objectif de promouvoir un mode de vie sain et réduire l'obésité et les risques liés à la santé chez les personnes jeunes.

Il est ressortit de cette étude que :

- Les filles étudiées sont plus à risque de surpoids et d'obésité abdominale que les garçons et sont donc à risque de développer des maladies cardiovasculaires car elles ne consacrent pas assez de temps pour l'activité physique et ne dépensent pas assez d'énergie ;

- Les habitudes alimentaires des adolescents étudiés ne semblent pas être appropriées pour un mode de vie sain.

Des interventions scolaires et communautaires seront nécessaires à développer pour promouvoir l'activité physique et une bonne alimentation chez les adolescents marocains. Concernant la promotion de l'activité physique, ces interventions doivent cibler le lycée et organiser des activités matinales. Cependant, il est recommandé de faire un échantillon plus large pour en tirer des conclusions définitives.

Par ailleurs, nous avons développé un modèle fiable qui sera un outil très pratique aux professionnels de la santé pour définir facilement la composition corporelle (masse corporelle grasse et musculaire) des adolescents et évaluer ces interventions.

Perspectives

Plusieurs travaux de recherche sont en cours au sein de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation, comme par exemple l'évaluation de l'activité physique en utilisant la technique de l'eau doublement marquée, et l'évaluation de l'état nutritionnel chez les enfants.

### **I- Etude du style de vie des adolescents**

Cette étude doit être complétée par :

- Une large étude représentative pour faire des conclusions définitives sur le style de vie des adolescents marocains ;
- Une validation du questionnaire utilisé pour évaluer le style de vie des adolescents marocains contre la méthode de l'eau doublement marquée ;
- Une large mesure de la pression diastolique chez la population étudiée parce que les valeurs rencontrées dans cette études sont alarmantes.

### **II- Etude de l'estimation de la composition corporelle des adolescents**

Cette étude doit être complétée par :

- Une évaluation des interventions en utilisant les outils développés pour la promotion de la vie active et les habitudes alimentaires saines chez l'adolescent marocain ;
- Un développement d'un modèle spécifique aux personnes âgées ;
- Un développement d'un modèle spécifique aux personnes atteintes de maladies chroniques et de cancer, etc.

## Références bibliographiques

- Ainsworth B, Haskell W, Whitt M, et al. (2000)  
Compendium of physical activity: an update of activity codes and MET intensities.  
Med Sci Sports Exerc, 32 (suppl): S 498-S 516.
- Al-Ahmadi M, Al-Hazzaa HM. (2004)  
Validity of a self-reported questionnaire for youth 15-25 years: Comparison with accelerometer, pedometer and heart rate telemetry.  
Saudi Sports Medicine Journal, 7: 2-14.
- Al-Hazzaa HM. (1997)  
Pediatric Exercise Physiology.  
Riyadh (KSA): Saudi Sports Medicine Association.
- Al-Hazzaa HM, Al-Ahmadi M. (2003)  
A Self-reported questionnaire for the assessment of physical activity in youth 15-25 years: Development, reliability and construct validity.  
Arab J of Food & Nutrition, 4 (8): 279-291.
- Al-Hazzaa HM, Musaiger AO, Abahussain NA, et al. (2012)  
Prevalence of short sleep duration and its association with obesity among adolescents 15- to 19-year olds: A cross-sectional study from three major cities in Saudi Arabia.  
Annals of Thoracic Medicine, Vol 7, Issue 3: 133-39.
- Al-Hazzaa HM, Musaiger AO, ATLS Research Group. (2011)  
Arab Teens Lifestyle Study (ATLS): objectives, design, methodology and implications. Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy, 4 : 417-426.
- Al-Shayji IA, Akanji AO. (2004)  
Obesity indices and major component of metabolic syndrome in young adult Arab subjects.  
Ann Nutr Metab, 48: 1-7.
- American Academy of Pediatrics. (2001)  
Committee on Public Education. American Academy of Pediatrics: Children, adolescents, and television.  
Pediatrics, 107: 423-426.
- Bandini LG, Vu DM, Must A, et al. (1997)  
Body fatness and bioelectrical impedance in non-obese pre-menarcheal girls: comparison to anthropometry and evaluation of predictive equations.  
Eur J Clin Nutr, 51: 673-677.
- Barbe P, Ritz P. (2005)  
Composition corporelle.  
Cah Nutr Diét, 40-3.
- Barbe P. (2001)  
Les compartiments corporels.  
Traité de nutrition Flammarion.
- Bertrais S, Beyeme-Ondoua JP, Czernichow S, et al. (2005)  
Sedentary behaviours, physical activity, and metabolic syndrome in middle-aged French subjects.  
Obes Res, 13: 936-44.
- Bertrais S, Preziosi P, Mennen L, et al. (2004)  
Sociodemographic and geographic correlates of meeting current recommendations for physical activity in middle-aged French adults: the supplementation in vitamins and mineral antioxidant (SUVIMAX) Study.  
Am J Public Health, 94: 1560-6.
- Biddle S, Sallis J, Cavill N. (1998)  
Young and Active?  
London (UK): Health Education Authority, 1-16.
- Biro FM, Huang B, Morrison JA, et al. (2010)  
Body mass index and waist-to-height changes during teen years in girls are influenced by childhood body mass index.  
Journal of Adolescent Health, 46: 245-250.

- Bland JM, Altman DG. (1986)  
Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.  
Lancet, 1: 307-310.
- Booth SL, Sallis JF, Ritenbaugh C, et al. (2001)  
Environmental and societal factors affect food choice and physical activity: rationale, influences, and leverage points.  
Nutrition reviews, 59 (n°3 Pt 2): S21-39, discussion S57-65.
- Boreham C, Riddoch C. (2001)  
The physical activity, fitness and health of children.  
J Sports Sci, 19: 915-29.
- Boulier A. (1992)  
La composition corporelle de l'homme : méthodes de mesure et résultats.  
Cah Nutr Diét, 27.
- Cabrinely N, Pisonero MJ., Ajram J, et al. (2002)  
Lipoprotein (a) in obese children with a family history of cardiovascular disease.  
J Pediatr Endocrinol Metab, 15: 77-80.
- Caspersen C, Merritt R, Stephens T. (1994)  
International physical activity patterns: A methodological perspective.  
In: Dishman, R, editor. Advances in Exercise Adherence.  
Champaign, IL: Human Kinetics, 73-110.
- Caspersen C, Powell K, Christenson G. (1985)  
Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health related research.  
Public Health Rep, 100: 126-131.
- Cavill N, Kahlmeier S, Racioppi F, et al. (2006)  
Activité physique et santé : des faits à l'action.  
Copenhague, Bureau régional de l'OMS pour l'Europe.
- CEN (Collège des Enseignants de Nutrition). (2010)  
Enseignement du 2<sup>ème</sup> Cycle, polycopie nationale (Alimentation et besoins nutritionnels).  
Université Médicale Virtuelle Francophone, 2010-2011.
- Chandra S, Kable EPW, Morrison GH et al. (1991)  
Calcium sequestration in the Golgi apparatus of cultured mammalian cells revealed by laser scanning confocal microscopy and ion microscopy.  
J Cell Sci, 100: 747-752.
- Chen MY, Wang EK, Jeng YJ. (2006)  
Adequate sleep among adolescents is positively associated with health status and health-related behaviors.  
BMC Public Health, 6:59.
- Cohn SH, Vaswani AN, Yasumura S, et al. (1984)  
Improved models for determination of body fat by in vivo neutron activation.  
Am J Clin Nutr, 40: 255-59.
- Cole KS. (1941)  
Dispersion and absorption in dielectrics. I. Alternating current characteristics.  
J Chem Phys, 9: 341-951.
- Cole T, Bellizzi M, Flegal K, et al. (2000)  
Establishing a standard definition of child overweight and obesity worldwide: International survey.  
Brit Med J, 320: 1-6.
- Cordain L, Whicker RE, Johnson JE. (1988)  
Body composition determination in children using bioelectrical impedance.  
Growth Dev Aging, 52: 37-40.
- Cornish BH, Ward LC, Thomas BJ, et al. (1996)  
Evaluation of multiple frequency bioelectrical impedance and Cole- Cole analysis for the assessment of body water volumes in healthy humans.

- Eur J Clin Nutr, 50: 159-64.
- Couet C. (2001)  
Exploration de l'état nutritionnel.  
Traité de nutrition clinique, 323-336.
- Crespo CJ, Smit E, Troiano RP, et al. (2001)  
Television Watching, Energy Intake, and Obesity in US Children. Result from the third national health and nutrition examination survey, 1988-1994.  
Arch Pediatr Adolesc Med, 155: 360-365.
- Dahl RE, Lewin DS. (2002)  
Pathways to adolescent health sleep regulation and behavior.  
J Adolesc Health, 31 (6 Suppl): 175-84.
- Davies PSW, Preece MA, Hicks CJ, et al. (1988)  
The prediction of total body water using bioelectrical impedance analysis in children and adolescents.  
Ann Hum Biol, 15: 237-240.
- De Lorenzo A, Andreoli A, Matthie J, et al. (1997)  
Predicting body cell mass with bioimpedance by using theoretical methods: a technological review.  
J Appl Physiol, 85: 1542-58.
- De Lorenzo A, SP Sorge, Iacopino L, et al. (1998)  
Fat-Free Mass by bioelectrical impedance vs dual-energy x-ray absorptiometry (DXA).  
Appl Radiat Isot, 49: 739-741.
- Deurenberg P, Andreoli A, de Lorenzo A. (1996)  
Multi-frequency bioelectrical impedance: a comparison between the Cole- Cole modelling and Hanai equations with the classical impedance index approach.  
Ann Hum Biol, 23: 31-40.
- Deurenberg P., Deurenberg-Yap M., Guricci S. (2002)  
Asians are different from caucasians and from each other in their body mass index/body fat per cent relationship.  
Obesity Review, 3: 141-146.
- Deurenberg P, Van Der Kooy K, Leenen R, et al. (1991)  
Sex and age specific prediction formulas for estimating body composition from bioelectrical impedance: a crossvalidation study.  
Int J Obes, 15: 17-25.
- Dietz WH. (1996)  
The role of lifestyle in health: the epidemiology and consequences of inactivity.  
Proc Nutr Soc, 55: 829-40.
- DuBois D, DuBois EF. (1916)  
A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known.  
Arch Intern Medicine, 17: 863-71.
- Duke PM, Litt IF, Gross RT. (1980)  
Adolescents' self-assessment of sexual maturation.  
Pediatrics, 66: 918-920.
- Durnin JVGA. et Womersley J. (1974)  
Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness : measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years.  
British Journal of Nutrition, 32: 77-97.
- Ekelund U, Brage S, Froberg K, et al. (2006)  
TV viewing and physical activity are independently associated with metabolic risk in children: The European Youth Heart Study.  
PLoS Med, 5(12): e488.
- Ellis KJ. (2000)  
Human Body Composition: In Vivo Methods.  
Physiological Reviews, 80 (2).

- Ellis KJ, Wong WW. (1998)  
Human hydrometry: comparison of multifrequency bioelectrical impedance with  $^2\text{H}_2\text{O}$  and bromine dilution.  
J Appl Physiol, 85: 1056-62.
- Figard-fabre H. (2005)  
Composition corporelle.  
CM physio L1.
- Forbes GB. (1985)  
Body composition as affected by physical activity and nutrition.  
PubMed, 44(2):343-7.
- Franco C, Johannsson G, Bengtsson BA, et al. (2006)  
Baseline characteristics and effects of growth hormone therapy over two years in younger and elderly adults with adult onset GH deficiency.  
Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism.
- Fuller NJ, Elia M. (1989)  
Potential use of bioelectrical impedance of the 'whole body' and of body segments for the assessment of body composition: comparison with densitometry and anthropometry.  
Eur J Clin Nutr, 43(11): 779-791.
- Garnett SP, Baur LA, Srinivasan S, et al. (2007)  
Body mass index and waist circumference in midchildhood and adverse cardiovascular disease risk clustering in adolescence.  
American Journal of Clinical Nutrition, 86: 549-555.
- Gordon-Larsen P, McMurray RG, Popkin BM. (2000)  
Determinants of adolescent physical activity and inactivity patterns.  
Pediatrics, 105 (6): E83.
- Gudivaka R, Schoeller DA, Kushner RF, et al. (1999)  
Single- and multifrequency models for bioelectrical impedance analysis of body water compartments.  
J Appl Physiol, 87: 1087-96.
- Guo SS, Chumlea WC, Cockram DB. (1996)  
Use of statistical methods to estimate body composition.  
Am J Clin Nutr, 64(3): 428S-435S.
- Gutin B, Barbeau P, Owens S, et al. (2002)  
Effects of exercise intensity on cardiovascular fitness, total body composition, and visceral adiposity of obese adolescents.  
Am J Clin Nutr, 75: 818-26.
- Hanai T. (1968)  
Electrical properties of emulsions.  
In: Sherman PH, editor. Emulsion science.  
UK: Academic, 354-477.
- Hannan WJ, Cowen SJ, Fearson KCH, et al. (1994)  
Evaluation of multi-frequency bioimpedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients.  
Clin Sci, 86: 479-85.
- Hannan WJ, Cowen SJ, Plester CE, et al. (1995)  
Comparison of bio-impedance spectroscopy and multifrequency bio-impedance analysis for the assessment of extracellular and total body water in surgical patients.  
Clin Sci, 89: 651-8.
- Harris JA, Benedict FG. (1919)  
A biometric study of basal metabolism in man.  
Washington, DC: Carnegie Institute of Washington; Publ. n°279.
- Hermann L. (1871)  
Ueber eine Wirking galvanischer Strome auf Muskeln und Nerven.

- Pflugers Arch gesamte Physiol, 5: 223-75.
- Heymesfield SB, Lohman TG, Wang Z, et al. (2005)  
Human body composition.  
2<sup>nd</sup> ed, USA. [ISBN 0-7360-4655-0].
- Houtkooper L, Going SB, Lohman TG, et al. (1992)  
Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study.  
J Appl Physiol, 72: 366- 373.
- Houtkooper L, Lohman TG, Going SB, et al. (1989)  
Validity of bioelectric impedance for body composition assessment in children.  
J Appl Physiol, 66: 814-821.
- IAEA (International Atomic Energy Agency). (2010)  
IAEA human health series no. 12. Introduction to body composition assessment using the deuterium dilution technique with analysis of saliva samples by Fourier Transform Infrared Spectrometry. IAEA publication, Vienna, [ISBN 978-92-0-103210-2].
- INPES (Institut national de prévention et d'éducation pour la santé). (2011)  
Promouvoir l'activité physique des jeunes.  
Élaborer et développer un projet de type Icaps. Saint-Denis : Inpes, coll. Santé en action, 188 pages. [ISBN 978-2-9161-9227-7].
- Jackson AS, Pollock ML. (1985)  
Practical assessment of body composition.  
Phys Sport Med, 13: 76-90.
- Jebb SA, Cole TJ, Doman D, et al. (2000)  
Evaluation of the novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model.  
Brit J Nutr, 83: 115-22.
- Jennings G, Bluck L, Wright A, et al. (1999)  
The Use of Infrared Spectrophotometry for Measuring Body Water Spaces.  
Clin Chem, 45: 1077-1081.
- Khaled MA, Kabir I, Goran MI, et al. (1997)  
Bioelectrical impedance measurements at various frequencies to estimate human body compositions.  
Indian J Exp Biol, 35(2): 159-61.
- Khatib O. (2004)  
Noncommunicable diseases: risk factors and regional strategies for prevention and care.  
Eastern Mediterranean Health J, 10: 778-788.
- Kyle UG, Bosaeus I, De Lorenzo AD, et al. (2004)  
Composition of the ESPEN Working Group. Bioelectrical impedance analysis-part I: review of principles and methods.  
Clinical Nutrition, 23: 1226-1243.
- Kyle UG, Genton LC, Slosman DO, et al. (2001)  
Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years.  
European Journal of Clinical Nutrition, 17: 534-541.
- Laville M. (2008)  
Composantes de la dépense énergétique. Service d'endocrinologie, diabétologie, nutrition, hôpital Édouard-Herriot, place d'Arsonval, Lyon.  
Centre de recherche en nutrition humaine Rhône-Alpes, France.
- Leermakers EA, Dunn AL, Blair SN. (2000)  
Exercise management of obesity.  
Med Clin North Am, 84: 419-40.
- Lemura LM, Maziakas MT. (2002)  
Factors that alter body fat, body mass, and fat-free mass in pediatric obesity.  
Med Sci Sports Exerc, 34: 487-96.

- Lilienthal HB et Garby L. (2002)  
Composition (lean and fat tissue) of weight changes in adult Danes.  
*American Journal of Clinical Nutrition*, 75: 840-847.
- Lobstein T, Baur L, Uauy R. (2004)  
IASO International Obesity Task Force: Obesity in children and young people: a crisis in public health.  
*Obes Rev*, Suppl 1: 4-104.
- Lohman TG. (1986)  
Applicability of body composition techniques and constants for children and youths.  
In: Pandolf KB (ed). *Exercise and Sports Science Reviews*.  
MacMillan: New York, 325-357.
- Lohman TG. (1992)  
Estimating body composition in children and the elderly, *Advances in Body Composition Assessment*.  
In: Lohman TG (ed). *Current Issues in Exercise Science, Monograph 3*.  
*Human Kinetics: Champaign, IL*, 65-77.
- Lohman TG, Roche AF. (1988)  
RM: Anthropometric standardization reference manual.  
Champaign, IL: Human Kinetics, 177.
- Loucaides CA, Jago R, Theophanous M. (2011)  
Physical activity and sedentary behaviours in Greek-Cypriot children and adolescents: a cross-sectional study.  
*Int J Behav Nutr Phys Act*, 8: 90.
- Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, et al. (1986)  
Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition.  
*J Appl Physiol*, 60(4): 1327-1332.
- Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, et al. (1985)  
Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body.  
*Am J Clin Nutr*, 41(4): 810-817.
- Marshall NS, Glozier N, Grunstein RR. (2008)  
Is sleep duration related to obesity? A critical review of the epidemiological evidence.  
*Sleep Med Rev*, 12: 289-298.
- Maroc. (2012)  
Carte du Maroc  
<http://www.tinghironline.com/fr-carte-Maroc.htm>  
Site visité le 22/04/2012.
- Maynard LM, Wisemandle W, Roche AF, et al. (2001)  
Childhood body composition in relation to body mass index.  
*Pediatrics*, 107: 344-350.
- McCarthy HD, Ashwell M. (2006)  
A study of central fatness using waist-to-height ratios in UK children and adolescents over two decades supports the simple message 'keep your waist circumference to less than half your height'.  
*Int J Obes (Lond)*, 30: 988-92.
- Montoye HJ, Kemper HCG, Saris WHM, et al. (1996)  
Measuring physical activity and energy expenditure.  
Champaign IL: Human Kinetics.
- Moran R. (1999)  
Evaluation and treatment of childhood obesity.  
*Am Fam Physician*, 59: 861-8.
- Newton Jr RL, Alfonso A, White MA, et al. (2005)  
Percent body fat measured by BIA and DEXA in obese, African-American adolescent girls.  
*Int J Obes*, 29: 594-602.
- NIH (National Institutes of Health Technology Assessment Conference Statement). (1994)  
Bioelectrical Impedance Analysis in Body Composition Measurement. Dec 12-14; 1-35.

- Okosun IS, Tedders SH, Choi S, et al. (2000)  
Abdominal adiposity values associated with established body mass indexes in white, black and hispanic Americans. A study from the Third National Health and Nutrition Examination Survey. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 24(10): 1279-1285.
- Olde Rikkert MGM, Deurenberg P, Jansen RWMM, et al. (1997)  
Validation of multifrequency bioelectrical impedance analysis in detecting changes in geriatric patients. *J Am Geriatr Soc*, 45: 1345-51.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2000)  
International Association for the Study of Obesity et International Obesity TaskForce. The Asia-Pacific Perspective: Redefining Obesity and its Treatment. Melbourne: Health Communications.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2002)  
Réduire les risques et promouvoir une vie saine. Rapport sur la santé dans le monde. Genève, OMS.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2007)  
Courbes de croissance chez les enfants et les adolescents de 5-19 ans. ([http://www.who.int/growthref/who2007\\_bmi\\_for\\_age/en/](http://www.who.int/growthref/who2007_bmi_for_age/en/)).
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2009)  
Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. Genève, OMS.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2010)  
Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé.
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé). (2010a)  
Ensemble de recommandations sur la commercialisation des aliments et des boissons non alcoolisées destinés aux enfants.
- Oppert JM. (2001)  
Mesure des dépenses énergétiques et de l'activité physique. In: Basdevant A, Laville M, Lerebours E, editors. *Traité de Nutrition Clinique*. Paris: Flammarion Médecine-Sciences, 337-43.
- Oppert JM. (2006)  
Méthodes d'évaluation de l'activité physique habituelle et obésité. *Science & Sports*, 21:80-84.
- Organ LW, Bradham GB, Gore DT, et al. (1994)  
Segmental bioelectrical impedance analysis: theory and application of a new technique. *J Appl Physiol*, 77: 98-112.
- Ortiz O, Russell M, Daley T, et al. (1992)  
Differences in skeletal muscle and bone mineral mass between black and white females and their relevance to estimates of body composition. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55: 8-13.
- Patel RV, Peterson EL, Silverman N, et al. (1994)  
Estimation of total body and extracellular water using single- and multiple-frequency bioimpedance. *Ann Pharmacother*, 28: 565-9.
- Patrick K, Norman G, Calfas K, et al. (2004)  
Diet, physical activity and sedentary behaviors as risk factors for overweight in adolescence. *Arch Pediatr Adolesc Med*, 158: 385-390.
- PNNS (Programme National Nutrition-Santé). (2002)  
La santé vient en mangeant. Le guide alimentaire pour tous. Fabrègue, ZA du Bois Joly, Saint-Yrieix-la-Perche Neuvième impression.
- Profil Nutritionnel du Maroc. (2011)  
Division de la nutrition et de la protection des consommateurs, FAO.
- Rampersaud GC, Pereira MA, Girard BL, et al. (2005)

- Breakfast habits, nutritional status, body weight, and academic performance in children and adolescents.  
J Am Diet Assoc, 105: 743-760.
- Ravussin E, Lillioja S, Anderson T. (1986)  
Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber.  
J Clin Invest, 78:1568-78.
- Reilly JJ, Methven E, McDowell ZC, et al. (2003)  
Health consequences of obesity.  
Arch Dis Child, 88: 748-752.
- Ridley K, Ainsworth B, Olds T. (2008)  
Development of a compendium of energy expenditure for youth.  
Int J Behav Nutr Phys Act, 5: 45.
- Rising R, Swinburn B, Larson K, et al. (1991)  
Body composition in Pima Indians: validation of bioelectrical resistance.  
Am J Clin Nutr, 53(3): 594-598.
- Ritz P. (2006)  
Modifications de la composition corporelle au cours du vieillissement.  
INSERM et CHU, Angers, 2006.
- Ritz P, Coward WA. (1995)  
Doubly labelled water measurement of total energy expenditure.  
Diabete Metab, 21:241-51.
- Roubenoff R. (1997)  
Inflammatory and hormonal mediators of cachexia.  
J Nutr, 127(5 Suppl): 1014S-1016S.
- Schaefer F, Georgi M, Zieger A, et al. (1994)  
Usefulness of bioelectric impedance and skinfold measurements in predicting fat-free mass derived from total body potassium in children.  
Pediatr Res, 35: 617-24.
- Scheltinga MR, Jacobs DO, Kimbrough TD, et al. (1992)  
Identifying body fluid distribution by measuring electrical impedance.  
J Trauma, 33: 665-70.
- Schutte J, Townsend E, Hugg J, et al. (1984).  
Density of lean body mass is greater in blacks than in whites.  
Journal of Applied Physiology, vol. 56: 1647-1649.
- Siri WE. (1956)  
The gross composition of the body.  
Advances in biological and medical physics, 4: 239-280.
- Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, et al. (1988)  
Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry.  
Am J Clin Nutr, 48: 552-9.
- Strong WB, Malina RM, Blimkie CJ, et al. (2005)  
Evidence based physical activity for school-age youth.  
The Journal of Pediatrics, 146 (6): 732-737.
- Thivolet C. (Sept, 1999)  
Endocrinologie : Fonction Thyroïdienne et explorations fonctionnelles.  
Faculté RTH Laënez.
- Tremblay MS, Warburton DE, Janssen I, et al. (2011)  
New Canadian physical activity guidelines.  
Appl Physiol Nutr Metab, 36: 36-46; 47-58.
- US DHHS (US Department of Health and Human Services). (1996)

- Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General.  
Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention (CDC), National Centers for Chronic Disease Prevention and Health Promotion.
- US DHHS (US Department of Health and Human Services). (1997)  
Guidelines for school and community programs to promote lifelong physical activity among young people.  
Morbidity and Mortality Weekly Report, 46: 1-36.
- US DHHS (US Department of Health and Human Service). (2008)  
Physical Activity Guidelines Advisory Committee Report.  
Washington DC: US Department of Health and Human Services, 688.
- Utter AC, Nieman DC, Ward AN, et al. (1999)  
Use of the leg-to-leg bioelectrical impedance method in assessing body-composition change in obese women.  
Am J Clin Nutr, 69: 603-7.
- Van Loan MD, Kopp LE, King JC, et al. (1995)  
Fluid changes during pregnancy: use of bioimpedance spectroscopy.  
J Appl Physiol, 78: 1037-42.
- Vivian H, Heyward, Dale R, et al. (2004)  
Applied body composition assessment.  
2<sup>nd</sup> edition, Human Kinetics, [ISBN 0-7360-4630-5].
- Vuillemin A, Denis G, Guillemin F, et al. (1998)  
A review of evaluation questionnaires for physical activity.  
Rev Epidemiol Santé Publique, 46:49-55.
- Wabitsch M, Hauner H, Heinze E, et al. (1994)  
Body-fat distribution and changes in the atherogenic risk-factor profile in obese adolescent girls during weight reduction.  
Am J Clin Nutr, 60: 54-60.
- Wardle J, Brodersen NH, Cole TJ, et al. (2006)  
Development of adiposity in adolescence: five year longitudinal study of an ethnically and socioeconomically diverse sample of young people in Britain.  
British Medical Journal, 332: 1130-1135.
- Westerterp KR. (1999)  
Physical activity assessment with accelerometers.  
Int J Obes Relat Metab Disord, 23(Suppl 3): S45-9.
- WHO (World Health Organization). (2000)  
Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic.  
Report of WHO Consultation on Obesity.  
Geneva, Switzerland: WHO.
- WHO (World Health Organization (WHO). (2004)  
Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health.  
57<sup>th</sup> World Health Assembly, WHA57.17. Geneva: WHO.
- Wright N, Renault J, Willi S, et al. (1995)  
Greater secretion of growth hormone in black than in white men: possible factor in greater bone mineral density-a clinical research center study.  
Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 80: 2291-2297.
- Young RE, Sinha DP. (1992)  
Bioelectrical-impedance analysis as a measure of body composition in a West Indian population.  
Am J Clin Nutr, 55: 1045-1050.
- Zhu F, Schneditz D, Levin NW. (1999)  
Sum of segmental bioimpedance analysis during ultrafiltration and hemodialysis reduces sensitivity to changes in body position.  
Kidney Int, 56: 692-9.

## Liste des tableaux

**Tableau I-1 :** Méthodes de mesure des compartiments corporels

**Page 9**

**Tableau I-2 :** Dénutrition en fonction de l'indice de masse corporelle

**Page 10**

**Tableau I-3 :** Constantes M et C de l'équation de Durnin et Wormersley

**Page 13**

**Tableau I-4 :** Équivalences approximatives entre nombre de pas par jour et durée d'activité physique modérée

**Page 26**

**Tableau II-1 :** Contexte des deux études faites à Kénitra et à Rabat

**Page 37**

**Tableau II-2 :** Hydratation de la masse maigre (%masse maigre) selon l'âge et le genre

**Page 48**

**Tableau III-1 :** Age et caractéristiques anthropométriques des adolescents par genre

**Page 52**

**Tableau III-2 :** Temps consacré à l'activité physique des adolescents par genre

**Page 55**

**Tableau III-3 :** Energie dépensée en activité physique chez les adolescents par genre

**Page 57**

**Tableau IV-1 :** Age et caractéristiques anthropométriques chez les adolescents par genre et par groupe

**Page 71**

**Tableau IV-2 :** Composition corporelle par la technique de D<sub>2</sub>O des adolescents par genre et par groupe

**Page 71**

**Tableau IV-3 :** Composition corporelle par la technique d'impédance bioélectrique des adolescents par genre et par groupe

**Page 72**

**Tableau IV-4 :** Stade pubertaire des adolescents par genre et par groupe

**Page 72**

**Tableau IV-5 :** Modèle développé à partir du sous-échantillon de prédiction (n=71) des adolescents

**Page 73**

**Tableau IV-6 :** Composition corporelle des adolescents par la dilution d'oxyde de deutérium et par le modèle

**Page 74**

**Tableau IV-7 :** Comparaison de notre modèle à d'autres modèles développés pour les adolescents et appliqués dans nos données

**Page 75**

## Liste des figures

**Figure 1-1 :** Modèles à 2- et à multi-compartiments corporels  
**Page 9**

**Figure 1-2 :** Courbes d'IMC-pour-âge pour définir les indices d'obésité chez l'enfant et l'adolescent (5-19 ans)  
**Page 11**

**Figure 1-3 :** Mesure des plis cutanés. A : biceps, B : triceps, C : sous-scapulaire, D : supraïliaque, E : abdominal, F : cuisse  
**Page 11**

**Figure 1-4 :** Compas pour la mesure des plis cutanés  
**Page 12**

**Figure 1-5 :** Emplacement standard des électrodes pour l'impédance bioélectrique monofréquence tétrapolaire et multifréquence  
**Page 15**

**Figure 1-6 :** Absorptiométrie biphotonique à rayons X  
**Page 16**

**Figure 1-7 :** Pesage dans l'eau  
**Page 17**

**Figure 1-8 :** Pléthysmographie (système de Bod Pod à deux chambre)  
**Page 18**

**Figure 1-9 :** Estimation de l'ECT par dilution de l'oxyde de deutérium  
**Page 19**

**Figure 1-10 :** Diagramme schématique de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier  
**Page 19**

**Figure 1-11 :** Podomètre  
**Page 26**

**Figure 1-12 :** Accéléromètre  
**Page 27**

**Figure 1-13 :** Cardiofréquencemètre  
**Page 28**

**Figure 1-14 :** Variations de l'activité physique, d'après Booth  
**Page 30**

**Figure 2-1 :** Pays participants dans le projet ATLS  
**Page 38**

**Figure 2-2 :** Villes de Kénitra et Rabat  
**Page 38**

**Figure 2-3 :** Equipe de recherche de l'Unité Mixte de Recherche en Nutrition et Alimentation  
**Page 39**

**Figure 2-4 :** Quelques élèves de la population étudiée  
**Page 39**

**Figure 2-5 :** Mesure de taille à l'aide d'une toise mécanique  
**Page 40**

**Figure 2-6 :** Mesure du tour de taille à l'aide d'un ruban-mètre  
**Page 41**

**Figure 2-7 :** Mesure du tour de hanche à l'aide d'un ruban-mètre  
**Page 41**

**Figure 2-8 :** Mesure de la composition corporelle par l'impédance bioélectrique  
**Page 44**

**Figure 2-9 :** Balance de précision  
**Page 45**

**Figure 2-10 :** Collecte des échantillons de salive  
**Page 46**

**Figure 2-11 :** Analyse d'enrichissement de deutérium par la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier  
**Page 47**

**Figure 2-12 :** Remplissage de la cellule de la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier  
**Page 47**

**Figure 3-1** : Prévalence de surpoids et d'obésité chez les adolescents

**Page 52**

**Figure 3-2** : Taux d'hypertension systolique et diastolique chez les adolescents

**Page 53**

**Figure 3-3** : Fréquence de la pratique d'activité physique modérée chez les adolescents

**Page 54**

**Figure 3-4** : Fréquence de la pratique d'activité physique intense chez les adolescents

**Page 54**

**Figure 3-5** : Durée consacrée à l'activité physique totale chez les adolescents

**Page 55**

**Figure 3-6** : Durée consacrée à l'activité physique modérée chez les adolescents

**Page 56**

**Figure 3-7** : Durée consacrée à l'activité physique intense chez les adolescents

**Page 56**

**Figure 3-8** : Lieux de pratique d'activité physique chez les adolescents

**Page 57**

**Figure 3-9** : Accompagnement à la pratique d'activité physique chez les adolescents

**Page 58**

**Figure 3-10** : Période de pratique d'activité physique chez les adolescents

**Page 58**

**Figure 3-11** : Raisons derrière la pratique d'activité physique chez les adolescents

**Page 59**

**Figure 3-12** : Taux d'adolescents inactifs

**Page 59**

**Figure 3-13** : Temps consacré à regarder la télévision chez les adolescents

**Page 60**

**Figure 3-14** : Temps consacré à utiliser l'ordinateur chez les adolescents

**Page 60**

**Figure 3-15** : Durée de sommeil chez les adolescents

**Page 61**

**Figure 3-16** : Habitudes alimentaires saines (1 fois/jour) chez les adolescents

**Page 62**

**Figure 3-17** : Mauvaises habitudes alimentaires (plus de 3 fois/semaine) chez les adolescents

**Page 62**

**Figure 4-1** : A- Masse maigre (MM) par l'oxyde de deutérium (D<sub>2</sub>O) tracée contre celle par le modèle appliqué dans l'échantillon de validation. B- Analyse de Bland et Altman de la différence entre la MM par D<sub>2</sub>O et par le modèle tracée contre leur moyenne

**Page 74**

Liste des publications et des  
communications

### **Articles publiés**

- Hamrani A, Belghiti H, El Kari K, Barkat A, Aguenou H, Mokhtar N (2012)  
Fat-free mass prediction equation for Moroccan women in the 1<sup>st</sup> trimester of pregnancy using bioelectrical impedance analysis and deuterium oxide dilution.  
International Journal of Body Composition Research, 2012; 10 (1): 15-20.
- Hamrani A, El Kari K, Mehdad S, El Hamdouchi A, El Mzibri M, Barkat A, Aguenou H, Mokhtar N (2012)  
Fat-free mass prediction model for Moroccan adolescents by bioelectrical impedance analysis and deuterium oxide dilution as a reference.  
International Journal of Body Composition Research, 2012; 10(4): 107-114.
- Hamrani A, Mehdad S, El Kari K, El Hamdouchi A, Barkat A, Belghiti H, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N, Aguenou H (2013)  
Prevalence of metabolic syndrome and its individual components among Moroccan adolescents: the role of overweight - obesity and excess body fat.  
J Metabolic Syndr, 2013; 2(2): 129, doi:10.4172/2167-0943.1000129.
- Hamrani A, Mehdad S, El Kari K, El Hamdouchi A, El Menchaoui I, Belghiti H, El Mzibri M, Musaiger AO, Al-Hazzaa HM, Hills AP, Mokhtar N, Aguenou H (2013)  
Physical activity and dietary habits among Moroccan adolescents.  
Public Health Nutrition. PHN-2013-006887.
- Mehdad S, Hamrani A, El Kari K, El Hamdouchi A, Barkat A, El Mzibri M, Mokhtar N, Aguenou H (2012)  
Body Mass Index, Waist Circumference, Body Fat, Fasting Blood Glucose in a Sample of Moroccan Adolescents Aged 11–17 Years.  
Journal of Nutrition and Metabolism, 7 pages, doi:10.1155/2012/510458.
- Mehdad S, Hamrani A, El Kari K, El Hamdouchi A, El Mzibri M, Barkat A, Aguenou H, Mokhtar N (2013)  
Prevalence of elevated blood pressure and its relationship with fat mass, body mass index and waist circumference among a group of Moroccan overweight adolescents.  
Obesity Research & Clinical Practice, 2013; 7:e284-e289
- Mehdad S, Hamrani A, Belghiti H, Barkat A, Azelaf M, El Manchawy I, El Kari K, El Hamdouchi A, El Haloui N, El Mzibri M, Mokhtar N, Aguenou H (2013)  
Risk factors for anemia among adolescents aged 11-17 years: Overweight, excess body fat and socio-demographic factors.  
Nutrition Research, 2013; 13-60.
- N'Go PK, Azzaoui F-Z, Ahami AOT, Aboussaleh Y, Lachheb A, Hamrani A (2012)  
Socioeconomics, environments and nutritional factors in low school performance: case of schoolchildren living in Soubre cocoa area (Ivory Coast).  
ANTROPOS, 2012.

### **Articles en cours de soumission**

- Hamrani A, Mehdad S, El Kari K, El Hamdouchi A, El Menchaoui I, Musaiger AO, Al-Hazzaa HM, Mokhtar N, Aguenou H (2014)  
The lifestyle factors associated with obesity among Moroccan adolescents.
- Mehdad S, Hamrani A, El Kari K, El Hamdouchi A, El Menchaoui I, Musaiger AO, Al-Hazzaa HM, Mokhtar N, Aguenou H (2014)  
Factors associated with sleep duration among Moroccan adolescents.

### ***Communications orales ou affichées***

Hamrani A, Mehdad S, El Kari K, El Hamdouchi A, El Mzibri M, Belghiti H, Aguenou H, Mokhtar N (2012)

Body mass index, fat mass and risk factor indicators for cardiovascular diseases in Moroccan adolescents.  
SLAN, November 11-16, 2012, Havana, Cuba.

Hamrani A, Mehdad S, El Kari K, El Hamdouchi A, El Mzibri M, Barkat A, Aguenou H, Mokhtar N (2012)  
Metabolic syndrome indicators and risk for cardiovascular diseases in Moroccan youths.  
3<sup>rd</sup> International Congress on Abdominal Obesity, July 9-12, 2012, Québec, Canada.

Mehdad S, Hamrani A, El Kari K, El Hamdouchi A, Barakat A, El Mzibri M, Aguenou H (2009)  
Analyse de la composition corporelle chez les pré-adolescents et adolescents ayant ou pas de surcharge de poids.  
VIII<sup>ème</sup> Congrès national organisé par la société marocaine de gastro-entérologie et nutrition pédiatrique à Rabat, 29-30 Mai 2009.

Mehdad S, Hamrani A, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Atalhi N, Labraimi H, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)  
Détermination de la relation entre l'indice de masse corporelle, le tour de taille et la masse grasse chez les préadolescents et les adolescents en surpoids et obèses.  
16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Mehdad S, Hamrani A, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Atalhi N, Labraimi H, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)  
Body mass index, fat mass and metabolic syndrome in overweight adolescents (11-17 years) Moroccan.  
Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

Mehdad S, Hamrani A, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Atalhi N, Labraimi H, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)  
Determination of the relationship between body mass index, waist circumference and body fat in preadolescents and adolescents are overweight and obese.  
Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

Mehdad S, Hamrani A, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Atalhi N, Labraimi H, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)  
Indice de masse corporelle, masse grasse et syndrome métabolique chez les adolescents en surpoids (11-17 ans) marocains.  
16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Mehdad S, Hamrani A, El Kari K, El Hamdouchi A, Barakat A, El Mzibri M, Aguenou H (2010)  
Relation entre l'adiposité corporelle et le syndrome métabolique chez le préadolescent et l'adolescent.  
1<sup>ère</sup> journée scientifique « L'importance de la nutrition au quotidien », organisée par l'école supérieure privée de nutrition et paramédical à la Faculté de médecine-Casablanca, 09 Mai 2009.

Mehdad S, Hamrani A, El Kari K, El Hamdouchi A, Barakat A, El Mzibri M, Aguenou H (2010)  
L'indice de masse corporelle, la masse grasse, la pression artérielle, le tour de taille et le tour de hanche chez les préadolescents et adolescents marocains âgés de 11 à 17 ans.

Workshop « Neurosciences, nutrition et développement neurocognitif », 24 et 25 Avril 2010, Kénitra, Maroc.

Atalhi N, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Efficacy Study of the consumption of oil fortified with vitamin A on status of vitamin A in breast milk of lactating women.

Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

Atalhi N, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Impact of consumption of oil fortified with vitamin A on status of plasma vitamin A in breastfeeding women.

Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

Choua G, El Haloui N, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Atalhi N, Mehdad S, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Determination the amount of milk taken by the infant during exclusive breastfeeding to six months by the method of isotope dilution.

Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

Aglago E, El Menchawy I, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Atalhi N, Mehdad S, Hamrani A, Labraimi H, Choua G, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Comparison of three methods of determining body composition in women of childbearing year.

Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

Labraimi H, Derouiche A, Charrouf Z, Bensouda Y, El Hamdouchi A, Barkat A, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, EL KARI K, Atalhi N, Mehdad S, Choua G, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Effect of olive oil consumption on the anthropometric and lipid profile of Moroccan postmenopausal women.

Workshop International sur la transition nutritionnelle et santé des populations, 12-13 novembre 2011, El Jadida.

El Kari K, El Hamdouchi A, Belghiti H, Barkat A, Mehdad S, Atalhi N, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Détermination de la composition corporelle au cours du cycle de la vie, de l'infection gastrique par *helicobacter pylori* et de la prise du lait maternel par la technique de la dilution isotopique.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

El Kari K, El Hamdouchi A, Belghiti H, Barkat A, Mehdad S, Atalhi N, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Détermination de la composition corporelle au cours du cycle de la vie, de l'infection gastrique par *helicobacter pylori* et de la prise du lait maternel par la technique de la dilution isotopique.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Atalhi N, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Etude d'efficacité de la consommation de l'huile fortifiée en vitamine A sur le statut du lait maternel en vitamine A des femmes allaitantes.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Atalhi N, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Mehdad S, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Impact de la consommation de l'huile fortifiée en vitamine A sur le statut plasmatiques en vitamine A des femmes allaitantes et supplémentées en vitamine A.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Choua G, El Haloui N, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Atalhi N, Mehdad S, Labraimi H, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, El Mzibri M, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Détermination de la quantité du lait maternel prise par le nourrisson lors de l'allaitement exclusif jusqu'à six mois par la méthode de la dilution isotopique.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Aglago E, El Menchawy I, EL KARI K, El Hamdouchi A, Barkat A, Atalhi N, Mehdad S, Hamrani A, Labraimi H, Choua G, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Comparaison de trois méthodes de la détermination de la composition corporelles chez les femmes an âge de procréer.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

Labraimi H, Derouiche A, Charrouf Z, Bensouda Y, El Hamdouchi A, Barkat A, Hamrani A, Aglago E, El Menchawy I, EL KARI K, Atalhi N, Mehdad S, Choua G, El Mzibri M, El Haloui N, Mokhtar N et Aguenou H (2011)

Effet de la consommation de l'huile d'olive sur le profil lipidique et anthropométrique des femmes marocaines ménopausées.

16<sup>ème</sup> Congrès National de Néonatalogie et de Nutrition, 2-3-4 décembre 2011, Rabat.

## Annexes

## Annexe 1 : Fiche du consentement utilisé dans l'étude de l'estimation de la composition corporelle des adolescents

### Etude sur l'obésité chez les adolescents âgés de 11 à 17 ans

Avis des parents sur la participation de leurs enfants à l'étude

#### 1. Préambule

La présente étude sur l'obésité chez les adolescents âgés de 11 à 17 ans, s'inscrit dans le cadre d'un projet international incluant les Etats-Unis d'Amérique, le Mexique, l'Australie, le Liban, le Maroc, le Bangladesh, la Chine, la Malaisie, l'Inde et la Nouvelle-Zélande. Elle vise à comprendre et à comparer les effets de la nutrition, de l'ethnicité et de la culture dans différents environnements sur la santé des adolescents âgés de 11 à 17 ans. Elle vise également à déterminer la relation entre l'Indice de Masse Corporelle (IMC<sup>1</sup>) et la masse grasse, d'une part, et la relation entre la masse grasse et les indicateurs du syndrome métabolique (hypertension, lipides et glycémie), d'autre part.

La réalisation de ladite étude nécessite quelques mesures et prélèvements très simples ne présentant aucun risque pour la santé des élèves. Il s'agit de :

- Mesures du poids et de la taille par des méthodes standards ;
- Mesure de la masse grasse et de la masse non grasse ;
- Evaluation des apports nutritionnels par un questionnaire de fréquences alimentaires ;
- Mesure de la pression artérielle par un pédiatre ;
- Mesure sanguine des indicateurs métaboliques suivants : l'insulinémie, la glycémie, la cholestérolémie, cholestérol HDL et LDL, et les triglycérides.

Ces mesures qui seront faites par des spécialistes, nutritionnistes, médecins et infirmières, revêtent une importance particulière pour les intéressés, dans la mesure où elles permettraient d'examiner gratuitement leurs états de santé et par conséquent prévenir les risques et les maladies dues à une surcharge pondérale telles que le diabète, les maladies cardiovasculaires, etc.

#### 2. Avis des parents sur la participation à l'étude

Etes-vous d'accord sur la participation de votre fille/fils à cette étude sur l'obésité ?

Oui

Non

Si oui, veuillez fournir les informations demandées ci-après :

#### 3. Renseignements sur l'élève

Nom et Prénom : .....

Date de naissance : .....

Genre :  Fille  Garçon

Adresse : .....

Niveau d'étude : .....

Etablissement (collège ou autre) : .....

<sup>1</sup> IMC c'est le rapport du poids en kilogramme et le carré de la taille en mètre

**4. Renseignements généraux sur les parents**

	Mère	Père
Niveau d'étude		
1. Aucun		
2. Primaire	.....	.....
4. Secondaire/Collège		
4. Secondaire/Lycée		
5. Supérieur		
Profession	.....	.....
Nombre d'enfants	.....	
Adresse	.....	
Téléphone (si possible)	.....	
E-mail (si possible)	.....	

**5. Avis des parents sur le prélèvement du sang**

Toutes les mesures citées plus haut ne nécessitent pas un prélèvement du sang, sauf la 5<sup>ème</sup> mesure et de ce fait il faut un échantillon du sang (5 ml) prélevé par une infirmière chez l'élève à jeun. Cette dernière sera facultative et seuls les élèves dont les parents seront d'accord en feront l'objet.

Acceptez-vous que votre enfant donne 5 ml du sang pour faire les analyses précitées ?

Oui

Non

Fait à : .....

Signature des parents : .....

Nous vous remercions très chaleureusement pour votre contribution

## Annexe 2 : Questionnaire utilisé pour estimer la composition corporelle des adolescents

Nom de l'enquêteur : .....	Date : .... / .... / .....
----------------------------	----------------------------

Identification	
Nom de la personne enquêtée :	.....
Identifiant de l'enquêtée :	.....

Informations générales	
Poids (kg) :	....., .....
Taille (m) :	....., .....
Tour de taille (cm) :	....., .....
Pression artérielle (mmHg) :	....., .....
Stade pubertaire :	....., .....

Oxyde de deutérium :	Dose : ....., ..... g Administration : ..... h ..... min Récupération : ..... h ..... min
----------------------	---

Code d'impédance bioélectrique :	.....
----------------------------------	-------

Glycémie :	....., ..... g/l
------------	------------------

Hémoglobine :	....., ..... g/dl
---------------	-------------------

Observations :	..... ..... ..... ..... ..... .....
----------------	--

### Annexe 3 : Questionnaire d'ATLS utilisé pour déterminer le style de vie des adolescents (*Version traduite*)

Chers participants, le but de cette étude est de mesurer votre style de vie, y compris le niveau de votre activité physique et vos habitudes alimentaires, donc s'il vous plaît répondez aux questions avec précision, avec sincérité et sans augmenter ou diminuer, en indiquant sur la case qui représente la meilleure réponse pour vous, notez que l'information sera confidentielle et utilisée juste pour la recherche scientifique.  
S'il vous plaît sélectionnez une seule réponse de choix.

Ville : ..... Code : .....

Nom : ..... Date d'enquête : \_\_/\_\_/\_\_\_\_/

1. Niveau d'étude : ..... 2. Age (JJ/MM/AA) : \_\_/\_\_/\_\_\_\_/

3. Poids (kg) : ..... 4. Taille (cm) : ..... 5. Tour de taille (cm) : .....

#### Partie I : Activité physique

6. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement la marche ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

7. Si vous pratiquez régulièrement la marche, quelle est sa nature ?

- Marche lente       Marche modérée       Marche rapide

8. Si vous pratiquez régulièrement la marche, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

9. Combien de fois par jour, montez-vous les escaliers, au lycée ou à la maison ou les deux ? (Un étage est égal à une fois et deux étages sont égaux à deux fois, et la montée d'un étage pour deux fois par jour est égal à deux fois, et ainsi de suite)

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       Plus de 5 fois (combien de fois .....

10. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement le jogging ou la course ou les deux ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

11. Si vous pratiquez régulièrement le jogging ou la course, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

12. Combien de fois par semaine, utilisez-vous régulièrement le vélo ou le vélo d'effort à domicile, ou les deux ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

13. Si vous utilisez régulièrement le vélo ou le vélo d'effort à domicile, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

14. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement la natation ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

15. Si vous pratiquez régulièrement la natation, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

16. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement des sports modérés mais pas physiquement pénibles autres que ceux déjà mentionnés (tels que le volleyball, le tennis de table, le bowling, le badminton, ...) ?

- aucune             1 fois             2 fois             3 fois             4 fois  
 5 fois             6 fois             7 fois et plus

17. Si vous pratiquez régulièrement des sports modérés, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?  
..... minutes à la fois

18. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement des sports de forte intensité, mais physiquement pénibles autres que ceux déjà mentionnés (tels que le basket-ball, le handball, le football, le tennis, le squash, ...) ?

- aucune             1 fois             2 fois             3 fois             4 fois  
 5 fois             6 fois             7 fois et plus

19. Si vous pratiquez régulièrement des sports de forte intensité, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

20. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement des arts martiaux (tels que le judo, le karaté, et le Tae Kwon Do) ?

- aucune             1 fois             2 fois             3 fois             4 fois  
 5 fois             6 fois             7 fois et plus

21. Si vous pratiquez régulièrement des arts martiaux, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

22. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement d'entraînements de musculation (ou culturisme) ?

- aucune             1 fois             2 fois             3 fois             4 fois  
 5 fois             6 fois             7 fois et plus

23. Si vous pratiquez régulièrement d'entraînements de musculation (ou culturisme), combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

24. Combien de fois par semaine, faites-vous régulièrement des activités physiques de ménages (telles que le travail dans le parc en coupant les arbres du ménage ou la coordination, le labour, le balayage, la lessive ou le lavage de voitures) ?

- aucune             1 fois             2 fois             3 fois             4 fois  
 5 fois             6 fois             7 fois et plus

25. Si vous faites régulièrement des activités physiques de ménages, combien de temps cela prend-il à chaque fois ?

..... minutes à la fois

26. Pratiquez-vous régulièrement d'activités physiques (ou sports) autres que celles déjà mentionnées ?

- Non             Oui

- Si votre réponse est non : S'il vous plaît passez directement à la question numéro (30).

- Si votre réponse est oui : S'il vous plaît répondez aux questions suivantes :

27. Quelles sont ces activités physiques (ou sports) que vous pratiquez régulièrement (dans la question 26) ?  
 .....
28. Combien de fois par semaine, pratiquez-vous régulièrement ces activités physiques (ou sports) ?  
 aucune             1 fois             2 fois             3 fois             4 fois  
 5 fois             6 fois             7 fois et plus
29. Combien de temps consacrez-vous pour ces activités à chaque fois ?  
 ..... minutes à la fois
30. Quand vous pratiquez l'activité physique (ou sport), où est souvent le lieu de pratique ?  
 à la maison             au lycée             dans les rues             dans le club de sports  
 dans le centre de santé ou loisirs             autres lieux (mentionnez) : .....
31. Avec qui pratiquez-vous habituellement l'activité physique (ou sport) ?  
 personne             avec des ami(e)s             apparentés             avec camarades de classe  
 les parents             avec d'autres (mentionnez-les) : .....
32. Quand pratiquez-vous habituellement l'activité physique (ou sport) ?  
 matin             après midi             soir             après le coucher du soleil  
 après le dîner             pas de temps spécifique
33. Si vous pratiquez régulièrement l'activité physique (ou sport), quelles sont les principales raisons ?  
 Pour la santé  
 Pour perdre du poids  
 Pour rencontrer des amis  
 Pour des loisirs  
 Pour concurrencer  
 Pour d'autres raisons (listez) : .....
34. En absence de pratique d'activité physique régulière, quelles sont les principales raisons ?  
 Il n'y a pas de temps  
 Pas convaincu de l'importance de l'activité physique  
 Il n'y a pas de lieux propices à la pratique  
 Des conditions de santé qui m'empêchent de la pratique  
 J'ai peur d'être critiqué par mes collègues  
 Pour d'autres raisons (listez) : .....
35. Combien de temps par jour, regardez-vous la télévision ou la vidéo (ou les deux) ?  
 Demi-heure ou moins             1 heure             2 heures             3 heures  
 4 heures             5 heures             plus de 5 heures (précisez .....) )
36. Combien de temps par jour, utilisez-vous l'ordinateur ou Internet, ou les deux ?  
 Demi-heure ou moins             1 heure             2 heures             3 heures  
 4 heures             5 heures             plus de 5 heures (précisez .....) )
37. Combien d'heures par jour, consacrez-vous habituellement pour dormir ?  
 3 heures ou moins             4 heures             5 heures             6 heures  
 7 heures             8 heures             9 heures ou plus

## Partie II : Fréquence alimentaire

38. Combien de fois par semaine, prenez-vous le petit déjeuner à la maison ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

39. Combien de fois par semaine, consommez-vous des boissons sucrées (y compris les breuvages douces, les jus en conserve, et les boissons gazeuses sucrées) ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

40. Combien de fois par semaine, consommez-vous des légumes (frais tels que les salades ou cuits en nourriture) ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

41. Combien de fois par semaine, consommez-vous des fruits frais ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

42. Combien de fois par semaine, consommez-vous du lait ou des produits laitiers tels que le fromage, le beurre et le yaourt ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

43. Combien de fois par semaine, consommez-vous des fast-foods, à l'intérieur ou à l'extérieur de la maison (tels que hamburgers, saucisses, pains hot dog, KFC, shawarma, ...) ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

44. Combien de fois par semaine, mangez-vous des frites (frites françaises, et chips) ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

45. Combien de fois par semaine, mangez-vous des beignets / gâteaux et des biscuits (ou tous) ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

46. Combien de fois par semaine, mangez-vous des bonbons ou du chocolat ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

47. Combien de fois par semaine, consommez-vous des boissons énergisantes (telles que Red Bull, Power Horse, Pepsi, ou d'autres) ?

- aucune       1 fois       2 fois       3 fois       4 fois  
 5 fois       6 fois       7 fois et plus

Merci pour votre réponse positive

## **Annexe 4 : Etablissements inclus dans les deux études effectuée lors de ce travail de recherche**

### **Etablissements de la ville de Kénitra**

Les établissements inclus dans l'étude du style de vie des adolescents marocains sont les suivants :

- Lycée Abdelmalek Assaâdi de qualification ;
- Lycée Mohammed V de qualification ;
- Lycée Aberrahman Nacer de qualification ;
- Lycée Ibn Battouta de qualification ;
- Lycée Idriss I de qualification.

### **Etablissements de la ville de rabat**

Les établissements (collèges ou autre) inclus dans l'étude de l'estimation de la composition corporelle des adolescents marocains sont les suivants :

- Collège Al Irfane ;
- Collège Abdelaziz Dinia ;
- Etablissement Dar Talib Al Arjat ;
- Collège Abdeslam Essayeh ;
- Collège Lalla Aicha ;
- Collège Ibn Khaldoun ;
- Collège Lalla Kenza.

## Annexe 5 : Compendium d'activité physique [Ainsworth et al., 2000]

(Seulement quelques types d'activité physique sont cités)

CODE	METS	SPECIFIC ACTIVITY	EXAMPLES
15720	3.0	sports,	volleyball, non-competitive, 6 - 9 member team, general
15725	8.0	sports,	volleyball, beach
15730	6.0	sports,	wrestling (one match = 5 minutes)
15731	7.0	sports,	wallyball, general
15732	4.0	sports,	track and field (shot, discus, hammer throw)
15733	6.0	sports,	track and field (high jump, long jump, triple jump, javelin, pole vault)
15734	10.0	sports,	track and field (steeplechase, hurdles)
16010	2.0	transportation,	automobile or light truck (not a semi) driving
16015	1.0	transportation,	riding in a car or truck
16016	1.0	transportation,	riding in a bus
16020	2.0	transportation,	flying airplane
16030	2.5	transportation,	motor scooter, motorcycle
16040	6.0	transportation,	pushing plane in and out of hangar
16050	3.0	transportation,	driving heavy truck, tractor, bus
17010	7.0	walking,	backpacking (Taylor Code 050)
17020	3.5	walking,	carrying infant or 15 pound load (e.g. suitcase), level ground or downstairs
17025	9.0	walking,	carrying load upstairs, general
17026	5.0	walking,	carrying 1 to 15 lb load, upstairs
17027	6.0	walking,	carrying 16 to 24 lb load, upstairs
17028	8.0	walking,	carrying 25 to 49 lb load, upstairs
17029	10.0	walking,	carrying 50 to 74 lb load, upstairs
17030	12.0	walking,	carrying 74+ lb load, upstairs
17031	3.0	walking,	loading /unloading a car
17035	7.0	walking,	climbing hills with 0 to 9 pound load
17040	7.5	walking,	climbing hills with 10 to 20 pound load
17050	8.0	walking,	climbing hills with 21 to 42 pound load
17060	9.0	walking,	climbing hills with 42+ pound load
17070	3.0	walking,	downstairs
17080	6.0	walking,	hiking, cross country (Taylor Code 040)
17085	2.5	walking,	bird watching
17090	6.5	walking,	marching, rapidly, military
17100	2.5	walking,	pushing or pulling stroller with child or walking with children
17105	4.0	walking,	pushing a wheelchair, non-occupational setting
17110	6.5	walking,	race walking
17120	8.0	walking,	rock or mountain climbing (Taylor Code 060)
17130	8.0	walking,	up stairs, using or climbing up ladder (Taylor Code 030)
17140	5.0	walking,	using crutches
17150	2.0	walking,	walking, household
17151	2.0	walking,	walking, less than 2.0 mph, level ground, strolling, very slow
17152	2.5	walking,	walking, 2.0 mph, level, slow pace, firm surface
17160	3.5	walking,	walking for pleasure (Taylor Code 010)
17161	2.5	walking,	walking from house to car or bus, from car or bus to go places, from car or bus to and from the worksite
17162	2.5	walking,	walking to neighbor's house or family's house for social reasons
17165	3.0	walking,	walking the dog
17170	3.0	walking,	walking, 2.5 mph, firm surface
17180	2.8	walking,	walking, 2.5 mph, downhill
17190	3.3	walking,	walking, 3.0 mph, level, moderate pace, firm surface
17200	3.8	walking,	walking, 3.5 mph, level, brisk, firm surface, walking for exercise
17210	6.0	walking,	walking, 3.5 mph, uphill
17220	5.0	walking,	walking, 4.0 mph, level, firm surface, very brisk pace
17230	6.3	walking,	walking, 4.5 mph, level, firm surface, very, very brisk
17231	8.0	walking,	walking, 5.0 mph
17250	3.5	walking,	walking, for pleasure, work break
17260	5.0	walking,	walking, grass tracks
17270	4.0	walking,	walking, to work or class (Taylor Code 015)
17280	2.5	walking,	walking to and from an outhouse
18010	2.5	water activities,	boating, power
18020	4.0	water activities,	canoeing, on camping trip (Taylor Code 270)
18025	3.3	water activities,	canoeing, harvesting wild rice, knocking rice off the stalks
18030	7.0	water activities,	canoeing, portaging
18040	3.0	water activities,	canoeing, rowing, 2.0-3.9 mph, light effort
18050	7.0	water activities,	canoeing, rowing, 4.0-5.9 mph, moderate effort
18060	12.0	water activities,	canoeing, rowing, >6 mph, vigorous effort
18070	3.5	water activities,	canoeing, rowing, for pleasure, general (Taylor Code 250)
18080	12.0	water activities,	canoeing, rowing, in competition, or crew or sculling (Taylor Code 260)
18090	3.0	water activities,	diving, springboard or platform
18100	5.0	water activities,	kayaking
18110	4.0	water activities,	paddle boat
18120	3.0	water activities,	sailing, boat and board sailing, windsurfing, ice sailing, general (Taylor Code 235)
18130	5.0	water activities,	sailing, in competition
18140	3.0	water activities,	sailing, Sunfish/Laser/Hobby Cat, Keel boats, ocean sailing, yachting
18150	6.0	water activities,	skiing, water (Taylor Code 220)

**First and last names:** Abdeslam HAMRANI

**Institution:** Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra

**Doctoral School Center:** Environment and Life Sciences

**Option:** Nutrition and Health

**Thesis entitled:** Estimation of body composition, physical activity levels and dietary habits among the Moroccan adolescent



## **Abstract**

Obesity and related diseases among children and adolescents in developing countries are growing. The evaluation of the impact of interventions that promote physical activity practice and improve dietary habits to fight against obesity, requires simple, inexpensive and reliable tools. Thus the objectives of this study were to describe physical activity and inactivity, and dietary habits, and to develop a model to estimate body composition among a group of Moroccan adolescents.

This study was conducted in Kenitra and Rabat on a total of 963 young Moroccans randomly recruited. This study falls within the framework of two projects: 1) ATLS regional project (Arab Teens Lifestyle Study) coordinated by the Arab Center of Nutrition and included Saudi Arabia, UAE, Bahrain, Kuwait, Iraq, Jordan, Oman, Tunisia and Morocco; 2) International coordinated research project, funded by the International Atomic Energy Agency and included United States of America, Mexico, Australia, Lebanon, Morocco, Bangladesh, China, Malaysia, India and New Zealand. Physical activity and dietary habits were determined using a validated questionnaire. Body composition was determined by bioelectrical impedance whose the mathematical model was validated by the isotope dilution technique.

Results showed that 9% of adolescents have an overweight, 2% are obese, 13.3% had abdominal obesity, 11.8% had systolic hypertension and 17.9% had diastolic hypertension. One in five adolescents is inactive. Boys are more active than girls. Girls practice sport most of time at school, on the contrary, boys practice sport at school, in sports clubs and in street. Most of adolescents do not have breakfast, do not consume fruits, milk and dairy products, and vegetables on a daily basis. More than half consume donuts, cakes, candy and chocolate more than 3 times / week. Almost half of adolescents consume sweet drinks more than 3 times / week.

Furthermore, we have developed a standard method to evaluate obesity, using bioelectrical impedance technique, age, anthropometric parameters and deuterium oxide technique (D<sub>2</sub>O) in adolescents aged 11-17 years. The developed model is fat-free mass (kg) determined by D<sub>2</sub>O =  $0.578 \times \text{Height}^2 / \text{Resistance at 50 kHz (cm}^2/\Omega) + 0.176 \times \text{Body weight (kg)} - 2.296 \times \text{Gender (boy = 0, girl = 1)} + 0.791 \times \text{Age (years)} - 3.768$ . There was no significant difference between fat-free mass measured by D<sub>2</sub>O and that estimated by the developed model.

In conclusion, it came out that the studied adolescents have a lifestyle at risk to develop chronic diseases and this through their dietary habits and physical activity. However, it is recommended to make the sample larger to draw definitive conclusions. Moreover, the developed model will be a very practical tool for health professionals to easily define body composition of adolescents and evaluate interventions that aim to promote a healthy lifestyle and reduce obesity and related health risks among young people.

**Keywords:** Lifestyle ; physical activity ; dietary habits ; health promotion ; deuterium oxide dilution ; bioelectrical impedance ; model development ; Moroccan adolescent.

**Nom et Prénom :** Abdeslam HAMRANI

**Institution :** Faculté des Sciences, Université Ibn Tofaïl, Kénitra

**Centre de l'Ecole Doctorale :** Sciences de la Vie et de l'Environnement

**Option :** Nutrition et Santé

**Intitulé de la thèse :** Estimation de la composition corporelle, des niveaux d'activité physique et des habitudes alimentaires chez l'adolescent marocain



## Résumé

L'obésité et les maladies associées chez l'enfant et l'adolescent dans les pays en développement sont en croissance. L'évaluation de l'impact des interventions qui font la promotion de la pratique d'activité physique et l'amélioration des habitudes alimentaires pour lutter contre l'obésité, nécessite des outils simples, peu coûteux et fiables. Ainsi les objectifs de cette étude étaient de décrire l'activité et l'inactivité physiques et les habitudes alimentaires, et de développer un modèle pour estimer la composition corporelle chez un groupe d'adolescents marocains.

Cette étude a été conduite à Kénitra et Rabat sur un effectif total de 963 jeunes marocains recrutés au hasard. Cette étude rentre dans le cadre de deux projets : 1) Projet régional ATLS (Etude du style de vie des adolescents arabes) coordonné par le Centre Arabe de Nutrition et incluait l'Arabie Saoudite, les Emirats Arabes Unis, le Bahreïn, le Koweït, l'Irak, la Jordanie, l'Oman, la Tunisie et le Maroc ; 2) Projets de recherche coordonnés, financé par l'Agence Internationale de l'Energie Atomique et incluait les Etats-Unis d'Amérique, le Mexique, l'Australie, le Liban, le Maroc, la Bangladesh, la Chine, la Malaisie, l'Inde et la Nouvelle-Zélande. L'activité physique et les habitudes alimentaires ont été déterminées par un questionnaire validé. La composition corporelle a été déterminée par l'impédance bioélectrique dont le modèle mathématique a été validé par la technique de dilution isotopique.

Les résultats ont montré que 9% des adolescents ont un surpoids, 2% sont obèses, 13.3% avaient une obésité abdominale, 11.8% avaient une hypertension systolique et 17.9% avaient une hypertension diastolique. Un adolescent sur cinq est inactif. Les garçons sont plus actifs que les filles. Le sport est pratiqué la plupart du temps au lycée chez les filles par contre chez les garçons le sport est pratiqué au lycée, dans les salles de sport et dans la rue. La plupart des adolescents ne prennent pas le petit-déjeuner, ne consomment pas les fruits, le lait et les produits laitiers, et les légumes de façon journalière. Plus que la moitié consomment des beignets, des gâteaux, des biscuits, des bonbons et du chocolat plus de 3 fois/semaine. Presque la moitié des adolescents consomment des boissons sucrées plus de 3 fois/semaine.

Par ailleurs, nous avons développé une méthode standard pour évaluer l'obésité, en utilisant la technique d'impédance bioélectrique, l'âge, les paramètres anthropométriques et l'oxyde de deutérium (D<sub>2</sub>O) chez les adolescents âgés de 11-17 ans. Le modèle développé est la masse maigre (kg) déterminée par  $D_2O = 0.578 \times \text{Taille}^2 / \text{Résistance à } 50 \text{ kHz (cm}^2/\Omega) + 0.176 \times \text{Poids corporel (kg)} - 2.296 \times \text{Genre (garçon}=0, \text{ fille}=1) + 0.791 \times \text{Age (ans)} - 3.768$ . Il n'y avait pas de différence significative entre la masse maigre mesurée par D<sub>2</sub>O et celle estimée par le modèle développé.

En conclusion, il est ressorti que les adolescents étudiés ont un mode de vie à risque de développer des maladies chroniques et ceci à travers leurs habitudes alimentaires et l'activité physique. Cependant, il est recommandé de faire un échantillon plus large pour en tirer des conclusions définitives. Par ailleurs, le modèle développé sera un outil très pratique aux professionnels de la santé pour définir facilement la composition corporelle des adolescents et évaluer les interventions qui ont pour objectif de promouvoir un mode de vie sain et de réduire l'obésité et les risques liés à la santé chez les personnes jeunes.

**Mots-clés :** Style de vie ; activité physique ; habitudes alimentaires ; promotion de la santé ; dilution de l'oxyde de deutérium ; impédance bioélectrique ; développement d'un modèle ; adolescent marocain.