

Faculté des Sciences et Techniques



THESE

Présentée par

***Mlle Aïssatou Dioum***

Pour obtenir le grade de

Docteur de Troisième Cycle en Nutrition et Alimentation

***Validation de méthodes de mesure de la composition corporelle utilisables sur le terrain chez les africaines : Application dans des études épidémiologiques en milieux rural et urbain.***

**Soutenue le 26 Mars 2005 devant la commission d'examen :**

**Président :** Pr Amadou Tidiane GUIRO, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD.

**Membres :** Pr Salimata WADE, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD.

Dr Agnès GARTNER, IRD, Montpellier.

Pr Mohamadou Guélaye SALL, Faculté de Médecine, UCAD.

Dr Babou DIAHAM, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD.

## REMERCIEMENTS

Ce Travail, mené sous la direction de Madame **Salimata WADE** Maître de conférence à la Faculté des Sciences de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (FST-UCAD) et l'encadrement à l'IRD par Madame **Agnès GARTNER** de l'UR 106 "Nutrition, Alimentation, Sociétés" de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), a bénéficié du soutien financier de l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD), de la coopération belge (projet PIP) et de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA).

Je remercie très sincèrement le **Professeur Salimata WADE** d'avoir bien voulu accepter de diriger ce travail malgré ses multiples charges. Vos suggestions pertinentes et votre attachement à un travail bien fait m'ont conduit à cette étape. Pour cela je vous adresse mes profondes reconnaissances et mes plus sincères remerciements.

Au **Docteur Agnès GARTNER** mon encadreur à l'IRD. Je vous remercie très sincèrement et du fond du cœur pour la qualité de votre encadrement. Votre disponibilité à mon égard a été indéfectible durant ces quatre dernières années. Votre rigueur scientifique et vos conseils m'ont conduit à la réalisation de ce travail. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Profonds remerciements au **Professeur Amadou Tidiane GUIRO**, Directeur de l'Institut de Technologie Alimentaire (ITA), pour la qualité des enseignements reçus durant l'AEA et pour avoir accepté de présider le jury.

Je remercie également le **Professeur Guélaye SALL** de la Faculté de Médecine, de Pharmacie et d'Odonto-Stomatologie de Dakar, pour avoir accepté promptement de siéger dans le jury.

Remerciements au **Docteur Babou DIAHAM**, Maître assistant, pour les enseignements qu'il nous a dispensés et pour avoir accepté promptement de siéger dans le jury.

Sincères remerciements aux **Directeurs de recherche, Francis DELPEUCH et Bernard MAIRE** de l'UR 106 de l'IRD (Montpellier), pour m'avoir permis d'intégrer leur unité de recherche et pour leur soutien tout au long de l'étude. Je ne voudrais pas oublier le **Professeur**

**Yves SCHUTZ** de l'Université de Lausanne (Suisse), à qui j'adresse mes plus sincères remerciements pour son aide et ses intéressants conseils tout au long de l'étude.

Remerciements au **Docteur Nicole DOSSOU**, Maître assistant, pour ses qualités relationnelles et son extrême gentillesse qui lui ont permis de bien assister les différentes promotions successives.

Reconnaissances à toute l'équipe de l'UR 106 de l'IRD, **Yves, Michelle, Catherine, Caroline, Sabrina, Pierre** et particulièrement à **Edwige LANDAIS** qui a réalisé l'étude épidémiologique auprès des femmes de Pikine et à qui j'adresse mes plus sincères remerciements.

Je voudrais remercier particulièrement **Aïta SARR CISSE** et **Amadou Lamine GUEYE** pour leur participation à l'étude, la première pour m'avoir initiée à la technique de la Dilution isotopique et permis d'effectuer les mesures dans les meilleures conditions, et le deuxième pour m'avoir fait découvrir le monde rural et partager le travail d'enquête sur le terrain.

Mes remerciements vont aussi à toutes les personnes qui ont facilité et participé à l'étude de Sédhiou et de Pikine.

Reconnaissances à tous les collègues des promotions successives, et particulièrement à **Diané, Adama, Ndéye Fatou, Djindjil Nakar, Aminata, Moussa, Dominique, Ndir, Mamadou, Gnagna** et **Issakha**. Une pensée pieuse pour **Khoudia**.

Remerciements à toute ma famille particulièrement à mes frères **Ablaye, Pape, Bécaye, Tapha, Samba, Serigne**, et mes sœurs **Oumy, Diarra, Adji, Mamy, Ndiolé** et à ma nièce **Aida** pour leur soutien moral et leurs encouragements.

Sincères remerciements à tous (toutes) mes ami (es) et à toutes les personnes qui m'ont aidée et soutenue particulièrement à **Aliou, Amy, Amsatou, Fatou, Rolland** ....

*Je dédie ce travail*

*A mon père Cheikh*

*In mémorium*

*A ma mère Mame Madjiguène Diaw*

*Ce travail est le fruit de ta patience*

*A toutes les femmes rurales et urbaines d'Afrique*

## AVANT PROPOS

Cette thèse entre dans le cadre d'un programme de validation de l'Impédancemétrie chez les Africains, initié par l'UR 106 de l'IRD. Elle est le prolongement de mon DEA qui portait sur la comparaison de méthodes de mesure de la composition corporelle chez les femmes sénégalaises. Elle a été réalisée au sein de l'UR 106 « Nutrition, Alimentation, Sociétés » de l'IRD à Dakar et à Montpellier, et au Laboratoire de Nutrition de la FST-UCAD.

Elle comprend 4 parties:

- La première est une introduction générale qui porte sur une analyse de la littérature existante en matière de composition corporelle : les méthodes de mesure, les variabilités raciales actuellement très documentées. C'est également dans cette partie où sont présentés les objectifs de l'étude.
- La deuxième, qui est l'étude méthodologique, présente des études de qualité des mesures, des comparaisons de différentes méthodes ainsi que l'établissement d'équations de prédiction spécifiques aux sujets africains.
- La troisième partie est une application des résultats de la partie méthodologique dans une étude épidémiologique en milieux rural et urbain.
- La conclusion générale est une revue des différents résultats de la thèse et une présentation des perspectives d'analyse immédiates que les données encore à exploiter peuvent fournir.

Les travaux de cette thèse ont déjà été présentés à plusieurs congrès internationaux de nutrition et ont fait l'objet de 5 articles (ci-dessous) publiés dans des journaux à comité de lecture.

DIOUM A, GARTNER A, MAIRE B, DELPEUCH F, WADE S. Body composition predicted from skinfolds in African women: A cross validation study using air displacement plethysmography and black specific equation. *Brit J Nutr* in press.

DIOUM A, GARTNER A, CISSE AS, DELPEUCH F, MAIRE B, WADE S, SCHUTZ Y. Validity of impedance-based equations for the prediction of total body water as measured by deuterium dilution in African women. *Am J Clin Nutr* 2005;81:597-604.

GARTNER A, DIOUM A, DELPEUCH F, MAIRE B, SCHUTZ Y. Use of hand-to-hand impedancemetry to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* 2004;58:523-531.

GARTNER A, DIOUM A, DELPEUCH F, MAIRE B, SCHUTZ Y. Does the combination of hand-to-hand and foot-to-foot impedance measurements improve the prediction of body composition in African women? *Int J Body Comp Res* 2004;2 (1): 45-48.

GARTNER A, DIOUM A, MAIRE B, DELPEUCH F, SCHUTZ Y. Comparison of foot-to-foot impedance with air-displacement plethysmography to evaluate body composition in African women. *Int J Body Comp Res* 2003;U8U4 (1):137-145.

## SOMMAIRE

### Partie 1 : Introduction générale

<b>I. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>II. Composition corporelle</b>	<b>1</b>
II.1. Les compartiments	1
II.1.1. La masse grasse	2
II.1.2. La masse maigre	2
II.2. Les méthodes de mesure de la composition corporelle	2
II.2.1. Les méthodes de laboratoire	2
II.2.1.1. La densitométrie	3
II.2.1.2. Le comptage du potassium 40	3
II.2.1.3. L'absorption biphotonique (DEXA)	4
II.2.1.4. La résonance magnétique nucléaire (RMN)	4
II.2.1.5. L'activation neutronique	4
II.2.1.6. La dilution isotopique	5
II.2.1.7. La tomодensitométrie	5
II.2.1.8. L'interactance infrarouge	6
II.2.2. Les méthodes de terrain	6
II.2.2.1. L'anthropométrie	6
II.2.2.2. L'impédancemétrie	7
II.3. Variations raciales de la composition corporelle	9
<b>III. Objectifs de l'étude</b>	<b>10</b>

### Partie 2 : Etude méthodologique

<b>I. Introduction</b>	<b>14</b>
<b>II. Sujets et méthodes</b>	<b>14</b>
II.1. Sujets	14
II.2. Méthodes	15
II.2.1. Mesures anthropométriques	15
II.2.1.1. L'âge	15
II.2.1.2. La taille	15
II.2.1.3. Le poids	15
II.2.1.4. L'épaisseur des plis cutanés	16
II.2.1.5. Les périmètres	17

II.2.1.6. Les indices anthropométriques	17
II.2.2. Impédancemétrie	17
II.2.2.1. Impédancemétrie corps totale	18
a. Le placement des électrodes	18
b. La prise et l'enregistrement des mesures	18
c. Estimation de l'eau corporelle totale	19
II.2.2.2. Impédancemétrie partielle	19
a. Pied-à-pied	19
b. Main-à-main	19
II.2.3. Densitométrie par déplacement d'air	20
II.2.3.1. L'appareil	20
II.2.3.2. La mesure	20
a. Mesure du poids corporel	21
b. Mesure du volume corporel	21
c. Mesure du volume pulmonaire	21
d. Estimation des compartiments corporels	22
II.2.4. Dilution isotopique	22
II.2.4.1. Administration du deutérium, prélèvement, traitement des échantillons	22
II.2.4.2. Dosage du deutérium par le spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier	23
a. Appareil	23
b. Analyse des échantillons de salive au FTIR	23
c. Calcul de l'eau corporelle totale	24
II.2.5. Analyse statistique des données	24
II.2.5.1. Qualité des mesures	24
II.2.5.2. Estimation des compartiments corporels et comparaison des méthodes	25
II.2.5.3. Etablissement d'équations de prédiction et validation croisée	25
II.2.6. Répartition des sujets en fonction des méthodes et axes de travail	26
<b>III. Résultats</b>	<b>27</b>
III.1. Qualité des mesures	27
III.1.1. Etude de répétabilité	27
III.1.2. Comparaison des deux approches de la mesure du volume pulmonaire :	

effet sur la mesure des compartiments corporels	29
III.1.3. Qualité des mesures au FTIR	29
III.2. Comparaison de méthodes	30
III.2.1. Comparaison de l'eau corporelle totale estimée par la dilution isotopique et l'impédancemétrie corps total	30
III.2.2. Comparaison de la densité, du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimés par la densitométrie et l'épaisseur des plis	37
III.2.3. Comparaison du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimés par la densitométrie et les impédancemétries partielles	42
III.3. Etablissement des équations de prédiction du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre pour les impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied.	47
III.4. Combinaison des deux méthodes d'impédancemétrie partielle	51
<b>IV. Discussion</b>	<b>53</b>
IV.1. Qualité des mesures	53
IV.2. Dilution isotopique-impédancemétrie totale	53
IV.3. Densitométrie-épaisseur des plis cutanés	55
IV.4. Densitométrie-impédancemétries partielles	58
IV.5. Etablissement d'équations et combinaison des méthodes	59
<b>V. Conclusion</b>	<b>60</b>

### **Partie 3 : Etude épidémiologique**

<b>I. Introduction</b>	<b>61</b>
<b>II. Etude épidémiologique en milieu rural</b>	<b>62</b>
II.1. Cadre de l'étude	62
II.2. Echantillonnage des femmes de Sédhiou	62
II.2.1. Taille de l'échantillon	63
II.2.2. Type de sondage	63
II.3. Déroulement de l'enquête	63
<b>III. Etude épidémiologique en milieu urbain</b>	<b>64</b>
III.1. Cadre de l'étude	64
III.2. Echantillonnage des femmes de Pikine	64
III.3. Déroulement de l'enquête	65
<b>IV. Difficultés rencontrées</b>	<b>65</b>
<b>V. Mesures effectuées et analyses statistiques des données</b>	<b>65</b>



<b>VI. Résultats</b>	<b>66</b>
<b>VII. Discussion</b>	<b>71</b>
<b>VIII. Conclusion</b>	<b>74</b>

**Partie 4 : Conclusion générale** **75**

<b>Bibliographie</b>	<b>77</b>
----------------------	-----------

<b>Annexes</b>	<b>89</b>
----------------	-----------

Photos des méthodes utilisées

Equation de Siri réajustée

Courbe de disparition du Deutérium

Questionnaires

Liste des villages de Shédiou enquêtés

Copies des articles publiés et communications affichées à des congrès nationaux et internationaux

## LISTE DES TABLEAUX

	pages
<b>Tableau 1</b> : Les cinq niveaux de composition corporelle	1
<b>Tableau 2</b> : Répétabilité intra sujet des mesures en double	28
<b>Tableau 3</b> : Effet de la variation du volume pulmonaire sur la composition Corporelle selon qu'il est prédit ou mesuré.	29
<b>Tableau 4</b> : Caractéristiques des 36 femmes sénégalaises	30
<b>Tableau 5</b> : Equations de prédiction de l'impédancemétrie corps total, utilisées pour tester la prédiction de l'eau corporelle totale	32
<b>Tableau 6</b> : Eau corporelle totale estimée par la dilution isotopique et les différent équations de l'impédancemétrie totale	33
<b>Tableau 7</b> : Validation des équations de l'impédancemétrie totale pour l'estimation de l'eau corporelle totale	34
<b>Tableau 8</b> : Autres études où a été testée la validité des mêmes équations	36
<b>Tableau 9</b> : Caractéristiques des 196 femmes sénégalaises	37
<b>Tableau 10</b> : Densité, pourcentage de masse grasse et masse maigre estimés par la Densitométrie et l'épaisseur des plis cutanés	38
<b>Tableau 11</b> : Comparaison de la densité, du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimés par la densitométrie et l'épaisseur des plis	39
<b>Tableau 12</b> : Estimation de la différence en fonction des classes d'IMC	40
<b>Tableau 13</b> : Caractéristiques des 170 femmes sénégalaises	42
<b>Tableau 14</b> : Pourcentage de masse grasse et masse maigre estimés par la densitométrie et les impédancemétries partielles	43
<b>Tableau 15</b> : Comparaison du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimées par la densitométrie et par les impédancemétries partielles	44
<b>Tableau 16</b> : Corrélation entre variables dépendantes et variables indépendantes, entre variables indépendantes de base et variables anthropométriques	48
<b>Tableau 17</b> : Equations de prédiction et validation croisée pour les impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied	49
<b>Tableau 18</b> : Prédiction dans l'échantillon total	50
<b>Tableau 19</b> : Prédiction par les méthodes d'impédancemétrie partielle utilisées séparément ou combinées	51

<b>Tableau 20</b> : Comparaison entre densitométrie et les méthodes d'impédancemétrie partielle utilisées séparément ou combinées avant et après prédiction spécifique	<b>52</b>
<b>Tableau 21</b> : Caractéristiques des femmes rurales et urbaines	<b>67</b>
<b>Tableau 22</b> : Répartition des femmes en fonction des classes d'IMC et par milieu	<b>67</b>
<b>Tableau 23</b> : Composition corporelle par classe d'IMC chez les femmes rurales et urbaines	<b>69</b>
<b>Tableau 24</b> : Composition corporelle par classe d'âges chez les femmes rurales et urbaines	<b>70</b>

## LISTE DES FIGURES

	<b>Pages</b>
<b>Figure 1</b> : Objectifs spécifiques : épaisseur des plis, impédance totale, impédance main-à-main, impédance pied-à-pied	<b>13</b>
<b>Figure 2</b> : Répartition des sujets en fonction des méthodes et les différents axes de travail	<b>26</b>
<b>Figure 3</b> : Relation entre concentrations du deutérium mesuré au FTIR et par l'IRMS	<b>30</b>
<b>Figure 4</b> : Différence de masse maigre (a), de pourcentage de masse grasse (b), de densité (c) déterminée par l'épaisseur des plis cutanés et la densitométrie en fonction de leur moyenne.	<b>40</b>
<b>Figure 5</b> : Différence de masse maigre (a), de pourcentage de masse grasse (b), de densité (c) déterminée par l'impédancemétrie main-à-main et la densitométrie en fonction de leur moyenne	<b>45</b>
<b>Figure .6</b> : Différence de masse maigre (a), de pourcentage de masse grasse (b), de densité (c) déterminée par l'impédancemétrie pied-à-pied et la densitométrie en fonction de leur moyenne	<b>46</b>

## **INTRODUCTION GENERALE**

## I. INTRODUCTION

L'état nutritionnel d'un individu peut être représenté par l'ensemble des masses des tissus de l'organisme et il est normalement défini par des proportions harmonieuses entre tous les composants. La connaissance de la composition corporelle de l'individu constitue donc une information importante dans l'évaluation de l'état nutritionnel et de son évolution.

## II. COMPOSITION CORPORELLE

### II.1. Les compartiments

Le corps humain est formé de différents organes et tissus, reliés entre eux par des tissus conjonctifs et supportés par un squelette, plus une quantité variable de masse grasse. En fonction de ce que l'on peut mesurer avec une méthode physique ou chimique donnée et de ce que l'on peut en extrapoler, le corps humain peut être schématiquement représenté soit au niveau atomique, moléculaire, cellulaire, tissu/organes ou au niveau du corps total (Wang et al., 1992) (Tableau 1).

**Tableau 1 : Les cinq niveaux de composition corporelle**

Atomes	Molécules	Cellules	Tissu/organes	Corps entier
H	Lipides	Masses cellulaires	Muscle squelettique	
O				
N	Eau			
C				
Na	Protéines	Liquides extracellulaires	Tissu adipeux	
K				
Cl			Os	
P	Glucides			
Ca		Solides extracellulaires	Sang	
Mg				
S	Minéraux		autres	

Le niveau moléculaire est composé d'eau, de minéraux, des lipides, de protéines et de glucides. Ces composantes peuvent être regroupés en 4, 3 ou 2 compartiments d'où l'existence de modèles dont le plus connu et le plus utilisé est celui à deux compartiments avec la masse grasse et la masse maigre (Keys & Brozek, 1953).

### **II.1.1. La masse grasse**

Elle constitue les réserves énergétiques de l'organisme. Elle est anhydre, sans potassium et sa densité est de 0,9 g/l à 37°C.

### **II.1.2. La masse maigre**

Elle représente le reste de la masse corporelle et est responsable de l'essentiel des fonctions vitales. Elle contient des protéines, des minéraux ainsi que de l'eau et est supposée avoir une composition constante chez l'adulte en bonne santé avec une densité de 1,1 g/l, une teneur en eau de 72-74% et une teneur en potassium de 60-70 mmol/kg chez l'homme et de 50-60 mmol/kg chez la femme.

## **II.2. Les méthodes de mesure de la composition corporelle**

La mesure de la composition corporelle n'est pas facile et fait appel à des méthodes indirectes qui utilisent des équations de prédiction établies à partir de méthodes directes.

Plusieurs méthodes ont été développées au cours des dernières décennies (**Forbes, 1987 ; Lukaski, 1987 ; Deurenberg, 1992 ; Elia & Ward 1999**) et parmi elles, des méthodes de laboratoire qui sont généralement lourdes ou invasives et des méthodes de terrain plus simples à mettre en œuvre.

### **II.2.1. Les méthodes de laboratoire**

Les méthodes de laboratoire sont en général les méthodes de référence. Elles donnent des résultats plus directs et plus précis. Mais elles sont généralement coûteuses et nécessitent souvent une installation et un équipement assez lourds, inadaptés à des études épidémiologiques, surtout dans le contexte africain. Parmi elles, on peut citer la densitométrie, le comptage du potassium 40, l'absorption biphotonique, la résonance magnétique nucléaire, l'activation neutronique, la dilution isotopique, la tomодensitométrie et l'interactance infrarouge. Actuellement, nous disposons de deux méthodes de référence au Sénégal : la densitométrie par déplacement d'air à l'Unité de Recherche 106 de l'IRD à Dakar et la dilution isotopique au laboratoire de nutrition à l'Université de Dakar.

### II.2.1.1. La densitométrie

C'est une méthode de référence qui se base sur le modèle à deux compartiments. C'est à dire que l'organisme est considéré comme formé de deux compartiments distincts : la masse grasse et la masse maigre. D'après cette méthode, chacun de ces compartiments peut être déterminé en mesurant la densité du corps. Elle repose sur un certain nombre d'hypothèses :

- la composition chimique de la masse maigre est relativement constante ;
- la densité de la masse maigre est différente de celle de la masse grasse et est constante.

La technique la plus utilisée est la densitométrie par pesée sous l'eau (Going, 1996) qui consiste à mesurer le volume corporel selon le principe d'Archimède pour en calculer la densité. C'est le « gold standard » dans le modèle à 2 compartiments mais elle nécessite une immersion du sujet ce qui n'est pas toujours évident, et restreint son utilisation aux seuls sujets capables d'accepter cette contrainte.

Récemment, une nouvelle technique, la densitométrie par déplacement d'air a été mise au point (Dempster et Aitkens, 1995 ; Mac Crory et al., 1995 ; Fields et al., 2002). Elle permet également de mesurer avec exactitude la densité corporelle. Elle est non invasive, acceptable pour le sujet et validée par rapport à la densitométrie par pesée sous l'eau (Nunes et al., 1999 ; Fields et al., 2000 ; Yee et al, 2001; Demerath et al, 2002). Cette méthode qui utilise un appareil appelé Bod-Pod (voir en annexe) consiste à mesurer le volume du sujet correspondant au volume d'air déplacé. Ce volume est obtenu en retranchant le volume d'air restant dans l'appareil lorsque le sujet est à l'intérieur du volume à vide. Le volume d'air dans la chambre est mesuré en appliquant la loi des gaz parfaits  $P1/P2=V2/V1$  dans les conditions iso thermiques. Ce volume corporel est corrigé par 40% du volume pulmonaire mesuré ou prédit (Mac Crory et al., 1998). A partir de ce volume corrigé et du poids corporel, l'appareil donne la densité corporelle et la composition corporelle grâce à des équations incorporées. L'UR 106 de l'IRD à Dakar dispose de cet appareil et des études récentes (Gartner et al., 2003 ; 2004a ; 2004b) ont prouvé sa facilité d'utilisation chez les africaines.

### II.2.1.2. Le comptage du potassium 40

Le potassium est essentiellement un ion intracellulaire et est absent dans les triglycérides de réserve de l'organisme. De plus, l'isotope radioactif K40 qui émet des radiations gamma est présent dans l'organisme à un taux naturel bien connu (0,012 %). La mesure du potassium



total déduite de la détermination de l'isotope K40 dans un compteur à taille humaine, permet donc d'obtenir indirectement la masse maigre chez l'Homme.

Cette méthode introduite par **Forbes & Hursh (1963)** dans les années 60 est totalement non invasive mais nécessite une installation et un équipement assez lourds.

#### **II.2.1.3. L'absorption biphotonique (DEXA)**

Elle consiste à effectuer un balayage de l'ensemble du corps avec un faisceau très fin de rayons X à deux niveaux d'énergie (**Peppler & Mazess, 1981**). Ce faisceau, en traversant le corps du sujet, va subir une atténuation qui va dépendre de la composition de la matière traversée. Elle permet d'estimer 3 compartiments, la masse calcique, la masse maigre et la masse grasse de façon très précise. Cependant, l'inconvénient majeur de cette méthode est son coût élevé.

#### **II.2.1.4. La résonance magnétique nucléaire (RMN)**

Elle est basée sur l'étude de la résonance des protons soumis d'une part, à un champ magnétique intense et, d'autre part, à un ou plusieurs trains d'ondes électromagnétiques transversales réglés à une fréquence caractéristique. Il est possible avec cette méthode de détecter électivement les radicaux méthyles de la graisse et d'étudier uniquement ce composant corporel (**Sobol et al., 1991**).

C'est une méthode qui permet donc de mesurer la graisse de façon précise mais elle est très coûteuse et les mesures sont très longues (1h). De plus, l'exploitation des données est assez lourde.

#### **II.2.1.5. L'activation neutronique**

C'est une technique qui permet d'obtenir in vivo la composition corporelle en plusieurs éléments (sodium, chlorure, phosphate...) (**Cohn et al., 1984 ; Cohn, 1991**). Le système d'activation neutronique envoie un faisceau modéré de neutrons à une vitesse rapide sur le sujet. Les atomes des éléments ciblés captent ces neutrons et atteignent un état instable. L'atome qui est dans cet état instable va retourner à l'état stable en émettant un ou plusieurs rayons gamma à des niveaux d'énergie caractéristiques. Le rayonnement provenant du corps peut être déterminé en enregistrant le spectre de radioactivité des émissions. Le niveau

d'activité caractérise l'élément et l'activité son abondance. Elle permet d'estimer la masse grasse en utilisant le modèle à 4 compartiments grâce à la détermination du calcium et de l'azote. Outre son coût élevé, cette méthode nécessite un technicien qualifié et soumet le sujet à des radiations ionisantes.

#### **II.2.1.6. La dilution isotopique**

Elle permet de mesurer précisément l'espace de dilution du deutérium ou de l'oxygène 18 (Schoeller et al, 1980) à partir duquel on déduit l'eau corporelle totale puis les autres compartiments corporels. Elle se base sur l'absence d'eau dans les triglycérides de réserve.

Les isotopes stables, deutérium ou oxygène, sont utilisés comme traceur pour estimer l'eau corporelle totale (Schoeller et al, 1980). Une dose connue du traceur est prise par le sujet, puis des prélèvements de plasma, salive ou urine sont effectués à des moments précis après administration de la dose. La mesure du traceur peut être appréciée soit par spectrométrie de masse, soit par spectrométrie infrarouge à transformé de Fourier (Lukaski & Johnson 1985 ; Khaled et al., 1987 ; Jennings et al., 1999).

Pour calculer l'eau corporelle totale on utilise l'équation:  $C_1V_1=C_2V_2$ .  $C_1$  et  $V_1$  représentent la concentration en isotope et le volume de la dose donnée ;  $C_2$  et  $V_2$  la concentration dans l'organisme après équilibration et le volume de l'eau corporelle totale. Connaissant la quantité d'eau corporelle, on peut calculer la masse maigre.

Cette méthode a été récemment utilisée chez des femmes sénégalaises (Cissé et al., 2002a ; 2002b).

#### **II.2.1.7. La tomодensitométrie**

C'est une méthode radiologique qui utilise une source de rayons X. Elle permet d'obtenir des sections transversales d'organes ou de tissus et d'avoir une image à deux dimensions. La différence de densité optique permet la distinction des différents tissus (Sjostrom, 1991).

C'est la seule méthode qui permet la distinction du tissu adipeux sous cutané et du tissu adipeux profond mais elle est très coûteuse.

#### II.2.1.8. L'interactance infrarouge

Elle est basée sur le principe selon lequel, lorsqu'une radiation électromagnétique frappe un objet, l'énergie est réfléchie, absorbée ou transmise en fonction des propriétés de l'objet. Ainsi, on a des informations sur la composition chimique de l'objet (**Conway et al., 1984 ; Elia et al., 1990**). C'est une méthode qui permet d'évaluer la masse grasse, même à partir d'un site corporel mais elle implique une exposition aux rayons. Sa validation n'est pas encore complètement acquise à ce jour.

#### II.2.2. Les méthodes de terrain

Ce sont des méthodes très indirectes, validées par rapport à des méthodes de référence et qui utilisent en général des équations de prédiction établies dans une population donnée.

##### II.2.2.1. L'anthropométrie

Parmi les méthodes de terrain, l'anthropométrie (**Lohman et al. 1988 ; Shetty & James, 1994**) est la plus couramment utilisée. Simple, non coûteuse et non invasive, elle est utilisable pour des études en population, et en particulier dans les conditions des pays en développement. Toutefois, elle présente plusieurs limites, par exemple lorsqu'il s'agit de différencier les variations spécifiques de la masse grasse et de la masse maigre.

L'épaisseur des plis cutanés est mesurée avec un compas qui exerce une pression sur le pli. Elle permet d'avoir une estimation de la densité par l'utilisation d'équations (**Durnin & Womersley, 1974 ; Jackson & Pollock, 1978**). A partir de cette densité, la masse grasse est calculée chez les occidentaux avec l'équation de **Siri (1961)**. C'est une technique qui se base sur 3 hypothèses :

- l'épaisseur du tissu adipeux sous-cutané reflète une proportion constante de la masse grasse totale ;
- les sites de mesure des plis cutanés sont représentatifs du tissu adipeux sous cutané total ;
- la distribution de la masse grasse est constante entre les individus.

Les plis cutanés sont très utilisés dans les études nutritionnelles, malgré les difficultés de mesure (**Harrisson, 1988**) telles que la standardisation des mesureurs, la difficulté à palper l'interface entre le muscle et le tissu adipeux, la variabilité interindividuelle de la

compressibilité des plis. Il s'y ajoute le problème de la validité des équations utilisées. Ces dernières ont été établies chez les occidentaux blancs et ne sont généralement pas validées pour une utilisation chez les autres populations.

En anthropométrie, il arrive aussi qu'on associe plusieurs paramètres, par exemple l'IMC, la circonférence du muscle, le rapport tour de taille sur tour de hanche, la taille assise sur la taille debout ...

L'IMC ou indice de masse corporelle est un indicateur simple et objectif de l'état nutritionnel qui associe les mesures anthropométriques simples que sont le poids et la taille (Quétélet, 1869). Plusieurs études ont montré que l'IMC est fortement corrélé à la masse grasse si on tient compte de l'âge et du sexe (Womersley & Durnin, 1977 ; Deurenberg et al., 1991). Pour cette raison, l'IMC est largement utilisé dans les études épidémiologiques pour la détermination de la composition corporelle, surtout chez l'adulte. En se basant sur des études effectuées chez les occidentaux, l'OMS suggère de prendre comme seuils d'IMC pour la maigreur, un IMC  $<18,5 \text{ kg/m}^2$  et pour l'obésité, un IMC  $\geq 30 \text{ kg/m}^2$  (WHO, 1995). Mais depuis un certain nombre d'années, un débat justifié s'est ouvert sur la différence de la relation entre l'IMC et la masse grasse selon les populations, ainsi que sur ces seuils établis chez les occidentaux blancs qui ne sont pas obligatoirement valables chez les autres populations (Norgan, 1994a ; 1994b ; Wang et al., 1994 ; Swinburn et al., 1996 ; Deurenberg et al., 1998 ; Gurruci et al., 1998 ; 1999a ; Gallagher et al., 1996 ; 2000 ; Piers et al., 2003).

Le rapport tour de taille sur tour de hanche nous donne une indication sur la répartition de la graisse chez l'individu.

Le rapport taille assise sur taille debout fournit une indication sur la longueur relative des jambes qui varie beaucoup entre ethnies. Ce rapport influence la mesure de la composition corporelle par certaines méthodes telles que l'impédancemétrie et l'IMC.

#### II.2.2.2. L'impédancemétrie

L'impédancemétrie apparaît comme une des méthodes qui pourraient être appliquées parallèlement à l'anthropométrie et dans les mêmes conditions d'utilisation. Elle est simple, non invasive, utilise un équipement portable relativement bon marché, de maniement simple, et une méthodologie hautement acceptable (Baumgartner, 1996). Ainsi, elle est adaptée à des études épidémiologiques sur le terrain dans un contexte africain.

L'impédancemétrie se base sur la conduction du courant électrique à travers le corps (**Baumgartner et al., 1989 ; 1990 ; Baumgartner, 1996**). L'application du courant électrique alternatif de faible intensité à travers l'organisme grâce à des électrodes en contact avec la peau (**Thomasset, 1989**) va entraîner une résistance du corps qui est mesurée. En réalité c'est une impédance qui est mesurée à cause de l'utilisation obligatoire du courant alternatif pour étudier le tissu biologique qui est un conducteur ionique et hétérogène (avec des éléments résistifs et des éléments capacitifs). Dans le corps humain, lorsqu'un courant électrique est appliqué à l'organisme, les fluides intra et extracellulaires se comportent comme les armatures d'un condensateur. Ils sont donc conducteurs et sont séparés par la membrane cellulaire qui joue le rôle d'isolant (donc interrompt la circulation du courant continu, ce qui implique la nécessité d'utiliser le courant alternatif). L'eau et les électrolytes sont donc responsables de la conductance, ce qui conduit à dire que l'impédancemétrie permet de mesurer l'eau corporelle (**Kushner et al., 1992, Visser et al., 1995**). En considérant une hydratation constante de la masse maigre, l'impédancemétrie permet aussi de donner une estimation de la masse maigre ainsi que de la masse grasse qui elle n'est pas conductrice.

L'impédance d'un conducteur biologique varie en fonction de la longueur du conducteur, de sa configuration, de sa surface de section et de sa résistivité. Il faut noter que la plus grande partie de l'impédance est donnée par les membres (**Baumgartner et al., 1990**). Elle dépend aussi de la fréquence du courant utilisé. A faible fréquence, le courant circule seulement à travers le milieu extracellulaire permettant de mesurer l'eau extracellulaire et à haute fréquence le courant traverse aussi la membrane cellulaire et permet ainsi de mesurer l'eau totale. L'eau intracellulaire peut être évaluée par la différence des mesures à basse et haute fréquence (**Lusseveld et al., 1993**). L'impédancemétrie peut être uni ou multifréquence, totale pied-à-main (**Lukaski et al., 1985**) ou segmentaire (**Fuller & Elia, 1989 ; Stewart et al., 1993**). Récemment, plusieurs modèles d'appareils de plus en plus légers permettant de mesurer l'impédance au niveau du segment Pied-à-pied (**Nunez et al., 1997 ; Bell et al., 1998 ; Jebb et al., 2000**) ou Main-à-main (**Deurenberg et al., 2001**) ont été développés.

Ces méthodes sont basées sur l'hypothèse selon laquelle la relation entre l'impédance des membres et l'impédance totale est constante. Ces nouveaux appareils sont aussi précis que l'impédancemétrie totale (**Deurenberg & Schouten, 2003**) et ont la particularité d'être encore plus simples et donc plus adaptés à des études de terrain. Cependant, il n'existe pas à ce jour des équations de prédiction spécifiques aux africains permettant de transformer les mesures brutes d'impédancemétrie données par ces appareils en quantité d'eau ou de graisse corporelle.

### II.3. Les variations raciales de la composition corporelle

Il a été démontré depuis longtemps que la composition corporelle varie en fonction de l'âge et du sexe mais depuis peu, on parle d'une possible variation entre populations selon l'origine raciale (Malina, 1973, Ortiz et al., 1992 ; Casa et al., 2001 ; Wagner & Heyward, 2000 ; Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2001 ; Piers et al., 2003).

Plusieurs différences ont été élucidées en terme de composition corporelle entre les sujets occidentaux et ceux d'origine africaine, mais la plus documentée concerne une densité de la masse maigre plus élevée chez les sujets d'origine africaine (Shutte et al., 1984 ; Ortiz et al., 1992 ; Wagner & Heyward ; 2000). La première explication peut être un squelette plus lourd et plus dense chez ces derniers. Beaucoup d'études, que ce soit in vitro ou in vivo, ont montré que les sujets d'origine africaine ont un squelette plus lourd et plus dense que les sujets occidentaux. D'après celles-ci, cet état de fait serait dû à une quantité plus importante de calcium et de potassium dans leurs os (Seal, 1959 ; Baker & Angel, 1965 ; Trotter & Hixon, 1974 ; Cohn et al., 1977 ; Ortiz et al., 1992 ; Coté & Adams, 1993 ; Barondès et al., 1997). Shutte et al. (1984) expliquent la masse maigre plus dense par une quantité de protéines plus importante dans leurs muscles. D'autres études ont également démontré une plus importante et même une plus dense masse musculaire chez les sujets d'origine africaine (Cohn et al., 1977 ; Hampton et al., 1966). D'après Ortiz et al. (1992), la femme d'origine africaine et la femme occidentale de même taille, de même âge, de même poids et de même état menstruel ont une composition corporelle différente. Les femmes d'origine africaine ont plus de muscle squelettique et plus de minéraux dans les os par rapport aux femmes occidentales, par contre elles ont la même quantité d'eau dans la masse maigre. Ce qui impliquerait que la femme d'origine africaine ait une densité de masse maigre plus importante et une quantité plus élevée de potassium dans la masse maigre. Wagner & Heyward (2000), quant à eux, rejettent l'hypothèse selon laquelle la densité de la masse maigre est de 1,100 g/ml chez les hommes d'origine africaine. Selon eux, beaucoup de différences existent entre sujets occidentaux et sujets d'origine africaine ; ils ont noté une quantité de protéines plus importante chez les noirs et une quantité plus importante de minéraux dans leurs os. Ce qui expliquerait le fait que leurs os soient plus denses ainsi que leur masse maigre (Wagner & Heyward, 2000). D'après Shutte et al. (1984), la densité corporelle est de 1,113 g/ml chez l'homme d'origine africaine.

Il existe aussi une différence dans la configuration du corps notamment dans le modèle de distribution de la masse grasse (tissu adipeux sous cutané) entre les sujets occidentaux et les

sujets d'origine africaine. **Zillikens & Conway (1990)** ont trouvé que les femmes d'origine africaine ont plus de dépôt de masse grasse au niveau du tronc qu'au niveau des extrémités contrairement aux femmes occidentales.

Une différence dans les proportions du corps c'est à dire dans la taille relative des membres est également notée (**Frisancho, 1990**). Les noirs ont un tronc relativement plus court, des jambes et des bras relativement plus longs par rapport aux occidentaux (**Seal, 1959 ; Malina, 1973 ; 1996 ; Himes et al., 1988 ; Eveleth & Tanner, 1990 ; Norgan, 1994c**).

Ces différences rapportées entre les populations (**Deurenberg & Deurenberg Yap, 2001**) font qu'on parle beaucoup de la spécificité des équations de prédiction utilisées pour estimer les différents compartiments corporels (**Deurenberg, 1992**). D'après **Deurenberg et al. (1998)**, l'équation de prédiction de la masse grasse à partir de l'IMC est spécifique aux populations. Ils rapportent également que le biais obtenu lorsqu'on utilise l'impédancemétrie chez les asiatiques est dû à la différence dans la configuration du corps, montrant ainsi la nécessité de l'utilisation d'équations spécifiques (**Deurenberg et al. 2002**). **Boulier et al. (2002)** suggère que la validité de l'impédancemétrie pied-à-pied, pourrait être améliorée en tenant compte des caractéristiques des différents groupes de populations. Des propos similaires sont également rapportés par **Snijder et al. (1999)**. **Wagner & Heyward (2000)** et **Malina (1996)** du fait, des différences multiples rapportées entre les populations, plaident pour la nécessité de tester les équations de prédiction de la composition corporelle chez les populations d'origine africaine.

### III. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans les populations à risque de malnutrition, comme en Afrique par exemple, la mesure de l'état nutritionnel est un sujet de préoccupation constante, que ce soit pour le dépistage de la malnutrition, le ciblage et l'évaluation des interventions nutritionnelles, ou encore l'appréciation des déterminants et des conséquences des malnutritions. Dans le contexte africain il serait donc intéressant de disposer des méthodes de mesure de la composition corporelle simples, valides, relativement bon marché, présentant peu d'inconvénients pour le sujet et utilisables pour des études épidémiologiques en condition de terrain.

Les méthodes de terrain, que ce soit l'anthropométrie ou l'impédancemétrie, sont plus accessibles aux équipes de recherche africaines et sont mieux adaptées pour des études épidémiologiques. Mais il se trouve que toutes ces méthodes utilisent des équations de prédiction établies chez les sujets occidentaux. Compte tenu de la variation de la composition

corporelle entre populations et plus spécifiquement entre les sujets d'origine africaine et les occidentaux, on peut se poser la question de la validité de ces équations chez les femmes africaines. Beaucoup d'investigations ont été menées chez les asiatiques par **Deurenberg et al. (1996 ; 1998 ; 1999 ; 2002 ; 2003)**, **Deurenberg & Deurenberg-Yap (2002 ; 2003)**, **Deurenberg-Yap et al. (2003)**, **Wang et al. (1994 ; 1995)** et **Wang & Deurenberg (1996)**, chez les boliviens par **Kashiwazaki et al. (1998)** et chez les aborigènes par **Piers et al. (2003)**. A notre connaissance, peu d'études ont été menées chez les noirs américains (**Zillikens & Conway, 1990 ; 1991 ; Brandon et al., 1998 ; Luke et al., 1997 ; Wank et al. 1995**) et seulement quelques rares chez les africains (**Deurenberg et al., 1995b ; Luke et al., 1997 ; Lemen et al., 2003 ; Cameron et al., 2004**). La plupart de ces études concluent à une non validité des équations de prédiction d'origine occidentale. Alors que certaines ont conclu à une validité de ces équations occidentales chez d'autres groupes de population (**De Waart et al., 1993 ; Yao et al. ; 2002 ; Wang & Deurenberg, 1996 ; Kashiwazaki et al., 1998 ; Zillikens & Conway, 1990**).

A ce jour, il existe des appareils d'impédancemétrie accessibles aux équipes de recherche africaines mais pas d'équations d'impédancemétrie qui leurs sont spécifiques. Etant donné que nous avons la chance de disposer à Dakar, en plus des impédancemètres, d'un densitomètre à déplacement d'air (UR 106 de l'IRD de Dakar) et d'un spectrophotomètre infrarouge à transformée de Fourier (Equipe de Nutrition, Université de Dakar), il nous a paru intéressant de valider chez les femmes africaines la méthode d'impédancemétrie par rapport à ces méthodes de référence. Les équations spécifiques aux africaines qui seraient issues de cette validation devraient permettre à l'impédancemétrie de compléter de façon très appréciable les informations fournies par l'anthropométrie pour une amélioration de la mesure de l'état nutritionnel sur le terrain en Afrique. En même temps, nous avons essayé de tester la validité de la méthode des plis cutanés chez les africains, plus précisément celle utilisant les équations de **Durnin & Womersley (1974)** et de **Siri (1961)**.

L'objectif général de la thèse est :

La validation de méthodes de terrain par rapport à la densitométrie et à la dilution isotopique pour une mesure de la masse grasse et de l'eau corporelle chez les femmes africaines en vue d'une utilisation dans des études épidémiologiques en milieu rural et urbain.



Les objectifs spécifiques sont de :

- Comparer l'impédancemétrie corps total et la dilution isotopique pour tester la validité de différentes équations de la littérature qui utilisent les données de l'impédancemétrie totale pour prédire l'eau corporelle totale. Ceci, afin de voir si la validité des équations de l'impédancemétrie corps total, permettant d'estimer l'eau corporelle totale, dépend de l'origine raciale de la population qui a servi à l'établir. A savoir si les équations, établies chez les populations d'origine africaine, montrent une meilleure validité chez les sujets de notre échantillon par rapport à celles établies chez les occidentaux. La deuxième hypothèse consiste à tester si les équations avec plusieurs variables indépendantes donnent de meilleurs résultats que celles avec une seule variable indépendante.
- Comparer la méthode des plis cutanés à la densitométrie dans l'hypothèse de tester en premier lieu la validité de l'équation de **Durnin & Womersley (1974)** prédisant la densité corporelle et l'équation de **Siri (1961)** calculant le pourcentage de masse grasse à partir de la densité corporelle. En deuxième lieu, étudier l'impact de l'utilisation d'une équation spécifique aux sujets d'origine africaine dans l'estimation du pourcentage de masse grasse et de masse maigre. Cette équation tient compte d'une densité de masse maigre plus élevée chez les sujets noirs, pour calculer le pourcentage de masse grasse à partir de la densité corporelle.
- Comparer les méthodes d'impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied à la densitométrie. Ce qui permet de tester si les équations internes de ces impédancemètres qui prédisent le pourcentage de masse grasse et la masse maigre sont elles applicables chez les femmes africaines.
- Etablir des équations de prédiction pour les méthodes d'impédancemétrie partielle main-à-main et pied-à-pied pour l'estimation de la masse grasse et de la masse maigre, spécifiques aux femmes africaines. Ces équations seront établies en référence à la densitométrie, en corrigeant leurs biais par rapport à la référence.
- Tester l'intérêt de combiner des méthodes d'impédancemétrie pied-à-pied et main-à-main. Ceci, dans l'hypothèse de voir si l'utilisation simultanée et combinée des deux méthodes va donner de meilleurs résultats que si seule l'une d'entre elles était utilisée.
- Utiliser l'impédancemétrie partielle validée, dans des études épidémiologiques en milieu rural (Sédhiou) et urbain (Pikine) au Sénégal.
- Comparer la composition corporelle en termes de masse grasse et de masse maigre entre femmes rurales et femmes urbaines et en fonction des classes d'IMC définies par l'OMS.

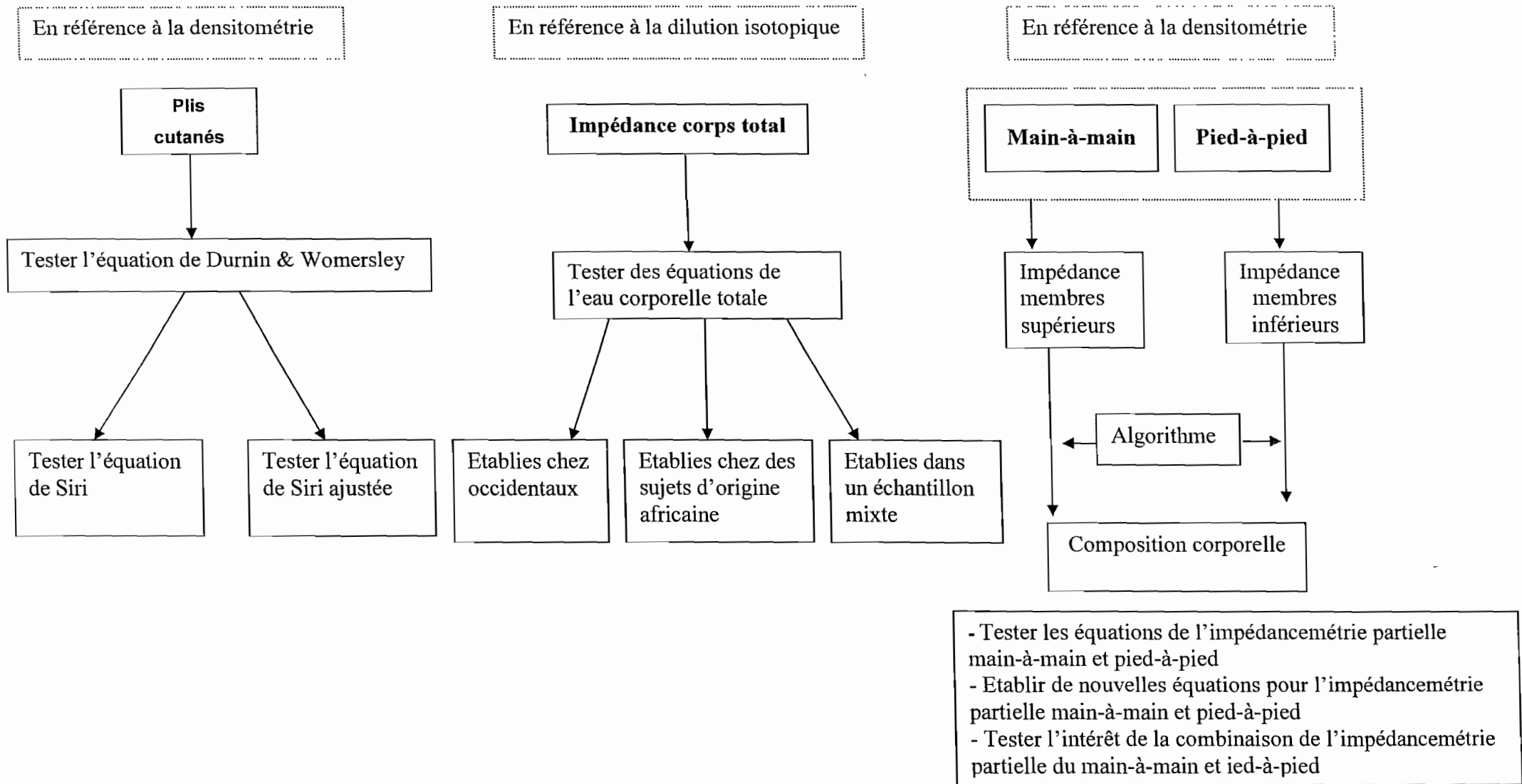


Figure 1 : Les objectifs spécifiques : plis cutanés, impédance totale, impédance main-à-main, impédance pied-à-pied

**ETUDE METHODOLOGIQUE**

## I. INTRODUCTION

Pour la partie méthodologique de cette étude, nous avons testé la validité des méthodes de terrain, utilisant des équations de prédiction pour estimer les compartiments corporels (densité corporelle, masse grasse, masse maigre et eau corporelle totale). La plupart de ces équations est établie chez des sujets non africains. Ainsi, nous avons utilisé simultanément chez les femmes sénégalaises deux méthodes de référence et deux méthodes de terrain afin de faire des comparaisons.

## II. SUJETS ET METHODES

### II.1. Sujets

Les sujets sont des femmes volontaires recrutées à Yarakh, quartier Nord-Est de Dakar, par l'intermédiaire de relais habitant le quartier (des jeunes qui sont d'anciens acteurs du Programme de Nutrition Communautaire du Sénégal). Elles sont non enceintes et âgées de 18 à 55 ans. Yarakh, un quartier périurbain de la ville de Dakar, a été choisi, d'une part, grâce à la proximité avec l'IRD où se déroulent les mesures et d'autre part, c'est un quartier déjà étudié par l'Equipe de Nutrition de la Faculté des Sciences et Techniques (UCAD). C'est également, un quartier où cohabitent ensemble plusieurs ethnies et où le contexte socio-économique est un bon reflet du vécu de la majorité des sénégalais et des africains.

L'approbation du comité d'éthique de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar a été obtenue avant le démarrage de l'étude.

Une sensibilisation a été faite avant le recrutement, donnant ainsi une information sur le but de l'étude, les méthodes employées et les modalités de leur utilisation chez les sujets. Pour les volontaires recrutées, un consentement informé écrit est obtenu pour participer à l'étude et un rendez-vous leur est fixé. Chaque jour, 6 femmes sont mesurées à l'IRD dans une salle spécialisée. Un groupe de 3 sujets a rendez-vous à 8h et un autre groupe de 3 à 10 h. Il faut noter que ces femmes sont à jeun depuis au moins 5 heures avant les mesures et que le déplacement entre leur quartier et l'IRD est assuré par une voiture avec un chauffeur. Une fois à l'IRD, plusieurs mesures sont effectuées simultanément sur chaque sujet (voir questionnaire en annexe) : l'anthropométrie, l'impédancemétrie et la densitométrie. Au total 221 sujets ont été mesurés et parmi eux, 36 ont reçu de l'eau marquée au deutérium en plus des 3 mesures citées.

## **II.2. Méthodes**

### **II.2.1. Mesures anthropométriques**

Les mesures anthropométriques ont été réalisées selon les procédures standard (**Lohman et al., 1988**). Pour cette étude méthodologique, nous avons recueilli le maximum de données anthropométriques.

#### **II.2.1. 1. Age**

La détermination d'un âge précis est un élément essentiel. Pour l'étude méthodologique nous n'avons pas eu de problèmes car toutes les femmes connaissaient leur âge et étaient détentrices d'une carte d'identité.

#### **II.2.1.2. La taille**

La taille debout est mesurée en double au mm près, grâce à une toise verticale installée sur une surface plane et dure. Après avoir vérifié que le zéro de l'échelle est à la base de la toise nous demandions au sujet de se déchausser, d'enlever le foulard, et de se tenir debout au centre de la planche, le dos contre la toise, les pieds joints bien à plat. Ensuite, on vérifie que les pieds, les fesses, le tronc, les épaules et la tête sont en contact avec la toise. Nous veillons à ce que la tête du sujet soit bien redressée en lui demandant de regarder droit devant lui. Puis la partie coulissante de la toise est abaissée de façon à ce qu'elle repose fermement sur la tête et qu'elle soit à angle droit par rapport à la toise.

Nous avons mesuré la taille assise en simple de la même manière, sauf qu'ici le sujet est assis sur un tabouret dont la hauteur est également mesurée.

#### **II.2.1. 3. Le poids**

Le poids du sujet qui est en sous-vêtement, est mesuré à 10 g près avec la balance du densitomètre (**Bod-Pod, Tanita corp, Tokyo, Japan**) reliée à un ordinateur qui détecte le moindre mouvement. Pour la mesure nous demandons au sujet de monter sur la balance et de ne pas bouger pendant quelques secondes. Le poids corporel, exprimé en kg, est mesuré en double.

#### II.2.1. 4. Epaisseur des plis cutanés

Les plis cutanés exprimés en mm sont mesurés en double sur le coté gauche à 2 mm près au moyen d'un compas (**Holtain Ltd, Crosswell, Crymmych, Dyfed, Wales, GB**). Le pli tricipital est mesuré au milieu de la face postérieure du bras, sur le triceps, à mi-distance entre l'extrémité de l'acromion et l'olécrane. Le pli bicipital est mesuré au même niveau au milieu de la face antérieure du bras sur la ligne médiane au milieu du biceps. Le pli sous-scapulaire est mesuré juste au-dessous de l'angle inférieur de l'omoplate. Le pli cutané supra iliaque se mesure au-dessus de la crête iliaque.

##### Calcul des compartiments corporels à partir des plis cutanés

La densité corporelle est calculée à partir du logarithme de la somme des 4 plis cutanés en utilisant l'équation de **Durnin & Womersley (1974)**.

Si âge < 20	ans	$D = 1,1549 - (0,0678 * \log p)$	p étant la somme des 4 plis.
Si 19 < âge < 30	ans	$D = 1,1599 - (0,0717 * \log p)$	
Si 29 < âge < 40	ans	$D = 1,1423 - (0,0632 * \log p)$	
Si 39 < âge < 50	ans	$D = 1,1333 - (0,0612 * \log p)$	
Si age > 49	ans	$D = 1,1339 - (0,0645 * \log p)$	

Cette équation a été établie chez 272 femmes britanniques, âgées de 16 à 68 ans avec comme méthode de référence la densitométrie par pesée sous l'eau.

Le pourcentage de masse grasse est calculé à partir de cette densité, avec l'équation de **Siri (1961)** établie chez des sujets occidentaux.

$$MG (\%) = 100 * (4,95/D - 4,5) \quad D \text{ est la densité corporelle}$$

Nous avons également estimé le pourcentage de masse grasse à partir de cette densité corporelle avec l'équation de Siri ajustée, selon les recommandations de **Heyward (2001)**.

Cette équation a été obtenue (**Gartner et al., 2003**) en reprenant les calculs menant à l'équation de **Siri (1961)** mais en remplaçant d'une part la densité de la masse maigre par celle des femmes d'origine africaine (1,106 kg/l) donnée par **Ortiz et al. (1992)** et d'autre part la densité de la masse grasse par celle des populations d'origine africaine (0,9007 kg/l) utilisée par **Wagner & Heyward. (2001)** comme présenté en annexe.

$$MG (\%) = 100 * (4,85229/D - 4,38724) \quad D \text{ est la densité corporelle}$$

La masse maigre est calculée par la différence entre le poids et la masse grasse en kg.

### II.2.1. 5. Les périmètres

Le tour de bras (en double), le tour de taille, le tour de hanches, le tour de cuisse et le tour de poignet sont mesurés avec un mètre ruban flexible inélastique. Ils s'expriment en cm et sont pris à un mm près. Le tour de bras est mesuré du côté gauche au milieu du bras entre l'acromion et l'olécrane. Le tour de taille est mesuré sur le plan horizontal qui correspond à la partie la plus fine du torse, située entre les dernières côtes et la crête iliaque (Lohman et al., 1988). Le tour de hanches est mesuré au niveau du plan horizontal le plus large. Le tour de poignet est mesuré au niveau de l'os du poignet et le tour de cuisse au niveau de la mi-cuisse.

### II.2.1. 6. Les indices anthropométriques

La taille assise et la taille debout nous permettent de calculer le rapport de la taille assise sur la taille debout. Ce dernier nous donne une idée de la taille relative des membres qui joue un rôle très important dans l'impédancemétrie (Fuller & Elia, 1989 ; Baumgartner et al, 1989) et qui varie de façon assez significative entre les populations (Eveleth & Tanner, 1990).

Avec le tour de taille et le tour de hanche, nous avons calculé le rapport tour de taille sur tour de hanche qui est un indicateur de la répartition de la masse grasse abdominale.

Avec le poids et la taille, nous avons calculé l'indice de masse corporelle (IMC) ou indice de Quételet (1869) qui est égal au rapport du poids en kg sur la taille en mètre au carré. Cet indice est largement utilisé pour l'évaluation de l'état nutritionnel des adultes dans les études épidémiologiques (WHO, 1995 ; Shetty & James, 1994). L'OMS (WHO, 1995), en se basant sur des études faites chez les occidentaux, considère comme appartenant au groupe "maigre" les sujets adultes ayant un IMC < 18,5 kg/m<sup>2</sup>, comme "normaux" ceux dont leur IMC est dans l'intervalle ]18,5-25[, et comme appartenant au groupe "surpoids" ceux qui ont un IMC ≥ 25 kg/m<sup>2</sup>. L'obésité est définie par un IMC ≥ 30 kg/m<sup>2</sup>.

### II.2.2. Impédancemétrie

Pour cette étude méthodologique, nous avons utilisé aussi bien les impédancemètres corps total que les impédancemètres partiels.

### **II.2.2.1. Impédancemétrie corps total**

L'impédancemètre Xitron 4000S multifréquence (Xitron, San Diego, CA, USA) utilisé dans ce travail présente deux paires d'électrodes collées au niveau de la main et du pied, qui permettent de recueillir des mesures au niveau du corps entier. Cet appareil peut prendre un grand nombre de mesures en multifréquence, ce qui permet de différencier le passage du courant dans les tissus maigres intracellulaires aux fréquences élevées, et dans les fluides extracellulaires aux basses fréquences du courant. Il est piloté à partir d'un ordinateur ce qui permet de fixer les fréquences de mesure et de sauvegarder instantanément les résultats de chaque sujet dans un fichier informatique. Il faut noter que la mesure est rapide et acceptable pour le sujet.

Avant le début d'une série de mesures, l'appareil est calibré avec un standard de 422  $\Omega$ , puis la calibration est vérifiée par une mesure du standard avec un spectre compris entre 5 et 1000 kHz.

Le sujet est allongé au moins 15 minutes avant le début de la mesure pour assurer une stabilisation des liquides corporels.

#### **a. Le placement des électrodes**

Les dessus de la main et du pied gauche sont nettoyés à l'alcool à 90°. Les électrodes (Xitron) sont placées conformément à la méthode standard utilisée chez l'adulte (manuel Xitron), c'est à dire au niveau du repère anatomique des os du poignet ou de la cheville pour les électrodes "sensor" et à la base des doigts pour les électrodes "signal". Les électrodes "signal" assurent le passage du courant et les électrodes "sensor" permettent de détecter la résistance du conducteur. Les câbles sont connectés conformément au manuel Xitron. Pour assurer la fixation des pinces à l'extrémité des électrodes, il est recommandé d'appuyer dessus manuellement et délicatement.

#### **b. La prise et l'enregistrement des mesures**

Le sujet est allongé sur le dos, les jambes et les bras écartés. Sa peau ne doit pas être en contact avec celle d'une autre personne ou avec un objet métallique.

Dans cette étude, nous avons choisi de fixer les mesures à 5, 50, 100 et 500 kHz pour retrouver les mêmes fréquences que celles utilisées avec les appareils classiques. De plus,



nous avons mesuré les 4 spectres proposés par l'appareil (25 et 50 mesures de 1 à 500 kHz ou de 1 à 1000 kHz). Pour chaque sujet, nous avons mesuré dans l'ordre les 4 fréquences choisies, les 4 spectres et de nouveau les 4 fréquences choisies.

### c. Estimation de l'eau corporelle totale

L'eau corporelle est généralement calculée à partir de la résistance à 50 kHz et/ou de la réactance et/ou de l'impédance grâce à diverses équations de prédiction publiées dans la littérature et établies chez différents groupes de population.

## II.2.2.2. Impédancemétrie partielle

### a. Pied-à-pied

L'impédancemètre partiel pied-à-pied Bodymaster (**Tefal, Rumilly, France**) est un pèse-personne intégrant la mesure de l'impédance des jambes grâce à 4 contacts servant de paires d'électrodes sous les deux pieds (**Bell et al., 1998**). Son utilisation est très simple et présente l'avantage d'être couplée à la mesure du poids corporel.

Après avoir entré la taille, l'âge et le sexe du sujet, celui-ci en pagne léger monte sur la balance et y reste pendant 5 secondes sans bouger, en veillant à ce que ses pieds soient bien au contact des électrodes. L'appareil donne successivement le poids, la masse grasse et la masse maigre en kg qui sont ainsi relevés.

### b. Main-à-main

Le modèle d'impédancemètre partiel main-à-main utilisé est l'Omron HBF300 (**Omron Healthcare Inc, Verno hills, IL, USA**). C'est un appareil très léger qui se présente comme un "volant" et qui permet de mesurer le passage du courant au niveau des bras grâce à deux paires d'électrodes en contact avec les deux mains.

Après avoir entré la taille, le poids, l'âge et le sexe du sujet, celui-ci positionne ses mains débarrassées de tout objet métallique au contact des électrodes et étire les bras vers l'avant de telle sorte qu'il y ait un angle droit entre les bras et le reste du corps. L'appareil donne simultanément le pourcentage de masse grasse à 0,1% près et le poids de graisse, qu'il faut noter. Pendant la mesure, il faut veiller à ce que le sujet ne bouge pas les bras.

Pour les impédancemètres partiels, les résultats de la composition corporelle sont donnés directement par les appareils grâce à des équations internes établies chez les sujets occidentaux.

### **II.2.3. Densitométrie par déplacement d'air**

Cette méthode utilise la relation inverse entre la pression et le volume pour déterminer le volume corporel. L'appareil produit un petit changement de volume, mesure la pression en réponse à ce changement et détermine ainsi le volume de la chambre à vide. Ensuite, il mesure le volume d'air lorsque le sujet se trouve à l'intérieur et par différence il détermine celui du sujet. A partir de ce volume, du volume pulmonaire et du poids (mesuré par la balance électronique reliée à l'appareil) il donne la densité corporelle.

#### **II.2.3.1. L'appareil**

L'appareil utilisé est le Bod-Pod modèle 2000A (**Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA**). Il a une forme de caisson à taille humaine constitué de deux chambres : la chambre avant dans lequel le sujet s'assoit et la chambre arrière ou chambre de référence. Les deux chambres sont séparées par une paroi sur laquelle est monté un diaphragme. Ce diaphragme est relié directement à un ordinateur et durant le test il peut osciller d'avant en arrière (**Dempster & Aitkens, 1995**). Lorsque le volume augmente dans une chambre, il diminue dans l'autre. Il s'en suit un changement de pression indiquant la dimension relative de chaque chambre. L'appareil est aussi relié à une balance électronique et le tout est piloté par un ordinateur.

#### **II.2.3.2. La mesure**

Avant toute utilisation, l'appareil est préchauffé durant 30 mn. On effectue ensuite une série de 6 mesures à vide suivie de 5 mesures d'un cylindre de 50 litres (manuel Bod-Pod) qui permettent de le calibrer et de vérifier la mesure. La balance est aussi vérifiée par une mesure précise du standard de 20 kg.

Le sujet est informé de la nécessité d'entrer dans la chambre de mesure. Le programme "practice" permet de le familiariser avec les conditions de mesure (espace clos, bruit) et avec la méthode de mesure du volume pulmonaire (consignes de respiration). Il faut noter que la

mesure du poids, et du volume corporel sont effectuées avec le sujet en sous-vêtement (Fields et al., 2000) et en bonnet pour éviter que les vêtements et les cheveux emmagasinent de l'air, ce qui peut contribuer à fausser les mesures.

#### **a. Mesure du poids corporel**

Le sujet monte sur la balance et reste immobile pendant 5 secondes. Il faut veiller à ce qu'il ne touche pas la balance pendant la mise à zéro qui se fait informatiquement avant et après la pesée.

#### **b. Mesure du volume corporel**

Le sujet entre dans l'appareil et s'assied confortablement, se relaxe et respire normalement tout en mettant les mains sur les genoux. La porte étant fermée, le sujet ne doit pas bouger au cours de la mesure qui dure 50 secondes. Elle est répétée en ouvrant et refermant la porte tout en suivant les instructions du pilote informatique; le sujet doit garder la même position. Ensuite, l'appareil fait la moyenne des deux valeurs. Il arrive que par suite d'un changement de position du sujet nous obtenions un écart assez important qui est détecté par le pilote informatique. Dans ce cas, une troisième mesure est nécessaire et seule la moyenne des deux valeurs les plus proches est retenue.

#### **c. Mesure du volume pulmonaire**

Le sujet porte un pince-nez et tient un tube connecté à la paroi située entre les deux chambres. En suivant les instructions fournies par l'appareil, on signale au sujet le moment où il doit mettre le tube dans sa bouche et respirer normalement et de façon détendue. Un deuxième signal indique au sujet d'expirer 3 fois dans le tube (sans inspirer), ce qui contracte le diaphragme. Cette mesure peut être répétée jusqu'à 5 fois pour une même mesure du volume corporel. En effet, c'est la mesure du volume pulmonaire qui complète les tests avant l'affichage des résultats définitifs.

Sur un sous-groupe de sujets, nous avons effectué successivement deux séries de mesures avec le volume pulmonaire mesuré ou prédit. Ce qui nous permet d'avoir facilement des doubles du volume corporel et du poids. Nous avons également estimé le résultat obtenu à

partir du même volume corporel avec l'approche volume pulmonaire prédit et mesuré. Ce qui nous permet aussi de comparer les résultats obtenus avec le volume pulmonaire mesuré ou prédit.

#### **d. Estimation des compartiments corporels**

Comme précédemment évoqué lors du calcul du pourcentage de masse grasse à partir de la densité obtenue avec l'aide des plis cutanés, la densité corporelle donnée par l'appareil est utilisée dans une équation que nous avons établie (**Gartner et al., 2003**) et qui est plus adaptée aux sujets africains que l'équation de **Siri (1961)**.

$$\text{MG (\%)} = 100 * (4,85229/D - 4,38724) \quad \text{D est la densité corporelle}$$

La masse maigre est obtenue par différence entre le poids corporel et la masse grasse.

#### **II.2.4. Dilution isotopique**

Elle consiste à administrer aux sujets une dose d'eau enrichie en deutérium (isotope stable) qui va se répartir dans le compartiment d'eau corporelle et ensuite de suivre sa disparition au niveau des prélèvements biologiques (**Shoeller et al, 1980 ; Lukaski & Johnson, 1985 ; Jennings et al., 1999**).

##### **II.2.4.1. Administration du deutérium, prélèvement, traitement des échantillons**

Le jour des mesures, nous avons administré aux sujets par voie orale 30 g d'eau enrichie en deutérium (isotope stable) qui se sont répartis dans le compartiment d'eau corporelle. La dose est pesée avec précision avant absorption puis le récipient est pesé après de façon à connaître la quantité exacte ingérée. Avant de donner la dose d'eau deutérée, nous avons demandé au sujet de déposer environ 5 ml de salive (J0) correspondant à la salive pré-dose dans un tube stérile. Les quatre jours suivant l'administration du deutérium puis le 13<sup>ème</sup> et le 14<sup>ème</sup> jours, nous avons effectué à nouveau des prélèvements de salive chez les sujets : ce sont les salives post dose (J1, J2, J3, J4, J13 et J14). Hormis le jour J0, où les sujets sont au laboratoire, les autres prélèvements de salive sont recueillis en allant visiter les sujets à domicile. Sur le terrain, les échantillons de salive sont conservés dans une glacière en attendant leur arrivée au

laboratoire où ils sont centrifugés à 10500 tours par minute pendant 5 minutes pour éliminer les débris solides. Pour chaque échantillon, le surnageant est réparti en deux aliquotes conservés à  $-20^{\circ}\text{C}$  dans des cryotubes en attendant le dosage.

#### **II.2.4.2. Dosage du deutérium par Spectrométrie Infrarouge à Transformée de Fourier**

##### **a. Appareil**

L'appareil utilisé est le Spectromètre Infrarouge à Transformée de Fourier (FTIR) modèle 8300 de Shimadzu (Shimadzu, Vienne, Autriche). Le FTIR ne mesure pas à proprement parler la concentration en deutérium des échantillons de salive mais leur enrichissement. Le compartiment de mesure de l'appareil dispose d'une navette dotée de deux porte-cellules. Une des cellules porte l'échantillon "pré-dose" (J0) et l'autre un des échantillons "post-dose". La précision des mesures du FTIR a été testée par rapport à la spectrométrie de masse (**Fusch et al, 1993**).

##### **b. Analyse des échantillons de salive au FTIR**

Une solution standard est préparée en mélangeant 0,2657 g de  $\text{D}_2\text{O}$  à 99,9% dans 250 ml d'eau distillée et déionisée. L'enrichissement de la solution est contrôlé en la comparant à un standard récent de concentration connue (mesuré au spectromètre de masse en Angleterre) et dans notre étude elle est égale à 921 ppm.

Les échantillons sont décongelés et centrifugés à nouveau à 3000 tr/mn pendant 5mn. La salive est introduite dans une cellule démontable de 100  $\mu\text{m}$  d'épaisseur et de 0,1 ml de volume à l'aide de seringues de 1 ml. Après remplissage, les orifices sont bien fermés avec des bouchons de téflon et les parois extérieures de la cellule sont bien nettoyées avec du papier Kimwipes. Les cellules remplies sont placées sur la navette de l'appareil de telle sorte que le porte-cellule arrière reçoit la salive "pré-dose" et celui de devant les salives "post-dose". L'appareil, qui ne dispose que d'un seul faisceau laser, scanne d'abord l'échantillon "pré-dose" ensuite l'échantillon "post-dose" grâce au déplacement de la navette, et soustrait automatiquement le niveau de base pour donner le spectre définitif. Les mesures sont effectuées entre 2300 et 2800  $\text{cm}^{-1}$ . Les lectures sont effectuées en double et chaque échantillon "post-dose" est lu deux fois contre l'échantillon "pré-dose".

Avant et après les 6 prélèvements de chaque sujet, la solution standard de concentration connue qui sert de calibre est systématiquement lue.

Les enrichissements en ppm des échantillons "post-dose" sont obtenus grâce à un algorithme établi par le "Medical Research Council-Human Nutrition Research" de Cambridge. Ces enrichissements, ainsi que l'âge, le poids corporel et le poids exact de la dose ingérée sont transférés sur une feuille de calcul Excel pour obtenir l'espace de dilution du deutérium. En effet, à partir des 6 dosages de chaque sujet, le logiciel modélise la courbe de disparition du deutérium (voir annexe). L'écart entre la courbe théorique et les points est caractérisé par un paramètre d'erreur qui détermine la qualité des mesures.

### **c. Calcul de l'eau corporelle par la dilution isotopique**

L'eau corporelle totale est calculée par la formule :

$$\text{Eau totale} = \text{espace de dilution du deutérium} / 1,04$$

Cette correction est nécessaire, à cause de l'échange de deutérium avec d'autres atomes d'hydrogène autres que ceux des molécules d'eau, qui fait que l'espace de dilution du deutérium est légèrement supérieur au volume d'eau corporelle totale.

## **II.2.5. Analyses statistiques des données**

La saisie et la validation des données ont été effectuées à l'aide du logiciel Epi-info 6.04 (Dean et al., 1994). L'analyse a été réalisée avec les logiciels SAS V8 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA), Epi-info 6.04 (CDC, Atlanta, GE, USA) SPSS 11.5 (SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA). Les résultats sont exprimés en moyennes et écart-type.

### **II.2.5.1 Qualité des mesures**

La qualité des mesures est obtenue grâce à des études de répétabilité par des mesures en double. L'erreur technique de mesure (racine de la différence des doubles au carré/deux fois le nombre de double) et le pourcentage de répétabilité (100\* l'erreur technique divisée par la moyenne des mesures) sont calculés.

Pour le Bod-Pod, nous avons également étudié la variabilité des volumes pulmonaires mesurés entre les approches « prédit » et « mesuré » ainsi que son impact dans la détermination de la composition corporelle.

Pour la dilution isotopique, nous avons calculé la moyenne de l'erreur pour la comparer à la valeur limite acceptable de 5 ppm. Nous avons également comparé les résultats donnés pour un même standard lu au FTIR et au spectromètre de masse afin de s'assurer de la qualité des mesures du FTIR utilisé dans notre étude.

#### **II.2.5.2 Estimation des compartiments corporels et comparaison de méthodes**

La moyenne des compartiments corporels sur chaque échantillon est calculée pour chaque méthode. La comparaison des résultats de masse maigre et de masse grasse obtenus par deux méthodes est faite avec un test t de Student apparié.

Pour comparer deux méthodes, nous avons d'abord testé leur corrélation à l'aide du coefficient de corrélation de Pearson. Compte tenu du fait que la corrélation seule ne suffit pas pour la comparaison de méthodes, nous avons également étudié leur concordance par la relation entre les différences individuelles entre les deux méthodes et leur moyenne selon la recommandation de **Bland & Altman (1986 ; 1995)**. La concordance est déterminée par le biais qui est la différence moyenne et par l'erreur qui est l'écart type de la différence. Les limites de concordance ont été calculées comme étant les valeurs correspondantes à  $1,96 \times \text{écart-type}$  au-dessus et en dessous de la moyenne des différences. La relation entre les moyennes et les différences a été également étudiée.

Ainsi, pour cette partie méthodologique, nous avons comparé d'une part, la densitométrie qui est une méthode de référence par rapport aux méthodes de terrain (épaisseur des plis cutanés et impédancemétrie partielle) pour la mesure de la masse grasse et de la masse maigre et d'autre part, l'impédancemétrie totale à la dilution isotopique pour la mesure de l'eau corporelle totale.

#### **II.2.5.3. Etablissement d'équations de prédiction et validation croisée**

La méthode utilisée est la régression linéaire (**Guo et al., 1996 ; Guo & Chumlea, 1996**) simple et multivariée. L'échantillon est divisé de façon aléatoire en deux groupes indépendants de mêmes caractéristiques. Le premier va servir à l'établissement d'équations et le deuxième à la validation de la prédiction. La variable dépendante, c'est-à-dire la variable qu'on veut mesurer, est donnée par la référence. Les variables indépendantes, quant à elles, sont des paramètres qui sont testés pour leur importance ou leur nécessité à entrer dans l'équation en étudiant leur relation (corrélation) avec la variable dépendante. Ces variables

indépendantes peuvent provenir de la méthode à valider et de l'anthropométrie. L'inclusion de ces dernières se fait pas à pas (Guo et al., 1996 ; Guo & Chumlea, 1996). La précision de l'équation est déterminée par le R<sup>2</sup> et l'erreur de prédiction. Le R<sup>2</sup> est la proportion de la variance de la variable dépendante expliquée par les variables indépendantes. L'erreur de prédiction quant à elle est égale à  $\sqrt{\Sigma(\text{observée-prédite})^2/(n-p-1)}$  où n est le nombre des observations et p est le nombre de variables indépendantes. Plus le R<sup>2</sup> est élevé et l'erreur petite, meilleure est l'équation.

Pour tester la validité de l'équation établie, une validation croisée est effectuée (Guo et al., 1996 ; Guo & Chumlea, 1996). Pour cela, l'équation est appliquée au deuxième sous-groupe qui présente les mêmes caractéristiques que celui qui a permis d'établir l'équation. La qualité de la validation va être déterminée par l'erreur de validation qui est égale à  $\sqrt{\Sigma(\text{observée-prédite})^2/n}$  où n est le nombre des observations. Le coefficient de variation qui est l'erreur de validation standardisée par rapport à la valeur moyenne de la variable dépendante est également donné.

Nous avons testé la possibilité d'obtenir une relation utilisable entre les résultats (masse grasse et masse maigre) donnés par les méthodes d'impédancemétrie partielle grâce à des équations internes aux appareils et non diffusées et ceux donnés par la méthode de référence, à savoir la densitométrie.

### II.2.6. Répartition des sujets en fonction des méthodes et axes de travail

Suivant la présence simultanée de méthodes, on a défini 4 groupes de sujets avec 4 axes de travail (Figure 2).

				<u>Effectif</u>
				221
				36
				196
				187
				170
				170
Densitométrie + Plis sous cutanés n=196	Densitométrie + Pied-à-pied n=170	Densitométrie + Main-à-main n=170	Dilution isotopique + Impédancemétrie totale n= 36	

Figure 2 : Répartition des sujets en fonction des méthodes et les axes de travail



### III. RESULTATS

#### III.1. Qualité des mesures

##### III.1.1. Etude de répétabilité

Presque toutes les mesures de base ont été effectuées en double chez la plupart des sujets, ce qui permet de faire des études de répétabilité (**Tableau 2**) montrant que pour toutes les mesures, nous avons une bonne répétabilité.

Pour l'anthropométrie, les meilleures reproductibilités ont été obtenues avec la taille, le poids, et le tour de bras. La répétabilité des plis cutanés est bonne mais moindre par rapport à celle obtenue pour les autres paramètres anthropométriques.

Pour le Bod-Pod, nous avons obtenu une bonne répétabilité de la mesure du volume corporel. L'estimation des compartiments corporels est aussi bien reproductible lorsque le volume pulmonaire est constant.

La répétabilité de l'impédancemétrie main-à-main est un peu moins bonne que celle de l'impédancemétrie pied-à-pied ; les meilleurs résultats étant ceux de l'impédancemétrie corps total.

Ainsi, pour toutes les analyses qui vont suivre, les valeurs individuelles correspondent à la moyenne de deux mesures effectuées en double.

**Tableau 2 : Répétabilité intra-sujet des mesures en double**

	n	Doubles		Différence moyenne <sup>a</sup> (e.t.)	Erreur technique de mesure <sup>b</sup>	Pourcentage de répétabilité <sup>c</sup>
		Mesure 1	Mesure 2			
		Moyenne des mesures (e.t.)				
<b>Densitométrie</b>						
Volume corporel (l)	128	57,2 (13,5)	57,2 (13,5)	0,09 (0,10)	0,10	0,2
Densité (kg/l)	128	1,0253 (0,0193)	1,0253 (0,0196)	0,00184 (0,00185)	0,0018	0,2
Masse maigre (kg)	128	38,5 (4,5)	38,6 (4,6)	0,50 (0,50)	0,50	1,3
% masse grasse	128	34,7 (8,9)	34,7 (9,0)	0,84 (0,83)	0,84	2,4
<b>Anthropométrie</b>						
Pli bicipital (mm)	196	7,2 (4,6)	7,4 (4,8)	0,42 (0,45)	0,13	1,8
Pli tricipital (mm)	196	16,5 (6,7)	16,2 (6,6)	0,65 (0,58)	0,59	3,5
Pli suprailliac (mm)	196	12,8 (5,9)	12,9 (6,0)	0,71 (0,68)	0,30	2,2
Pli sous-scapulaire (mm)	196	13,4 (6,5)	13,6 (6,6)	0,65 (1,44)	0,56	4,1
Tour de bras (cm)	195	27,7 (4,5)	27,8 (4,5)	0,14 (0,12)	0,04	0,2
Poids (kg)	198	61,7 (514,2)	61,6 (14,2)	0,02 (0,07)	0,05	0,1
Taille (cm)	221	164,6 (5,6)	164,6 (5,6)	0,09 (0,07)	0,08	0,1
<b>Impédancemétrie main-à-main</b>						
Masse maigre (kg)	51	46,9 (7,6)	47,0 (7,6)	0,19 (0,51)	0,38	0,8
% Masse grasse	51	26,5 (10,3)	26,4 (10,5)	0,27 (0,53)	0,42	1,6
<b>Impédancemétrie pied-à-pied</b>						
Masse maigre (kg)	92	42,4 (5,3)	42,4 (5,3)	0,15 (0,19)	0,17	0,4
Masse grasse (kg)	92	22,5 (12,9)	22,5 (12,9)	0,15 (0,22)	0,19	0,8
<b>Impédancemétrie corps total</b>						
R5 (Ω)	164	772,6 (96,2)	773,3 (96,0)	1,35 (1,09)	1,23	0,2
R50 (Ω)	164	687,3 (92,5)	687,6 (92,2)	1,04 (0,86)	0,95	0,1
R100 (Ω)	164	651,9 (88,9)	652,6 (88,4)	1,71 (7,13)	1,64	0,2

<sup>a</sup> Les différences sont en valeur absolue, <sup>b</sup> Erreur techniques= $\sqrt{(\Sigma d^2/2n)}$ , d : différence entre 2 observations, n : nombre de paires d'observations. <sup>c</sup> 100\*(erreur technique) / moyenne globale des mesures, e.t. : écart type

### III.1.2. Comparaison des deux approches de la mesure du volume pulmonaire : effet sur la mesure des compartiments corporels

L'influence de l'utilisation du volume pulmonaire selon qu'il est prédit ou mesuré sur les paramètres de la composition corporelle a été étudiée sur un échantillon de 114 femmes (Tableau 3).

**Tableau 3 : Effet de la variation du volume pulmonaire sur la composition corporelle selon qu'il est prédit ou mesuré.**

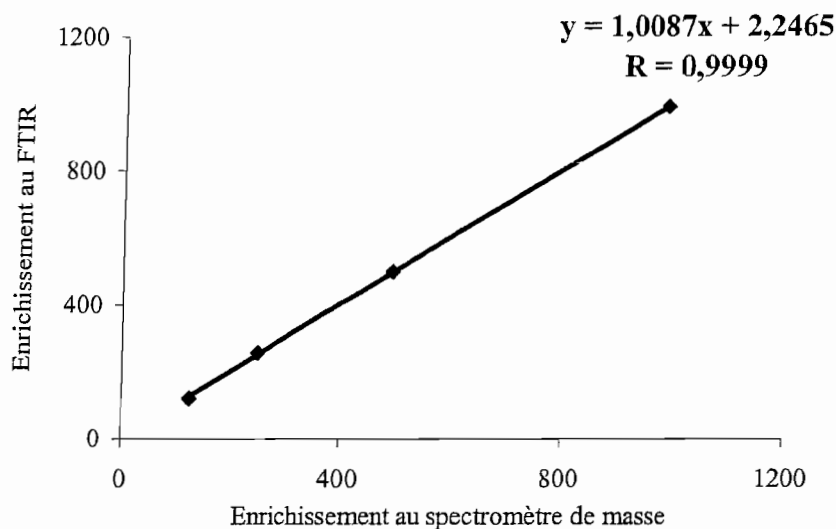
	Volume pulmonaire			Variabilité
	"mesuré"(e.t.)	"prédit"(e.t.)	Différence (e.t.)	
Volume pulmonaire (l)	2,8 (0,5)	3,2 (0,3)	0,53 (0,34)	20,4 %
<b>Effet sur</b>				
Densité	1,0298 (0,0192)	1,0269 (0,0192)	0,0038 (0,0024)	0,37 %
% masse grasse	32,6 (8,8)	33,9 (8,8)	1,75 (1,06)	6,0 %
Masse maigre (kg)	39,4 (4,8)	38,6 (4,6)	1,03 (0,63)	2,6 %

e.t.=écart-type, Variabilité :  $[100*(\text{mesuré-prédit})/\text{prédit}]$

D'après ce tableau, le volume pulmonaire moyen mesuré est inférieur au volume pulmonaire prédit. Cette variation importante (20,4 %) des volumes pulmonaires n'entraîne qu'une variation faible sur les compartiments corporels mesurés.

### III.1.3 Qualité des mesures au FTIR

L'enrichissement réel d'une solution standard d'eau deutérée, est mesuré à l'aide d'un spectromètre de masse développé au MRC-HNR à Cambridge. Cette solution diluée au demi, au quart et au huitième est lue au spectromètre infrarouge à Transformée de Fourier à Dakar. Les résultats de l'enrichissement mesuré par spectromètre de masse et par le FTIR à Dakar sont comparés. La droite de régression (**Figure 3**) entre les valeurs données par ces deux méthodes montre que nous avons une bonne corrélation entre le FTIR et le spectromètre de masse (IRMS) avec un R qui est proche de 1.



**Figure 3 : Relation entre concentrations du deutérium mesuré au FTIR et par IRMS**

Nous avons également calculé l'erreur totale moyenne qui représente l'écart entre les valeurs expérimentales obtenues à partir des dosages et celles théoriques résultant de la modélisation. Dans notre étude une erreur de 3,2 ppm a été obtenue attestant ainsi de la qualité des mesures.

### III.2. La comparaison de méthodes

#### III.2.1. Comparaison de l'eau corporelle totale estimée par la dilution isotopique et l'impédancemétrie corps total (Voir annexe Dioum et al., 2005)

Les caractéristiques des 36 sujets qui ont servi à la comparaison sont données dans le **Tableau 4**.

**Tableau 4 : Caractéristiques des 36 femmes sénégalaises**

	Moyenne	e.t.	Minimum - maximum
Age (années)	25,1	6,6	18 - 41
Poids (kg)	56,2	8,0	42,8 - 72,4
Taille (cm)	166,7	5,4	155,2 - 174,4
Taille des jambes (cm)	83,0	3,1	76,3 - 89,4
Taille relative des jambes	0,498	0,011	0,474 - 0,520
Indice de masse corporelle (kg/m <sup>2</sup> )	20,2	2,7	17,0 - 27,2

e.t., écart type

Le **Tableau 5** montre les différentes équations de prédiction de l'eau corporelle totale à partir de l'impédancemétrie corps total que nous avons testées, ainsi que certaines caractéristiques des échantillons qui ont servi à les établir. La majorité des équations testées est établie chez des occidentaux ou dans un échantillon principalement composé d'occidentaux A1, A2 (Zillikens & Conway, 1991) B1, B2 (Deurenberg et al., 1995a), C (Wang et al., 1995), D (Schoeller & Luke, 2000), E (Lukaski et al., 1985), F (Van Loan & Mayclin, 1987), G1, G2, G3 (Kushner & Schoeller, 1986), H (Segal et al, 1991), I1 et I2 (Kushner et al., 1992). Une partie : J1, J2 (Zillikens & Conway, 1991) et K (Sun et al., 2003) est établie dans un échantillon mixte composé de sujets occidentaux et d'origine africaine. La dernière partie est établie chez des sujets d'origine africaine L1, L2 (Zillikens & Conway, 1991), M (Wang et al., 1995), N (Schoeller & Luke., 2000), O1, O2 (Leman et al., 2003) et dans ce lot, seules deux sont établies en Afrique (O1, O2), les autres étant établies chez des américains. Parmi ces équations, il y a certaines qui sont issues du même échantillon : (A1 et A2), (B1 et B2), (G1, G2 et G3), (I1 et I2), (J1 et J2), (L1 et L2) (O1 et O2). La première présente une seule variable indépendante issue de l'impédancemétrie (A2, B2, G2, I2, J2, O2) et la dernière présente en plus de la variable indépendante issue de l'impédancemétrie, des variables anthropométriques (A1, B1, G1, I1, J1, L1, O1).

**Tableau 5 : Equations de prédiction de l'impédancemétrie corps totale, utilisées pour tester la prédiction de l'eau corporelle totale**

Equations	'Sujets chez qui les équations sont développées	Age	Erreur
<b>Equations développées chez sujets occidentaux</b>			
A1	$ECT = 2,3802 + 0,4366(\text{taille}^2/R) + 0,0579(Xc) - 0,0612(\text{âge}) + 0,1506(\text{poids}) - 1,9182(\text{genre})$ [F=1, H=0]	40 H + 39 F	H : 38, F : 33 1,2 litres
A2	$ECT = 3,751 + 0,595(\text{taille}^2/R)$	Id	1,6 litres
B1	$ECT = 0,34573(\text{taille}^2/Z) + 0,17065(\text{poids}) - 0,11(\text{âge}) + 2,66(\text{sexe}) + 6,69$ [F=0, H=1]	139 Hollandais H + F	H7 : 26, F : 26 1,7 kg
B2	$ECT = 0,51303(\text{taille}^2/Z) + 6,29$	id	id 2,1 kg
C	$ECT = 0,273(\text{taille}^2/R) + 0,051(\text{âge}) + 0,148(\text{poids}) + 0,103(\text{taille}) - 3,18$	208 F	51 : entre 18-94 2,1 litres
D	$ECT = 0,499(\text{taille}^2/R) + 0,080(\text{poids}) + 2,9$	83 H + F	entre 14-53 pas donnée
<b>Equations développées dans un échantillon dont l'origine n'est pas spécifiée mais supposé être composé principalement de sujets occidentaux</b>			
E	$ECT = 2,03 + 0,63(\text{taille}^2/R)$	37 H	29 : entre 19-42 2,1 litres
F	$ECT = 9,9868 + 0,000724(\text{taille}^2) + 0,2822(\text{poids}) - 0,0153(R) - 2,3313(\text{genre}) - 0,1319(\text{âge})$ [F=1, H=0]	174 H + F	entre 18-64 2,9 litres
G1	$ECT = 4,96 + 0,42(\text{taille}^2/R) + 0,13(\text{poids}) + 3,34(\text{genre})$ [F=0, H=1]	20 H + 20 F	1,4 litres
G2	$ECT = 0,830 + 0,714(\text{taille}^2/R)$	id	2,5 litres
G3	$ECT = 0,382(\text{taille}^2/R) + 0,105(\text{poids}) + 8,315$	20 F	0,9 litres
H	$ECT = 3,432026 + 0,454796(\text{taille}^2/R) + 0,139523(\text{poids})$	36 H	37 : entre 19-64 2,6 litres
I1	$ECT = 0,04 + 0,593(\text{taille}^2/R) + 0,065(\text{poids})$	74 H + F	entre 0-66 1,4 kg
I2	$ECT = 0,700(\text{taille}^2/R) - 0,32$	id	id 1,7 kg
<b>Equations développées dans un échantillon comprenant des blancs et des noirs</b>			
J1	$ECT = -0,442 + 0,484(\text{taille}^2/R) + 0,079 Xc - 0,054(\text{âge}) + 0,128(\text{poids}) - 1,493(\text{genre}) + 0,819(\text{race})$ [N=1, O=0; F=1, H=0]	40 HO + 43 HN + 39 FO + 45 FN	HO : 38, HN : 31; FO : 33, FN : 31 1,5 litres
J2	$ECT = 3,993 + 0,612(\text{taille}^2/R)$	id	Id 2,2 litres
K	$ECT = 3,747 + 0,113(\text{poids}) + 0,45(\text{taille}^2/R)$	875 FO + 214 FN	12-94 2,6 litres
<b>Equations développées chez des sujets africains ou d'origine africaine</b>			
L1	$ECT = -9,212 + 0,576(\text{taille}^2/R) + 0,128(Xc) + 0,107(\text{poids})$	43 HN + 45 FN	HN : 31, FN : 31 1,7 litres
L2	$ECT = 4,563 + 0,621(\text{taille}^2/R)$	id	2,1 litres
M	$ECT = 0,282(\text{taille}^2/R) - 0,034(\text{âge}) + 0,160(\text{poids}) + 0,135(\text{taille}) - 9,53$	94 FN	51 : entre 18-94 2,4 litres
N	$ECT = 0,562(\text{taille}^2/R) + 0,081(\text{poids}) + 1,3$	59 HN + FN	entre 14-53 Pas donnée
O1	$ECT = 1,93 + 0,47(\text{taille}^2/R) + 0,13(\text{poids}) - 1,20(\text{genre})$ [F=1, M=0]	Nigeria : 42 H + 50 F	entre 5-65 1,7 kg
O2	$ECT = 0,51 + 0,64(\text{taille}^2/R)$	id	2,0 kg

ECT : eau corporelle totale, R : résistance, Z : impédance ; Xc : réactance, H : hommes, F : femmes, O : Occidentaux, N : sujet d'origine Africaine. Les équations B1, B2 et H utilisent les mesures à 100 kHz, par contre toutes les autres utilisent les mesures à 50 kHz. <sup>1</sup> Sujets sont tous des américains sauf si une autre nationalité est spécifiée.

Les estimations de l'eau corporelle totale obtenues par la dilution isotopique et l'impédancemétrie à travers les différentes équations de la littérature sont données dans le **Tableau 6.**

**Tableau 6 : Eau corporelle totale estimée par la dilution isotopique et les différentes équations de l'impédancemétrie totale**

N=36	Moyenne (kg)	Ecart-type	Minimum-maximum
<b>Dilution isotopique</b>	27,4	2,7	22,1 - 31,2
<b>Impédancemétrie corps total</b>			
Equations développées chez les occidentaux			
A1	28,5	2,6	22,7 - 33,8
A2	25,5	2,6	19,6 - 29,8
B1	26,8	2,8	20,1 - 25,0
B2	25,9	2,4	20,6 - 30,0
C	33,5	2,6	28,3 - 38,4
D	25,6	2,7	19,6 - 30,4
Equations développées dans un échantillon dont on n'a pas spécifié la race mais supposé être composé principalement de sujets occidentaux			
E	25,0	2,7	18,8 - 29,6
F	28,6	3,7	18,8 - 34,1
G1	27,6	2,7	21,7 - 32,6
G2	26,9	3,2	19,8 - 32,1
G3	28,1	2,4	23,0 - 32,5
H	28,8	3,1	22,2 - 34,7
I1	29,5	3,5	21,8 - 35,9
I2	26,7	3,3	19,4 - 32,3
Equations développées dans un échantillon comprenant des occidentaux et des sujets d'origine africaine			
J1	29,3	3,2	18,9 - 32,2
J2	26,3	2,7	20,3 - 30,8
K	26,5	2,7	20,6 - 31,5
Equations développées chez des populations d'origine africaine ou chez des africaines			
L1	29,3	3,7	18,2 - 30,7
L2	27,2	2,7	21,1 - 31,7
M	31,4	2,8	24,8 - 35,5
N	26,4	3,0	19,7 - 31,6
O1	25,2	2,9	18,8 - 30,6
O2	23,9	2,8	17,5 - 28,5

e.t. : écart-type

Nous observons aussi bien des surestimations que des sous-estimations de l'eau corporelle totale par les équations d'impédancemétrie, par rapport à la référence.

Les résultats de la comparaison entre eau corporelle totale obtenue par les 2 méthodes sont donnés dans le **Tableau 7**.

**Tableau 7 : Validation des équations de l'impédancemétrie pour l'estimation de l'eau corporelle totale**

Equations	Correlation	Différence <sup>1</sup> (kg)	Erreur (kg)	Erreur de validation (kg)
Equations développées chez les occidentaux				
A1	0,88*	-1,1 ( $P<0,001$ ) <sup>(2)</sup>	1,3	1,7
A2	0,82*	2,0 ( $P<0,001$ )	1,6	2,5
B1	0,86*	0,6 ( $P=0,027$ ) <sup>(2)</sup>	1,5	1,6
B2	0,83*	1,3 ( $P<0,001$ )	1,5	2,0
C	0,86*	-6,1 ( $P<0,001$ )	1,4	6,3
D	0,86*	1,8 ( $P<0,001$ )	1,4	2,3
Equations développées dans un échantillon non spécifié, mais supposé être composé principalement de sujets occidentaux				
E	0,82*	2,4 ( $P<0,001$ )	1,6	2,9
F	0,88*	-1,1 ( $P<0,0008$ )	1,9	2,1
G1	0,87*	-0,2 ( $P=0,46$ ) <sup>(2)</sup>	1,4	1,4
G2	0,82*	0,5 ( $P<0,081$ )	1,8	1,8
G3	0,87*	-0,7 ( $P<0,021$ )	1,3	1,4
H	0,87*	-1,4 ( $P<0,001$ )	1,5	2,0
I1	0,85*	2,1 ( $P<0,001$ ) <sup>(3)</sup>	1,6	2,6
I2	0,82*	2,2 ( $P<0,001$ )	1,8	2,8
Equations développées dans un échantillon comprenant des occidentaux et des sujets d'origine africaine				
J1	0,87*	-2,0 ( $P<0,001$ ) <sup>(2)</sup>	1,4	2,4
J2	0,82*	1,1 ( $P<0,0002$ )	1,6	1,9
K	0,87*	0,9 ( $P<0,0004$ )	1,4	1,6
Equations développées chez des sujets d'origine africaine ou chez des africaines				
L1	0,85*	-1,9 ( $P<0,001$ ) <sup>(2)</sup>	1,5	2,3
L2	0,82*	0,2 ( $P=0,47$ )	1,6	1,6
M	0,88*	-4,0 ( $P<0,001$ )	1,4	4,2
N	0,86*	1,1 ( $P<0,0002$ )	1,5	1,9
O1	0,87*	2,2 ( $P<0,001$ ) <sup>(2)</sup>	1,5	2,7
O2	0,82*	3,6 ( $P<0,001$ )	1,6	3,9

<sup>1</sup> Dilution isotopique-impédancemétrie totale, \*  $P$  significatif,  $P$  (comparaison entre équation avec une seule variable indépendante et avec plusieurs variables indépendantes) est significatif<sup>(2)</sup> ou non significatif<sup>(3)</sup>

Pour toutes les comparaisons, les coefficients de corrélation sont élevés et significatifs (0,82-0,87). L'analyse de **Bland & Altman (1986)** montre des gammes d'erreurs acceptables et assez similaires entre les groupes d'équations comprises entre 1,3 et 1,8 kg d'eau. L'erreur de



validation varie entre les équations et est comprise entre 1,4 et 6,3 kg d'eau. Dans chacun des groupes d'équations, nous observons des surestimations et des sous-estimations. Ce qui entraîne une absence de relation claire entre le biais et l'origine raciale de la population chez qui l'équation a été établie. Il faut noter que 3 équations (G1, G2 et L2), dont deux établies chez des occidentaux ou dans un échantillon composé principalement d'occidentaux donnent une bonne précision, un biais et une erreur de validation faibles et non significatifs. Trois autres (B1, G3 et K) donnent également une bonne précision (1,6-1,7) et des biais faibles mais significatifs. Les biais les plus élevés sont obtenus avec l'équation C établie chez des occidentaux (6,1 kg) et les équations O2 et M développées spécifiquement chez des sujets d'origine africaine. Ces 3 équations présentent aussi les erreurs de validation les plus élevées qui sont respectivement de 6,3, 4,2 et 3,9 kg. Parmi toutes les équations testées, seule une (F) présente une corrélation significative entre le biais et la moyenne d'eau corporelle totale ( $R=-0,56$ ,  $P=0,0004$ ).

Ce tableau montre également qu'à chaque fois que l'équation présentant une seule variable indépendante (impédancemétrie) est comparée à celle issue du même échantillon et présentant en plus de la variable indépendante de base d'autres variables anthropométriques (A1 à A2, B1 à B2, G1 à G2, J1 à J2, I1 à I2, O1 à O2), on a des différences significatives sauf pour la comparaison entre I1 et I2. Dans la plupart des cas, l'équation avec plusieurs variables indépendantes donne de meilleurs résultats avec un biais et une erreur de validation plus faibles.

Dans le **Tableau 8**, sont montrés les résultats obtenus par d'autres auteurs en testant les mêmes équations chez d'autres groupes de populations d'origine africaine ou africaines. Comme trouvé dans notre étude, il n'apparaît pas de tendance claire entre l'origine de la population et la validité de l'équation de prédiction. Les biais et les erreurs de validation les plus faibles ne sont pas obtenus avec les équations établies chez des populations d'origine africaine. Cependant, pour certaines équations, on note parfois des résultats différents des nôtres.

**Tableau 8 : Autres études où a été testé la validité des mêmes équations**

Equations testées	Groupe de population chez qui la validité de ces équations est testée par d'autres auteurs	<sup>1</sup> Différence kg ou litre	Erreur
Equations développées chez des occidentaux			
A1	45 femmes noires américaines	0,68 ( $p < 0,01$ )	1,3
B1	20 femmes éthiopiennes	-1,0 ( $p < 0,05$ )	1,3
B2	20 femmes éthiopiennes	-1,0 ( $p < 0,05$ )	1,3
B1	20 femmes éthiopiennes + 24 hommes éthiopiens	-0,7	1,5
D	Afro-Jamaïcains	0,8	2,2
D	Nigériens	-0,1	1,7
Equations développées dans un échantillon dont on n'a pas spécifié l'origine, mais supposé être composé principalement de sujets occidentaux			
E	45 femmes noires américaines	2,03 ( $p < 0,01$ )	2,3
E	39 femmes occidentales	0,006 (NS)	1,3
F	45 femmes américaines noires	0,85 ( $p < 0,05$ )	2,3
F	39 femmes occidentales	0,66 ( $p < 0,01$ )	1,4
G1	45 femmes américaines noires	0,43 ( $p < 0,05$ )	1,2
G1	39 femmes occidentales	-0,92 ( $p < 0,01$ )	1,1
G1	15 Nigériens + 21 Jamaïcains + 8 américains noirs	-0,2 kg	IC -0,7 ; +0,3
Equations développées dans un échantillon comprenant des occidentaux et des sujets d'origine Africaine			
K	214 femmes noires américaines	1,4	2,9
Equations développées chez des sujets d'origine africaine ou chez des africains			
N	Afro-Jamaïcains	-1,3	2,3
N	Nigériens	-1,9	2,0

<sup>1</sup>La valeur négative du biais reflète une surestimation par l'équation de prédiction et une valeur positive une sous estimation, IC : intervalle de confiance

**III.2.2. Comparaison de la densité, du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimés par la densitométrie et l'épaisseur des plis** (voir annexe Dioum et al., in press)

Afin de tester la validité de la prédiction de la densité à partir de l'épaisseur des plis cutanés chez les femmes africaines, nous avons comparé la densité corporelle prédite par l'équation de **Durnin & Womersley (1974)** et celle mesurée par la méthode de référence auprès de 196 femmes sénégalaises. Nous avons également testé l'impact de l'utilisation d'une équation spécifique aux sujets d'origine africaine (**Gartner et al. 2004a**) au lieu de celle de **Siri (1961)** dans la transformation de cette densité en pourcentage de masse grasse.

Les caractéristiques anthropométriques de l'échantillon qui a servi à cette comparaison sont présentées dans le **Tableau 9**.

**Tableau 9 : Caractéristiques des 196 femmes sénégalaises**

	Moyenne	e.t.	Minimum-maximum
Age (années)	29,5	8,7	18 - 56
Poids (kg)	61,1	13,6	33,4 - 118,5
Taille (cm)	164,6	5,7	152,2 - 180,4
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,5	4,6	12,7 - 42,7
Tour de bras (cm)	27,8	4,5	19,4 - 41,4
Tour de taille (cm)	71,1	9,8	53,4 - 110,7
Tour de hanche (cm)	97,5	10,2	72,1 - 131,0
Tour de taille/tour de hanche	0,728	0,047	0,633 - 0,902
Pli bicipital (mm)	7,8	5,0	1,8 - 26,0
Pli Tricipital (mm)	17,9	7,2	5,0 - 35,0
Pli sous scapulaire (mm)	15,5	8,5	3,7 - 40,0
Pli suprailiac (mm)	14,6	7,2	3,6 - 36,0
Somme des 4 plis (mm)	55,8	25,3	16,0 - 118,7

e.t. écart type

Ce tableau montre que l'échantillon présente une large gamme d'âge, d'IMC et de somme des plis cutanés. La proportion de femmes ayant un IMC inférieur à 18,5 kg/m<sup>2</sup>, compris entre 25 et 30 kg/m<sup>2</sup> et supérieur à 30 kg/m<sup>2</sup> est respectivement de 21,7%, 24,2% et 5,6%.

La densité mesurée par la référence est plus faible que celle prédite par l'équation de **Durnin & Womersley (1974) (Tableau 10)**. Cette équation surestime la densité corporelle d'environ 0,01 kg/l, sous estimant ainsi le pourcentage de masse grasse calculé à partir de cette densité avec l'équation de **Siri (1961)** ou l'équation de Siri ajustée (**Gartner et al., 2004a**). Le pourcentage de masse grasse calculé par l'équation de Siri ajustée est plus proche de la valeur estimée par la référence que ne l'est celle estimée par l'équation de Siri.

**Tableau 10 : Densité, pourcentage de masse grasse et masse maigre estimés par la densitométrie et l'épaisseur des plis**

n=196	Moyenne	e.t.	Minimum - maximum
<b>Densitométrie</b>			
Densité <sub>DPA</sub> (kg/l)	1,0261	0,0198	0,9784 - 1,0796
% MG <sub>DPA</sub>	34,3	9,1	10,7 - 57,2
MG <sub>DPA</sub> (kg)	22,0	10,3	5,2 - 67,8
MM <sub>DPA</sub> (kg)	39,1	4,6	28,1 - 52,0
<b>Epaisseur des plis</b>			
<u>Equation de Durnin et Womersley</u>			
Densité <sub>D&amp;W</sub> (kg/l)	1,0361	0,0150	1,0080 - 1,0735
<u>Equation de Siri</u>			
%MG <sub>DWS</sub>	27,8	6,9	11,1 - 41,1
MG <sub>DWS</sub> (kg)	17,7	7,9	3,7 - 46,8
MM <sub>DWS</sub> (kg)	43,3	6,4	29,7 - 71,7
<u>Equation de Siri ajustée pour les noirs</u>			
%MG <sub>DWN</sub>	29,7	6,8	13,3 - 42,6
MG <sub>DWN</sub> (kg)	18,9	8,0	4,4 - 48,8
MM <sub>DWN</sub> (kg)	42,2	6,3	29,0 - 69,8

DPA : densitométrie, MG : Masse grasse, MM : Masse maigre, D&W : Durnin et Womersley, DWS : Durnin et Womersley associée avec l'équation de Siri, DWN : Durnin et Womersley associée avec l'équation de Siri ajustée pour les populations d'origine africaine.

La comparaison de la densité, du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre entre les deux méthodes (référence et prédiction) montre des corrélations fortes, positives et significatives, comprises entre 0,85 et 0,96 (**Tableau 11**).

**Tableau 11 : Comparaison de la densité, du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimés par la densitométrie et l'épaisseur des plis**

<i>n</i> =196	Coefficient de corrélation R (P)	Différence <sup>1</sup> (e.t.) (P)	2 e.t.	Limites de concordance	Corrélation entre moyenne et différence R (P)	Erreur de validation
<b>Densitométrie-épaisseur des plis</b>						
Densité <sub>DPA_D&amp;W</sub> (kg/l)	0,88 (<10 <sup>-4</sup> )	-0,00997 (0,00972) (<10 <sup>-4</sup> )	0,0195	0,00908-0,02902	0,50 (<10 <sup>-4</sup> )	0,014
% MG <sub>DPA_DWS</sub>	0,88 (<10 <sup>-4</sup> )	6,5 (4,5) (<10 <sup>-4</sup> )	9,0	15,32 - (-2,32)	0,50 (<10 <sup>-4</sup> )	7,91
MG <sub>DPA_DWS</sub> (kg)	0,96 (<10 <sup>-4</sup> )	4,2 (3,5) (<10 <sup>-4</sup> )	7,1	11,1 - (-2,7)	0,72 (<10 <sup>-4</sup> )	5,53
MM <sub>DPA_DWS</sub> (kg)	0,85 (<10 <sup>-4</sup> )	-4,3 (3,5) (<10 <sup>-4</sup> )	7,1	2,5 - (-11,2)	-0,54 (<10 <sup>-4</sup> )	5,53
% MG <sub>DPA_DWN</sub>	0,88 (<10 <sup>-4</sup> )	4,6 (4,5) (<10 <sup>-4</sup> )	9,1	13,4 - (-4,2)	0,53 (<10 <sup>-4</sup> )	6,50
MG <sub>DPA_DWN</sub> (kg)	0,96 (<10 <sup>-4</sup> )	3,1 (3,4) (<10 <sup>-4</sup> )	6,9	9,8 - (-3,7)	0,70 (<10 <sup>-4</sup> )	4,60
MM <sub>DPA_DWN</sub> (kg)	0,85 (<10 <sup>-4</sup> )	-3,1 (3,4) (<10 <sup>-4</sup> )	6,8	3,6 - (-9,8)	-0,51 (<10 <sup>-4</sup> )	4,64

DPA : densitométrie, MG : masse grasse, MM : masse maigre, D&W : Durnin et Womersley, DWS : Durnin et Womersley couplée avec l'équation de Siri, DWN : Durnin et Womersley couplée avec l'équation ajustée pour les populations d'origine africaine, <sup>1</sup> densitométrie – épaisseur des plis, P : signification.

Pour toutes les comparaisons, les erreurs sont acceptables, cependant les biais sont significatifs. Le biais de pourcentage de masse grasse ainsi que celui de la masse maigre est élevé lorsqu'on utilise l'équation de Siri pour transformer la densité prédite par l'équation de **Durnin & Womersley (1974)** en pourcentage de masse grasse. Ils sont moindres, mais toujours significatifs lorsque l'équation spécifique des sujets d'origine africaine est utilisée. La différence entre ces biais est d'environ 1,9% de pourcentage de masse grasse et 1,2 kg de masse maigre. Pour toutes les comparaisons, on note également une corrélation significative entre le biais et la moyenne des mesures. En conséquence, les limites de concordance sont étendues pour toutes les comparaisons (**Figure 4**), nous permettant ainsi de conclure à une non concordance entre les 2 méthodes (densitométrie et épaisseur des plis).

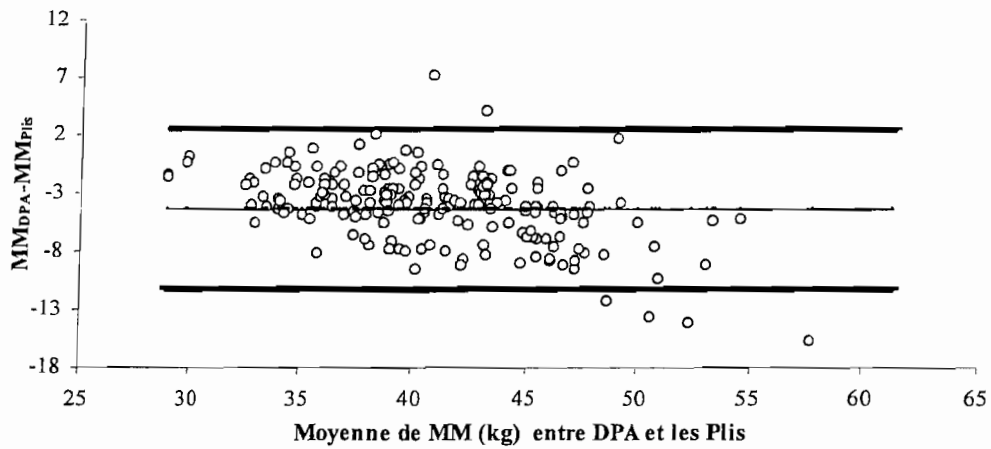
La comparaison par classe d'IMC entre référence et valeurs prédites par les plis (**Tableau 12**) montre des biais significatifs pour tous les groupes d'IMC. Plus la valeur d'IMC est élevée, plus le biais est important.

**Tableau 12: Estimation de la différence en fonction des classes d'IMC**

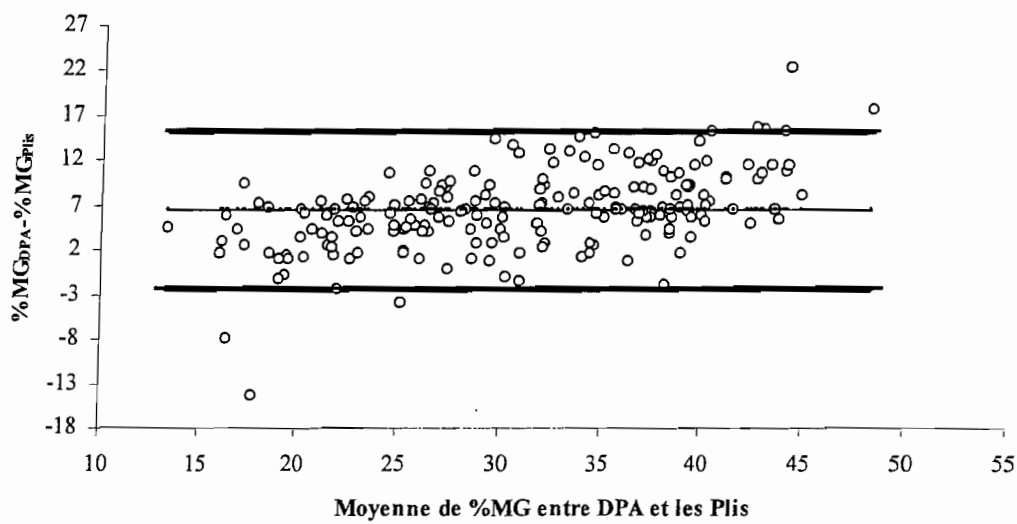
Classes d'IMC	<18,5 n=43	18,5-24,9 n=96	25-30 n=46	≥30 n=11
<b>Densitométrie-épaisseurs des plis</b>				
Densité <sub>DPA-D&amp;W</sub> (kg/l)	-0,0051 (0,0082) *	-0,0097 (0,0099) *	-0,0124 (0,0069) *	-0,0235 (0,0098) *
% MG <sub>DPA-D&amp;W</sub>	4,2 (3,6) *	6,3 (4,5) *	7,5 (3,2) *	12,9 (4,8) *
MM <sub>DPA-DWS</sub> (kg)	-2,0 (1,8) *	-3,7 (2,7) *	-5,6 (2,6) *	-12,1 (5,5) *
% MG <sub>DPA-D&amp;WN</sub>	2,2 (3,6) *	4,4 (4,5) *	5,6 (3,1) *	11,3 (4,8) *
MM <sub>DPA-DWN</sub> (kg)	-1,1 (1,8) *	-2,6 (2,6) *	-4,2 (2,5) *	-10,6 (6,2) *

DPA : densitométrie, D&W : équation de Durnin et Womersley, MG : masse grasse, MM : masse maigre, DWS : Durnin et Womersley couplée avec l'équation de Siri, DWN : Durnin et Womersley couplée avec l'équation ajustée pour les populations d'origine africaine, \*  $P < 0,0001$

a)



b)



c)

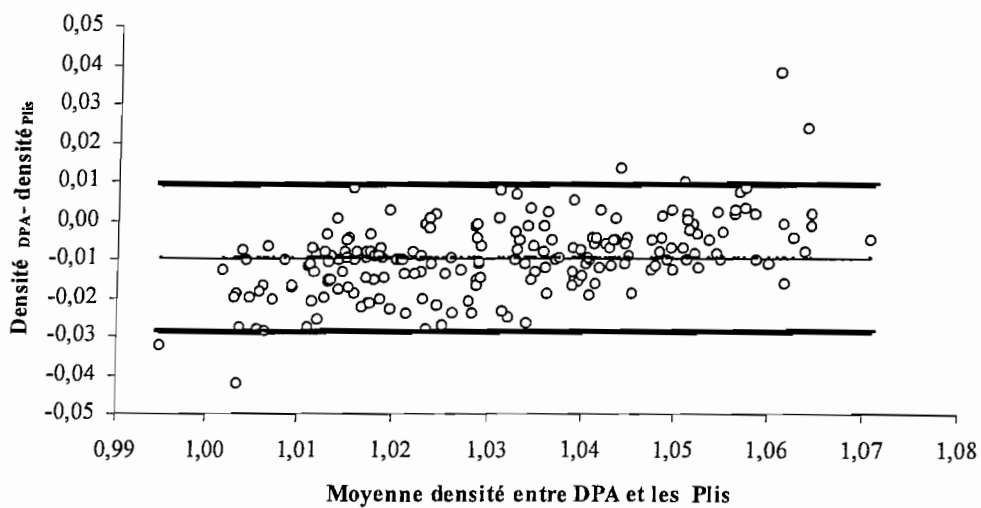


Figure 4 : Différence de masse maigre (MM) (a), de pourcentage de masse grasse (MG) (b), de densité (c) déterminée par l'épaisseur des plis cutanés et la densitometrie (DPA) en fonction de leur moyenne. Moyenne ( — ), limites de concordance ( — )

**III.2.3. Comparaison du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre, estimés par la densitométrie et les impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied (voir annexe Gartner et al., 2003 ; 2004a)**

Les caractéristiques des 170 sujets pour la comparaison entre la densitométrie, l'impédancemétrie main-à-main et l'impédancemétrie pied-à-pied sont données dans le **Tableau 13**.

La proportion de sujets ayant un IMC inférieur à 18,5 kg/m<sup>2</sup>, compris entre 25 et 30 kg/m<sup>2</sup> et supérieur à 30 kg/m<sup>2</sup> est respectivement de 19,4 %, 36,5 % et 9,4 %. L'échantillon présente également une large gamme d'IMC compris entre 12,7 - 42,7 kg/m<sup>2</sup>.

**Tableau.13 Caractéristiques des 170 femmes sénégalaises**

	Moyenne	Ecart-type	Minimum - maximum
Age (années)	30,6	8,7	18,0 – 56,0
Poids (kg)	63,4	15,2	33,4 - 118,6
Taille (cm)	164,3	5,6	152,2 - 180,5
Taille des jambes (cm)	80,7	4,0	66,7 - 91,6
Taille relative des jambes	0,491	0,016	0,398 - 0,528
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	23,4	5,2	12,7 - 42,7
Tour de bras (cm)	28,7	5,0	19,5 - 41,5
Tour de taille (cm)	72,8	10,7	53,4 - 110,7
Tour de hanche (cm)	99,3	11,1	72,1 - 131,0
Tour de poignet	15,6	1,0	13,4-18,7
Tour de taille/tour de hanche	0,73	0,05	0,63 - 0,90
Envergure de bras (cm)	171,1	6,6	159,2-193,2
Envergure de bras/taille	1,039	0,014	0,950-0,109
Somme des 4 plis (mm)	61,5	31,3	16,1 - 246,0

IMC : Indice de masse corporelle

L'estimation de la composition corporelle par les méthodes comparées est donnée dans le **Tableau 14**. Les méthodes d'impédancemétrie partielle sous estiment la masse grasse et surestiment la masse maigre par rapport à la densitométrie.



**Tableau 14 : Pourcentage de masse grasse et masse maigre estimés par la densitométrie et les impédancemétries partielles**

n=170		Moyenne	e.t.	Minimum - maximum
<b>Densitométrie</b>				
	% MG <sub>DPA</sub>	35,2	9,5	12,2 - 57,2
	MM <sub>DPA</sub> (kg)	39,9	5,1	28,0 - 53,3
<b>Main-à-main</b>				
	%MG <sub>IMM</sub>	27,8	6,9	11,1 - 41,1
	MM <sub>IMM</sub> (kg)	44,7	6,0	29,8-60,4
<b>Pied-à-pied</b>				
	%MG <sub>IPP</sub>	31,7	8,2	15,4 - 61,0
	MM <sub>IPP</sub> (kg)	42,2	5,0	28,5 - 50,9

DPA : densitométrie, MG : masse grasse, MM : masse maigre, IPP : impédancemétrie pied-à-pied, IMM : impédancemétrie main-à-main

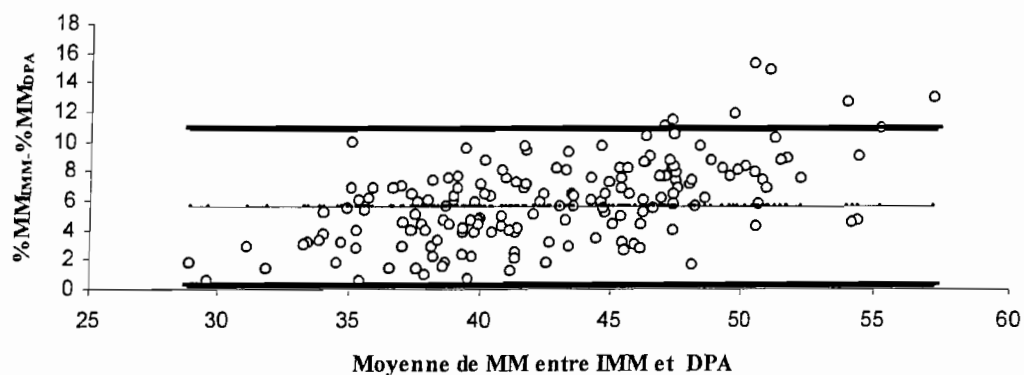
Les résultats de la comparaison entre la référence et les méthodes d'impédancemétrie partielle sont donnés dans le **Tableau 15**. Il apparaît une bonne corrélation entre la référence et ces dernières. Mais cela ne suffit pas pour renseigner sur la concordance entre méthodes. Les erreurs sont acceptables et assez identiques lorsque les deux méthodes d'impédancemétrie sont comparées à la référence. Elles sont de 2,8 kg et de 2,7 kg de masse maigre et 3,6 % et 4,2 % de masse grasse pour l'impédancemétrie main-à-main et l'impédancemétrie pied-à-pied respectivement. Les biais sont tous significatifs. Ils sont plus élevés pour l'impédancemétrie main-à-main (5,8 kg de masse maigre et 8,8 % de masse grasse) par rapport à l'impédancemétrie pied-à-pied (2,4 kg et 3,7 %). Pour la comparaison entre référence et impédancemétrie main-à-main, la corrélation entre la différence et la moyenne des deux méthodes à comparer est significative pour la masse maigre ( $R=0,51$  ;  $P < 0,0001$ ) mais non significative pour le pourcentage de masse grasse ( $R=-0,13$  ;  $P=0,12$ ). Alors que pour la comparaison entre référence et impédancemétrie pied-à-pied, nous trouvons le contraire. Elle est significative pour la masse grasse ( $R=-0,32$  ;  $P < 0,0001$ ) et non significative pour la masse maigre ( $R=0,048$  ;  $P < 0,53$ ). Les relations entre les différences individuelles de la masse maigre ou du pourcentage de masse grasse en fonction des moyennes individuelles sont représentées dans les **Figures 5** et **6**, respectivement pour l'impédancemétrie main-à-main et pied-à-pied. Les limites de concordance assez larges résultant des biais élevés et significatifs. Nous pouvons ainsi conclure à une non concordance entre la densitométrie et les méthodes d'impédancemétrie partielle main-à-main et pied-à-pied.

**Tableau.15 : Comparaison du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre estimés par la densitométrie et les impédancemétries partielles**

N=170	Coefficient de corrélation R (P)	Différence <sup>1</sup> (e.t.) (P)	2 e.t.	Limites de concordance	Corrélation entre Moyenne et différence R (P)
<b>Main-à-main - densitométrie</b>					
% MG <sub>IMM-DPA</sub>	0,90 (<10 <sup>-4</sup> )	-8,8 (3,6) (<10 <sup>-4</sup> )	7,2	-1,5 - (-16,0)	-0,13 (0,12)
MM <sub>IMM-DPA</sub> (kg)	0,89 (<10 <sup>-4</sup> )	5,8 (2,8) (<10 <sup>-4</sup> )	5,6	11,4 - (-0,2)	0,51 (<10 <sup>-4</sup> )
<b>Pied-à-pied - densitométrie</b>					
% MG <sub>IPP-DPA</sub>	0,89 (<10 <sup>-4</sup> )	-3,5 (4,2) (<10 <sup>-4</sup> )	8,4	4,9 - (-11,9)	-0,32 (<10 <sup>-4</sup> )
MM <sub>IPP-DPA</sub> (kg)	0,85 (<10 <sup>-4</sup> )	2,4 (2,7) (<10 <sup>-4</sup> )	5,4	7,8 - (-3,0)	0,048 (0,53)

DPA : densitométrie par déplacement d'air, MG : masse grasse, MM, masse maigre, IMM : impédancemétrie main-à-main, IPP : impédancemétrie pied-à-pied,  
<sup>1</sup> impédancemétrie partielle-densitométrie. P : signification.

a)



b)

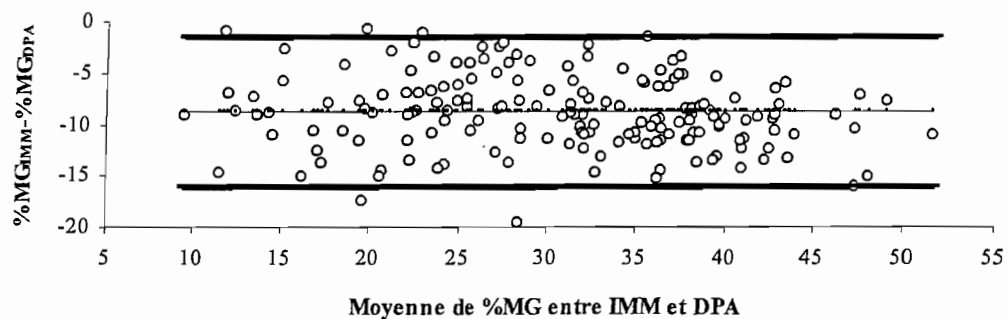
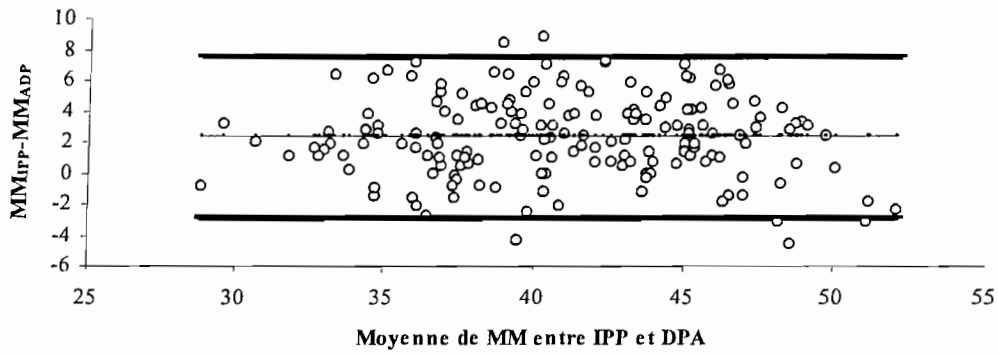


Figure.5 : Différence de masse maigre (MM) (a), de pourcentage de masse grasse (MG) (b) déterminée par l'impédancemétrie pied-à-pied (IPP) et la densitométrie (DPA) en fonction de leur moyenne. Moyenne ( — ), limites de concordance ( — ).

a)



b)

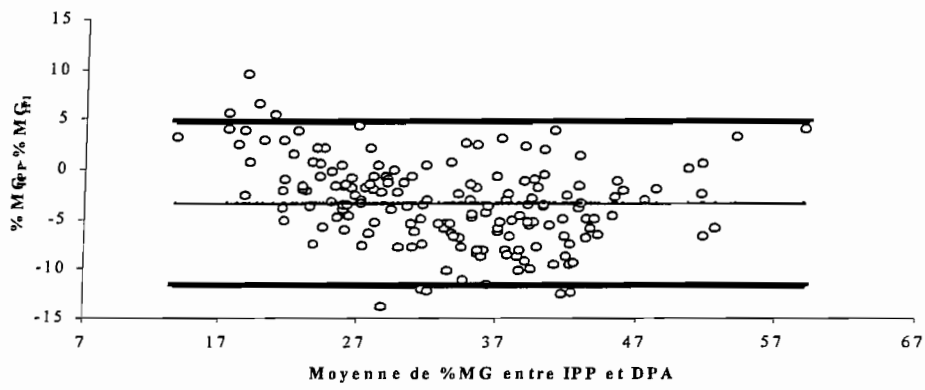


Figure 6 : Différence de masse maigre (MM) (a), de pourcentage de masse grasse (MG) (b) déterminée par l'impédancemétrie pied-à-pied (IPP) et la densitométrie (DPA) en fonction de leur moyenne. Moyenne ( — ), limites de concordance ( — ).

### III.3. Etablissement des équations de prédiction du pourcentage de masse grasse et de la masse maigre pour les impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied (voir annexe, Gartner et al., 2003 ; 2004a)

Compte tenu de la non validité des équations des méthodes d'impédancemétrie partielle, nous avons décidé de corriger les biais en établissant de nouvelles équations spécifiques aux femmes africaines. L'échantillon est divisé de façon aléatoire en deux sous-groupes indépendants présentant les mêmes caractéristiques : un premier sous-groupe (2/3 des sujets) pour établir l'équation et un deuxième sous-groupe (1/3 des sujets) pour la valider.

Le choix des variables indépendantes s'est fait par une première analyse unitaire dans le groupe total. Seules les variables qui ont une relation biologique et/ou statistique avec la variable à prédire sont retenues. La masse maigre et le pourcentage de masse grasse estimés par les méthodes d'impédancemétrie partielle sont considérés comme les variables indépendantes de base. Il apparaît que ce sont celles qui présentent les meilleures corrélations avec la variable dépendante (**Tableau 16**). La deuxième partie du tableau montre également les relations entre les variables indépendantes de base et les autres variables indépendantes potentielles (anthropométriques). Ceci afin de déterminer les variables indépendantes qui peuvent être incluses dans l'équation en plus de la variable indépendante de base. Pour la plupart des paramètres testés nous avons un coefficient de corrélation élevé. Ce qui doit être pris en compte dans le choix des variables à proposer en plus de la variable indépendante de base, du fait d'un risque potentiel de colinéarité (**Guo et al, 1996**).

Pour la prédiction, la variable de base est incluse en premier lieu. Chaque variable anthropométrique est testée comme seconde variable indépendante potentielle, ainsi de suite (voir annexe **Gartner et al., 2003 ; 2004a**). Dans le **Tableau 17**, nous avons sélectionné et présenté les meilleures combinaisons (équations) du point de vue de la précision ( $R^2$  élevé, erreur de prédiction faible). Ces dernières ont été soumises dans le deuxième sous-groupe pour une validation croisée. La qualité de validation est donnée par l'erreur de validation qui doit être faible. Seul le tour de bras est apparu comme potentiellement intéressant pour améliorer la précision des prédictions, mais son effet reste faible. Il n'est donc pas nécessaire d'ajuster sur les autres caractéristiques anthropométriques. Et c'est bien la valeur prédite par les impédancemétries partielles qui est la principale variable indépendante du compartiment corporel.

Tableau 16 : Corrélation entre variables dépendantes et variables indépendantes, et entre variables indépendantes de base et variables anthropométriques

N=170		<i>Corrélation entre les variables dépendantes et chaque variable indépendante potentielle</i>	<i>Corrélation entre les variables indépendantes de base et variables anthropométriques</i>	
		<i>R<sup>2</sup></i>	<i>R<sup>2</sup></i>	
<i>Variables dépendantes</i>	<i>Variables indépendantes</i>		<i>Main-à-main</i>	<i>Pied-à-pied</i>
MM <sub>DPA</sub>	MM <sub>IMM</sub>	0,89		
	MM <sub>IPP</sub>	0,85		
	Tour de bras	0,48	0,57	0,57
	Tour de cuisse	0,71	0,80	0,82
	TP	0,78	0,67	0,67
	Env. des bras	0,51	0,52	0,50
	Tour de taille	0,48	0,54	0,54
	Tour de hanche	0,57	0,60	0,60
	IMC	0,50	0,53	0,53
	Somme 4 plis	0,34	0,46	0,46
%MG <sub>DPA</sub>	%MG <sub>IMM</sub>	0,89		
	%MG <sub>IPP</sub>	0,85		
	Tour de bras	0,77	0,69	0,69
	TP	0,60	0,27	0,27
	Tour de cuisse	0,82	0,80	0,90
	Env. des bras	0,16	0,12	0,22
	Tour de taille	0,76	0,72	0,72
	Tour de hanche	0,73	0,69	0,69
	IMC	0,78	0,78	0,78
	Somme 4 plis	0,64	0,67	0,67

MG : masse grasse, DPA : densitométrie, MM : masse maigre, IPP : impédancemétrie pied-à-pied, IMM : impédancemétrie main-à-main, IMC : indice de masse corporelle, TP : tour de poignet, Env : envergure

Le tableau 17 montre que aussi bien pour l'impédancemétrie pied-à-pied que pour la main-à-main, l'inclusion d'une seconde variable indépendante n'améliore pas de façon très significative la précision de l'équation.

**Tableau 17 : Equations de prédiction et validation croisée pour les impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied**

Variables Dépendantes	Variables indépendantes	Prédiction dans le premier sous groupe (n=112)			Validation croisée dans le deuxième sous groupe (n=58)	
		R <sup>2</sup>	Erreur de prédiction	CV	Erreur de validation	CV
			kg	%	kg	%
<b>MM<sub>DPA</sub></b>	MM <sub>IMM</sub>	0,81	2,1	4,9	2,0	5,6
	MM <sub>IPP</sub>	0,76	2,6	6,6	2,6	6,5
	MM <sub>IMM</sub> + tour de bras	0,81	2,1	4,9	2,0	5,5
	MM <sub>IPP</sub> + tour de bras	0,76	2,6	6,6	2,6	6,5
			%	%	%	%
<b>%MG<sub>DPA</sub></b>	%MG <sub>IMM</sub>	0,83	3,7	11,1	3,5	10,2
	%MG <sub>IPP</sub>	0,75	4,3	12,2	4,1	11,7
	%MG <sub>IMM</sub> + tour de bras	0,87	3,2	9,6	3,3	9,5
	%MG <sub>IPP</sub> + tour de bras	0,77	4,2	11,9	4,1	11,6

CV : coefficient de variation ; MG : masse grasse, MM : masse maigre, DPA : densitométrie par déplacement d'air, IMM : impédancemétrie main-à-main, IPP : impédancemétrie pied-à-pied

Sur la base de ces résultats, nous avons choisi finalement de retenir aussi bien pour la masse grasse que la masse maigre les équations qui présentent une seule variable indépendante c'est-à-dire celle de base. Comme les erreurs de validation sont assez similaires aux erreurs de prédiction, les équations retenues et déjà validées sont établies à nouveau dans l'échantillon total avec les mêmes variables (**Tableau 18**).

**Tableau 18 : Prédiction dans l'échantillon total. N=170**

Variables dépendantes	Variables indépendantes	Equations de prédiction		Comparaison avec les résultats de DPA		
		Paramètres estimés	P	R <sup>2</sup>	Erreur de prédiction	CV
<b>IMM</b>						
					kg	%
MM <sub>DPA</sub>	« Intercept »	7,49	<10 <sup>-3</sup>			
	MM <sub>IMM</sub>	0,708711	<10 <sup>-3</sup>	0,84	2,0	5,0
					%	
%MG <sub>DPA</sub>	« Intercept »	9,33	<10 <sup>-3</sup>			
	%MM <sub>IMM</sub>	0,98027	<10 <sup>-3</sup>	0,86	3,7	10,7
<b>IPP</b>						
					kg	
MM <sub>DPA</sub>	« Intercept »	2,67	0,12			
	%MG <sub>IPP</sub>	0,88137	<10 <sup>-3</sup>	0,74	2,6	6,5
					%	
%MG <sub>DPA</sub>	« Intercept »	2,13	0,10			
	%MG <sub>IPP</sub>	1,04157	<10 <sup>-3</sup>	0,80	4,2	12,0

CV : coefficient de variation ; MG : masse grasse, MM : masse maigre, DPA : densitométrie, IPP : impédancemétrie pied-à-pied, IMM : impédancemétrie main-à-main

Pour montrer l'importance de l'utilisation de l'impédancemétrie partielle par rapport à l'anthropométrie nous avons essayé d'établir de nouvelles équations en référence à la densitométrie en utilisant seulement comme variables indépendantes les variables anthropométriques (voir annexe ; **Gartner et al. 2003, 2004a**). Ainsi en utilisant l'âge, le poids et la taille comme variables indépendantes nous avons obtenu des erreurs plus élevées que celles obtenues lorsque l'impédancemétrie est utilisée. La différence de précision est de de 1,3% de masse grasse et 0,38 kg de masse maigre rapport à l'impédancemétrie main-à-



main et atteint même 1,3 kg de masse maigre lorsque l'IMC et l'âge sont utilisés comme variables indépendantes. Ces équations donnent également des ordonnées à l'origine très élevées de l'ordre de -17 kg pour la prédiction de la masse maigre et 58% pour la masse grasse.

#### III.4. Combinaison des deux méthodes d'impédancemétrie partielle (Voir annexe, Gartner et al 2004b)

Compte tenu du fait que l'impédancemétrie main-à-main mesure l'impédance des bras et l'impédancemétrie pied-à-pied celle des jambes, nous avons estimé intéressant de tester l'effet de la combinaison des deux méthodes. Le **Tableau 19** montre les équations de prédictions obtenues à partir des méthodes d'impédancemétrie partielle utilisées séparément et combinées (2 prédicteurs distincts).

**Tableau 19 : Prédiction par les méthodes d'impédancemétrie partielle utilisées séparément ou combinées**

Variables dépendantes	Prédiction				Comparaison avec DPA
	Variables prédicteurs	Paramètres estimés	Erreur standard	valeur de P	R <sup>2</sup>
Masse maigre DPA	« Intercept »	7,49	1,12	<0,0001	0,84
	MM <sub>IMM</sub>	0,70871	0,02422	<0,0001	
	« Intercept »	2,67	1,72	0,12	0,74
	MM <sub>IPP</sub>	0,88137	0,04035	<0,0001	
	« Intercept »	6,38	1,41	<0,0001	0,84
	MM <sub>IMM</sub>	0,63303	0,06302	<0,0001	
MM <sub>IPP</sub>	0,10834	0,08333	0,20		
% masse grasse DPA	« Intercept »	9,33	0,86	<0,0001	0,86
	%MG <sub>IMM</sub>	0,98027	0,03107	<0,0001	
	« Intercept »	2,13	1,29	0,10	0,80
	%MG <sub>IPP</sub>	1,04157	0,03956	<0,0001	
	« Intercept »	5,43	1,09	<0,0001	0,88
	%MG <sub>IMM</sub>	0,65908	0,06710	<0,0001	
%MG <sub>IPP</sub>	0,38966	0,07650	<0,0001		

DPA : densitométrie à déplacement d'air, IMM : impédance main-à-main, IPP : impédance pied-à-pied

Les erreurs obtenues lorsque les deux méthodes sont combinées, sont assez similaires à celles données par ces méthodes lorsqu'elles sont utilisées séparément. Ces erreurs sont mêmes plus faibles lorsque l'impédancemétrie main-à-main est utilisée seule. Ce qui montre qu'il n'y a pas d'intérêt à les combiner.

Les biais et les erreurs obtenus par rapport à la référence, lorsqu'on utilise l'impédancemétrie main-à-main seule, pied-à-pied seule, et lorsqu'elles sont utilisées simultanément (combinaison arithmétique ou comme deux prédicteurs distincts) avant et après prédiction spécifique, sont donnés dans le **Tableau 20**.

**Tableau 20: Comparaison entre densitométrie et les méthodes d'impédancemétrie partielle utilisées séparément ou combinées, avant et après prédictions spécifiques**

N=170	Comparaison avec densitométrie			
	MM		%MG	
	Différence	Erreur	Différence	Erreur
<b>Estimation par les équations internes des appareils</b>				
IMM	5,8*	2,8	8,8	3,6
IPP	2,3*	2,7	3,7	4,2
(IMM+IPP)/2	4,1*	2,4	6,1	3,4
<b>Estimation par les nouvelles équations spécifiques</b>				
IMM	0,0	2,1	0,0	3,6
IPP	0,0	2,6	0,0	4,2
(IMM+IPP)/2	0,0	2,2	0,0	3,4
(IMM+IPP)/2 (1 prédicteur)	0,0	2,1	0,0	3,4
IMM et IPP (2 prédicteurs)	0,0	2,0	0,0	2,2

IMM : impédance main-à-main, IPP : impédance pied-à-pied, MM : masse maigre  
MG : masse grasse, \*P significatif

La combinaison des deux méthodes avant (avec équations internes) et après prédictions n'améliore pas les résultats trouvés lorsque les méthodes d'impédancemétries partielles sont utilisées séparément. Quelque soit la façon de les combiner nous avons des biais et des erreurs similaires à ceux obtenus lorsque chaque méthode est utilisée seule avec ou sans les équations spécifiques.

## IV. DISCUSSION

### IV.1. Qualité des mesures

La très bonne répétabilité obtenue pour la taille, le tour de bras et le poids est sans doute due au fait que les conditions de ces mesures sont relativement faciles à reproduire. En plus, la mesure du poids est faite avec une balance électronique très précise reliée à un pilote informatique qui détecte le moindre mouvement du sujet. La répétabilité bonne, mais moindre, obtenue pour l'épaisseur des plis cutanés est liée à la difficulté de localisation du site de mesure rendant ainsi la mesure délicate (Harisson et al., 1988). Pour le volume corporel mesuré par le Bod-Pod, la bonne reproductibilité est sûrement favorisée par le pilote informatique relié à l'appareil qui ne tolère pas un certain écart entre les deux mesures nécessaires.

Les résultats obtenus lors de la comparaison entre l'approche « prédit » et « mesuré » ne sont pas similaires à ceux obtenus par Mac Crory et al. (1998) qui trouvent des volumes pulmonaires identiques. L'influence moindre de la variation du volume pulmonaire sur les mesures des compartiments corporels peut s'expliquer par le fait que le volume pulmonaire n'intervient pas seul dans la mesure. Sa part n'est pas trop importante par rapport aux autres paramètres (Demster & Aitkens, 1995 ; Mc Crory et al., 1995 ; 1998).

### IV.2. Dilution isotopique-impédancemétrie totale

Toutes les équations de prédiction de l'eau corporelle testées donnent des erreurs acceptables et comparables aux erreurs de prédiction généralement rapportées dans la littérature (Deurenberg et al., 1995a ; Kushner & Schoeller, 1986).

Par contre, nous n'avons pas de relation entre le biais et l'origine raciale des équations. Deux équations développées avec un échantillon d'occidentaux (G2, G1) et une développée chez des populations d'origine africaine (L2) donnent des biais non significatifs et pourraient être considérées comme utilisables chez les femmes sénégalaises. Pour les autres équations, les erreurs de validation sont généralement assez élevées et largement supérieures à l'erreur de prédiction de ces dernières. Cette non validité pourrait être expliquée par le fait que ces équations ont été développées dans un échantillon ayant un âge moyen ou un écart d'âge différents de ceux de notre échantillon. Les équations C (Wang et al., 1995) et M (Wang et al., 1995) ont été développées chez des sujets âgés alors que I1, I2 (Kushner et al., 1992), O1

et O2 (Leman et al., 2003) sont issues d'un échantillon présentant une large gamme d'âges incluant des enfants. Ces équations O1 et O2 (Leman et al., 2003) ont été développées chez des sujets africains mais l'inclusion des enfants dans l'échantillon a sûrement joué un rôle dans leur faible validité chez les femmes sénégalaises. En ce qui concerne l'équation E (Lukaski et al., 1985), la non validité pourrait s'expliquer par le fait que l'échantillon de base était constitué d'hommes. Cependant, l'équation H (Segal et al., 1991) développée avec un échantillon comprenant des hommes donne un biais faible mais significatif. Pour l'équation F (Van Loan & Mayclin, 1987), il y a une relation significative entre la moyenne et le biais. Il serait donc intéressant de tester cette équation dans différentes catégories d'eau corporelle totale ou de composition corporelle. Malheureusement, ce n'est pas faisable à notre niveau compte tenu de la taille de notre échantillon. Par conséquent, cette équation, malgré son biais plutôt faible, ne sera pas considérée comme applicable chez les africaines.

L'absence de lien entre la validité et la population d'origine des équations est confirmée par les résultats trouvés par d'autres auteurs (Zillikens & Conway, 1991 ; Deurenberg et al., 1995b ; 1996 ; Schoeller & Luke, 2000). Les résultats obtenus lorsque les équations A1, B1, B2 et F établies chez les occidentaux sont testées chez des populations d'origine africaine sont similaires aux nôtres (biais faibles). Par contre, le biais obtenu en testant l'équation D chez les nigériens est très inférieur à ce que nous avons trouvé (Schoeller & Luke, 2000). Zillikens & Conway, (1991), en validant l'équation G1 établie chez les occidentaux, dans 3 groupes de population (africains, américains d'origine africaine et américains d'origine occidentale) ont trouvé à notre surprise un biais significatif et plus élevé chez les occidentaux. Lorsque les équations D et N sont testées dans un même échantillon d'africains ou de sujets d'origine africaine (Schoeller & Luke, 2000), D établie chez les occidentaux, montre une meilleure validité que N établie chez les populations d'origine africaine, alors que dans notre étude nous avons trouvé le contraire.

Le meilleur résultat (biais plus faible) généralement obtenu pour les équations avec plusieurs variables indépendantes par rapport à celles avec une seule variable indépendante, montre l'importance de certains paramètres anthropométriques. Ces derniers devraient corriger la différence dans la configuration du corps. Cependant, Deurenberg et al. (1995b) ont trouvé des biais identiques en appliquant les équations B2 avec une seule variable indépendante et B1 avec plusieurs variables indépendantes dans un même échantillon constitué de femmes éthiopiennes.

En conclusion la validité de l'estimation de l'eau corporelle par ces équations d'impédancemétrie corps total semble être indépendante de l'origine raciale de la population

qui a servi à son établissement. Ainsi, plutôt que de continuer à établir de nouvelles équations spécifiques aux populations pour l'eau corporelle estimée par impédancemétrie totale, des recherches fondamentales sont nécessaires afin d'explorer les causes de la non validité de certaines équations. L'impédancemétrie corps total est déterminée par la valeur de l'impédance des bras et des jambes (**Fuller & Elia, 1989**) alors que la plus grande part de l'eau corporelle se trouve au niveau du tronc. Cependant, cette méthode est basée sur le fait qu'il existe une relation constante entre l'eau estimée au niveau des membres et l'eau corporelle totale. Ainsi, la différence maintenant reconnue dans la taille relative des membres entre les populations (**Norgan, 1994c ; Eveleth & Tanner, 1990 ; Malina et al., 1996**) devrait influencer la relation entre l'impédance et l'eau corporelle totale (**Eveleth & Tanner, 1990**). Seulement, l'hypothèse de l'influence de la configuration du corps sur la validité des équations de prédiction démontrée pour la masse grasse et la masse maigre (**Snijder et al., 1999 ; Deurenberg et al., 2002**) semble fautive dans le cas de l'estimation de l'eau corporelle totale. L'explication pourrait être que l'estimation de l'eau corporelle par impédancemétrie est plus directe et nécessite moins d'hypothèses que celle de la masse grasse ou de la masse maigre. En réalité le compartiment aqueux corporel est le conducteur du courant appliqué en impédancemétrie.

### **IV.3. Densitométrie-épaisseur des plis cutanés**

Nous avons testé la validité des équations de **Durnin & Womersley (1974)** et de **Siri (1961)** à prédire la composition corporelle des populations d'origine africaine à partir de l'épaisseur des plis. Les gammes d'âges, de densités corporelles, de poids, de tailles et de sommes de l'épaisseur des plis de nos sujets sont assez similaires à celles de l'échantillon utilisé par **Durnin & Womersley (1974)** pour établir leurs équations. Les mesures de l'épaisseur des plis sont faites avec des erreurs techniques acceptables par rapport aux valeurs rapportées par **Harrison et al. (1988)**. Comparée à la densitométrie, l'équation de Durnin et Womersley surestime en moyenne la densité de 0,0100 kg/l. L'erreur de validation qui est égale à 0,0143 est supérieure à l'erreur de prédiction obtenue lors de l'établissement de cette équation. La surestimation de la densité par l'équation de Durnin et Womersley a entraîné une sous estimation du pourcentage de masse grasse et par conséquent une surestimation de la masse maigre, lorsque cette densité est utilisée dans une équation qui la transforme en pourcentage de masse grasse. Cette surestimation de la densité bien que très petite est significative et conduit à un important biais du pourcentage de masse grasse, même lorsque cette densité est

utilisée dans une équation spécifique aux noirs, pour être transformé en pourcentage de masse grasse. Les biais que nous avons obtenus, sont en valeur absolue plus élevés que ceux trouvés par certains auteurs en testant la validité de l'équation de Durnin et Womersley et de Siri chez d'autres populations adultes non occidentales à savoir les chinois (**Wang & Deurenberg, 1996**), les indiens (**Kashiwazaki et al., 1998**) et les américains d'origine africaine (**Zillikens & Conway, 1990 ; Brandon 1998**). La corrélation des biais avec la moyenne des différents compartiments corporels, observée dans notre étude concorde avec les résultats de **Deurenberg & Deurenberg-Yap (2003)** chez les asiatiques. Ces corrélations, ajoutées au fait que les valeurs des biais et des erreurs de validation sont élevées, amènent à conclure à une non concordance, donc à une non validité de l'équation de Durnin et Womersley et de Siri chez les femmes africaines. Des conclusions similaires sont rapportées en Asie par **Deurenberg & Deurenberg-Yap (2003)** et chez des femmes américaines d'origine africaine par **Brandon (1998)**. D'autres au contraire, en effectuant une validation croisée de ces équations, ont trouvé que l'équation de Durnin et Womersley prédit bien le pourcentage de masse grasse chez les chinoises (**De Waart et al., 1993 ; Yao et al. 2002 ; Wang & Deurenberg, 1996**), chez les boliviens (**Kashiwazaki et al., 1998**) et chez des noirs américains (**Zillikens & Conway, 1990**).

Cette non validité observée dans notre étude pourrait être due au fait que l'équation de Durnin et Womersley, établie chez des sujets occidentaux, s'est basée sur la constance de la répartition de la masse grasse. Cela pourrait également être lié au fait que l'équation de Siri, établie chez les occidentaux, se base sur la constance de la valeur de la densité de la masse maigre entre groupes de population. Alors que l'on sait maintenant qu'il y a des différences de la composition corporelle entre populations (**Ortiz et al., 1992 ; Wang et al. 1992 ; Wagner & Heyward, 2000**), particulièrement pour la densité de la masse maigre et la répartition de la masse grasse. En établissant leurs équations, **Durnin & Womersley (1974)** ont tenu compte seulement de la différence de la répartition de la masse grasse en fonction de l'âge et du sexe. Alors que comme suggéré plus tard par **Wong et al. (2000)**, l'âge et le sexe ne sont pas les seuls facteurs qui affectent la validité et la précision de l'équation de Durnin et Womersley. **Cronk & Roche (1982)** sont parmi les premiers à noter une différence raciale dans les données de référence pour le pli cutané tricéphal et sous scapulaire. Ensuite d'autres chercheurs ont également démontré une différence raciale dans la distribution de la masse grasse (**Norgan, 1995 ; Malina, 1996**), particulièrement entre occidentaux et populations d'origine africaine (**Wagner & Heyward, 2000**). D'après **Malina (1996)** et **Zillikens & Conway (1990)**, il y a un dépôt de tissu adipeux plus important au niveau du tronc par rapport

aux extrémités chez les femmes d'origine africaine en comparaison aux femmes occidentales. Tout cela pourrait contribuer à la non validité de l'équation de Durnin et Womersley chez les femmes africaines comme rapporté par **Deurenberg & Deurenberg-yap (2003)**. **Siri (1961)**, en établissant son équation, s'est également basé sur la constance de la densité de la masse maigre. Mais, depuis un certain temps, cette hypothèse est remise en cause dans la littérature avec la démonstration d'une densité corporelle plus élevée chez des populations d'origine africaine par rapport aux occidentaux (**Ortiz et al. 1992 ; Wagner & Heyward, 2000**). D'après **Ortiz (1992)**, les populations d'origines africaine et occidentale ont une différence dans les muscles et dans le contenu minéral des os. Ainsi, on risque de faire des erreurs dans la détermination du pourcentage de masse grasse si on ne tient pas compte de l'origine raciale (**Ortiz et al., 1992 ; Wong et al., 2000 ; Werkman et al., 2000 ; Deurenberg-Yap et al. 2001 ; Wagner & Heyward, 2001**). En utilisant le modèle à 4 compartiments comme méthode de référence, **Deurenberg-Yap et al (2001)** ont montrés chez les Singapouriens que l'utilisation de la densitométrie, avec l'équation de Siri pour transformer la densité en pourcentage de masse grasse, induit une sous-estimation d'environ 3%. Cette dernière serait due à une différence dans la densité de masse maigre entre les Singapouriens et les occidentaux (**Werkman et al., 2000**). Par conséquent, l'hypothèse de la constance de la densité de la masse maigre induit un biais systématique et large. Ceci explique le fait que l'utilisation d'une équation de Siri re-calculée en tenant compte de la différence de la densité de la masse maigre entre les populations d'origines africaine et les occidentale a contribué à réduire les biais.

Le plus important biais obtenu chez les sujets qui ont un IMC élevé peut être expliqué par le fait que chez ces personnes ayant une masse grasse plus élevée, le rapport du tissu adipeux sous-cutané sur le tissu adipeux total devient petit, comme rapporté par **Deurenberg & Deurenberg-Yap (2003)** et démontré par **Kral et al. (1993)** chez les obèses. Ainsi la méthode des plis cutanés qui se base sur le fait que ce rapport est constant, sous estime la masse grasse chez les sujets qui ont un IMC élevé. De même la difficulté de la mesure des plis cutanés de grande taille (**Harrisson et al., 1988**) induit une plus grande erreur chez les obèses.

Notre étude confirme le doute sur l'utilisation de l'équation de Durnin et Womersley pour la prédiction de la densité corporelle et celle de Siri pour transformer cette densité en pourcentage de masse grasse chez les femmes d'origine africaine sans faire des ajustements.

La diminution du biais lorsqu'on utilise l'équation spécifique montre l'importance de telles équations spécifiques aux populations. (voir annexe : Dioum et al., in press)

#### IV.4. Densitométrie-impédancemétries partielles

Les résultats obtenus lors de la comparaison entre la densitométrie et les méthodes d'impédancemétrie partielle sont différents de ceux obtenus par **Deurenberg et al. (2001)** en comparant des méthodes de référence à l'impédancemétrie main-à-main dans un échantillon de 234 femmes de 5 villes européennes. Ils sont également différents de ceux trouvés par **Boulier et al. (2002)** dans leur validation internationale de l'impédancemétrie pied-à-pied. Ils ont tous trouvé des biais faibles. **Deurenberg & Deurenberg-Yap (2002)** ont également trouvé chez les singapouriens chinois, malais, et indiens des biais faibles, mais différents entre ces groupes de populations.

Nos résultats pourraient être expliqués par le fait que ces techniques utilisent des équations de prédiction établies chez des sujets non africains, qui se basent sur plusieurs postulats, tel qu'un rapport constant entre la masse maigre estimée au niveau des membres et la masse maigre totale. Alors qu'il y a maintenant dans la littérature une remise en cause de l'universalité de ces postulats. Il est avéré qu'il existe bien une différence dans la taille relative des membres entre populations. Ainsi, **Evleth & Tanner (1990)** ont suggéré la nécessité d'établir des équations spécifiques, pour les méthodes de terrain qui ont un lien avec les proportions du corps, notamment la longueur des membres. En effet, pour une même taille assise les hommes d'origine africaine que ce soit en Afrique ou aux Etats Unis ont les jambes relativement plus longues que les occidentaux. Ceci est également rapporté par **Malina (1996)**. Selon **Norgan (1994a)**, les africains ont tendance à avoir un faible rapport taille assise sur taille debout (0,51) par rapport aux européens (0,52). **Deurenberg et al. (2002)** montrent une différence significative dans la taille relative des bras entre les malais, les indiens et les singapouriens. Les valeurs obtenues chez ces derniers (0,99-1,02) sont inférieures à la valeur moyenne trouvée dans notre échantillon africain. Malheureusement, nous ne disposons pas de données de l'échantillon ayant permis de développer les équations des appareils d'impédancemétrie afin de faire des comparaisons. La surestimation de la masse maigre pourrait également s'expliquer par une proportion de muscle au niveau des membres plus importante chez les femmes africaines. En fait, l'eau contenue au niveau des membres est le facteur déterminant de la conductivité. Les individus ayant plus de masse maigre au niveau



des membres, présentent une résistance moindre au passage du courant à travers leur corps par rapport à ceux qui ont moins (**Baumgartner, 1996**).

Du fait de la différence de la configuration du corps entre groupes de population, on pouvait s'attendre à ce que les équations établies chez d'autres populations ne soient pas applicables aux femmes africaines. Ces résultats confirment donc la nécessité de tenir compte de la population d'origine lorsqu'on utilise des équations d'impédancemétrie comme l'ont suggéré **Boulier et al. (2002)**, **Heyward (2001)** et **Ward (2000)**.

#### **IV.5. Etablissement d'équations et combinaison des méthodes**

Aussi bien pour l'impédancemétrie main-à-main et pied-à-pied, ce sont les résultats donnés par les appareils avec leurs équations internes qui ont été considérés comme variables indépendantes de base. Les résultats obtenus lorsque les variables anthropométriques sont utilisées comme seules variables indépendantes dans la prédiction, renforce l'intérêt de l'utilisation de l'impédancemétrie pour prédire les compartiments corporels par rapport à l'Anthropométrie (voir annexe : **Gartner et al., 2003 ; 2004a**). Les erreurs de prédiction obtenues pour l'impédancemétrie main-à-main sont similaires à celles trouvées par **Deurenberg et al. (2001)** chez les sujets européens en testant l'impédancemétrie main-à-main par rapport à deux méthodes de référence (4,1%,  $R^2=0,81$ ). Celles obtenues pour l'impédancemétrie pied-à-pied sont également similaires à celles trouvées par **Boulier et al. (2002)** en validant à travers le monde le Bodymaster. Elles sont même meilleures que celles qu'ils ont trouvées dans le sous groupe des noirs américaines (5,3 kg de masse maigre). D'après la classification des gammes d'erreur de prédiction de la masse maigre données par **Houtkooper et al. (1996)**, en validant une nouvelle méthode par rapport à la densitométrie, les erreurs standard de 2,3 kg et de 2,6 kg de masse maigre obtenues dans notre étude, respectivement pour la main-à-main et le pied-à-pied peuvent être qualifiées de très bonnes. Les erreurs de validation sont assez comparables aux erreurs de prédiction, ce qui atteste de l'applicabilité et de la généralisation de ces équations chez d'autres groupes de mêmes caractéristiques.

La différence minime trouvée lorsque les deux méthodes d'impédancemétrie partielle sont combinées par rapport au fait qu'elles soient utilisées séparément nous permet de dire qu'il n'y a pas un réel avantage à les utiliser ensemble.

## V. CONCLUSION

L'étude a montré que:

- les équations de Durnin & Womersley utilisant l'épaisseur des plis cutanés pour prédire la densité, de même que l'équation de Siri qui prédit la masse grasse et la masse maigre à partir de cette densité, ne sont pas applicables chez les femmes africaines. Et ceci du fait de la différence de la densité de la masse maigre et de la distribution différente de la masse grasse entre populations, d'où l'importance de l'utilisation d'une équation spécifique comme trouvé dans notre étude.
- les équations des méthodes d'impédancemétries partielles main-à-main et pied-à-pied interne aux appareils (non) ne sont pas valides pour la prédiction de la masse grasse et de la masse maigre chez les africaines sans doute du fait de la variation de la taille relative des membres entre races.
- la validité des équations utilisées pour prédire l'eau corporelle totale à partir de l'impédancemétrie totale n'apparaît pas influencée par l'origine raciale de la population au sein de laquelle elles ont été établies. Ainsi, des recherches fondamentales sont nécessaires, afin d'explorer les causes de la non validité de certaines équations plutôt que de continuer à établir de nouvelles équations spécifiques des populations pour l'eau corporelle estimée par impédancemétrie totale.

L'étude a permis également, suite aux premiers résultats :

- D'établir de nouvelles équations spécifiques aux femmes africaines pour la mesure de la masse grasse et de la masse maigre par impédancemétrie main-à-main.
- D'établir de nouvelles équations spécifiques aux femmes africaines pour la mesure de la masse grasse et de la masse maigre par impédancemétrie pied-à-pied.
- De montrer que la combinaison des deux méthodes d'impédancemétrie partielle n'est pas avantageuse par rapport à l'utilisation séparée de chacune d'elle.

Ces méthodes, nouvellement validées pourraient maintenant être utilisées dans des études épidémiologiques nutritionnelles sur le terrain pour quantifier la masse grasse et la masse maigre avec des résultats valides.

**ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE**

## I. INTRODUCTION

La quantification de la masse maigre et de la masse grasse est un élément important pour déterminer l'état nutritionnel (Segal et al., 1987 ; Van Italie et al., 1990). La méthode la plus utilisée dans les études épidémiologiques nutritionnelles est l'anthropométrie et particulièrement l'indice de masse corporelle (IMC), chez l'adulte. Une valeur faible ou élevée de l'IMC par rapport à la norme augmente le risque de morbidité et de mortalité. Mais au-delà de l'IMC, c'est la composition corporelle qui détermine l'état de santé (Segal et al., 1987) et apparaît comme un meilleur prédicteur du risque de morbidité comparée à l'IMC (Van Italie et al., 1990).

Suite aux validations menées l'objectif général de cette dernière partie est donc de tester l'application de l'impédancemétrie partielle dans les conditions de terrain en Afrique.

Nos objectifs spécifiques sont :

- D'utiliser pour la première fois la méthode d'impédancemétrie partielle main-à-main dans une étude épidémiologique et en condition de terrain en Afrique.
- D'appliquer pour la première fois les équations de prédiction spécifiques aux femmes africaines que nous avons récemment établies (Gartner et al, 2003 ; 2004a).
- De décrire précisément la composition corporelle, en terme de masse grasse et de masse maigre, ainsi que les indices de masse maigre (IMM) et de masse grasse (IMG) chez les femmes sénégalaises. Ces indices (IMM et IMG) (Kyle et al., 2003) permettent d'évaluer la composition corporelle, en éliminant la différence dans la masse grasse et la masse maigre qui serait liée à la taille. Kyle et al. (2003) ont donné une classification de ces indices chez les européens.
- De comparer la composition corporelle entre femmes rurales et femmes urbaines. Pour cela, 2 études épidémiologiques, transversales en milieux rural et urbain ont été réalisées au cours du mois de mai et de juin. A Sédhiou, l'étude s'est faite sur un échantillon représentatif de femmes rurales non enceintes, âgées de 20 à 45 ans habitant le département de Sédhiou. A Pikine (zone urbaine) elle s'est faite sur un échantillon représentatif de femmes non enceintes âgées de 20 à 45 ans.

Avant le déroulement de l'enquête, une sensibilisation a été menée afin d'obtenir l'accord des autorités de la ville et des villages. Durant l'enquête, qui s'est effectuée par passage à domicile à Pikine et en un point fixe dans chaque village à Sédhiou, le consentement du chef de ménage et des sujets enquêtés a été demandé. Pour cela, les raisons et les objectifs de l'étude ont été expliqués aux personnes concernées en langues locales. Les femmes ont été

également informées de leur totale liberté de participer ou de se retirer de l'étude si elles le souhaitent.

## II. ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE EN MILIEU RURAL

### II.1. Cadre de l'étude

La zone rurale du département de Sédhiou a été retenue à la suite d'un partenariat entre l'UR 106 et le laboratoire de Nutrition de l'Université de Dakar qui y mène des enquêtes par passages répétés sur la prévalence des carences en micronutriments chez les femmes de 15 à 45 ans (**Guèye et al., résultats non publiés**).

Le département de Sédhiou est une entité administrative de la région de Kolda. Il est situé à l'extrême sud du Sénégal et est limité au nord par la Gambie, au sud par la République de Guinée Bissau, à l'Est par le département de Kolda et à l'ouest par les départements de Bignona et de Ziguinchor. Sédhiou, qui couvre une superficie de 7293 km<sup>2</sup> avec une population estimée à 361554 habitants (**Recensement national, 1998**), est un creuset ethnique où le groupe mandingue (Malinké, Socé, Soninké) constitue l'ethnie la plus représentée, suivie des Peulhs, des Diolas, Manjacks, Baïnouks, Balantes, Mancagne et Wolofs. Le département de Sédhiou compte 20 communautés rurales réparties sur 5 arrondissements. Il est sous l'influence du climat sub-guinéen chaud et humide caractérisé par un régime de pluies relativement abondantes. Le département de Sédhiou appartient en effet à la zone éco-géographique de la Casamance caractérisée par des ressources naturelles importantes et variées mais subissant d'importantes dégradations liées surtout à l'action anthropique et aux contraintes climatiques. L'agriculture est l'une des activités les plus importantes dans la région.

### II.2. Echantillonnage des femmes rurales de Sédhiou

L'échantillon de femmes rurales est commun aux deux études, celle sur les carences en micronutriments et la nôtre sur la composition corporelle. La tranche d'âge retenue par l'étude sur les carences en micronutriments est de 15-45 ans et servira de base pour la sélection des femmes devant participer à notre étude. Pour l'application des prédictions par impédancemétrie, nous devons exclure les adolescentes et les femmes enceintes.

### **II.2.1. Taille de l'échantillon**

L'échantillonnage a été effectué avec le programme EPITABLE de EPI-INFO 6.0. La taille d'échantillon a été calculée en considérant un risque d'erreur de 5% (un intervalle de confiance de 95%), une précision de 5%, une prévalence attendue de la malnutrition de 50% et un effet grappe de 2 pour corriger la perte de précision possible par rapport à un sondage élémentaire. La taille minimale de l'échantillon est de 780 femmes rurales de Sédhiou âgées de 15 à 45 ans. Après application de nos critères d'inclusion, nos analyses n'ont portées que sur 576 femmes représentatives des femmes rurales de Sédhiou non enceintes âgées de 20 à 45 ans.

### **II.2.2. Type de sondage**

Un sondage en grappes à 2 degrés avec des données du recensement général de la population de 1998 est effectué. Le nombre de grappes étant fixé à 30 (30 villages), l'effectif à retenir par village doit être de 26 femmes.

Le tirage des villages est basé sur une probabilité proportionnelle à la taille de la population selon la technique des effectifs cumulés (**Rumeau-Rouquette et al., 1985**). Les villages ont été sélectionnés par tirage aléatoire simple à partir des listes des villages de chaque arrondissement. Du fait de l'insécurité qui règne dans certaines zones de ce département, certains villages tirés au sort ont été par la suite exclus et remplacés.

Dans chacun des villages sélectionnés, toutes les femmes respectant les critères d'inclusion ont été recensées, leur sélection a été faite par tirage au sort à partir de la liste de recensement établie par un relais villageois.

### **II.3. Déroulement de l'enquête**

L'enquête s'est déroulée durant tout le mois de mai à début juin 2003. Le travail a été fait au rythme d'un village par jour par une équipe composée de deux étudiants, d'un agent de santé communautaire, d'un interprète et d'un chauffeur. De plus, un relais a été recruté dans chaque village enquêté (matrone, secouriste ou président d'association) et était chargé du recensement préalable des femmes ainsi que de leur mobilisation le jour de l'enquête. La liste des femmes sélectionnées était déposée au niveau du village (relais) deux jours avant l'enquête. Le jour de l'enquête, les femmes étaient regroupées dans un endroit (case de santé,

salle de classe ou chez le chef de village) où se sont effectuées les mesures. Dans le cas d'une absence ou d'un refus, la femme est immédiatement remplacée à partir d'une liste de remplacement.

Avant de commencer les mesures proprement dites (anthropométrie et impédancemétrie), un questionnaire individuel a été rempli sur les caractéristiques socio-économiques (statut matrimonial, âge, parité, ethnie, occupation, niveau d'instruction ...); voir annexe.

### **III. ETUDE EPIDEMIOLOGIQUE EN MILIEU URBAIN**

#### **III.1. Cadre de l'étude**

La ville de Pikine, d'une superficie de 25 km<sup>2</sup>, connaît depuis 1952 une très forte urbanisation. Il existe actuellement de larges zones urbaines régulières à l'ouest et au nord, un front d'urbanisation et des quartiers irréguliers à l'est et un front d'urbanisation irrégulier en bordures des Niayes (zone marécageuse). La ville de Pikine, initialement peuplée par les habitants des anciens bidonvilles de Dakar, compte 800 000 habitants. Pikine a été choisi parce que c'est un quartier urbain régulier dans lequel une enquête nutritionnelle avait déjà été menée en 1996 par l'UR 106 de l'IRD.

#### **III.2. Echantillonnage des femmes de Pikine**

Pour cette enquête, 270 femmes ont été sélectionnées comme suit : après quadrillage d'une carte récente (2000) de Pikine ancien, au 2000ième, 400 concessions ont été tirées au sort (afin d'avoir un pool de remplaçantes en cas de refus ou au cas où certaines concessions figurants sur la carte n'existent plus ou ne sont pas des habitations) via un tirage aléatoire à 2 degrés grâce à une liste des nombres au hasard.

A l'intérieur de chaque concession, lorsque plusieurs ménages y vivaient 1 ménage est tiré au sort. Pour cela, chaque ménage de la concession se voit attribuer un numéro pour le tirage, qui se fait à l'aide d'un dé. Au sein du ménage ainsi sélectionné, toutes les femmes répondant aux critères d'inclusion sont recensées et se voient attribuer un numéro. Une seule d'entre elles est tirée au sort toujours à l'aide d'un dé et participera à l'enquête.

### **III.3. Déroulement de l'enquête**

La veille de l'enquête, l'agent recenseur se rend dans les concessions sélectionnées qui doivent être enquêtées le lendemain. Après s'être présenté au chef de concession (s'il est présent) ou à la personne ayant autorité de répondre à sa place, le recenseur informe la femme et fixe avec elle un rendez-vous pour le lendemain.

L'équipe d'enquête (constituée de l'enquêtrice, du superviseur et du recenseur) fait le planning de sa journée en fonction des disponibilités signalées au recenseur par les femmes, et en fonction des éventuelles absences. Dans chaque concession, l'équipe d'enquête, après s'être présentée, commence par vérifier que la femme enquêtée répond bien aux critères d'inclusion. Ensuite, l'enquêtrice administre le questionnaire et fait les mesures. Après celles-ci, les fiches sont bien vérifiées afin de ne rien oublier. Le superviseur devrait veiller à ce que le protocole d'enquête soit respecté.

### **IV. DIFFICULTES RENCONTREES**

Pour l'enquête de Sédhiou, nous avons fait face à un certain nombre de difficultés tel que le refus catégorique de certains villages Peulhs. Ceci est dû au fait que la méthodologie liée à la mesure des carences en micronutriments nécessitait des prélèvements de sang. Ces villages ont été remplacés par d'autres. Dans d'autres villages, les chefs de village, malgré les explications sur le sens du tirage aléatoire, voulaient coûte que coûte que nous incorporions un membre de leur famille dans l'étude et nous étions obligés de les mesurer à part. Ces difficultés qui sont généralement inévitables sur le terrain dans une enquête de cette ampleur ont été toutes bien gérées.

### **V. LES MESURES ET ANALYSES STATISTIQUES DES DONNEES**

Chaque femme a été mesurée avec la méthode d'impédancemétrie partielle à savoir la main-à-main. Nous avons également effectué des mesures anthropométriques. Les mesures ont été réalisées, à la fin du questionnaire et prises, par des personnes bien formées et standardisées au préalable à ce type de mesure. Elles ont été effectuées comme indiqué dans la partie méthodologique.

Les compartiments corporels ont été estimés à l'aide de l'impédancemètre main-à-main (Omron HBF300, Omron Healthcare Inc, Vernon Hills, IL, USA). Le sujet debout, tient



l'appareil des deux mains avec les bras tendus en position horizontale. Il ne bouge pas pendant la durée de la mesure et ne doit pas porter d'objets métalliques sur les bras ou les mains. La mesure du poids s'effectue grâce à un pèse-personne électronique d'une précision de 100 g. Il faut noter que chaque matin les pèse-personnes sont vérifiés. La taille est mesurée à l'aide d'un mètre ruban gradué au millimètre.

La saisie et la validation des données ont été effectuées à l'aide du logiciel Epi-info (CDC, Atlanta, GE, USA) (Dean et al, 1994). L'analyse a été réalisée avec les logiciels SAS (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA) et SPSS (SPSS Inc, Chicago, Illinois, USA). Les résultats sont exprimés en moyenne, écart-type et en pourcentage.

La qualité des mesures faites par impédancemétrie est déterminée grâce à des études de répétabilité des mesures en double. L'erreur technique de mesure en valeur absolue (différence des doubles au carré/deux fois le nombre de double) et le pourcentage de répétabilité ( $100 * \text{erreur technique} / \text{moyenne des mesures}$ ) sont calculés. Nous avons calculé la masse grasse et la masse maigre en utilisant les résultats obtenus avec l'impédancemètre main-à-main dans des équations spécifiques aux femmes africaines que nous avons récemment établies.

$$\text{Masse maigre} = 0,7087 * \text{masse maigre (prédite)} + 7,49$$

$$\% \text{masse grasse} = 0,9802 * \% \text{masse grasse (prédite)} + 9,33$$

Les indices de masse corporelle (IMC), de masse maigre (IMM) et de masse grasse (IMG) ont été calculés en divisant respectivement le poids, la masse maigre et la masse grasse en kg par la taille au carré.

La comparaison des deux groupes de population en terme de composition corporelle est faite avec un test t de Student. Nous avons également effectué des ajustements par régression linéaire.

## VI. RESULTATS

La répétabilité intra sujet de l'impédancemétrie main-à-main dans les conditions de terrain bien que moindre par rapport à celle obtenue dans les conditions de laboratoire peut être qualifiée de très acceptable. Elle est de 3,8% de masse grasse chez les femmes de Sédhiou.

La taille, le poids, l'IMC, le pourcentage de masse grasse ainsi que la masse maigre sont significativement différents entre femmes rurales et femmes urbaines. En fait, les femmes

urbaines ont un IMC, un pourcentage de masse grasse et une masse maigre supérieurs à ceux des femmes rurales. Les IMM et IMG sont également significativement différents (Tableau 21).

**Tableau 21 : Caractéristiques anthropométriques et composition corporelle des femmes rurales et urbaines sénégalaises**

	Rurales (n=576)		Urbaines (270)		P
	Moyenne (e.t.)	Min ; max	Moyenne (e.t.)	Min - max	
Age (ans)	31,9 (7,6)	20,0 – 45,0	30,8 (7,3)	20,0 – 45,0	0,36
Poids (kg)	54,5 (8,7)	33,1 - 111,4	67,5 (15,3)	42,6 - 130,4	<10 <sup>-4</sup>
Taille (cm)	159,2 (6,0)	142,5 - 178,3	164,6 (6,2)	148,1 - 180,1	<10 <sup>-4</sup>
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	21,5 (3,1)	14,9 - 40,1	24,9 (5,3)	16,3 - 43,9	<10 <sup>-4</sup>
% MG	31,1 (6,2)	13,7 - 53,8	37,1 (8,1)	17,6 - 56,2	<10 <sup>-4</sup>
MG (kg)	17,3 (6,0)	4,5 - 59,9	26,1(11,4)	7,6 - 73,2	<10 <sup>-4</sup>
MM (kg)	37,3 (3,4)	28,3 - 50,3	40,9 (4,3)	31,6 - 57,7	<10 <sup>-4</sup>
IMM (kg/m <sup>2</sup> )	14,7 (1,0)	11,0 - 19,6	15,1 (1,3)	11,6 - 19,3	<10 <sup>-4</sup>
IMG (kg/m <sup>2</sup> )	6,8 (2,4)	2,0 - 21,6	9,6 (4,1)	2,9 - 24,7	<10 <sup>-4</sup>

MG : masse grasse, MM : masse maigre, IMC : indice de masse corporelle, IMM : indice de masse maigre, IMG : indice de masse grasse, e.t. : écart type. P : signification

La répartition des femmes par classe d'IMC comme définie par l'OMS et en fonction du milieu est donnée dans le tableau 22.

**Tableau 22 : Répartition des femmes en fonction des classes d'IMC et par milieu**

Classe d'IMC	Zone rurale		Zone urbaine	
	Effectif	Pourcentage	Effectif	Pourcentage
<18,5	74	12,8	16	5,9
18,5-24,99	441	76,6	140	51,9
25-29,99	53	9,2	72	26,6
≥30	8	1,4	42	15,6

IMC : indice de masse corporelle

La proportion de femmes souffrant de maigreur est supérieure en milieu rural (12,8%) par rapport au milieu urbain (5,9%). Par contre, la prévalence de femmes souffrant de surpoids et d'obésité est plus élevée en milieu urbain par rapport au milieu rural. Il est respectivement de 26,6 et 15,6% en milieu urbain et seulement 9,2 et 1,4% en milieu rural

La composition corporelle est également comparée entre femmes rurales et urbaines en fonction de ces classes d'IMC définies par l'OMS. Compte tenu du très faible effectif de femmes obèses en milieu rural, nous avons regroupé les surpoids et les obèses pour faire la comparaison. Ainsi on s'est retrouvé avec des effectifs de 114 (42,2%) et 61 (10,8%) femmes ayant un  $IMC \geq 25$  en milieu urbain et rural respectivement (**Tableau 23**).

Chez les femmes souffrant de maigreur, les valeurs trouvées sont assez similaires dans les deux groupes de population. Cependant, après ajustement par l'âge, nous avons noté une différence significative pour la masse grasse ( $P=0,04$ ) et pour l'indice de masse maigre ( $P=0,008$ ), non significative pour la masse maigre ( $P=0,554$ ) et pour l'indice de masse grasse ( $P=0,78$ ). Ce qui peut faire suggérer qu'au delà de la différence de taille et d'âge, il existe bien une différence de masse maigre dans cette classe d'IMC et pas de différence de masse grasse. Dans le groupe des IMC normaux, il apparaît des différences significatives aussi bien pour la masse grasse et la masse maigre ainsi que pour les IMM et IMG ; même après ajustement par l'âge, les différences restent significatives ( $P<0,0001$ ). Chez les surpoids, une différence significative pour la masse grasse, pour la masse maigre et pour l'IMG est notée. Vu la non signification de l'indice de masse maigre chez les sujets ayant un  $IMC \geq 25$  kg/m<sup>2</sup> on peut suggérer que la différence significative de la masse maigre dans ce groupe serait liée à la différence de taille. En résumé, nous pouvons dire que l'évolution de la composition corporelle en fonction de l'IMC diffère entre femmes rurales et urbaines. La différence de pourcentage de masse grasse qui est non significative chez les « maigres » est significative et égale à environ 2% chez les « normaux » et atteint en moyenne 3% chez les femmes ayant un  $IMC \geq 30$ .

**Tableau 2 3 : Composition corporelle par classe d'IMC chez les femmes rurales et urbaines**

IMC	Rurales (n=576)		Urbaines (n=270)		P	
	Moyenne	Min ; max	Moyenne (e.t)	Min - max		
<18,5	N=74		N=16			
	Age (ans)	31,3 (7,4)	20,0 - 45,0	23,6 (5,3)	20,0 - 37,0	<10 <sup>-4</sup>
	Poids (kg)	44,7 (4,3)	33,1 - 54,5	47,6 (3,4)	42,6 - 56,2	0,006
	Taille (cm)	159,4 (6,4)	145,9 - 173,6	165,7 (5,2)	157,2 - 174,8	<10 <sup>-4</sup>
	% MG	24,3 (4,8)	13,7 - 34,1	23,5 (4,4)	17,6 - 31,5	0,519
	MG (kg)	10,8 (2,2)	4,5 - 15,6	11,2 (2,6)	7,6 - 16,0	0,570
	MM (kg)	34,3 (3,1)	28,3 - 41,7	36,4 (2,0)	33,0 - 40,2	0,003
	IMM (kg/m <sup>2</sup> )	13,5 (0,6)	11,4 - 14,7	13,3 (0,6)	11,6 - 14,2	0,161
IMG (kg/m <sup>2</sup> )	4,2 (1,0)	2,0 - 6,3	4,1 (0,9)	2,9 - 5,5	0,420	
18,5 - 24,9	N=441		N=140			
	Age (ans)	31,4 (7,6)	20,0 - 45,0	28,2 (6,3)	20,0 - 44,0	<10 <sup>-4</sup>
	Poids (kg)	53,9 (5,8)	41,3 - 73,0	58,9 (6,7)	42,9 - 80,1	<10 <sup>-4</sup>
	Taille (cm)	159,3 (6,1)	142,5 - 178,3	164,6 (6,3)	150,8 - 180,1	<10 <sup>-4</sup>
	% MG	30,7 (4,5)	19,0 - 43,0	32,6 (4,8)	21,6 - 44,2	<10 <sup>-4</sup>
	MG (kg)	16,5 (3,5)	9,4 - 26,2	19,4 (2,9)	11,0 - 31,5	<10 <sup>-4</sup>
	MM (kg)	37,3 (3,0)	29,5 - 46,7	39,2 (2,9)	31,5 - 46,7	<10 <sup>-4</sup>
	IMM (kg/m <sup>2</sup> )	14,7 (0,7)	12,2 - 17,4	14,4 (0,7)	12,3 - 16,2	<10 <sup>-4</sup>
IMG (kg/m <sup>2</sup> )	6,6 (1,3)	3,5 - 10,4	7,1 (1,6)	4,1 - 10,8	<10 <sup>-4</sup>	
≥25	N=61		N=114			
	Age (ans)	36,5 (6,7)	20,0 - 45,0	35,0 (7,4)	20,0 - 45,0	1,52
	Poids (kg)	70,2 (9,5)	57,5 - 111,4	80,9 (13,2)	63,3 - 130,4	<10 <sup>-4</sup>
	Taille (cm)	158,2 (5,2)	143,5 - 171,0	164,5 (6,9)	148,1 - 179,2	<10 <sup>-4</sup>
	% MG	41,7 (3,9)	34,0 - 53,8	44,7 (4,3)	34,7 - 56,2	<10 <sup>-4</sup>
	MG (kg)	29,5 (6,6)	19,3 - 59,9	37,6 (10,4)	23,2 - 73,2	<10 <sup>-4</sup>
	MM (kg)	40,5 (3,3)	33,6 - 50,3	36,5 (9,2)	35,6 - 57,2	<10 <sup>-4</sup>
	IMM (kg/m <sup>2</sup> )	16,2 (1,0)	14,5 - 19,6	16,1 (1,2)	13,2 - 19,3	0,769
IMG (kg/m <sup>2</sup> )	11,8 (2,5)	8,9 - 21,6	13,5 (3,5)	8,8 - 24,7	<10 <sup>-4</sup>	

MG : masse grasse, MM : masse maigre, IMC : indice de masse corporelle, IMM : indice de masse maigre, IMG : indice de masse grasse, e.t. : écart type, P : signification

La composition corporelle par classe d'âges en fonction du milieu est indiquée dans le **Tableau 24**. Il y a une différence de masse grasse entre ces deux populations dans toutes les classes d'âges. En fait, les femmes urbaines ont un pourcentage de masse grasse plus élevé que les femmes rurales de même catégorie d'âges. La différence qui est d'environ 4,5% chez les 20-29 ans augmente avec l'âge pour atteindre plus de 8% chez les femmes âgées de plus de 39 ans. Nous avons également, une augmentation de l'IMC et de l'indice de masse grasse avec l'âge. Mais cette variation est plus importante en milieu urbain qu'en milieu rural. Par contre, l'indice de masse maigre ne varie presque pas avec l'âge.

**Tableau 24 : Composition corporelle par classe d'âges chez les femmes rurales et urbaines**

		Rurales	Urbaines	P
Classe d'âges		Moyenne (e.t.) N=233	Moyenne (e.t.) N=122	
20 - 29	Poids (kg)	53,3 (7,2)	60,2 (11,6)	<10 <sup>-4</sup>
	Taille (cm)	159,9 (6,1)	164,4 (6,1)	<10 <sup>-4</sup>
	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	20,8 (2,3)	22,3 (4,0)	<10 <sup>-4</sup>
	% MG	27,7 (4,9)	32,1 (6,7)	<10 <sup>-4</sup>
	MG (kg)	15,0 (4,4)	20,0 (8,0)	<10 <sup>-4</sup>
	MM (kg)	38,0 (3,1)	39,7 (3,8)	<10 <sup>-4</sup>
	IMM (kg/m <sup>2</sup> )	14,9 (0,8)	14,7 (1,1)	0,166
30 - 39	IMG (kg/m <sup>2</sup> )	5,9 (1,6)	7,4 (2,9)	<10 <sup>-4</sup>
		N=224	N=109	
	Poids (kg)	55,2 (9,3)	72,2 (15,5)	<10 <sup>-4</sup>
	Taille (cm)	159,3 (5,8)	165,0 (5,84)	<10 <sup>-4</sup>
	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	21,7 (3,5)	26,5 (5,4)	<10 <sup>-4</sup>
	MG (kg)	18,1(6,4)	20,0 (8,0)	<10 <sup>-4</sup>
	% MG	32, 0 (5,8)	40,2 7,1	<10 <sup>-4</sup>
≥ 40	MM (kg)	37,2 (3,2)	41,7 (4,4)	<10 <sup>-4</sup>
	IMM (kg/m <sup>2</sup> )	14,6 (1,0)	15,3 (1,4)	<10 <sup>-4</sup>
	IMG (kg/m <sup>2</sup> )	7,1 (2,5)	11,0 (4,0)	<10 <sup>-4</sup>
		N=119	N=39	
	Poids (kg)	55,3 (10,0)	77,6 (15,7)	<10 <sup>-4</sup>
	Taille (cm)	157,8 (6,0)	164,5 (7,4)	<10 <sup>-4</sup>
	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	22,2 (3,5)	28,4 (4,9)	<10 <sup>-4</sup>
% MG	35,9 (5,4)	44,1 (4,4)	<10 <sup>-4</sup>	
MG (kg)	20,3 (6,5)	34,5 (10,7)	<10 <sup>-4</sup>	
MM (kg)	35,7 (3,6)	42,1 (4,4)	<10 <sup>-4</sup>	
IMM (kg/m <sup>2</sup> )	14,3 (1,0)	15,6 (1,4)	<10 <sup>-4</sup>	
IMG (kg/m <sup>2</sup> )	8,1 (2,5)	12,7 (3,6)	<10 <sup>-4</sup>	

MG : masse grasse, MM : masse maigre, IMC : indice de masse corporelle, IMM : indice de masse maigre, IMG : indice de masse grasse, e.t. : écart type, P : signification

## VII. DISCUSSION

La proportion de femmes ayant un  $IMC \geq 25$  trouvée dans notre échantillon de femmes urbaines (42,2%) est largement supérieure à celle obtenue par l'ORSTOM (actuel IRD) en 1996 (Orstom, 1997) auprès de 511 femmes, dans la même ville où s'est déroulée l'enquête urbaine. Ils ont trouvé à l'époque que 30,4% des femmes avaient un  $IMC \geq 25$  dont 22,4% souffrant de surpoids et 8% d'obésité. Ainsi, il y a une augmentation de l'obésité à Pikine qui passe de 8% en 1996 à environ 15,6% en 2003. Ceci va dans le même sens que l'étude de **Delpeuch & Maire (1997)** qui rapportent qu'il existe une évolution rapide du taux de surpoids dans nos pays. En Tunisie, il est passé de 28% en 1974 à 34% en 1985, puis à 42% en 1997 (**Mokhtar et al., 2001**). L'enquête démographique et de santé effectuée entre 1992 et 1993 (EDS 2) (**Ndiaye et al., 1994**) avait montrée que seuls 13% des femmes avaient à l'époque un  $IMC \geq 25$ . Ceci renforce l'idée d'une tendance à un accroissement du surpoids au Sénégal. La différence de prévalence observée entre milieux rural et urbain confirme les propos rapportés par certains auteurs. D'après **Maire et al. (2002)**, il peut y avoir de fortes disparités à l'intérieur des pays en relation avec l'habitat urbain, le revenu et le niveau d'éducation des femmes. A New Delhi 28 à 50% des femmes de classe moyenne sont en surcharge pondérale mais seulement 4% dans les faubourgs.

La différence observée entre populations rurales et urbaines pourrait être liée à des différences dans l'alimentation, le style de vie, le niveau socio-économique et les facteurs environnementaux entre ces deux milieux. Beaucoup d'études ont montré qu'une urbanisation accentuée avec ses effets sur l'activité physique (qui diminue), sur les habitudes alimentaires (**Lara Pantin, 1986 ; Monteiro et al., 1995 ; Delpeuch & Maire, 1997 ; Charlton et al., 2001, Zoohori, 2001 ; Mokhtar et al., 2001 ; Popkin 2001**) contribuent à augmenter la prévalence du surpoids et de l'obésité dans les pays en développement. D'autres mettent aussi l'accent sur l'urbanisation mais également sur la mise à disposition de produits moins fastidieux à préparer et l'accès plus facile à des produits d'origine animale qui contribuent alors à une modification sensible des régimes (**Monteiro, 1995 ; Popkins 1998 ; Popkin 2001 ; Kim et al., 2000**). L'occidentalisation et l'industrialisation ont également conduit à l'adoption de nouveaux styles de vie et de nouvelles habitudes alimentaires dans les villes avec des régimes riches en graisse animale, en sucre, en produits transformés et en produits raffinés mais pauvres en fibres (**Zoohori, 2001 ; Charlton et al, 2001 ; Monteiro et al., 1995**). Le développement économique et la modernisation généralement observés en ville ainsi que la mondialisation du commerce favorisent l'accès à des aliments très énergétiques,

car faciles à transporter, à consommer et bon marché jouent également un rôle déterminant (WHO, 2002). Holdsworth et al. (2004) ont trouvé que les femmes sénégalaises urbaines consommaient quotidiennement l'équivalent de 900 Kcal en sucre et en huile qui correspond à peu près à un peu moins de la moitié des apports journaliers recommandés. L'alimentation hors domicile à l'image des « fast food » est encore à incriminer. Comme démontré chez les chinois (Yao et al., 2003) une alimentation non variée et la fréquence de la consommation dans les restaurants sont plus associées à une surcharge de masse grasse que la consommation de graisse.

L'activité physique plus importante en milieu rural par rapport au milieu urbain comme montré au Cameroun (Mennen et al., 2000) pourrait également expliquer nos résultats. Selon Gordon-Larsen (2001), l'apparition de l'obésité chez les afro-américains vivant en milieu urbain est liée au manque d'activité physique et à l'inactivité. Alors que Holdsworth et al. (2004), qui ont travaillé sur le même échantillon que nous, ont rapporté que seulement 4,3% des femmes en milieu urbain pratiquent une activité physique régulière. Alors qu'en milieu rural, particulièrement à Sédhiou, ce sont les femmes qui s'occupent des travaux champêtres, domestiques et du commerce. A cette surcharge de travail observée en milieu rural s'associe la quasi absence de moyens de transport. Elles sont parfois obligées de faire des kilomètres de marche pour écouler leurs produits. Alors qu'on note en milieu urbain avec l'accroissement des revenus, une mécanisation du travail et des travaux domestiques, une augmentation des loisirs passifs et des services (Popkin, 1999). Ainsi, les femmes urbaines deviennent de plus en plus sédentaires.

L'augmentation de la proportion de femmes ayant un  $IMC \geq 25$  en milieu urbain pourrait être également liée à des phénomènes culturels. Dans nos pays le surpoids est perçu comme une signe de beauté, de richesse et d'épanouissement. C'est pourquoi Holdsworth et al. (2004) dans leur étude sur la perception du corps idéal chez ce même échantillon de femmes urbaines ont trouvé que le surpoids est perçu de façon positive par les femmes urbaines sénégalaises. Ils rapportent que les femmes ayant un surpoids sont vues comme des personnes chaleureuses, heureuses, populaires, amicales, fières, sans soucis et avec de la personnalité. L'étude de Furnahm & Alibhai (1983) va dans le même sens et montre que les femmes kenyanes perçoivent les silhouettes fines de manière négative et les silhouettes plus larges de manière plus positive.

La proportion de 10,6% de femmes ayant un  $IMC \geq 25$  en milieu rural pourrait être liée au fait que l'alimentation en milieu rural tend vers le style urbain au détriment des aliments traditionnels comme l'ont montré Diahm et al. (1987) chez certaines populations de

Khombole. En effet, il y a en milieu rural une augmentation de la transaction de produits alimentaires venant des villes.

La différence de masse grasse entre ces deux groupes de population montre également la difficulté de l'IMC à classer de la même manière les différents groupes de population. La gamme de pourcentage de masse grasse obtenue dans la classe des sujets qui ont un IMC normal, aussi bien à Sédhiou qu'à Pikine est différente de celle trouvée par **Kyle et al. (2003)** chez les femmes européennes d'IMC « normaux ». Ces dernières présentent des gammes de pourcentages de masse grasse, d'indices de masse grasse et d'indice de masse maigre comprises entre 24,6 et 33,2%, entre 3,9 et 8,2 kg/m<sup>2</sup> et entre 14,6 et 16,8 kg/m<sup>2</sup> respectivement. Beaucoup d'études ont montré qu'il existe une différence dans la relation entre la masse grasse et l'IMC entre les groupes de populations (**Norgan, 1994**). **Gurruci et al. (1998)** ont montré que pour un même IMC, les indonésiens ont 3% de masse grasse de plus que les occidentaux. **Wang et al. (1994)** ont trouvé une valeur moyenne d'IMC plus basse et un pourcentage de masse grasse plus élevé chez des asiatiques par rapport aux occidentaux. Ces propos ne sont pas confirmés par **Deurenberg et al. (1997)** dans leur étude chez les chinois de Beijing. **Gallager et al. (1996)** montrent qu'il n'existe pas de différence dans la relation entre l'IMC et le pourcentage de masse grasse entre les américains d'origine occidentale et les américains d'origine africaine. Alors que **Luke et al. (1997)** montrent une différence de cette relation au sein même de la population noire (nigériens, jamaïcains et noirs américains). Récemment l'OMS a reconnu que la classification de l'IMC pour l'obésité devrait être revue à la baisse pour les Asiatiques (**WHO, 1997**). Différentes données issues de ces asiatiques montrent qu'à une valeur inférieure à 30 kg/m<sup>2</sup>, les facteurs de risque de l'obésité commencent à se manifester (**Steering Committee, 2000**). Selon **Deurenberg-Yap & Deurenberg (2003)**, pour éviter de graves conséquences en terme de santé publique, il est nécessaire de revoir à la baisse le seuil de l'obésité chez les asiatiques. D'après **Gurruci et al. (1998)**, le seuil d'IMC pour l'obésité est de 27 kg/m<sup>2</sup> au lieu de 30. Des propos similaires sont rapportés par **Piers et al. (2002)** chez les aborigènes. **Garn et al. (1986)** et **Norgan (1994a, 1994b)** expliquent la différence dans la relation entre le pourcentage de masse grasse et l'IMC par une différence dans la taille relative des membres. **Luke et al. (1997)** la lient à une différence dans la musculature entre population. Elle est également expliquée par une différence dans la corpulence (**Gurruci, 1998**). A notre niveau, il y a donc nécessité à approfondir les analyses et même de faire des études supplémentaires pour recueillir le maximum de données. Ce qui nous permettrait de déterminer la relation entre l'IMC et le pourcentage de masse grasse et de discuter les seuils d'IMC existant chez les africains. Mais



également d'explorer les causes de la différence obtenue au sein même de la population africaine.

## VIII. CONCLUSION

Cette partie de l'étude qui consistait à appliquer la méthode d'impédancemétrie partielle main-à-main, avec les nouvelles équations spécifiques établies a permis de montrer :

- La faisabilité de la méthode d'impédancemétrie dans les conditions de terrain ;
- Qu'il existe une différence de composition corporelle en terme de masse grasse et de masse maigre entre femmes rurales et femmes urbaines ;

Les résultats permettent également de suggérer l'existence d'une différence dans la relation entre la masse grasse et l'IMC entre les groupes de populations rurales et urbaines. D'où la nécessité de faire des analyses supplémentaires qui aujourd'hui sont possibles à partir de données existantes pour déterminer précisément la relation entre l'IMC et le pourcentage de masse grasse.

**CONCLUSION GENERALE**

Cette étude chez les femmes sénégalaises a réuni pour la première fois 4 méthodes de mesure de la composition corporelle dans le contexte africain : deux méthodes légères et deux de référence ont été simultanément utilisées.

Les équations qui prédisent les compartiments corporels (la densité, la masse grasse, la masse maigre et l'eau corporelle totale) à partir de l'impédancemétrie ou de l'épaisseur des plis ont été testées chez 221 femmes Sénégalaises. Pour cela nous avons utilisé la densitométrie et la dilution isotopique comme méthodes de référence.

Les premiers résultats montrent que

- les équations de Durnin & Womersley utilisant l'épaisseur des plis cutanés pour prédire la densité, de même que l'équation de Siri qui prédit la masse grasse et la masse maigre à partir de cette densité, ne sont pas applicables chez femmes africaines ;
- les équations intégrées (non diffusées) aux impédancemètres partiels main-à-main et pied-à-pied, utilisées pour la prédiction de la masse grasse et de la masse maigre, ne sont pas applicables chez les femmes africaines ;
- la validité des équations de prédiction testées pour l'estimation de l'eau corporelle totale par impédancemétrie corps total ne dépend pas de l'origine raciale de l'échantillon utilisé pour les établir. Ainsi, par rapport à cette technique, il ne semble pas nécessaire d'établir une équation spécifique pour la prédiction de l'eau corporelle chez les africaines.

Ces premiers résultats nous ont permis, d'établir et de valider des équations spécifiques pour la femme africaine pour l'estimation de la masse maigre et de la masse grasse par impédancemétrie partielle main-à-main et pieds-à-pied. Ce qui représente une avancée réelle dans l'évaluation de l'état nutritionnel en Afrique

Ces équations ont été appliquées dans une étude épidémiologique chez les femmes sénégalaises à Sédhiou (milieu rural) et à Pikine (milieu urbain) et montrent une différence significative de composition corporelle entre femmes rurales et urbaines. Cette différence porte aussi bien sur la masse grasse que sur la masse maigre. Les résultats de cette étude épidémiologique suggèrent également une différence dans la relation entre l'indice de masse corporelle (IMC) et le pourcentage de masse grasse entre ces groupes de populations africaines. Ils permettent également de se poser des questions sur la pertinence de l'utilisation en Afrique de seuils universels et unique d'IMC tels que recommandés par l'OMS pour définir l'obésité et la maigreur. Il est donc nécessaire, et maintenant possible, de vérifier en Afrique grâce aux données existantes et comme cela a déjà été montré en Asie, la nécessité d'adapter les seuils d'IMC déterminés initialement chez des occidentaux. Ceci permettrait de définir spécifiquement les niveaux d'indice de masse corporelle associés à des risques de morbidité et

de mortalité augmentés. Ce qui serait d'une importance capitale en santé publique car le véritable facteur de risque des maladies chroniques est le pourcentage de masse grasse et non l'IMC.

## REFERENCES

- 4000 B Bioimpedance spectrum analyzer system operating manual. Xitron technologies, Inc. San Diego, CA, USA.
- Baker PT, Angel JL. Old age changes in bone density: sex and race factor in the United States. *Hum Biol* 1965;37:139-43.
- Baumgartner RN. Electrical impedance and total body electrical conductivity. In: *Human Body Composition*, ed. AF Roche, SB Heymsfield, TG Lohman. Champaign: Human Kinetics. 1996:79-107.
- Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. *Am J Clin Nutr* 1989;50:221-26.
- Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Bioelectrical impedance for body composition. *Exerc Sport Sci Rev* 1990;18:193-224.
- Barondess DA, Nelson DA, Schlaen SE. Whole body bone, fat, and lean mass in black and white men. *J Bone Miner Res* 1997;12:967-71.
- Bell NA, McClure PD, Hill RJ, Davies PSW. Assessment of foot to foot bioelectrical impedance analysis for the prediction of total body water. *Eur J Clin Nutr* 1998;52:856-59.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet* 1986;307-10.
- Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: Why plotting difference against standard method is misleading. *The Lancet* 1995;346:1085-7.
- Bod-Pod operator's manual-version 1.69. Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA.
- Boulier A, Chumlea WC, De Lorenzo A, Deurenberg P, Guo SS, Leger L, Schutz Y. Body composition estimation by leg-to-leg bioelectrical impedance: a six-site international cross validation study. *Acta Diabetologica* 2002;39:142-3.
- Brandon LJ. Comparison of existing skinfold equation for estimating body fat in African American and white women. *Am J Clin Nutr* 1998;67:1155-61.
- Cameron N, Griffiths PL, Wright MM, Blencowe C, Davis NC, Pettifor JM, Norris SA. Regression equations to estimate percentage body fat in African prepubertal children aged 9 Y. *Am J Clin Nutr* 2004;80:70-75.
- Casa YG, Schiller BC, Desouza CA, Seals DR. Total and regional body composition across age in healthy Hispanic and white women of similar socioeconomic status. *Am J Clin Nutr* 2001;73:13-8.
- Charlton E K, Donald R. Nutrition among older adults in Africa: the situation at the beginning of the millennium. *J Nutr*, 2001;131:2424S-8S.

- Cissé AS, Bluck L, Diahm B, Dossou N, Guiro AT, Wade S. Use of Fourier transformed infrared spectrophotometer (FTIR) for determination of breastmilk output by the deuterium dilution method among Senegalese women. *Food Nut Bull* 2002a;23:138-41.
- Cissé AS, Dossou N, Ndiaye M, Guèye AL, Diop EI, Diahm B, Guiro AT, Cissé D, Sarr CSB, Wade S. Stable isotope aided evaluation of community nutrition program: effect of food supplementation schemes on maternal and infant nutritional status. *Food Nut Bull* 2002b;23:169-73.
- Cohn SH. Neutron activation analysis in assessment of body composition. In: *New Techniques in Nutritional research*, RG Whitehead, A Prentice eds, London: Academic Press 1991:261-79.
- Cohn SH, Abesamis C, Zanzi I, Alioa JF, Yasumura S, Ellis KJ. Body elemental composition: Comparison between black and white adults. *Am J Physiol* 1977;232:E419-22.
- Cohn SH, Vasvani AN, Yasumura S, Yuen K, Ellis KJ. Improved models for determination of body fat by in vivo neutron activation. *Am J Clin Nutr* 1984;40:255-59.
- Conway JM, Norris KH, Bodwell CE. A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance. *Am J Clin Nutr* 1984;40:1123-30.
- Côté KD, Adams WC. Effect of bone density on body composition estimates in young adult black and white women. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:290-96.
- Cronk CE, Roche A. Race and sex-specific reference data for triceps and subscapular skinfolds and weight/stature. *Am J Clin Nutr* 1982;35:347-54.
- Dean AG, Dean JA, Coulombier D, Brendel KA, Smith DC, Burton AH, Dicker RC, Sullivan K, Fagan RF, Arner TG. Epi-Info version 6, A word processing, database and statistics program for public Health on IBM-compatible micro-computers. Atlanta, Georgia: Centers for Disease Control and Prevention 1994.
- Delpeuch F, Maire B. Obésité et développement des pays du sud. *Med Trop* 1997;57:380-8.
- Demerath EW, Guo SS, Chumlea WC, Towne B, Roche AF, Siervogel RM. Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children. *Int J Obes* 2002;26:389-97.
- Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27, (12):1692-97.
- Deurenberg P. The assessment of body composition: uses and misuses. Annual Report. Lausanne: Nestlé Foundation, 1992:35-72.
- Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, Van Marken Lichtenbelt WD, Testolin G, Viganò R, Vollaard N. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur J Clin Nutr* 2001;55:973-9.

- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M. Differences in body-composition assumptions across ethnic groups: practical consequences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 2001;4:377-83.
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M. Validation of skinfold thickness and hand-held impedance measurements for estimation of body percentage among Singaporean Chinese, Malay and Indian subjects. *Asia Pacific J Clin Nutr* 2002;11:1-7.
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M. Validity of predicted percentage body fat from skinfolds in Singapore Chinese, Malays and Indians. *Int J Bod Comp Res* 2003;1 (1):23-9.
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Schouten FJM. Validity of total and segmental impedance measurements for prediction of body composition across ethnic populations groups. *Eur J Clin Nutr* 2002;56:214-20.
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Wang J, Lin Fu Po, Schmidt G. The impact of body built on the relationship between body fat percent. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999;23:1011-17.
- Deurenberg P, Ge K, Hautvast JGAJ, Wang J. Body mass index as predictor for body fat: comparison between Chinese and Dutch adult subjects. *Asia Pacific J Clin Nutr* 1997;6:102-5.
- Deurenberg P, Schouten F. Comparison of estimated percentage body fat from foot-to-hand, foot-to-foot and hand-to-hand bioimpedance analysis with densitometry in young females. *Int J Bod Comp Res* 2003;1 (1):31-5.
- Deurenberg P, Tagliabue A, Schouten FJM. Multi-frequency impedance measurements for the prediction of extra-cellular water and total body water. *Br J Nutr* 1995a;73:349-58.
- Deurenberg P, Tagliabue A, Wang J, Wolde-Gebriel Z. Multi-frequency bioelectrical impedance for the prediction of body water compartments: validation in different ethnic groups. *Asia Pacific J Clin Nutr* 1996;5 (4):217-21.
- Deurenberg P, Weststrate, JA, Seidell, JC. Body mass index as a measure of body fatness: age-and sex specific prediction formulas. *Br J Nut* 1991;65:105-14.
- Deurenberg P, Wolde-Gebriel Z, Schouten FJM. Validity of predicted total body water and extracellular water using multifrequency bioelectrical impedance in an Ethiopian population. *Ann Nutr Metab* 1995b;39:234-41.
- Deurenberg P, Yap M, Van Staveren WA. Body mass index and percent body fat: a meta analysis among different ethnic groups. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998;22:1164-71.
- Deurenberg-Yap M, Deurenberg P. Is a re-evaluation of WHO body mass index cut off values needed? The case of Asians in Singapor. *Nutr Rev* 2003;6:1-5.
- Deurenberg-Yap M, Schmidt G, Van Staveren WA, Hautvast JGAJ, Deurenberg P. Body fat measurements among Singaporean Chinese, Malays and Indians: a comparative study using a four-compartment models. *Br J Nutr* 2001;85:491-8.



- Deurenberg-Yap M, Ng SA, Foo LL, Deurenberg P. Development and validation of prediction equation for percentage body fat based on skinfolds for Singaporean adults and adolescents. *Int J Bod Comp Res* 2003;1,(3):103-9.
- De Waart FG, Li R, Deurenberg P. Comparison of body composition assessments by bioelectrical impedance and by anthropometry in premenopausal Chinese women. *Brit J Nutr* 1993;69:657-64.
- Diaham B, Wade S, Diallo A, Bleiberg-Daniel F, Suquet JP, Montagnon B, Lemonier D. Disponibilité des denrées alimentaires et mode de consommation en milieu rural sénégalais: cas de Khombole 3<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques Internationales du GERM, Sénégal 1987:537-42.
- Dioum A, Gartner A, Cissé AS, Delpuech F, Maire B, Wade S, Schutz Y. Validity of impedance-based published equations for the prediction of total body water as measured by deuterium dilution in African women in press. *Am J Clin Nutr* 2005;81:595-604.
- Dioum A, Gartner A, Delpuech F, Maire B, Schutz Y. Body composition predicted from Skinfolds in African women: A cross-validation study using air displacement plethysmography and black specific equation. *Br J Clin Nutr* in press.
- Durnin JVGA, Womersley J. 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. *Br J Nutr* 1974;32:77-97.
- Elia M, Parkinson SA, Diaz E. Evaluation of near infrared interactance as method for predicting body composition. *Eur J Clin Nutr* 1990;40:1123-30.
- Elia M, Ward LC. New techniques in nutritional assessment: body composition methods. *Proc Nutr Soc* 1999;58:33-8.
- Eveleth PB, Tanner JM. World-wide variation in human growth. Cambridge: University Press 1990.
- Fields DA, Goran MI, Mc Crory M. Body-composition assesment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review *Am J Clin Nutr* 2002;75:453-67.
- Fields DA, Hunter GR, Goran MI. Validation of the Bod Pod with hydrostatic weighing: influence of body clothing. *Int J Ob* 2000;24:200-5.
- Frisancho AR. Anthropometric standards for the assessment of growth and nutritional status. Ann. Arbor: The University of Michigan Press 1990.
- Forbes GB. Human body composition. New York, Springer Verlag: 1987.
- Forbes GB, Hursh JB. Age and sex trends in lean body mass calculated from K40 measurements: with a note on the theoretical basis for the procedure. *Ann NY Acad Sci* 1963;110:255-63.

- Fuller NJ, Elia M. 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* 1989;43:779-91.
- Fusch C, Spirig N, Moeller H. Fourier transform infrared spectroscopy measure  $1\text{H}/^2\text{H}$  ratios of native water with a precision comparable to that of isotope ratio mass spectrometry. *Eur J Clin Chem Clin Biochem* 1993;31:639-44.
- Furnham A, Alibhai N. Cross-cultural differences in the perception of female body shapes. *Psychol med* 1983;13:829-37.
- Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb SA, Murgatroyd PR, Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index. *Am J Clin Nutr* 2000;72:694-701.
- Gallagher D, Visser M, Sepulveda D, Pierson RN, Harris T, Heymsfield SB. How useful is BMI for comparison of body fatness across age, sex and ethnic groups. *Am J Epi* 1996;143:228-39.
- Garn SM, Leonard WR, Hawthorne VM. Three limitations of the body mass index. *Am J Clin Nutr* 1986;44:996-7.
- Gartner A, Dioum A, Delpuch F, Maire B, Schutz Y. Use of hand-to-hand impedanceometry to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* 2004a;58:523-31.
- Gartner A, Dioum A, Delpuch F, Maire B, Schutz Y. Does the combination of hand-to-hand and foot-to-foot impedance measurements improve the prediction of body composition in African women? *Int J Body Comp Res* 2004b;2 (1):45-8.
- Gartner A, Dioum A, Maire B, Delpuch F, Schutz Y. Comparison of foot-to-foot impedance with air-displacement plethysmography to evaluate body composition in African women. *Int J Bod Comp Res* 2003;1 (4): 137-45.
- Going SB. Densitometry. In *Human Body Composition*, [AF Roche, SB Heymsfield and TG Lohman, editors]. Champaign, IL: Human Kinetics 1996:3-23.
- Guèye AL. Prévalence des carences en micronutriments chez les femmes du département de Shédiou.(non publié)
- Guo SS, Chumlea WC, Cockram DB. Use of statistical methods to estimate body composition. *Am J Clin Nutr* 1996;64:428s-35s.
- Guo SS, Chumlea C. Statistical methods for the development and testing of predictive equation. *Hum Kinetics* 1996:191-202.
- Gordon-Larsen P. Obesity-related knowledge, attitudes, and behaviours in obese urban Philadelphia female adolescents. *Obesity Res* 2001;9:112-8.

- Gurrnici S, Hartriyanti Y, Hautvast JGAJ, Deurenberg P. Relationship between body fat and body mass index: differences between Indonesians and Dutch Caucasians. *Eur J Clin Nutr* 1998;779-89.
- Gurrnici S, Hartriyanti Y, Hautvast JGAJ, Deurenberg P. Relationship between body fat and body mass index between two different Indonesian ethnic groups: The effect of body build. *Eur J Clin Nutr* 1999a;53:468-72.
- Gurrnici S, Hartriyanti, Hautvast JGAJ, Deurenberg P. The prediction of extra cellular water and total body water by multifrequency bio-electrical impedance in south East Asian population. *Asia pacific J Clin Nutr* 1999b;8:155-9.
- Hampton MC, Huenemann RL, Shapiro LR, Mitchell BW, Behnke AR. A longitudinal study of gross body composition and body conformation and their association with food and activity in a teen-age population. Anthropometric evaluation of body built. *Am J Clin Nutr* 1966;19:422-35.
- Harrison GG, Buskirk ER, Carter JEL. Skinfold Thicknesses and Measurement Technique. In *Anthropometric Standardization Reference Manual*, [TG Lohman, AF Roche and R Martorell, editors]. Champaign, IL: Human Kinetics 1988:55-80
- Heyward V. ASEP methods recommendation: Body composition assessment. *J Exerc* 2001;4:1-12.
- Himes JH. Racial variation in physique and body composition. *Can J Sports Sci* 1988;13:117-26.
- Holdsworth M, Gartner A, Landais E, Maire B, Delpeuch F. Perceptions of healthy and desirable body size in urban Senegalese women. *Int J Bod Comp Res* 2004;28:1561-8.
- Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB, Howell WH. Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996;64(suppl):436S-48S.
- Jackson AS, Pollock ML. Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr* 1978;40:497-504.
- Jebb SA, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR, Prentice AM. Evaluation of a novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr* 2000;83:115-22.
- Jennings G, Bluck L, Wright A, Elia M. The use of infrared spectrophotometry for measuring body water spaces. *Clin Chem* 1999;45,7:1077-81.
- Kashiwazaki H, Dejima Y, Orias RJ, Coward W A. Validity of published prediction equations for body composition in high altitude Bolivian Aymara as evaluated by doubly labeled water. *Am J Hum Biol* 1998;10:371-84.
- Keys A, Brozeck J. Body fat in adult men. *Physiol Rev* 1953;33:245-325.

- Kim S, Moon S, Popkin BM. The nutrition transition in South Korea. *Am J Clin Nutr* 2000;71:44-53.
- Khaled MA, Lukaski HC, Watkins CL. Determination of total body water by deuterium. *Am J Clin Nutr* 1987;45:1-6.
- Kral JG, Mariegos M, Mc Keon EW. Body composition studies in severe obesity. In *Recent developments in body composition analysis: methods and applications* [JG Kral and TB Van Italie, editors]. London, UK: Smith Gordon 1993;137-46
- Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1986;44:417-24.
- Kushner RF, Schoeller DA, Fjeld CR, Danford L. Is the impedance index ( $ht^2/R$ ) significant in predicting total body water? *Am J Clin Nutr* 1992;56:835-9.
- Kyle UG, Shutz Y, Dupertuis YM, Pichard C. Body composition interpretation: Contributions of the fat-free mass index and the body fat mass index. *Nutrition* 2003;19:597-604
- Lara-Pantin E. Obesity in developing countries. In: *Recent advances in Obesity Research: V*, ed. John Libbey London Paris 1986:5-8.
- Leman CR, Adeyemo AA, Schoeller DA, Cooper RS, Luke A. Body composition of children in south-western Nigeria: validation of bio-electrical impedance analysis. *Ann Trop Pediat* 2003;23:61-7.
- Lohman TG, Roche AF, Matorell R, eds. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics 1988.
- Lusseveld EM, Peters ETJ, Deurenberg P. Multifrequency bioelectrical impedance as a measure of differences in body water distribution. *Ann Nutr Metab* 1993;37:44-51.
- Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987;46:537-56.
- Lukaski HC, Johnson PE. A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D<sub>2</sub>O and infrared absorption of biological fluids. *Am J Clin Nutr* 1985;41:363-70.
- Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken Gi. Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985;41:810-7.
- Luke A, Durazo-Arvizu R, Rotimi C, Prewitt ET, Forrester T, Wilks R, Ogunbiyi OJ, Schoeller DA, McGee D, Cooper RS. Relation between body mass index and body fat in black population samples from Nigeria, Jamaica, and the United States. *Am J Epidemiol* 1997;145:620-8.
- Maire B, Lioret S, Gartner, Delpeuch F. Transition nutritionnelle et maladies chroniques non transmissibles liées à l'alimentation dans les pays en développement. *Cahiers/santé* 2002 ;12 (1):45-55.

- Malina RM. Biological substrata. In: Miller KS, Dreger RM, eds. Comparative studies of blacks and whites in the United States. New York: Seminar Press 1973:53-123.
- Malina RM. Regional body composition: age, sex, and ethnic variation. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. Human body composition. Champaign, IL: Human Kinetics 1996:53-123.
- Mc Crory MA, Gomez TD, Bernauer EM, Mole PA. Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(12):1686-91.
- Mc Crory MA, Mole PA, Gomez TD, Dewey KG, Bernauer EM. Body composition by air-displacement plethysmograph by using predicted and measured thoracic gas volume. *J Appl Physiol* 1998;84(4):1475-9.
- Mennen LI, Mbanya, Cade J, Balkau B, Sharma S, Chungong S, Cruickshank. The habitual diet in rural and urban Cameroon. *Eur J Clin Nutr* 2000;54:150-4.
- Merz A L, Trotter M, Peterson R R. estimation of skeleton weight in the living. *Am J Phys Anthropol* 1956;14:589-609.
- Mokhtar N, Elati J, Chabir R . Diet culture and obesity in northern Africa. *J Nutr* 2001;131:887S-92S.
- Monteiro CA, Mondini L, Medeiros de Souza AL, Popkin BM. The nutrition transition in Brazil. *Eur J Clin Nutr* 1995;49:105-13.
- Ndiaye S, Diouf PD, Ayad M. Enquête démographique et de santé au Sénégal (EDS 2) 1992/3. Demographic and health survey : Dakar 1994.
- Norgan NG. Population differences in body composition in relation to body mass index. *Eur J Clin Nutr* 1994a;48:S10-S27.
- Norgan NG Interpretation of low body mass indices: Australian Aborigines. *Am. J. Phys. Anthropol.* 1994b;94:229-37.
- Norgan NG. Relative sitting height and the interpretation of the body mass index. *Ann Hum Biol* 1994c;2:79-82.
- Norgan NG. The assessment of the body composition of populations. In *Body composition techniques in health and disease*. Cambridge: Cambridge University Press [Davies and TJ Cole, editors] 1995:195-221.
- Nunez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang ZM, Heymsfield SB. Bioimpedance analysis: evaluation of a leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:524-31.

- Nunez C, Kovera AJ, Pietrobelli A, Heshka S, Horlick M, Kehayias JJ, Wang Z, Heymsfield SB. Body composition in children and adults by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* 1999;53:382-7.
- Ortiz O, Russell M, Daley TL, Baumgartner RN, Waki M, Lichtman S, Wang J, Pierson RN, Heymsfield SB. Differences in skeletal muscle and bone mineral mass between black and white females and their relevance to estimate of body composition. *Am J Clin Nutr* 1992;55:8-13.
- ORSTOM. Résultats de l'enquête nutritionnelle menées à Pikine en mai-juin 1996. ORSTOM/SANAS : Sénégal ; 1997.
- Peppler WW, Mazess RB. Total body bone mineral and lean body mass by dual photon absorptiometry. I Theory and measurement procedure. *Calcif Tissue Int* 1981;33:353-9.
- Piers LS, Rowley, Soares MJ, O'Dea K. Relation of adiposity and body fat distribution to body mass index in Australians of Aboriginal and European ancestry. *Eur J Clin Nutr* 2003;57:956-63.
- Popkin BM. The nutrition transition and obesity in developing world. *J Nutr* 2001;131:S871-3.
- Popkin BM. The nutrition transition and its health implications in lower income countries. *Public Health Nutr* 1998;1:5-21.
- Popkin BM. Urbanization, lifestyle changes and the nutrition transition. *World Dev* 1999;27:1905-16.
- Projection de la population du Sénégal, Bureau national du recensement. Direction de la Statistique et de la Prévision DPS. 1998.
- Quételet LA. *Physique sociale*. Bruxelles: C Muquardt 1869:2-92.
- Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (editors) *Human Body Composition*. Champaign, IL: Human Kinetics 1996.
- Rumeau-Rouquette C, Breart G, Padiou R. *Méthode en épidémiologie*. Collection Statistique en biologie et en médecine. Flammarion Medecine Sciences 1985.
- Seal RU. The weight of the dry fat free skeleton weight in the living. *Am J Phys Anthropol* 1959;17:37-48.
- Segal KR, Dunaif A, Gutin B. Body weight, is related to cardiovascular disease risk factors and sex hormone levels in men. *J Clin Invest* 1987;84:1050
- Segal KR, Burastero S, Chun A, Coronel P, Pierson RN, Wang J. Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical-impedance measurement. *Am J Clin Nutr* 1991;54:26-9.

- Shetty PS, James WPT. Body mass index a measure of chronic energy deficiency in adults. *FAO Food and Nutrition Paper*.1994:56.
- Shutte JE, Townsend EJ, Hugg J, Shoup RF, Malina RM, Blomqvist CG. Density of lean body in children during maturation. *Hum Biol* 1984;56:651-66.
- Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In *Techniques for measuring body composition*, J Brozek, A Henschel, eds. Washington, DC : National Academy of Sciences 1961:223-44.
- Sjostrom L. A computer tomography based multi-compartment body composition technique and anthropometric prediction of lean body mass, total and subcutaneous adipose tissue. *Int J Obesity* 1991;15:19-31.
- Sobol W, Rossner S, Hinson B, Hilbrandt E, Karsraedt N, Santago P, Wolfman N, Hagaman A, Crouse JR. Evaluation of a new magnetic resonance imaging method for quantitating adipose tissue areas. *Int J Obesity* 1991;15:589-99.
- Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, Lukaski HC, Schoeller D, Friedl K, Kuczmarski RJ, Flegal KM, Johnson CL, Hubbard. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr* 2003;77:331-40.
- Schoeller DA. Hydrometry. In: Riche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human body composition: methods and findings*. Champaign, IL: Human Kinetic, 1996:25-43.
- Schoeller DA, Luke A. Bioelectrical impedance analysis prediction equations differ between African Americans and Caucasians, but it is not clear why. *Ann N Y Acad Sci* 2000;904:225-6.
- Schoeller DA, Van Santen E, Peterson DW, Dietz W, Japan J, Klein PD. Total body measurement in humans with <sup>18</sup>O and <sup>2</sup>H labeled water. *Am J Clin Nutr* 1980;33:2686-93.
- Snijder MB, Kuyf BEM, Deurenberg P. Effect of body build on the validity of predicted body fat from body mass index and bioelectrical impedance. *Ann Nutr Metab* 1999;43:277-85.
- Stewart SP, Bramley PN, Heighton R, Green JH, Horsman A, Losowsky MS, Smith MA. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments: comparison with dual-energy X-ray absorptiometry. *Br J Nutr* 1993;69:645-55.
- Steering Committee. *The Asia-Pacific perspective redefining obesity and its treatment*. Melbourne: International Diabetes Institute. 2000.
- Swinburn BA, Craig PL, Daniel R, Dent DPD, Strauss BJG. Body composition differences between Polynesians and Caucasians assessed by bioelectrical impedance. *Int J Obes* 1996;889-94.
- Thomasset AL Université Claude Bernard-Lyon-France. *Mesure de l'eau corporelle par impédancemétrie; principe-description-applications de la méthode de Thomasset* 1989.

- Trotter M, Hixon BB. Sequential Changes in weight, density, and percentage ash weight of human skeletons from early fetal period through old age. *Anat Rec* 1974;179:1-18.
- Van Italie TB, Yang M-U, Heymsfield SB, Funk RC, Boileau RA. Height-normalized indices of the body's fat-free mass : potentially useful indicators of nutritional status. *Am J Clin Nutr* 1990;52:953.
- Van Loan M, Mayclin P. Bioelectrical impedance analysis: is it a reliable estimator of lean body mass and total body water? *Hum Biol* 1987;59(2):299-309.
- Visser M, Deurenberg P, Staveren WV. Multi-frequency bioelectrical impedance for assessing total body water and extracellular water in elderly subjects. *Eur J Clin Nutr* 1995;49:256-66.
- Wagner DR, Heyward VH. Measures of body composition in blacks and whites: a comparative review. *Am J Clin Nutr* 2000;71:1392-402.
- Wagner DR, Heyward VH. Validity of two-component models for estimating body fat of black men. *J Appl Physiol* 2001;90:649-56.
- Wang J, Burastero, Russell-Aulet M, Thornton JC, Lichtman S, Heymsfield SB, Pierson RN JR. Body fat by dual photon absorptiometry: comparisons with traditional methods in asians, blacks and caucasians. *Am J Hum Biol* 1992;4:501-10.
- Wang J, Deurenberg P. The validity of predicted body composition in Chinese adults from anthropometry and bioelectrical impedance in comparison with densitometry. *Brit J Nut* 1996;76:175-82.
- Wang J, Thornton J C, Burastero, Heymsfield S B and Pierson R N JR. Bioimpedance analysis for estimation of total body potassium, total body water, and fat free mass in white, black and asian adult. *Am J Hum Biol* 1995;7:33-40.
- Wang J, Thornton JC, Russel M, Burastero S, Heymsfield SB, Pierson RN. Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: Comparisons of anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr* 1994;60:23-8.
- Ward LC, Heitmann BL, Craig P, Stroud D, Azinge EC, Jebb S, Cornish BH, Swinburn B, O'Dea K, Rowley K, McDermott R, Thomas BJ Leonard D. Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. Implications for the population specificity of prediction equations. *Ann N Y Acad Sci* 2000;904:199-202.
- Werkman A, Deurenberg-Yap M, Schmidt G, Deurenberg P. A comparison between the composition and density of the fat-free mass of young adult Singaporean Chinese and Dutch Caucasian. *Ann Nutr Metab* 2000;44:235-42.
- WHO: Physical status: The use and interpretation of anthropometry. Technical Report Series 854, Geneva: World Health Organisation 1995.
- WHO. Joint WHO/FAO Expert consultation on diet, nutrition and prevention of chronic diseases. Geneva, World Health Organisation 2002.



- WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report on WHO consultation obesity. Geneva: World Health Organisation: 1997.
- Womersley J, Durnin JVGA. A comparison of the skinfold method with extent of overweight and various weight-height relationships in the assessment of obesity. *Brit J Nutr* 1977;38:271-84.
- Wong WW, Stuff NF, Butte NF, Smith EOB, Ellis KJ. Estimating body fat in African American and white adolescent girls: a comparison of skinfold-thickness equation with a 4-compartment criterion model. *Am J Clin Nutr* 2000;72:348-54.
- Yao M, McCrory M, Ma Guansheng, Tucker KL, Gao S, Fuss P, Roberts S. Relative influence of diet and physical activity on body composition in urban Chinese adults. *Am J Clin Nutr* 2003;77:1409-16.
- Yao M, Roberts SB, Ma G, Pan H, McCrory MA. Fields methods for body composition assessment are valid in healthy Chinese adults. *J Nutr* 2002;132:310-17.
- Yee AJ, Fuerst T, Salamone L, Visser M, Dockrell M, Loan M, Kern M. Calibration and validation of an air-displacement plethysmography method for estimating percentage body fat in an elderly population : a comparison among compartmental models. *Am J Clin Nutr* 2001;74:637-42.
- Zillikens MC, Conway JM. Anthropometry in blacks: applicability of generalized skinfold equations and differences in fat patterning between blacks and Whites. *Am J Clin Nutr* 1990; 52: 45-51.
- Zillikens MC, Conway JM. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis in blacks. *Am J Hum Biol* 1991;3:25-32.
- Zohoori N. Nutrition and healthy functioning in developing world. *J Nutr* 2001.

## ANNEXES

## Photos des méthodes

### Méthodes de référence



Densitométrie (Bod-Pod)

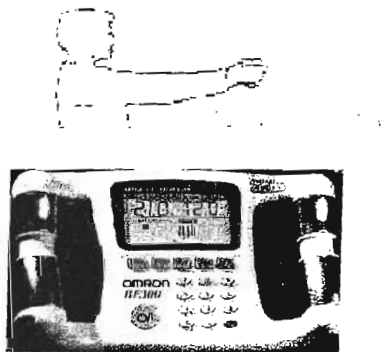


Dilution isotopique (FTIR)

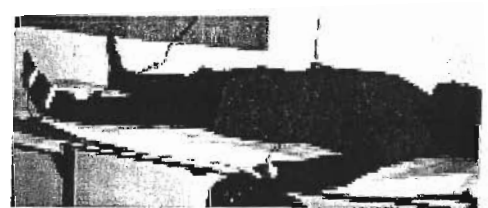
### Méthodes de terrain



Impédancemétrie pied-à-pied



Impédancemétrie main-à-main



Impédancemétrie corps total



Plis cutanés

## Calcul du pourcentage de masse grasse à partir de la densité corporelle (équation de Siri réajustée)

$m$  = masse corporelle  
 $m_g$  = masse grasse  
 $m_m$  = masse non grasse  
 $v$  = volume corporel  
 $v_g$  = volume de masse grasse  
 $v_m$  = volume de masse non grasse  
 $d$  = densité corporelle

valeurs de densité des 2 compartiments corporels des Occidentaux;

densité de la masse grasse = 0,9

densité de la masse non grasse = 1,1

$$m = m_g + m_m$$

$$m_g = v_g \times \text{densité de la masse grasse}$$

$$m = 0,9 v_g + 1,1 v_m$$

(car masse = volume x densité)

$$m = 0,9 v_g + 1,1 (v - v_g)$$

$$m = 1,1 v - 0,2 v_g$$

$$m = 1,1 (m/d) - 0,2 (m_g/0,9)$$

$$m - (1,1 m/d) = - 0,2/(0,9 m_g)$$

$$(m d - 1,1 m)/d = - 0,2 m_g/0,9$$

$$m (d - 1,1)/d = - 0,2 m_g/0,9$$

$$0,9/d = - 0,2 m_g/(d - 1,1)m$$

$$m_g/m = 0,9 (d - 1,1)/- 0,2 d$$

$$m_g/m = (0,9 d - 0,99)/- 0,2 d$$

$$m_g/m = - 0,9 d/0,2 d + 0,99/0,2 d$$

$$m_g/m = - 4,5 + 4,95/d$$

$$100 m_g/m = \% \text{ de masse grasse}$$

$$\% \text{ de masse grasse} = (495/d) - 450$$

(Siri)

valeurs de densité des 2 compartiments corporels des sujets d'origine africaine ou sujets africains;

densité de la masse grasse = 0.9007

densité de la masse non grasse = 1.106

$$m = m_g + m_m$$

$$m_g = v_g \times \text{densité de la masse grasse}$$

$$m = 0,9007 v_g + 1,106 v_m$$

$$m = 0,9 v_g + 1,1 v_m \quad (\text{car masse} = \text{volume} \times \text{densité})$$

$$m = 0,9007 v_g + 1,106 (v - v_g)$$

$$m = 1,106 v - 0,2053 v_g$$

$$m = 1,106 (m/d) - 0,2053 (m_g/0,9007)$$

$$m - (1,106 m/d) = - 0,2053/(0,9007 m_g)$$

$$(m d - 1,106 m)/d = - 0,2053 m_g/0,9007$$

$$m (d - 1,106)/d = - 0,2053 m_g/0,9007$$

$$0,9007/d = - 0,2053 m_g/(d - 1,106)m$$

$$m_g/m = 0,9007 (d - 1,106)/- 0,2053 d$$

$$m_g/m = (0,9007 d - 0,99617)/- 0,2053 d$$

$$m_g/m = - 0,9007 d/0,2053 d + 0,99617/0,2053 d$$

$$m_g/m = - 4,3872 + 4,8523/d$$

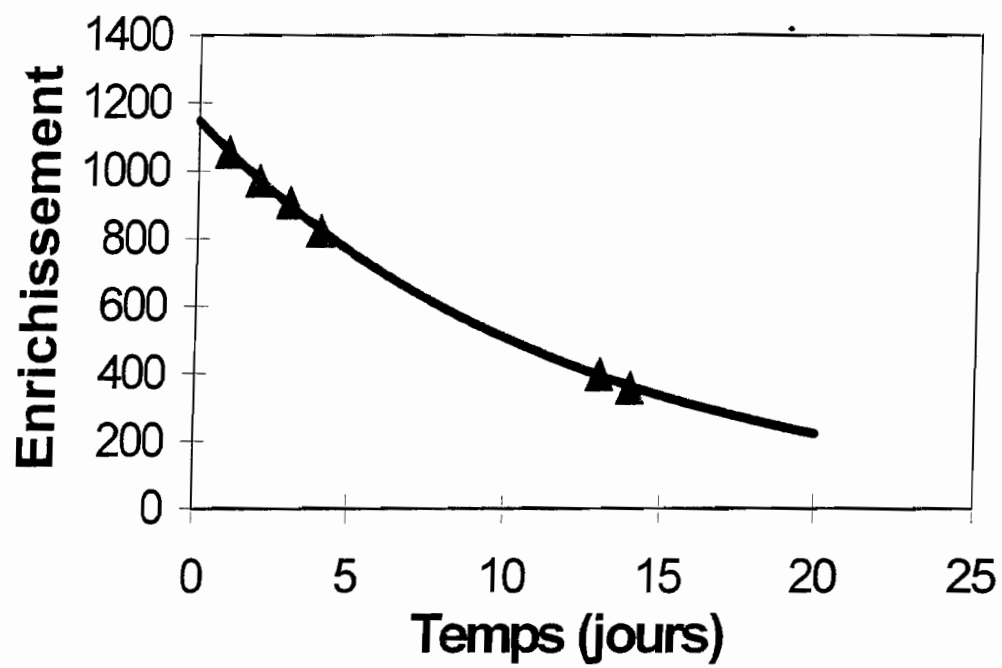
$$100 m_g/m = \% \text{ de masse grasse}$$

$$100 m_g/m = \% \text{ de masse grasse}$$

$$\% \text{ de masse grasse} = [(4.852285436/\text{density}_{ADP}) - 4.387238188] \times 100$$

(Siri ajustée)

Courbe de disparition du deutérium (mesuré au FTIR)



### Questionnaire de l'étude méthodologique

Nom et Prénom : ..... Numéro du sujet |\_\_|\_\_|\_\_|

Age (en années) |\_\_|\_\_|

Allaitante (1 = oui ; 2 = non) |\_\_|

Nombre de grossesses |\_\_|\_\_|

Age du dernier enfant (en mois) |\_\_|\_\_|

(1=wolof ; 2=lébou ; 3=serere ; 4=toucouleur ; 5=peul,soce,diola) Ethnie : ..... |\_\_|

Date des mesures |\_\_|\_\_|/|\_\_|\_\_|/|\_\_|\_\_|\_\_|

#### 1) ANTHROPOMETRIE

Taille |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_|

Hauteur de la table de mesure |\_\_|\_\_|,|\_\_| Taille assise |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_|

Tour de bras |\_\_|\_\_|,|\_\_| |\_\_|\_\_|,|\_\_|

Envergure des bras |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_|

Tour de taille |\_\_|\_\_|,|\_\_| Tour de hanches |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_|

Tour de poignet |\_\_|\_\_|,|\_\_| Tour de cuisse |\_\_|\_\_|,|\_\_|

Pli biceps |\_\_|\_\_|,|\_\_| |\_\_|\_\_|,|\_\_|

Pli triceps |\_\_|\_\_|,|\_\_| |\_\_|\_\_|,|\_\_|

Pli sousscapulaire |\_\_|\_\_|,|\_\_| |\_\_|\_\_|,|\_\_|

Pli suprailliaque |\_\_|\_\_|,|\_\_| |\_\_|\_\_|,|\_\_|

#### 2) BIA

Allonger le sujet à l'avance

XITRON : nom du fichier des spectres : .....

R5 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc5 |\_\_|\_\_|,|\_\_| R5 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc5 |\_\_|\_\_|,|\_\_|

R50 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc50 |\_\_|\_\_|,|\_\_| R50 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc50 |\_\_|\_\_|,|\_\_|

R100 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc100 |\_\_|\_\_|,|\_\_| R100 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc100 |\_\_|\_\_|,|\_\_|

R500 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc500 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| R500 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| Xc500 |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_|

#### BODYMASTER

POIDS |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_| POIDS |\_\_|\_\_|\_\_|,|\_\_|

M. GRASSE |\_\_|\_\_|,|\_\_| M. GRASSE |\_\_|\_\_|,|\_\_|

M. MAIGRE |\_\_|\_\_|,|\_\_| M. MAIGRE |\_\_|\_\_|,|\_\_|

#### OMRON

Utiliser le poids donné par Bodymaster

%FAT |\_\_|\_\_|,|\_\_| FAT MASS |\_\_|\_\_|,|\_\_|

%FAT |\_\_|\_\_|,|\_\_| FAT MASS |\_\_|\_\_|,|\_\_|

**DANNINGER**

R5	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _
Xc5	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _
R50	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _
Xc50	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _
R100	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _
Xc100	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _

**3 ) BOD POD**

**Avec volume pulmonaire prédit**

Weight	_ _ _ _ _ _ _	% fat	_ _ _ _ _ _ _
Volume	_ _ _ _ _ _ _		
Area artifact	_ _ _ _ _ _ _	Body weight	_ _ _ _ _ _ _
Predicted LV	_ _ _ _ _ _ _		
Body-volume	_ _ _ _ _ _ _	Fat weight	_ _ _ _ _ _ _
Density	_ _ _ _ _ _ _		
Percent BF	_ _ _ _ _ _ _	Lean weight	_ _ _ _ _ _ _
Fat weight	_ _ _ _ _ _ _		
Lean weight	_ _ _ _ _ _ _	Lung volume	_ _ _ _ _ _ _
Body volume	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _

**Avec volume pulmonaire mesuré**

Merit |\_|\_|\_|\_|\_|\_|\_|

**Avec prédit :**

Weight	_ _ _ _ _ _ _	Airway	_ _ _ _ _ _ _
Volume	_ _ _ _ _ _ _		
Area artifact	- _ _ _ _ _ _ _		
% fat	_ _ _ _ _ _ _	Measured LV	_ _ _ _ _ _ _
		Predicted LV	_ _ _ _ _ _ _
Body weight	_ _ _ _ _ _ _	Tidal volume	_ _ _ _ _ _ _
		TGV at FRC	_ _ _ _ _ _ _
Fat weight	_ _ _ _ _ _ _	Body-volume	_ _ _ _ _ _ _
		Density	_ _ _ _ _ _ _
Lean weight	_ _ _ _ _ _ _	Percent BF	_ _ _ _ _ _ _
		Fat weight	_ _ _ _ _ _ _
Lung volume	_ _ _ _ _ _ _	Lean weight	_ _ _ _ _ _ _
		Lung volume	_ _ _ _ _ _ _
Body volume	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _	_ _ _ _ _ _ _

Questionnaire pour l'enquête de Sédhiou

Date de visite \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Village \_\_\_\_\_

Arrondissement \_\_\_\_\_

IDENTIFICATION DE LA FEMME

1-1- Code : \_\_\_\_\_

1-2- Prenoms et Nom \_\_\_\_\_

1-3- Age (ans) : \_\_\_\_\_

                    Vérifié ,                      Oui=1                      Non=2                      \_\_\_\_\_

1-4- Ethnie                      Manding =1    Pular =2                      Diolas =3    Manjaacks =4                      \_\_\_\_\_  
  Bainouk =5    Salante =6                      Wolof =7    Autre =8

1-5- Statut matrimonial :                      Mariée =1    Célibataire =2    Divorcée =3    Veuve =4                      \_\_\_\_\_

1-6- Femme                      Femme allaitante =1    Femme non allaitante =2                      \_\_\_\_\_

1-7- Nombre d'enfants vivants :                      \_\_\_\_\_

1-8- Nombre d'accouchements :                      \_\_\_\_\_

1-9- Age du dernier enfant (en mois jusqu'à 48 mois sinon 99):                      \_\_\_\_\_

1-10- Niveau d'éducation :                      Aucun =1    Primaire =2    Secondaire =3    Autre=4                      \_\_\_\_\_

1-11- Occupation : \_\_\_\_\_

ANTHROPOMETRIE

1-12- Taille (cm)                      \_\_\_\_\_

1-13- Taille assise (cm)                      \_\_\_\_\_

1-14- Hauteur du tabouret (cm)                      \_\_\_\_\_

1-15- Tour de poignet (cm)                      \_\_\_\_\_

1-16- Tour de bras (cm)                      \_\_\_\_\_

IMPEDANCEMETRIE

BODYMASTER

Poids 1 (kg) :                      \_\_\_\_\_                      Poids 2 (kg) :                      \_\_\_\_\_

Masse grasse 1 (kg) :                      \_\_\_\_\_                      Masse grasse 2 (kg) :                      \_\_\_\_\_

Masse maigre 1 (kg) :                      \_\_\_\_\_                      Masse maigre 2 (kg) :                      \_\_\_\_\_

OMRON

Masse grasse 1                      %                      \_\_\_\_\_                      kg                      \_\_\_\_\_

Masse grasse 2                      %                      \_\_\_\_\_                      kg                      \_\_\_\_\_



Liste des villages enquêtés

Ndiadocounda  
Kandiadiou  
Bamacounda  
Boudiémar  
Malifara  
Bloc village  
Bouno  
Sitaba  
Koussy  
Sali Kegne  
Touré kunde  
Badougna  
Bougnadou  
Badiari  
Bassof  
Maudina  
Kounaya  
Diaroumé  
Ndiendé  
Dunde  
Frankunda  
Madina El Hadj Souané  
Touba Mandingue  
Bambaly  
Djirédji  
Dakabantang  
Guidir  
Kindakam  
Massaria  
Tambanaba

# Validity of impedance-based equations for the prediction of total body water as measured by deuterium dilution in African women<sup>1-3</sup>

Aïssatou Dioum, Agnès Gartner, Aïta S Cissé, Francis Delpeuch, Bernard Maire, Salimata Wade, and Yves Schutz

## ABSTRACT

**Background:** Little information is available on the validity of simple and indirect body-composition methods in non-Western populations. Equations for predicting body composition are population-specific, and body composition differs between blacks and whites.

**Objective:** We tested the hypothesis that the validity of equations for predicting total body water (TBW) from bioelectrical impedance analysis measurements is likely to depend on the racial background of the group from which the equations were derived.

**Design:** The hypothesis was tested by comparing, in 36 African women, TBW values measured by deuterium dilution with those predicted by 23 equations developed in white, African American, or African subjects. These cross-validations in our African sample were also compared, whenever possible, with results from other studies in black subjects.

**Results:** Errors in predicting TBW showed acceptable values (1.3–1.9 kg) in all cases, whereas a large range of bias (0.2–6.1 kg) was observed independently of the ethnic origin of the sample from which the equations were derived. Three equations (2 from whites and 1 from blacks) showed nonsignificant bias and could be used in Africans. In all other cases, we observed either an overestimation or underestimation of TBW with variable bias values, regardless of racial background, yielding no clear trend for validity as a function of ethnic origin.

**Conclusions:** The findings of this cross-validation study emphasize the need for further fundamental research to explore the causes of the poor validity of TBW prediction equations across populations rather than the need to develop new prediction equations for use in Africa. *Am J Clin Nutr* 2005;81:597–604.

**KEY WORDS** Bioelectrical impedance analysis, BIA equation, total body water prediction, validity, deuterium dilution, African women

## INTRODUCTION

Water is the major chemical component of the body and is an essential medium of the body's internal environment. Total body water (TBW) is constantly maintained in healthy subjects, and it is frequently measured to evaluate body composition—a sensitive indicator of health and nutritional status. Simple methods are needed for epidemiologic field studies, notably in low-income countries; the most widely used method is bioelectrical impedance analysis (BIA) (1, 2). BIA is often used to estimate body fat and muscle, but it is important to recall that the conductor of the body is its water content, and a BIA analyzer actually measures

the impedance of this fluid conductor, thus enabling assessment of TBW. However, BIA measurement is an indirect method from which body composition is predicted with the use of statistical relations derived in other groups against a reference method.

Prediction formulas for body composition tend to be population-specific (3–5). Previous results, mainly obtained in white subjects, might be inappropriate in black subjects. Because blacks differ from whites in several aspects of body composition (6, 7), the validity of the white equations in Africans needs to be tested (8), as previously shown in Asians (4). We recently showed that white equations are invalid in Africans when segmental impedance measurements are used (9, 10).

Initially, differences in body-composition estimations by BIA between whites and blacks were studied in populations from the United States. BIA may be effective in predicting TBW when race is specified (11). Prediction equations derived from white or predominantly white subjects were more valid for whites than for blacks (12, 13). Despite numerous investigations of BIA, minimal data are available on Africans. Prediction formulas developed in whites with reference to dilution techniques overestimated body water in Ethiopians (14, 15) but showed no significant differences between whites and Nigerians (16). Some equations for the prediction of TBW were developed in African Americans (11, 13, 16) and one was developed in Africans (17). The usefulness of these published equations in other samples remains unknown, especially in Africans.

The central hypothesis of this study was that prediction equations developed specifically in black subjects are likely to lead to better validity when cross-validated in Africans than are prediction equations developed in predominantly white populations. A second hypothesis to be tested was that single-predictor equations based on impedance index alone are likely to yield less

<sup>1</sup> From the Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, West Africa (AD, ASC, and SW); the Nutrition Unit, WHO Collaborating Centre for Nutrition, Institut de Recherche pour le Développement, Montpellier, France (AG, FD, and BM); and the Institute of Physiology, Faculty of Medicine, University of Lausanne, Switzerland (YS).

<sup>2</sup> Supported by the Institute of Research for Development, Montpellier, France. AD was supported by a doctoral research fellowship from the Institute of Research for Development.

<sup>3</sup> Address reprint requests to A Gartner, Nutrition Unit, UR 106, Institut de Recherche pour le Développement, BP 64501, 911 Avenue Agropolis, 34394 Montpellier Cedex 5, France. E-mail: gartner@mpl.ird.fr  
Received July 22, 2004.

Accepted for publication November 10, 2004.

**TABLE 1**  
Characteristics of the African women<sup>1</sup>

	$\bar{x} \pm SD$	Minimum, maximum
Age (y)	25.1 $\pm$ 6.6	18, 41
Body weight (kg)	56.2 $\pm$ 8.0	42.8, 72.4
Height (cm)	166.7 $\pm$ 5.4	155.2, 174.4
Leg length (cm)	83.0 $\pm$ 3.1	76.3, 89.4
Relative leg length	0.50 $\pm$ 0.01	0.47, 0.52
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	20.2 $\pm$ 2.7	17.0, 27.1
ECW/TBW ratio index ( $R_{100}/R_5$ )	0.84 $\pm$ 0.02	0.80, 0.89
TBW (kg) <sup>2</sup>	27.5 $\pm$ 2.7	22.1, 31.2
TBW:body weight <sup>2</sup>	0.49 $\pm$ 0.04	0.42, 0.59
TBW:square height (kg/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	9.86 $\pm$ 0.89	8.14, 11.63

<sup>1</sup>  $n = 36$ . TBW, total body water; ECW, extracellular water.

<sup>2</sup> Measured by deuterium dilution.

accurate predictions than are equations that also use anthropometric measures as additional predictor variables.

The aim of this study was to apply the BIA method to a group of African women and to compare TBW values predicted by BIA with reference values measured by the deuterium oxide dilution technique (18–20). Predicted values were obtained by applying published single or multiple predictor variable equations developed in white, African American, or African subjects.

## SUBJECTS AND METHODS

### Subjects

The sample included 36 women volunteers who were recruited from the community in a periurban neighborhood of Dakar, the capital city of Senegal (West Africa). The physical characteristics of the subjects are shown in Table 1. A local community center was used for recruitment. Women were included provided they were between 18 and 55 y of age, they were not pregnant, and their youngest child, if any, was  $\geq 9$  mo old. The ethics committee of the University of Dakar approved this study. All subjects gave their written consent to participate in the study after being thoroughly informed of its purpose, requirements, and procedures. Measurements were performed at the Institute of Research for Development Centre in Dakar. All measurements were performed in the morning between 0830 and 1300 with a room temperature of 22.5–25.5 °C. The subjects fasted overnight from food and drink, did not perform strenuous exercise, and emptied their bladders preceding the measurements. Immediately after the BIA and anthropometric measurements were performed, deuterium water was administered orally to each subject, thus allowing the BIA and reference tests to be done at the same time and under similar conditions. Consequently, the hydration status was likely to have remained throughout the measurement period.

### Anthropometric measures

Measurements were made by trained personnel using standard procedures (21). Wearing minimal clothing, the subjects were weighed to the nearest 0.01 kg with an electronic scale (Tanita Corp, Tokyo, Japan). Height was measured to the nearest millimeter with a portable gauge (Seca, Hamburg, Germany). Sitting height was measured to the nearest millimeter while the subjects were sitting on a stool. The height of the stool was subtracted

from the measurement. Leg length was calculated as height minus sitting height. Relative leg length was calculated as leg length divided by height (cm/cm). Anthropometric measurements were the mean of duplicates. All measurements were made by the same observer (AG).

### BIA

BIA was performed on the left side of the body with a body-composition analyzer (Xitron 4000B; Xitron Technologies, San Diego, CA) with a 4-electrode arrangement. The adhesive electrodes were paired, one pair acting as current electrodes and the other pair acting as detector electrodes. The electrodes were placed on the hand, wrist, foot, and ankle of each subject according to the standard placement for adults stated in the manufacturer's guidelines. At each site, the skin was cleaned with alcohol before the electrodes were placed. All metal objects were removed from the subjects before the measurements were made. The subjects were supine on a nonconductive surface with their arms and their thighs apart; the measurements were performed after the subjects had remained in the supine position for  $\geq 15$  min. The calibration of the instrument was checked daily with the use of standard resistors purchased with the analyzer. All BIA measurements were performed by the same person. The values used in the calculations were the mean of duplicate measurements. Only the resistance ( $R$ ) or impedance ( $Z$ ) data at 5, 50, and 100 kHz were used in the calculations of the present study. The impedance index was calculated as  $\text{height}^2/R$  (cm<sup>2</sup>/Ω) or  $\text{height}^2/Z$ , depending on the explanatory variable used in the equation tested. The impedance index can be assumed to reflect conductor volume and has been found to correlate highly with laboratory estimates of TBW volume and fat-free mass in humans (2).

The current is able to pass through cell membranes at high frequencies but not at low frequencies, thus enabling the prediction of extracellular water (ECW) and TBW independently at 5 and 100 kHz, respectively (22). Differences in TBW distribution over the intra- and extracellular spaces are reflected by impedance ratios of 5–100 kHz frequencies (1). The  $\text{length}^2/R_5$  is assumed to reflect the ECW volume, and the  $\text{length}^2/R_{100}$  is assumed to reflect the TBW volume. Their ratio was used as a simple index of the ECW/TBW ratio, as we had done in previous studies in African subjects (23, 24).

### Deuterium oxide dilution technique

Saliva from the women ( $\approx 5$  mL) was collected directly in small sterile vials. The subjects first provided a predose saliva sample to determine the natural deuterium content. Then, an accurately weighed dose of 30 g deuterium oxide (D<sub>2</sub>O; 99.8% purity, Cambridge Isotope Laboratories Inc, Andover, MA) was administered orally to each subject regardless of body weight. After the subjects took the complete dose, the dose bottle was weighed again to check the exact amount taken. Postdose saliva samples were collected after administration of the dose on days 1, 2, 3, 4, 13, and 14. The samples were centrifuged for 5 min at 11 500  $\times g$ , and the supernatant fluid was kept at  $-20$  °C until analyzed.

Enrichment of the saliva samples was measured with a Fourier transformed infrared spectrophotometer (FTIR; Shimadzu 8300; Shimadzu, Vienna, Austria) equipped with an automatic sample shuttle and a pair of matched calcium fluoride sample cells with

a 0.1-mm path length. The precision of the measurements was tested and validated with an isotope ratio mass spectrometer (18, 19). This FTIR equipment was available at the University of Dakar and was previously used to measure deuterium saliva enrichment in infant mother pairs for breast-milk output (25, 26). Before the saliva measurement was made, the calibration procedure involved preparation of the D<sub>2</sub>O calibrator by dilution of D<sub>2</sub>O with deionized water. The enrichment of our calibrator was confirmed by the isotope ratio mass spectrometer in the Medical Research Council's Human Nutrition Research (Cambridge, United Kingdom). In a previous study, measurement of the serial dilution (range 110-990 ppm) of our calibrator with our FTIR equipment showed a coefficient of correlation of 0.99 and a root means square error (RMSE) of 7.5 ppm, reflecting good precision of our FTIR method. For analysis, the pre- and postdose samples were simultaneously loaded into the instrument and automatically positioned in the light beam. This minimizes any interference due to the absorption of atmospheric carbon dioxide in the sample chamber. The infrared spectra were measured in the range 2300-2800 cm<sup>-1</sup>. The slope intercept multipoint procedure was used to determine the water pool size (27). A curve fitting to multipoint data set developed by the Medical Research Council's Human Nutrition Research was used. Each postdose saliva sample was measured in duplicate. The CV of the duplicates ranged between 0.0% and 2.4% ( $\bar{x} \pm SD$ : 0.5  $\pm$  0.4%), which indicated good reliability of our measurements. For the curve fitting procedure, the drift (total error/*n*), which represents the difference between measured points and the fitted enrichment curve, ranged between 1.4 and 6.6 ppm ( $\bar{x} \pm SD$ : 3.6  $\pm$  1.4 ppm). The mean ( $\pm SD$ ) total error was 2.2  $\pm$  0.9%, which is highly acceptable and shows that the curves fitted well with the measurement data. TBW (kg) was calculated from deuterium enrichment at time zero with the use of a correction factor for nonaqueous dilution of deuterium oxide. This correction accounts for the exchange of labile hydrogen that occurs in humans during the equilibration period. It is assumed that the deuterium space was 1.04 times TBW (20, 28). We calculated the ratio of TBW to body weight (kg/kg) and a TBW index [ratio of TBW to square height (kg/m<sup>2</sup>)].

#### BIA-based published prediction equations

Four kinds of equations were tested in our African sample, depending on the ethnic origin of the population in which they were developed. First, the equations developed in white subjects (11, 13, 16, 22) were retained because their validity was also tested in black subjects or because, in the same study, equations in blacks were also developed for comparison purposes (11, 13, 16). Second, we tested prediction equations developed in predominantly white populations (2, 29-32). In these cases, the ethnic origin of the US population was not reported, and it was assumed that the sample was a mixed US population of whites and blacks. Third, we retained equations from studies in which it was specified that the samples comprised whites and blacks in the United States (12, 13). Finally, we tested equations established in African Americans (11, 13, 16) and one prediction equation that was very recently established in Africans (17). In each case, whenever possible (ie, when provided by the authors), 2 types of equations developed in the same sample were tested: 1) the one-predictor equation, which has only the impedance index as an explanatory variable, and 2) the final equation retained from the regression analyses with added anthropometric characteristics.

In such cases, the 2 equations are identified by the same letter, followed by a different number. All of the equations are presented in Table 2. The equations used impedance and anthropometric dimensions that can be easily measured in the field. Some detailed information about their initial development and validation is also given in Table 2. RMSE, often expressed as the SEE, was reported from the articles cited in the reference and indicated whether these predictive equations fit well to the data from which they were generated, ie, their precision was assessed. Some articles expressed the TBW in liters and the others in kilograms. Because the conversion factor between volume and weight of TBW is 0.9937, ie, the density of the water at 36 °C, we considered this difference to be negligible and compared the TBW results regardless of the units used.

#### Statistical analysis

The statistical software used for data entry and validation was EPI-INFO (Centers for Disease Control and Prevention, Atlanta, GA). Statistical analyses were performed by using the SAS system for WINDOWS (release 8.0; SAS Institute Inc, Cary, NC). Values are expressed as means and SDs. First type error risk was set at 0.05 for all analyses.

The intrasubject reliability of the BIA measurement was tested by performing duplicates. The intrasubject differences were calculated as absolute values. The technical error of measurement [ $\sqrt{\sum(\text{intrasubject difference})^2/2 \times \text{number of duplicates}}$ ], and the percentage reliability (technical error of measurement  $\times$  100/overall mean of the measurements) were calculated.

BIA equations from the literature were cross-validated on our sample of African women. Pearson's correlation coefficients were used to study the relation between the measured and predicted values of TBW. The difference between measured and predicted values (bias) of TBW was tested against zero (paired *t* test). Error was determined as the SD of the bias. The dependency of the bias on the mean of measured and predicted values was tested by using correlation analysis (33, 34). The performance of the prediction equations, when applied to a sample independent of the one used to construct the equation (cross-validation), was measured by pure error (35). Pure error is calculated as the square root of the sum of squared differences between the observed and the predicted values divided by the number of subjects in the cross-validation sample. It summarizes the differences between observed and predicted values and is mathematically the same as the SEE often used for precision. The smaller the pure error, the greater the accuracy of the equation. There is no criterion value for the pure error that indicates successful cross-validation, but the pure error should be similar to the precision (ie, RMSE value) of the equation from its validation in the population from which it is derived.

#### RESULTS

The intrasubject reliability of whole-body BIA measurements was estimated as part of a larger study in 137 women, including the 36 subjects in the present study. Absolute values of the difference between replicates of  $R_{50}$  ranged from 0 to 5.2  $\Omega$  ( $\bar{x} \pm SD$ : 1.03  $\pm$  0.85  $\Omega$ ), and the percentage reliability was good (0.14%).

Comparisons between TBW values measured by deuterium dilution and predicted by each of the predictive equations are given in Table 3. All correlations between predicted and reference values of TBW showed coefficient values between 0.82 and

**TABLE 2**  
Published bioelectrical impedance analysis (BIA)-based prediction equations (dummy code) tested for the prediction of total body water (TBW) in the African women in the current study<sup>1</sup>

Equation <sup>2</sup>	Subjects in whom the equations were developed <sup>3</sup>	Mean age <sup>4</sup>	RMSE (= SEE) <sup>4</sup>	Reference
Developed in whites				
<i>A1</i>	TBW = 2.3802 + 0.4366(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.0579(Xc) - 0.0612(age) + 0.1506(Wt) - 1.9182(sex) (F = 1, M = 0)	40 WM + 39 WF	38 (M), 33 (F)	1.25 L (13)
<i>A2</i>	TBW = 3.751 + 0.595(Ht <sup>2</sup> /R)	40 WM + 39 WF	38 (M), 33 (F)	1.62 L (13)
<i>B1</i>	TBW = 0.34573(Ht <sup>2</sup> /Z) + 0.17065(Wt) - 0.11(age) + 2.66(sex) + 6.69 (F = 0, M = 1)	139 Dutch WM + WF	26 (M), 26 (F)	1.73 kg (22)
<i>B2</i>	TBW = 0.51303(Ht <sup>2</sup> /Z) + 6.29	139 Dutch WM + WF	26 (M), 26 (F)	2.14 kg (22)
<i>C</i>	TBW = 0.273(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.051(age) + 0.148(Wt) + 0.103(Ht) - 3.18	208 WF	51, 18-94	2.1 L (11)
<i>D</i>	TBW = 0.499(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.080(Wt) + 2.9	83 WM + WF	14-53	Not given (16)
Developed in samples without specified racial background but presumed to be mainly white				
<i>E</i>	TBW = 2.03 + 0.63(Ht <sup>2</sup> /R)	37 M	29, 19-42	2.09 L (2)
<i>F</i>	TBW = 9.9868 + 0.000724(Ht <sup>2</sup> ) - 0.2822(Wt) - 0.0153(R) - 2.3313(sex) - 0.1319(age) (F = 1, M = 0)	174 M + F	18-64	2.92 L (30)
<i>G1</i>	TBW = 4.96 + 0.42(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.13(Wt) + 3.34(sex) (F = 0, M = 1)	20 M + 20 F		1.37 L (29)
<i>G2</i>	TBW = 0.830 + 0.714(Ht <sup>2</sup> /R)	20 M + 20 F		2.50 L (29)
<i>G3</i>	TBW = 0.382(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.105(Wt) + 8.315	20 F		0.88 L (29)
<i>H</i>	TBW = 3.432026 + 0.454796(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.139523(Wt)	36 M	37, 19-64	2.64 L (31)
<i>I1</i>	TBW = 0.04 + 0.593(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.065(Wt)	74 M + F	0-66	1.41 kg (32)
<i>I2</i>	TBW = 0.700(Ht <sup>2</sup> /R) - 0.32	74 M + F	0-66	1.67 kg (32)
Developed in samples of whites and blacks				
<i>J1</i>	TBW = -0.442 + 0.484(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.079(Xc) - 0.054(age) + 0.128(Wt) - 1.493(sex) + 0.819(race) (B = 1, W = 0, F = 1, M = 0)	40 WM + 43 BM + 39 WF + 45 BF	38 (WM), 31 (BM), 33 (WF), 31 (BF)	1.50 L (13)
<i>J2</i>	TBW = 3.993 + 0.612(Ht <sup>2</sup> /R)	40 WM + 43 BM + 39 WF + 45 BF	38 (WM), 31 (BM), 33 (WF), 31 (BF)	2.2 L (13)
<i>K</i>	TBW = 3.747 + 0.113(Wt) + 0.45(Ht <sup>2</sup> /R)	875 WF + 214 BF	12-94	2.6 L (12)
Developed in blacks				
<i>L1</i>	TBW = -9.212 + 0.576(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.128(Xc) + 0.107(Wt)	43 BM + 45 BF	31 (BM), 31 (BF)	1.70 L (13)
<i>L2</i>	TBW = 4.563 + 0.621(Ht <sup>2</sup> /R)	43 BM + 45 BF	31 (BM), 31 (BF)	2.06 L (13)
<i>M</i>	TBW = 0.282(Ht <sup>2</sup> /R) - 0.034(age) + 0.160(Wt) + 0.135(Ht) - 9.53	94 BF	51, 18-94	2.4 L (11)
<i>N</i>	TBW = 0.562(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.081(Wt) + 1.3	59 BM + BF	14-53	Not given (16)
<i>O1</i>	TBW = 1.93 + 0.47(Ht <sup>2</sup> /R) + 0.13(Wt) - 1.20(sex) (F = 1, M = 0)	42 Nigerian M + 50 F	5-65	1.7 kg (17)
<i>O2</i>	TBW = 0.51 + 0.64(Ht <sup>2</sup> /R)	42 Nigerian M + 50 F	5-65	2.0 kg (17)

<sup>1</sup> Ht, height (cm), R, resistance ( $\Omega$ ), Z, impedance ( $\Omega$ ); Wt, body weight (kg); WM, white male, WF, white female; BM, black male; BF, black female; RMSE, root mean squared error.

<sup>2</sup> BIA measurements of 100 kHz were used for equations *B1*, *B2*, and *H*; measurements of 50 kHz were used for all other equations

<sup>3</sup> All subjects were from the United States unless noted otherwise.

<sup>4</sup> In the sample in whom the equations were developed.

TABLE 3

Cross-validation of the published bioelectrical impedance analysis (BIA)-based equations for the prediction of total body water in the African women in the current study<sup>1</sup>

Equation	Correlation coefficient <sup>2</sup>	Bias <sup>3</sup>	Error <sup>4</sup>	Pure error <sup>5</sup>
Developed in whites				
<i>A1</i>	0.88	-1.1 <sup>6</sup> ( $P < 0.001$ )	1.3	1.7
<i>A2</i>	0.82	2.0 ( $P < 0.001$ )	1.6	2.5
<i>B1</i>	0.86	0.6 <sup>6</sup> ( $P = 0.027$ )	1.5	1.6
<i>B2</i>	0.83	1.3 ( $P < 0.001$ )	1.5	2.0
<i>C</i>	0.86	-6.1 ( $P < 0.001$ )	1.4	6.3
<i>D</i>	0.86	1.8 ( $P < 0.001$ )	1.4	2.3
Developed in samples presumed to be mainly white				
<i>E</i>	0.82	2.4 ( $P < 0.001$ )	1.6	2.9
<i>F</i>	0.88	-1.1 ( $P = 0.0008$ )	1.9	2.1
<i>G1</i>	0.87	-0.2 <sup>6</sup> ( $P = 0.46$ )	1.4	1.4
<i>G2</i>	0.82	0.53 ( $P = 0.081$ )	1.8	1.8
<i>G3</i>	0.87	-0.73 ( $P = 0.021$ )	1.3	1.4
<i>H</i>	0.87	-1.4 ( $P < 0.001$ )	1.5	2.0
<i>I1</i>	0.85	2.1 <sup>7</sup> ( $P < 0.001$ )	1.6	2.6
<i>I2</i>	0.82	2.2 ( $P < 0.001$ )	1.8	2.8
Developed in samples of whites and blacks				
<i>J1</i>	0.87	-2.0 <sup>6</sup> ( $P < 0.001$ )	1.4	2.4
<i>J2</i>	0.82	1.1 ( $P = 0.0002$ )	1.6	1.9
<i>K</i>	0.87	0.9 ( $P = 0.0004$ )	1.4	1.6
Developed in blacks				
<i>L1</i>	0.85	-1.9 <sup>6</sup> ( $P < 0.001$ )	1.5	2.3
<i>L2</i>	0.82	0.2 ( $P = 0.47$ )	1.6	1.6
<i>M</i>	0.88	-4.0 ( $P < 0.001$ )	1.4	4.2
<i>N</i>	0.86	1.1 ( $P = 0.0002$ )	1.5	1.9
<i>O1</i>	0.87	2.2 <sup>6</sup> ( $P < 0.001$ )	1.5	2.7
<i>O2</i>	0.82	3.6 ( $P < 0.001$ )	1.6	3.9

<sup>1</sup>  $n = 36$ .

<sup>2</sup>  $P < 0.001$  for all.

<sup>3</sup> Measured - predicted value (a negative value of the bias reflects an overestimation by the prediction equation).

<sup>4</sup> SD of the bias.

<sup>5</sup>  $\sqrt{\sum(\text{measured} - \text{predicted})^2/n}$ , where  $n$  is the number of subjects in the sample. The smaller the pure error, the greater the accuracy of the equation.

<sup>6</sup>  $P < 0.001$  compared with the bias of the single-predictor equivalent equation ( $X1$  versus  $X2$ ).

<sup>7</sup>  $P = 0.073$  compared with the bias of the single-predictor equivalent equation ( $X1$  versus  $X2$ ).

0.88. However, a high correlation does not mean that the methods agreed, and it was thus necessary to use the Bland-Altman approach (33, 34) to analyze error and bias value and relation between bias and mean of the 2 methods. The error range was similar between equations derived from whites (1.3-1.6), from predominantly whites (1.3-1.9), from blacks and whites combined (1.4-1.6), and from blacks (1.4-1.6). All the equations gave acceptable error values that are comparable with prediction errors for TBW from previously reported BIA (22, 29). In each of the 4 categories of equations, TBW was both overestimated and underestimated, which yielded no clear trend for the bias in this sample of African women. Three equations (*G1*, *G2*, and *L2*) yielded a nonsignificant bias and good accuracy, ie, low pure error value. Three equations (*B1*, *G3*, and *K*) also showed a low (<1 kg) but significant bias and good accuracy. The higher absolute value for the bias (6.1 kg) was observed from an equation (*C*) developed in whites, whereas the other 2 higher absolute values for bias (4.0 and 3.6 kg) were from 2 equations (*M* and *O2*) developed specifically in blacks.

Only one equation (*F*) showed a significant correlation ( $R = -0.56$ ,  $P = 0.0004$ ) between the bias and the mean of measured and predicted TBW values; for all other equations the correlation was not significant ( $P > 0.10$ ). Some anthropometric (age, BMI,

and relative leg length), impedance (impedance index and ECW/TBW ratio index), and hydration (TBW/body weight and TBW/height<sup>2</sup>) characteristics of the subjects were tested for their correlation with the bias (detailed data not shown). A significant correlation of the bias was found with age for only 2 equations (*B1* and *C*), with BMI for 2 other equations (*F* and *H*) and with relative leg length for 4 equations (*F*, *G1*, *H*, and *O1*). For 10 equations (*B1*, *E*, *F*, *G2*, *H*, *I1*, *I2*, *N*, *O1*, and *O2*) the bias was related to the impedance index, and for 4 equations (*F*, *H*, *J1*, and *L1*) it was related to the ECW/TBW ratio index. For 8 equations (*A1*, *A2*, *B2*, *C*, *G3*, *J1*, *L1*, and *M*) we observed a significant correlation between the bias and the TBW index, and for 15 equations (*A1*, *B1*, *C*, *D*, *F*, *G1*, *G3*, *H*, *I1*, *J1*, *K*, *L1*, *M*, *N*, and *O1*) we observed a significant correlation between the bias and the ratio of TBW to body weight.

Of the 7 comparisons we made between single- and multiple-predictor equations developed in a single sample, 6 (*A*, *B*, *G*, *J*, *L*, and *O*) showed significantly different biases (Table 3). Interestingly, for all of the 8 single-predictor equations, the bias was not related to the ratio of TBW to body weight, whereas in all the other equations where body weight was an additional predictor, the bias was related to the ratio of TBW to body weight.

TABLE 4

Review of articles that tested the validity of published bioelectrical impedance analysis (BIA)-based equations for the prediction of total body water that were used in the current study

Equation tested <sup>1</sup>	Subject groups in which the validity of the equation was tested by other authors <sup>2</sup>	Bias <sup>3</sup>	Error
Developed in whites			
A1 (13)	45 US black females (13)	0.68 L ( $P < 0.01$ )	1.3 L
B1 (22)	20 Ethiopian females (14)	-1.0 kg ( $P < 0.05$ )	1.3 kg
B2 (22)	20 Ethiopian females (14)	-1.0 kg ( $P < 0.05$ )	1.3 kg
B1 (22)	20 Ethiopian females + 24 Ethiopian males (15)	-0.7 kg	1.5 kg
D (16)	African Jamaicans (16)	0.8 kg	2.2 kg
D (16)	Nigerians (16)	-0.1 kg	1.7 kg
Developed in samples presumed to be mainly white			
E (2)	45 US black females (13)	2.03 L ( $P < 0.01$ )	2.3 L
E (2)	39 US white females (13)	0.006 L ( $P > 0.05$ )	1.3 L
F (30)	45 US black females (13)	0.85 L ( $P < 0.05$ )	2.3 L
F (30)	39 US white females (13)	0.66 L ( $P < 0.01$ )	1.4 L
G1 (29)	45 US black females (13)	0.43 L ( $P < 0.05$ )	1.2 L
G1 (29)	39 US white females (13)	-0.92 L ( $P < 0.01$ )	1.1 L
G1 (29)	15 Nigerians + 21 Jamaicans + 8 US blacks (36)	-0.2 kg	(95% CI: -0.7, 0.3 kg)
Developed in samples of whites and blacks			
K (12)	214 US black females (12)	1.4 L	2.9 L
Developed in blacks			
N (16)	African Jamaicans (16)	-1.3 kg	2.3 kg
N (16)	Nigerians (16)	-1.9 kg	2.0 kg

<sup>1</sup> Reference of the study in which the equation was developed (see Table 2).

<sup>2</sup> Reference of the study in which the equation was cross-validated.

<sup>3</sup> A negative value of the bias reflects overestimation by the prediction equation, and a positive value represents underestimation.

## DISCUSSION

It is necessary to know whether published predictive equations for body composition are usable in Africa, where new equations are likely to be rare. In the present study we examined cross-validation of BIA-based equations as a function of the ethnic origin of the sample in which they were developed for prediction of TBW, which is directly related to body impedance. Using TBW measured by deuterium oxide dilution as the frame of reference, we examined the validity in African women of TBW estimates with 23 published prediction equations derived from 16 different samples. Moreover, whenever possible, the results of a cross-validation of the same equations performed by other authors in black subjects were considered (Table 4).

Equations resulting in marked bias (*C*, *M*, and *O2*) were developed in samples that probably included considerable differences in mean age or in range (Table 2) compared with those in our sample (Table 1). Equations *C* and *M* were developed in older subjects, and the inclusion of age among their predictor variables apparently did not correct for the effect of differences in age between samples, even if equation *M* was established in blacks. Equations *O1* and *O2* were the only equations developed in African subjects, but in a sample that included children. Such a wide range of age, also observed for equations *I1* and *I2*, probably compromised the opportunity to really test these equations. Unfortunately, equations *C*, *I*, *M*, and *O* have not been tested by other authors in Africans so it is presently difficult to know whether a difference in age across samples is the main cause of the bias. The inaccuracy of equation *E* could be explained by the fact that the original sample comprised only males; however, the other equation developed in males only (*H*) showed a lower bias

value. Moreover, when cross-validated by other authors, equation *E* underestimated TBW in African American women in the same way as in our sample, whereas it performed well in white women (Table 4).

Equations *G1*, *G2*, and *L2* can be retained as usable in Africans, notably *L2* as it was established in blacks, in a larger sample than *G*, and its bias showed no correlation with characteristics of the subjects. Moreover, when cross-validated by other authors, equation *G1* was just as valid in Africans as in African Americans and, surprisingly, was not as valid in whites (Table 4). When cross-validated in black subjects in other studies, equations *A1*, *B1*, *B2*, and *F* (derived from whites) showed weak bias, as in our sample, whereas equation *D* was twice as accurate as in our study (Table 4). When tested by other authors in 2 African groups, equation *N* (derived from African Americans) showed a bias similar to that in our sample (Table 3). When tested in the same 2 samples of Africans, equation *D* (derived from whites) surprisingly showed better accuracy when compared with equation *N* (derived from blacks) (Table 4). Conversely, in our sample of African women, equation *D* was less accurate than was equation *N* (Table 3).


Total-body impedance is largely determined by the impedance values of the arms and the legs (37, 38), whereas most body water is located in the trunk. Whole-body impedance makes assumptions in the calculation of TBW, namely a constant ratio between TBW in the arms and legs compared with that of the total body. The relative extremity length (to body height) differs in blacks and whites (7, 39, 40) and may influence the relation between body impedance and TBW (39). In our study, the sitting height/height value was 0.50 (ie, relative leg length of 0.50), which is

lower than the typical mean European value of 0.52 (40). This finding indicates that our sample was likely to have a higher value for relative leg length than that for whites. However, the hypothesis of the influence of differences in body build across ethnic groups on the validity of BIA-based predictions (4, 5) seems to be incorrect in the case of TBW assessment because in the present study, and in a few studies by other authors, the validity appeared to be independent of the ethnic origin of the equation. One explanation could be that this hypothesis was generally reported for percentage body fat or fat-free mass estimation, whereas TBW requires less indirect evaluation and fewer assumptions than does the assessment of lean or fat compartments. Indeed, in the present study, on only 3 occasions did we find a significant correlation between the bias and the relative leg length; in one case, this may have resulted because the original sample included children who likely had a different relative leg length to adults.

The prediction of TBW from an impedance index could be improved by additional independent predictors such as body weight, age, and sex, which could correct for differences across groups. When Deurenberg et al (14) applied equations *B1* and *B2* in a sample of Ethiopian women, the single- and multiple-predictor equations both led to an overestimation of 1 kg (Table 4), whereas in our sample the bias of equations *B1* and *B2* differed significantly.

For the purpose of cross-validation, we compared results obtained with different BIA devices or dilution techniques, which may explain differences in TBW estimates. The Xitron 4000B BIA device we used showed no significant differences from the RJL 101 device (41) used for producing 20 of the 23 equations tested. One equation (*H*) was established by using the Danninger TVI-10 BIA device (Danninger Medical, Columbus, OH) for which we found an outstanding correlation coefficient ( $R = 0.99$ ) when compared with the Xitron 4000B in a separate study on 142 women (data not shown). Two equations (*B1* and *B2*) were produced by using Dietosystem (Milano, Italy) BIA. Twenty equations used the deuterium dilution technique (with extrapolation to zero intercept or one sample at 3–4 h dilution time), as we did in our sample, and 3 equations (*C*, *H*, and *M*) used the tritium dilution technique. TBW can be measured by using these 2 different techniques with a precision and accuracy of 1–2% (20), and they do not differ by >1–2% (32). Therefore, it is unlikely that methodologic differences in TBW techniques between studies played an important role in the observed error.

The hypothesis of better validity for an equation derived from black subjects when cross-validated in Africans, compared with equations from whites, is clearly inconsistent with the results from the large panel of equations we tested in African women. Our findings confirm the recent statement that BIA prediction equations (for TBW) differ between African Americans and whites, but it is not clear why (16). The assumptions of differences in body build as reasons for invalidity across ethnic groups appeared to be nonvalid in the case of TBW assessment. Because the development of new prediction equations is a difficult and expensive process in low-income countries, we suggest focusing research efforts on cross-validating published equations. The absence of a clear trend in cross-validation among equations according to their ethnic origin should encourage further exploration of the causes of the lack of validity. Meanwhile, 3 equations tested (*G1*, *G2*, and *L2*) and developed >10 y ago could be used to assess TBW in Africans. Alternatively, for longitudinal or internal

comparative purposes, crude parameters such as the impedance index or the ECW/TBW ratio index could be used. 

We are indebted to the women who participated in this study

FD and BM initiated the research project for this study and helped write the manuscript. AG was in charge of the study in Senegal and was the principal investigator. AD was in charge of recruiting the subjects, collecting data from isotopic dilution, and writing the manuscript and participated in the data management and analysis. ASC and SW helped treat the saliva samples, conduct the FTIR spectroscopy measurements, and write the manuscript. AG and YS were responsible for the data management and analysis and helped write the manuscript. The authors confirm that there was no conflict of interest because the study received no external sponsorship

## REFERENCES

- Bioelectrical impedance analysis in body composition measurement. NIH Technology Assessment Conference Statement, 12–14 1994 December. 14 June 2004. Internet. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?CMD=search&DB=books>.
- Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985;41:810–7.
- Deurenberg P. The assessment of body composition: uses and misuses. Lausanne, Switzerland: Nestlé Foundation, 1992:35–72. (Annual Report.)
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Schouten FJM. Validity of total and segmental impedance measurements for prediction of body composition across ethnic population groups. *Eur J Clin Nutr* 2002;56:214–20.
- Snijder MB, Kuyf BEM, Deurenberg P. Effect of body build on the validity of predicted body fat from body mass index and bioelectrical impedance. *Ann Nutr Metab* 1999;43:277–85.
- Wagner DR, Heyward VH. Measures of body composition in blacks and whites: a comparative review. *Am J Clin Nutr* 2000;71:1392–402.
- Malina RM. Regional body composition, age, sex, and ethnic variation. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human body composition*. Champaign IL: Human Kinetics, 1996:217–55.
- Ward LC, Heitman BL, Craig P, et al. Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. Implications for the population specificity of prediction equations. *Ann N Y Acad Sci* 2000;904:199–202.
- Gartner A, Dioum A, Maire B, Delpuech F, Schutz Y. Comparison of foot-to-foot impedance with air-displacement plethysmography to evaluate body composition in African women. *Int J Bod Comp Res* 2003;1:137–45.
- Gartner A, Dioum A, Delpuech F, Maire B, Schutz Y. Use of hand-to-hand impedance to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* 2004;58:523–31.
- Wang J, Thornton JC, Burastero S, Heymsfield SB, Pierson RN. Bioimpedance analysis for estimation of total body potassium, total body water, and fat-free mass in white, black, and Asian adults. *Am J Hum Biol* 1995;7:33–40.
- Sun SS, Chumlea WC, Heymsfield SB, et al. Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiological surveys. *Am J Clin Nutr* 2003;77:331–40.
- Zillikens MC, Conway JM. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis in blacks. *Am J Hum Biol* 1991;3:25–32.
- Deurenberg P, Wolde-Gebnel Z, Schouten FJM. Validity of predicted total body water and extracellular water using multifrequency bioelectrical impedance in an Ethiopian population. *Ann Nutr Metab* 1995;39:234–41.
- Deurenberg P, Taghlabue A, Wang J, Wolde-Gebnel Z. Multi-frequency bioelectrical impedance for the prediction of body water compartments: validation in different ethnic groups. *Asia Pac J Clin Nutr* 1996;5:217–21.
- Schoeller DA, Luke A. Bioelectrical impedance analysis prediction equations differ between African Americans and Caucasians, but it is not clear why. *Ann N Y Acad Sci* 2000;904:225–6.
- Leman CR, Adeyemo AA, Schoeller DA, Cooper RS, Luke A. Body composition of children in south-western Nigeria: validation of bioelectrical impedance analysis. *Ann Trop Pediatr* 2003;23:61–7.



18. Jennings G, Bluck L, Wright A, Elia M. The use of infrared spectrophotometry for measuring body water spaces. *Clin Chem* 1999;45:1077-81.
19. Fusch C, Spring N, Moeller H. Fourier transform infrared spectroscopy measures  $^1\text{H}/^2\text{H}$  ratios of native water with a precision comparable to that of isotope ratio mass spectrometry. *Eur J Clin Chem Clin Biochem* 1993;31:639-44.
20. Schoeller DA. Hydrometry. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996: 25-43.
21. Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric standardisation reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1988.
22. Deurenberg P, Taghlabue A, Schouten FJM. Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *Br J Nutr* 1995;73:349-58.
23. Gartner A, Maire B, Kameli Y, Traissac P, Delpeuch F. Body composition unaltered for African women classified as "normal but vulnerable" by BMI and mid-upper-arm-circumference criteria. *Eur J Clin Nutr* 2001;55:393-9.
24. Gartner A, Berger J, Simondon KB, et al. Change in body water distribution index in infants who become stunted between 4 and 18 months of age. *Eur J Clin Nutr* 2003;57:1097-106.
25. Cisse AS, Bluck L, Diahm B, Dossou N, Guiro AT, Wade S. Use of Fourier transformed infrared spectrophotometer (FTIR) for determination of breastmilk output by the deuterium dilution method among Senegalese women. *Food Nutr Bull* 2002;23:138-41.
26. Cisse AS, Dossou N, Ndiaye M, et al. Stable isotope aided evaluation of Community Nutrition Program: effect of food supplementation schemes on maternal and infant nutritional status. *Food Nutr Bull* 2002;23:169-71.
27. Coward WA. Calculation of pool sizes and flux rates. In: Prentice AM, ed. *The doubly labelled water method for measuring energy expenditure. Technical recommendations for use in humans. A consensus report by the IDECG Working Group*. Vienna: IAEA, NAHRES-4, 1990:48-68.
28. Racette SB, Schoeller DA, Luke AH, Shay K, Hnilicka J, Kushner RF. Relative dilution spaces of  $^2\text{H}$ - and  $^{18}\text{O}$ -labelled water in humans. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 1994;267:E585-90.
29. Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1986;44:417-24.
30. Van Loan M, Mayclin P. Bioelectrical impedance analysis: is it a reliable estimator of lean body mass and total body water? *Hum Biol* 1987;59: 299-309.
31. Segal KR, Burastero S, Chun A, Coronel P, Pierson RN, Wang J. Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical-impedance measurement. *Am J Clin Nutr* 1991;54:26-9.
32. Kushner RF, Schoeller DA, Fjeld CR, Danford L. Is the impedance index ( $\text{ht}^2/\text{R}$ ) significant in predicting total body water? *Am J Clin Nutr* 1992, 56:835-9.
33. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;1:307-10.
34. Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet* 1995;346: 1085-7.
35. Guo SS, Chumlea WC. Statistical methods for the development and testing of predictive equations. In: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics, 1996:191-202.
36. Luke A, Durazo-Arvizu R, Rotimi C, et al. Relation between body mass index and body fat in black population samples from Nigeria, Jamaica, and the United States. *Am J Epidemiol* 1997;145:620-8.
37. Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. *Am J Clin Nutr* 1989;50:221-6.
38. Fuller NJ, Elia M. 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* 1989; 43:779-91.
39. Eveleth PB, Tanner JM. *Worldwide variation in human growth*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press, 1990.
40. Norgan NG. Relative sitting height and the interpretation of the body mass index. *Ann Hum Biol* 1994;21:79-82.
41. Earthman CP, Matthie JR, Reid PM, et al. A comparison of bioimpedance methods for detection of body cell mass change in HIV infection. *J Appl Physiol* 2000;88:944-56.

In press Brit J Nutr

## Body composition predicted from skinfolds in African women: a cross-validation study using air displacement plethysmography and black specific equation

Aïssatou Dioum<sup>1</sup>, Agnès Gartner<sup>2</sup>, Bernard Maire<sup>2</sup>, Francis Delpeuch<sup>2</sup> and Salimata Wade<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, West Africa.*

<sup>2</sup> *Nutrition Unit, UR 106 (WHO Collaborating Centre for Nutrition), IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Montpellier, France.*

Corresponding author: A. Gartner, Nutrition Unit, UR 106, IRD, B.P. 64501, 911 Avenue Agropolis, 34394 Montpellier Cedex 5. E-mail : [gartner@mpl.ird.fr](mailto:gartner@mpl.ird.fr).  
Tel: +33 4 67 41 62 23. Fax : +33 4 67 41 63 30

Key words: Skinfold thickness; Fat prediction equations; African women

Running head: Skinfolds and body composition in Africans

### Abstract

Skinfold-thickness (SF) measurements are commonly used for the indirect assessment of body composition. It is necessary to know how large the bias is when using Caucasian prediction equations from SF in Africans as no specific equations exist. Our first aim was to test the validity of the equation of Durnin & Womersley for predicting body density (BD) from SF in African women. The second aim was to determine the effect of calculating percentage body fat (%BF) from BD using a black-specific formula rather than the equation of Siri, thus taking into account the higher fat-free mass (FFM) density in blacks than in whites. A total of 196 African women volunteered. Mean (SD) age was 29.5 years (8.7) and BMI 22.5 kg/m<sup>2</sup> (4.6). We compared BD values predicted from SF to those measured by air-displacement plethysmography, and %BF values obtained from BD using the Siri equation or the black-specific calculation. The bias (reference minus prediction) was 0.0100 kg/l in BD ( $P < 10^{-4}$ ) and 6.5% BF ( $P < 10^{-4}$ ), and the error (SD of the bias) of 0.0097 kg/l and 4.5% BF. With the black-specific equation, the bias was reduced by 1.9% BF, while error remained similar. As the %BF prediction required a SF-based equation followed by a BD-based calculation, the lack of validity we observed in Africans may be due to known differences between blacks and whites in the distribution of subcutaneous adipose tissue and, as demonstrated, in the FFM density. Equations thus need to be established using SF values specific to Africans.

## Introduction

Body composition is an important indicator of an individual's health and nutritional status. Many methods and techniques for estimating body composition have been developed over the years (Lukaski, 1987; Deurenberg, 1992; Roche *et al.* 1996). Cheap and simple methods are needed for routine clinical and epidemiological field studies, and the most widely used method is anthropometry (Lohman *et al.* 1988), particularly the measurement of skinfold thickness (SF) (Harrison *et al.* 1988). SF measurement is an indirect method that requires the use of a prediction equation established against a reference method, assuming that there is no difference in the distribution of subcutaneous fat across groups of subjects (Lukaski, 1987). However, it is well known that there are a number of differences in body composition between blacks and whites, such as fat patterning and fat distribution (Zillikens & Conway, 1990), and the length of the limb in relation to the trunk (Wagner & Heyward, 2000). In addition, blacks have a greater bone mineral density and body protein content than do whites, resulting in a higher density of fat-free mass (FFM) (Ortiz *et al.* 1992; Wagner & Heyward, 2000). This calls into question the usefulness of the Caucasian equations to predict percentage body fat (%BF) from SF in black African people, as has already been demonstrated in African-American subjects (Zillikens & Conway, 1990, Brandon, 1998) and in Asians (Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2003). Although skinfold equations have been used for several years, their accuracy in Africans has not been determined, except in a pilot study in South Africa (Oosthuizen *et al.* 1997) and a recent study in African children (Cameron *et al.* 2004).

The equation of Durnin & Wommersley (1974) (D&W) can be used to transform the measurement of SF into body density values. It has been established in a Caucasian sample against hydro-densitometry (HD). The D&W equation is valid in Caucasians (Going, 1996) but has not always proved valid in other ethnic groups. The first aim of the present study was to assess the validity of the prediction of body density from SF in black African women using the D&W equation compared to air-displacement plethysmography (ADP) measurement as one possible reference method *in situ*. %BF is usually calculated from body density using the Siri equation (1961) which assumes the density of FFM to be constant. The second aim of this study was to estimate the effect of using a specifically adapted equation for black subjects when calculating %BF from body density in comparison to the Siri equation (1961).

## Subjects and methods

### Subjects

The sample included 196 women who were recruited from the community in a peri-urban neighbourhood of Dakar, the capital city of Senegal (West Africa). The ethics committee of the University of Dakar approved this study. All subjects gave their written consent to participate in the study after being thoroughly informed of its purpose, requirements and procedures. All measurements were performed at the IRD Centre of Dakar. Subjects fasted from food and drink for at least 6 h and emptied their bladder preceding the measurements. Anthropometry and ADP measurements were performed the same morning and applied to each subject in random order.

### Anthropometry

Measurements were made by trained personnel using standard procedures (Lohman *et al.* 1988). Subjects' body weight was measured during the ADP measurement procedure (see below). Height was measured to the nearest millimetre with a portable gauge (Seca, Weighing and Measuring Systems, Hamburg, Germany). The four BMI classes, i.e. thin, normal, overweight and obese women, were defined by using the BMI thresholds of 18.5, 25 and 30 kg/m<sup>2</sup>. Sitting height was measured to the nearest mm using the gauge while sitting on a stool. The height of the stool was subtracted from the measurement. Leg length was calculated as height minus sitting height. Relative leg length was calculated as leg length divided by height (cm/cm). All circumferences were measured to the nearest 0.1 cm with a non-elastic metric measuring tape. The left mid-upper arm circumference (MUAC) was measured at the midpoint of the upper arm with the subject's arm relaxed. For the measurement of the hip circumference, the measurer squatted beside the subjects to judge the level of maximum extension of the buttocks. The circumference was measured at this level on a horizontal plane. Waist circumference was measured on a horizontal plane at the narrowest part of the torso (i.e., the smallest horizontal circumference in the area between the ribs and iliac crest). SF measurements were made on the left side of the body using a Holtain (Holtain, Ltd. Crosswell, Crymmych, Dyfed, Wales, U.K.) skinfold calliper. The measurements were made to the nearest millimetre at the triceps, biceps, subscapular, and suprailliac sites in each woman. Anthropometric measurement values were the mean of duplicates. The SF ratio was calculated as the sum of subscapular+suprailliac divided by the sum of triceps+biceps. All measurements were made by the same observer (AG) in order to avoid any systematic technical bias.

### Reference method: air displacement plethysmography

ADP is a new practical alternative reference method (Mc Crory *et al.* 1995; Dempster & Aitkens, 1995; Biaggi *et al.* 1999; Nunez *et al.* 1999; Fields *et al.* 2002). ADP is a reliable and valid technique that can quickly and safely evaluate body volume (Demerath *et al.* 2002; Fields *et al.* 2002). Whole body density can therefore be determined from body volume and weight, and ADP agrees with HD, which uses underwater weighing, within 1% BF in adults (Fields *et al.* 2002). ADP has the potential to replace HD as a standard of practice in research and clinical settings as it is less expensive, could be more easily available and can be performed in all subjects as, in contrast to HD, it is troublefree for the subject.

In this study the ADP method used the BOD POD™ body-composition system (model 2000A, Life Measurement Instruments, Concord, CA; software version 1.69 June 19, 1997). The device is a single egg-shaped unit consisting of two chambers: a test chamber where the subject is seated and a reference chamber with the breathing circuit. As described in detail (Dempster & Aitkens, 1995), the system determines body volume by air displacement using Poisson's gas law (Mc Crory *et al.* 1995).

Wearing minimal clothing, subjects were firstly weighed to the nearest 0.01 kg using the BOD POD™ system electronic scale (Tanita Corp., Tokyo, Japan). Since hair contributes to measurement error, subjects were required to wear an acrylic bathing cap. After a two-point calibration with the chamber empty and with a standard 50 l cylinder in the test chamber, the volume of the subject was obtained while she was seated quietly in the test chamber and breathing normally. An average of two trials was used in estimating body volume. To correct for the volume of exhaled air by the subject (thoracic gas volume, TGV) that comes into contact with the chamber gas volume during the body volume test, while in the test chamber and wearing nose clips, the subject was instructed to perform a gentle 'puffing' manoeuvre against a momentarily occluded airway. During this brief procedure, the subject breathed through disposable tubing that is connected to a pulmonary function analyser and then quickly alternated between contraction and relaxation of the diaphragm. The adjusted body volume and the subject's body weight were used to calculate body density. A predicted, rather than measured, value for the TGV can be used that is calculated by a formula (kept secret by the manufacturer) using height and age. In 38 of the 196 subjects, TGV was not adequately

measured, so predicted TGV was used. The difference between using measured or predicted TGV was previously studied in 114 women (Gartner *et al.* 2004).

#### Body composition calculation

From ADP:

As we reported in previous studies in Senegalese women (Gartner *et al.* 2003; 2004), %BF<sub>ADP</sub> was calculated from body density<sub>ADP</sub> taking into account the value of 1.106 kg/l given by Ortiz *et al.* (1992) for the density of FFM in black women, and the value of 0.9007 kg/l for the density of fat used in black men by Wagner & Heyward (2000). The precise equation that we established (Gartner *et al.* 2004) is:

$$\%BF_{ADP} = ((4.852285436 / \text{density}_{ADP}) - 4.387238188) \times 100$$

FFM<sub>ADP</sub> was estimated by calculating body weight minus body fat mass.

From SF:

Density was predicted from the sum of four SF at the triceps, biceps, subscapular, and suprailiac sites by using the D&W equations.

age < 20 years, density<sub>DW</sub> = 1.1549 - 0.0678 X log (sum 4 SF);  
 age 20-29 years, density<sub>DW</sub> = 1.1599 - 0.0717 X log (sum 4 SF);  
 age 30-39 years, density<sub>DW</sub> = 1.1423 - 0.0632 X log (sum 4 SF);  
 age 40-49 years, density<sub>DW</sub> = 1.1333 - 0.0612 X log (sum 4 SF);  
 age > 49 years, density<sub>DW</sub> = 1.1339 - 0.0645 X log (sum 4 SF).

%BF was calculated from this density by using the Siri (1961) equation (%BF<sub>DWS</sub>) or by using the black-specific equation (%BF<sub>DWB</sub>) (see above).

$$\%BF_{DWS} = ((4.95 / \text{density}_{DW}) - 4.5) \times 100$$

$$\%BF_{DWB} = ((4.852285436 / \text{density}_{DW}) - 4.387238188) \times 100$$

FFM<sub>DWS</sub> or FFM<sub>DWB</sub> were estimated by calculating body weight minus the corresponding body fat mass.

#### Statistical analysis

Statistical software used for data entry and validation was Epi-Info (CDC, Atlanta, GE, USA). Statistical analyses were performed using the SAS system for Windows (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA), release 8.0. Values are expressed as means and standard deviations (SD). First type error risk was set at 0.05 for all analyses. Intra-subject reliability was tested by performing duplicates. Intra-subject differences were calculated in absolute values. The technical error of measurement (TEM =  $\sqrt{\sum(\text{intra-subject difference})^2 / 2 \times \text{number of duplicates}}$ ), and the percentage reliability (TEMx100/overall mean of the measurements) were calculated. The difference between measured and predicted value (bias) was tested against zero (paired *t*-test). Considering the precision of the skinfold method and the biological plausibility of a variation in %BF, we considered that the smallest difference worth indicating a lack of validity of the skinfold method is about 1 %BF. According to the more recent studies assessing the validity of skinfold equations in the prediction of %BF, the expected SD of the bias between a reference method and the skinfold method should be in the 3-5% range. With 196 subjects there was sufficient power to look for bias as our study power to detect a difference of 1 %BF was of 80-100% for a standard deviation of 3-5%. The dependency of the bias on the mean of measured and predicted values was tested using correlation analysis. The bias 95% limits of agreement, calculated as  $\pm 1.96$  error (i.e. SD of the bias), were used to test agreement between the two methods (Bland & Altman, 1986; 1995). The performance of the D&W prediction equation when applied to a sample independent from the one used to construct the equation (cross-validation) was measured by the pure error (Guo *et al.* 1996). Pure error is calculated as the square root of the sum of squared differences between the observed and the predicted values divided by the number of subjects in the cross-validation sample. It summarizes the differences between observed and predicted values, and is mathematically the same as the SEE (standard error of estimate) often used for precision. There is no criterion value for the pure error that indicates successful cross-validation, but the pure error should be similar to the precision value of the same equation, from its validation in the population from which it is derived.

#### Results

Some characteristics of the 196 subjects are shown in Table 1. The data comprise a wide range of BMI and the sum of four SF values. In our sample, the proportion of subjects with BMI < 18.5 kg/m<sup>2</sup>, with 25 ≤ BMI < 30 kg/m<sup>2</sup> and with BMI ≥ 30 kg/m<sup>2</sup> was respectively 21.7%, 24.2% and 5.6%. Table 1 also presents different anthropometrical characteristics.

The intra-subject reliability of bicipital, tricipital, suprailiac and subscapular SF measurements was estimated. Absolute values of the difference between replicates of these SF ranged from 0 to 3.1, from 0 to 3.8, from 0 to 4.8 and from 0 to 3.7 mm, respectively. The percentage of reliability varied between sites of SF measurement but was always good (6.2; 3.5; 5.0 and 4.0, respectively). The intra-subject reliability of ADP was previously reported in 128 subjects (Gartner *et al.* 2004) showing a percentage reliability of 1.3 for FFM and 2.4 for %BF when using a constant lung volume.

Table 2 shows density<sub>ADP</sub>, %BF<sub>ADP</sub> and FFM<sub>ADP</sub> and values predicted from density<sub>DW</sub> by using the Siri (1961) equation or the black-specific equation, respectively. The comparisons between reference and predicted values are shown in Table 3. For all the comparisons, the biases were significant (Table 3). The D&W equation overestimated body density by about 0.01 kg/l; consequently %BF was underestimated and FFM overestimated. The bias in %BF, as well as in FFM, was higher when using the Siri equation (1961) rather than the black-specific calculation; the difference in bias was about 1.9 %BF and 1.2 kg FFM. The significant biases resulted in large 95% limits of agreement for all the comparisons yielding unacceptable potential bias at the level of the individual. When we segregated the women as a function of BMI, a significant bias was found in all the BMI groups (Table 4). Moreover, the higher the BMI value the higher the bias value. There was a significant correlation between the difference and the mean in all the comparisons in the whole sample (Table 3), and in the normal BMI class except for FFM. We also tested the relationship between the bias and some other anthropometrical characteristics of the women (age, relative leg length, waist/hip ratio and SF ratio). Results were the same for %BF<sub>DWS</sub> and %BF<sub>DWB</sub>, and are given below for %BF<sub>DWB</sub>. The correlations of the bias in %BF with the four anthropometrical characteristics were not significant in the whole sample, whereas there was a significant correlation with age ( $R = -0.22$ ;  $P = 0.03$ ) in the normal BMI class, with relative leg length in the normal ( $R = 0.26$ ;  $P = 0.009$ ) and overweight ( $R = 0.43$ ;  $P = 0.003$ ) BMI classes, and with SF ratio ( $R = -0.35$ ;  $P = 0.02$ ) in the thin BMI class.

#### Discussion

It is necessary to know whether published predictive equations for body composition are usable in Africa where new equations are likely to be rare. In the present study, we firstly tested the validity of body density prediction from the measurements of four

SF by using the equation of D&W in African women. The intra-subject technical errors we found for the four SF (between 0.4 and 0.6 mm) appeared acceptable when compared to values previously reported (Harrison *et al.* 1988). The wide ranges of age, body density, weight, height and SF in the subjects in this study were completely covered by the ranges in the Caucasian sample in which the D&W equation was derived. The ADP we used as reference is a reliable and valid technique that can quickly and safely evaluate body density (Demerath *et al.* 2002; Fields *et al.* 2002). Our reference values were therefore obtained using the same approach (body density measurement based on the two-compartment model) as the one used to develop the D&W equation as it was validated against HD. Secondly, we tested the effect of using a black-specific calculation when transforming the body density into %BF values, instead of the Siri equation (1961) that was based on constant values for density of body fat and lean mass derived from Caucasians. When taking into account in our sample the newly derived values for the density of fat and lean mass from African-Americans, we obtained a black-specific equation that is consistent with the recommendation made by Heyward (2001). The reference %BF<sub>ADP</sub> and FFM<sub>ADP</sub> values were obtained from density<sub>ADP</sub> by using the black-specific calculation and, for comparative purposes, the density<sub>DW</sub> obtained from SF was transformed into %BF using the two calculations.

#### Validity of the formulas

Compared with the ADP method, the D&W equation significantly overestimated body density by an average of 0.0100 kg/l in our sample, and the pure error value (0.0143 kg/l) was higher than the SEE value obtained when establishing the D&W equation (0.0116 kg/l). As a result of this overestimation of density, predicted %BF was underestimated, and FFM consequently overestimated. Contrary to our results, an overestimation of %BF was reported in African-American women (Brandon, 1998). The %BF underestimation we found is most likely due to the overestimation of body density by the D&W equation which was relatively small (1%) but significant, and yielded a large %BF bias value even when transformed by using the black-specific calculation. According to the subjective rating system based on SEE values to appreciate the quality of a prediction equation (Heyward, 2001), all our pure errors can be regarded as very poor, reflecting the lack of validity in our sample of African women. The significant biases in %BF we observed had higher absolute values than those reported in other non Caucasian groups, i.e. Chinese (Wang & Deurenberg, 1996), Indian (Kashiwazaki *et al.* 1998) and African-American (Zillikens & Conway, 1990; Brandon, 1998) adults.

In our sample, the biases were dependent on the magnitude of each body composition parameter assessed, and this is confirmed by the fact that the lower the BMI group, the lower the bias absolute value. The larger %BF bias values we observed with higher level of body fatness or in the higher BMI groups can be explained by the fact that with increasing body fatness, the ratio of subcutaneous fat to total body fat becomes smaller as showed by Kral *et al.* (1993) in obese subjects, so that SF underestimate body fatness in subjects with high %BF (or BMI) values. Another explanation could be that, in general, the thicker the skinfold the more difficult it is to achieve a reproducible measurement (Harrison *et al.* 1996) leading to larger error in measurement in subjects with high %BF. In addition, at very low body fatness, the thickness of the skin is a relatively large part of the measured skinfold, resulting in a relative overestimation of body fat. This dependency of the bias on the level of body fatness has been observed in many other studies and is a general drawback of many prediction methods.

#### Reasons for the lack of validity

When establishing their equation, Durnin & Womersley (1974) already took into account the differences in distribution of subcutaneous fat with sex and age. However, other factors can affect the accuracy and precision of the D&W equation (Wong *et al.* 2000), as a racial difference in SF (Cronk & Roche, 1982) or in subcutaneous fat patterning (Norgan, 1995; Malina, 1996), and notably between blacks and whites (Wagner & Heyward, 2000). In particular, relatively greater fat deposition on the trunk than on the extremities was observed in black females in comparison with white females (Malina, 1996; Zillikens & Conway, 1990). Moreover, blacks showed more upper-body fat deposition and possibly more deep-body fat deposition than whites (Zillikens & Conway, 1990). Such observations probably offer an explanation for the lack of validity of the D&W equation in our sample of African women, as recently suggested in the case of Singaporean subjects (Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2003). Errors in fat estimates occur when ethnicity is not accounted for (Ortiz *et al.* 1992; Wong *et al.* 2000; Werkman *et al.* 2000; Deurenberg-Yap *et al.* 2001; Wagner & Heyward, 2001). When compared to a four-compartment model, Deurenberg-Yap *et al.* (2001) found in Singaporeans that using densitometry alone and the Siri (1961) equation would have resulted in an underestimation of about 3% BF. Consequently, the assumption of a constant FFM density leads to systematic large biases in blacks and taking this fact into account, as we did when we used the black-specific calculation, yielded the expected effect of a decrease in the bias value.

The observed bias between SF and ADP methods could also be due to differences in physical characteristics between blacks and whites (i.e. our sample and the D&W's one), and we have to look at their potential effects according to BMI classes. Indeed, our sample included 22% of thin and 23% of overweight women, and we could suppose that this fact could influence the results, even if it is not possible to know the proportion of thin or overweight women in the D&W sample. For example, biological variations in age-related increase in body fatness could be a reason for the lack of validity as there was a significant relationship between the bias in %BF and age in the normal BMI group, even if the relationship was non significant in the whole sample. In the same way, the absence of correlation between bias in %BF and SF ratio in the whole sample and in the normal BMI subgroup therefore could mean that differences in subcutaneous fat patterning could not be a reason for the lack of validity in these women. Indeed, the SF ratio in our African women is slightly higher in the whole sample (1.18) but similar in the normal BMI group (1.12) when compared to the value (approximately 1.12) we derived for 20-49 years old women from the original article of D&W. However, the bias in %BF was related to the SF ratio in the BMI class of thin women, which had a SF ratio value of 1.19. This relationship could be explained by the fact that thinness is accompanied by a decrease in relative limb's fat (i.e. an increase in SF ratio). SF method makes assumptions in the prediction of %BF, namely a constant ratio between %BF in the arms (from triceps and biceps sites) and trunk (from subscapular and suprailiac sites) compared to the total body, including notably lower limbs. In our study, the sitting height/height value was 0.51 (i.e. relative leg length of 0.49) that is slightly lower than the typical European mean value of 0.52 (Norgan, 1994), indicating that our sample is in fact likely to have a higher value for relative leg length than whites. In our sample, relative leg length was related to the bias in %BF in the normal and overweight BMI classes suggesting that differences in relative leg length could be a reason for the lack of validity except in the case of extreme values (very low or very high) of %BF (or BMI).

#### Conclusion

Our study confirms the fact that it is unreasonable to use the D&W equation without adjustment to predict body density in African women. The decrease in the bias in %BF derived from density when using the black-specific calculation showed the need for such population specific adjustment. Further development and cross-validation of prediction equations from SF specific to Africans is now needed, as recently done by Deurenberg-Yap *et al.* (2003) in Singaporean adults and adolescents. Alternatively, for longitudinal or internal comparative purposes, crude values of SF measurements or SF ratio could be used.

### Acknowledgements

We are indebted to the women who agreed to take part in the study.

### References

- Biaggi RR, Vollman MW, Nies MA, *et al* (1999) Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults. *Am J Clin Nutr* **69**, 898-903.
- Bland JM & Altman DG (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet* **1**, 307-310.
- Bland JM & Altman DG (1995) Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *The Lancet* **346**, 1085-1087.
- Brandon LJ (1998) Comparison of existing skinfold equations for estimating body fat in African American and white women. *Am J Clin Nutr* **67**, 1155-1161.
- Cameron N, Griffiths PL, Wright MM, Blencowe C, Davis NC, Pettifor JM, Norris SA (2004). Regression equations to estimate percentage body fat in African prepubertal children aged 9 y. *Am J Clin Nutr* **80**, 70-75.
- Cronk CE & Roche A (1982) Race and sex-specific reference data for triceps and subscapular skinfolds and weight/stature. *Am J Clin Nutr* **35**, 347-354.
- Demerath EW, Guo SS, Chumlea WC, Towne B, Roche AF & Siervogel RM (2002) Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children. *Int J Obes* **26**, 389-397.
- Dempster P & Aitkens S (1995) A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* **27**, 1692-1697.
- Deurenberg P (1992) The assessment of body composition: uses and misuses. *Annual Report*. Lausanne: Nestlé Foundation, 35-72.
- Deurenberg P & Deurenberg-Yap M (2003) Validity of predicted percentage body fat from skinfolds in Singapore Chinese, Malays and Indians. *Int J Bod Comp Res* **1**, (1), 23-29.
- Deurenberg-Yap M, Ng SA, Foo LL & Deurenberg P (2003) Development and validation of prediction equation for percentage body fat based on skinfolds for Singaporean adults and adolescents. *Int J Bod Comp Res* **1**, (3), 103-109.
- Deurenberg-Yap M, Schmidt G, Van Staveren WA, Hautvast JGAJ & Deurenberg P (2001) Body fat measurements among Singaporean Chinese, Malays and Indians: a comparative study using a four-compartment models. *Br J Nutr* **85**, 491-498.
- Durnin JVGA & 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. *Br J Nutr* **32**, 77-97.
- Fields DA, Goran MI & Mc Crory M (2002) Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr* **75**, 453-467.
- Gartner A, Dioum A, Maire B, Delpuech F & Schutz Y (2003) Comparison of foot-to-foot impedance with air-displacement plethysmography to evaluate body composition in African women. *Int J Bod Comp Res* **1**, 4, 137-145.
- Gartner A, Dioum A, Delpuech F, Maire B & Schutz Y (2004) Use of hand-to-hand impedance to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* **58**, 523-531.
- Going SB (1996) Densitometry. In *Human Body Composition*, pp 3-23 [AF Roche, SB Heymsfield and TG Lohman, editors]. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Guo SS, Chumlea WC & Cockram DB (1996) Use of statistical methods to estimate body composition. *Am J Clin Nutr* **64**, 428S-435S.
- Harrison GG, Buskirk ER, Carter JEL, *et al*. (1988) Skinfold Thicknesses and Measurement Technique. In *Anthropometric Standardization Reference Manual*, pp. 55-80 [TG Lohman, AF Roche and R Martorell, editors]. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Heyward V (2001) Methods recommendation: Body composition assessment. *J Exerc Physiol on line* **4**, 1-12.
- Kashiwazaki H, Dejima Y, Orias RJ & Coward WA (1998) Validity of published prediction equations for body composition in high altitude Bolivian Aymara as evaluated by doubly labeled water. *Am J Hum Biol* **10**; 371-384.
- Kral JG, Mariegos M & Mc Keon EW (1993) Body composition studies in severe obesity. In *Recent developments in body composition analysis: methods and applications* pp.137-146 [JG Kral and TB Van Italie, editors]. London, UK: Smith Gordon.
- Lohman TG, Roche AF & Martorell R (editors) (1988) *Anthropometric Standardisation Reference Manual*. Champaign IL: Human Kinetics.

- Lukaski HC (1997) Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* **46**, 537-56.
- Malina RM (1996) Regional body composition: age, sex, and ethnic variation. In *Human body composition*, pp. 217-253 [AF Roche, SB Heymsfields and TG Lohman, editors]. Champaign, IL: Human Kinetics.
- McCrorry MA, Gomez TD, Bernauer EM & Mole PA (1995) Evaluation of a new air displacement plethysmography for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* **27**, 1686-1691.
- Norgan NG (1994). Relative sitting height and the interpretation of the body mass index. *Ann Hum Biol* **21**, 79-82.
- Norgan NG (1995) The assessment of the body composition of populations. In *Body composition techniques in health and disease*, pp. 195-221 PSW [Davies and TJ Cole, editors]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nunez C, Kovera AJ, Pietrobelli A, *et al.* (1999) Body composition in children and adults by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* **53**, 382-387.
- Oosthuizen GM, Joubert G, Mollentze WF, Rosslee E (1997). Body fat estimation in black South Africans: a pilot study, *Cent Afr J Med* **43**, 126-131.
- Ortiz O, Russell M, Daley TL, *et al.* (1992) Differences in skeletal muscle and bone mineral mass between black and white females and their relevance to estimates of body composition. *Am J Clin Nutr* **55**, 8-13.
- Roche AF, Heymsfield SB & Lohman TG (editors) (1996) *Human Body Composition*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Siri WE (1961) Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In *Techniques for Measuring Body Composition*, pp. 223-244 [J Brozek and A Henschel, editors]. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- de Waart FG, Li R & Deurenberg P (1993) Comparison of body composition assessments by bioelectrical impedance and by anthropometry in premenopausal Chinese women. *Brit J Nutr* **69**, 657-664.
- Wagner DR & Heyward VH (2000) Measures of body composition in blacks and whites: a comparative review. *Am J Clin Nutr* **71**, 1392-1402.
- Wagner DR & Heyward V (2001) Validity of two-component models for estimating body fat of black men. *J Appl Physiol* **90**, 649-656.
- Wang J, Burastero SE, Russell-Aulet M *et al.* (1992): Body fat by dual photon absorptiometry: comparisons with traditional methods in Asians, blacks and Caucasians. *Am J Hum Biol* **4**, 501-510.
- Wang J & Deurenberg P (1996) The validity of predicted body composition in Chinese adults from anthropometry and bioelectrical impedance in comparison with densitometry. *Brit J Nutr* **76**, 175-82.
- Werkman A, Deurenberg-Yap M, Schmidt G & Deurenberg P (2000) A comparison between the composition and density of the fat-free mass of young adult Singaporean Chinese and Dutch Caucasian. *Ann Nutr Metab* **44**, 235-242.
- Wong WW, Stuff NF, Butte NF, Smith EOB & Ellis KJ (2000) Estimating body fat in African American and white adolescent girls: a comparison of skinfold-thickness equation with a 4-compartment criterion model. *Am J Clin Nutr* **72**, 348-354.
- Yao M, Roberts SB, Ma G, Pan H, McCrorry MA (2002) Fields methods for body composition assessment are valid in healthy Chinese adults. *J Nutr* **132**, 310-317.
- Zillikens MC & Conway JM (1990) Anthropometry in blacks: applicability of generalized skinfold equations and differences in fat patterning between blacks and whites. *Am J Clin Nutr* **52**, 45-51.

**Table 1.** Characteristics of the 196 Senegalese women  
(Mean values and standard deviations)

	Mean	SD	Minimum-maximum
Age (years)	29.5	8.7	18-56
Body weight (kg)	61.1	13.6	33.4-118.5
Height (cm)	164.6	5.7	152.2-180.4
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	22.5	4.6	12.7-42.7
Relative leg length	0.49	0.02	0.40-0.53
Mid-upper arm circumference (cm)	27.8	4.5	19.4-41.4
Waist circumference (cm)	71.1	9.8	53.4-110.7
Hip circumference (cm)	97.5	10.2	72.1-131.0
Waist/hip ratio	0.728	0.047	0.633-0.902
Biceps skinfold (mm)	7.8	5.0	1.8-26.0
Triceps skinfold (mm)	17.9	7.2	5.0-35.0
Subscapular skinfold (mm)	15.5	8.5	3.7-40.0
Suprailiac skinfold (mm)	14.6	7.2	3.6-36.0
Sum of the four skinfold (mm)	55.8	25.3	16.0-118.7
Skinfold ratio*	1.18	0.31	0.54-2.10

\* (sum of subscapular+suprailiac) / (sum of triceps and biceps)

**Table 2.** Body density, body fat percentage (%BF) and fat-free mass (FFM) measured by air-displacement plethysmography (ADP) and body density predicted from skinfold thickness by using the equation of Durnin & Womersley (D&W) and transformed in %BF or FFM by using the equation of Siri or the black-specific equation, in the 196 Senegalese women (Mean values and standard deviations)

	Mean	SD	Minimum - Maximum
ADP			
Density <sub>ADP</sub> (kg/l)	1.0261	0.0198	0.9784-1.0796
Black-specific equation			
%BF <sub>ADP</sub>	34.3	9.1	10.7-57.2
FFM <sub>ADP</sub> (kg)	39.1	4.6	28.1-52.0
Skinfold thickness			
D&W equation			
Density <sub>DW</sub> (kg/l)	1.0361*	0.0150	1.0080-1.0735
Siri equation			
%BF <sub>DWS</sub>	27.8*	6.9	11.1-41.1
FFM <sub>DWS</sub> (kg)	43.3*	6.4	29.7-71.7
Black-specific equation			
%BF <sub>DWB</sub>	29.7*	6.8	13.3-42.6
FFM <sub>DWB</sub> (kg)	42.2*	6.3	29.0-69.8

DWS, Durnin & Womersley equation coupled with Siri equation; DWB, Durnin & Womersley equation coupled with black-specific equation.

\* Significantly different ( $P < 10^{-4}$ ) from the corresponding reference value measured by ADP, see Table 3.



**Table 3.** Comparison of body density, body fat percentage (%BF) and fat-free mass (FFM) measured by air-displacement plethysmography (ADP) and body density predicted from skinfold thickness by using the equation of Durnin & Womersley (DW) and transformed in %BF or FFM by using the equation of Siri or the black-specific equation, in the 196 Senegalese women.

	Difference (Mean and standard deviations)		95% limits of Agreement	Correlation* (r)	Pure error
	Mean	SD			
ADP value minus predicted:					
Density <sub>DW</sub> (kg/l) <sup>†</sup>	-0.0100 <sup>†</sup>	0.0097	0.0091 ; 0.0290	0.50 <sup>‡</sup>	0.014
% BF <sub>DWS</sub>	6.5 <sup>†</sup>	4.5	-2.3 ; 15.3	0.50 <sup>‡</sup>	7.9
FFM <sub>DWS</sub> (kg)	-4.3 <sup>†</sup>	3.5	-11.2 ; 2.5	-0.54 <sup>‡</sup>	5.5
% BF <sub>DWB</sub>	4.6 <sup>†</sup>	4.5	-4.2 ; 13.4	0.53 <sup>‡</sup>	6.5
FFM <sub>DWB</sub> (kg)	-3.1 <sup>†</sup>	3.4	-9.8 ; 3.6	-0.51 <sup>‡</sup>	4.6

DWS, Durnin & Womersley equation coupled with Siri equation; DWB, Durnin & Womersley equation coupled with black-specific equation.

\* Between mean and difference of the two methods.

<sup>†</sup>  $P < 10^{-4}$  when compared to zero.

<sup>‡</sup>  $P < 10^{-4}$ .

**Table 4.** Differences in body density, body fat percentage (%BF) and fat-free mass (FFM) measured by air-displacement plethysmography (ADP) and body density predicted from skinfold thickness by using the equation of Durnin & Womersley (DW) and transformed in %BF or FFM by using the equation of Siri or the black-specific equation, by BMI classes in the 196 Senegalese women (Mean values and standard deviations)

	BMI classes								P (between the 4 groups)
	<18.5 kg/m <sup>2</sup> (n=43)		[18.5-25.0] kg/m <sup>2</sup> (n=96)		[25.0-30.0] kg/m <sup>2</sup> (n=46)		≥30.0 kg/m <sup>2</sup> (n=11)		
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
ADP value minus predicted:									
Density <sub>DW</sub> (kg/l)	-0.0051*	0.0082	-0.0097*	0.0099	-0.0124*	0.0069	-0.0235*	0.0098	<10 <sup>-4</sup>
% BF <sub>DWS</sub>	4.2*	3.6	6.3*	4.5	7.5*	3.2	12.9*	4.8	<10 <sup>-4</sup>
FFM <sub>DWS</sub> (kg)	-2.0*	1.8	-3.7*	2.7	-5.6*	2.6	-12.1*	5.5	<10 <sup>-4</sup>
% BF <sub>DWB</sub>	2.2 <sup>§</sup>	3.6	4.4*	4.5	5.6*	3.1	11.3*	4.8	<10 <sup>-4</sup>
FFM <sub>DWB</sub> (kg)	-1.1 <sup>§</sup>	1.8	-2.6*	2.6	-4.2*	2.5	-10.6*	6.2	<10 <sup>-4</sup>

DWS, Durnin & Womersley equation coupled with Siri equation; DWB, Durnin & Womersley equation coupled with black-specific equation.

\*  $P < 10^{-4}$  or <sup>§</sup>  $P < 10^{-3}$  when compared to zero.

## ORIGINAL COMMUNICATION

# Use of hand-to-hand impedancemetry to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography

A Gartner<sup>1\*</sup>, A Dioum<sup>2</sup>, F Delpuech<sup>1</sup>, B Maire<sup>1</sup> and Y Schutz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nutrition Unit, UR 106 (WHO Collaborating Centre for Nutrition), IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Montpellier, France; <sup>2</sup>Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, West Africa; and <sup>3</sup>Institute of Physiology, Faculty of Medicine, University of Lausanne, Switzerland

**Objectives:** To test the validity of a simple, rapid, field-adapted, portable hand-held impedancemeter (HHI) for the estimation of lean body mass (LBM) and percentage body fat (%BF) in African women, and to develop specific predictive equations.

**Design:** Cross-sectional observational study.

**Settings:** Dakar, the capital city of Senegal, West Africa.

**Subjects:** A total sample of 146 women volunteered. Their mean age was of 31.0 y (s.d. 9.1), weight 60.9 kg (s.d. 13.1) and BMI 22.6 kg/m<sup>2</sup> (s.d. 4.5).

**Methods:** Body composition values estimated by HHI were compared to those measured by whole body densitometry performed by air displacement plethysmography (ADP). The specific density of LBM in black subjects was taken into account for the calculation of %BF from body density.

**Results:** Estimations from HHI showed a large bias (mean difference) of 5.6 kg LBM ( $P < 10^{-4}$ ) and -8.8 %BF ( $P < 10^{-4}$ ) and errors (s.d. of the bias) of 2.6 kg LBM and 3.7 %BF. In order to correct for the bias, specific predictive equations were developed. With the HHI result as a single predictor, error values were of 1.9 kg LBM and 3.7 %BF in the prediction group ( $n = 100$ ), and of 2.2 kg LBM and 3.6 %BF in the cross-validation group ( $n = 46$ ). Addition of anthropometrical predictors was not necessary.

**Conclusions:** The HHI analyser significantly overestimated LBM and underestimated %BF in African women. After correction for the bias, the body compartments could easily be estimated in African women by using the HHI result in an appropriate prediction equation with a good precision. It remains to be seen whether a combination of arm and leg impedancemetry in order to take into account lower limbs would further improve the prediction of body composition in Africans.

*European Journal of Clinical Nutrition* (2004) **58**, 523–531. doi:10.1038/sj.ejcn.1601839

**Keywords:** body composition; hand-to-hand bioelectrical impedance; air displacement plethysmography; predictive equations; African women

### Introduction

Breaking down the quantification of body composition into fat and lean tissues is important to diagnose the excess or

deficiency in fat and lean mass that are associated with the risk or onset of disease. Straightforward field methods suitable for epidemiological measurements of body composition are particularly needed in low-income countries. Body composition methods suitable for epidemiological field studies should be both reliable and easy to perform. Anthropometrical and bioelectrical impedance methods are theoretically suitable for epidemiological measurements. However, most body composition studies in the past were performed on Caucasian subjects, and consequently quite a lot of information is available about the validity of methods and their underlying assumptions in Caucasians. Prediction formulas for body composition tend to be population-specific, probably because of cross-population differences in

\*Correspondence: A Gartner, Nutrition Unit, UR 106, IRD, B.P. 64501, 911 Avenue Agropolis, 34394 Montpellier Cedex 5 France.

E-mail: gartner@ird.sn.

Guarantors: A Gartner, Y Schutz.

Contributors: F Delpuech and B Maire initiated the project comprising this study and contributed to writing the manuscript. A Gartner was in charge of the study in Senegal and was the principal investigator. A Dioum was in charge of recruitment of the subjects and data collection from ADP. A Gartner and Y Schutz were responsible for data management and analysis, and were responsible for writing the manuscript.

Received 10 March 2003; revised 28 May 2003; accepted 14 June 2003

parameters that are used in the equations (Deurenberg, 1992). The formulas to predict percentage body fat (%BF) from BMI are ethnic-specific (Deurenberg *et al*, 1998), and the bias of impedance-based prediction formulas for body composition is mainly due to differences in body build among ethnic groups (Deurenberg *et al*, 2002). The need for specific predictive equations for Asian populations has now been demonstrated (Deurenberg *et al*, 2002), and is probably also true in the case of African populations for whom the need for impedance-based specific prediction equations has also been underscored (Ward *et al*, 2000).

As conductance is mainly determined by the amount of water, which is only present in the lean body mass (LBM), impedance measurements should, at least partially, distinguish between fat mass and LBM. Impedance-based predictions should therefore theoretically result in a more accurate assessment of body fat than BMI-based formulas. The classical (whole body) bioelectrical method measures impedance from foot to hand (Lukaski *et al*, 1985). The subject needs to lay supine, which limits the practical application of the method, especially in the field. Some authors have shown that segmental impedance measurements of the legs or the arms allow fairly accurate estimations of body composition (Baumgartner *et al*, 1989; Fuller & Elia, 1989; Stewart *et al*, 1993). More recently, impedance analysers were developed that measure segmental impedance from foot to foot (Nunez *et al*, 1997; Bell *et al*, 1998; Jebb *et al*, 2000) or from hand to hand (Deurenberg *et al*, 2001). These instruments have the advantage that they are easy to use and inexpensive as they are mass-produced.

The hand-held impedance (HHI) analyser (Omron HBF300) uses built-in software to assess body composition, using impedance from hand to hand and weight, height, age and sex as additional parameters. The incorporated algorithm is not given to the user, but it has been shown that the Omron HHI method gave good estimates of %BF in European populations (Deurenberg *et al*, 2001), and relatively small but different bias among Singaporean Chinese, Malay and Indian subjects (Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2002). Up to the present time, no evidence has been provided that the device is accurate for other ethnic groups such as Africans. The aim of the present study was to test the validity of HHI estimated body composition in African women, since this is particularly important for nutritional status assessment. In the case of a high level of bias, adjustment of the values was envisaged. For this purpose, body composition was measured in a group of 146 Senegalese women by using density from air displacement plethysmography (ADP), taking into account the specific lean mass density in black subjects. Body composition was estimated using the HHI method, and anthropometrical measurements were performed and are proposed as possible predictors in regression equations. To the best of our knowledge this is the first time that the validity of the HHI method has been tested in African subjects, and that the ADP method has been used in Africa.

## Subjects and methods

### Subjects

The sample included 146 women who were recruited from the community in a peri-urban neighbourhood of Dakar, the capital city of Senegal (West Africa). The ethics committee of the University of Dakar approved this study. All subjects gave their written consent to participate in the study after being thoroughly informed of its purpose, requirements and procedures. All measurements were performed at the IRD (French institute of research for development) Centre of Dakar, Senegal. Preceding the measurements, subjects fasted from food and drink for at least 6 h, did not perform strenuous exercise, and emptied their bladder. Although impedance is dependent upon body water, it was not possible to measure hydration, and this could be a limitation of the study.

### Anthropometry

Measurements were made by trained personnel using standard procedures (Lohman *et al*, 1988). Subjects' body weight was measured during the ADP measurement procedure (see below). Height was measured to the nearest millimetre with a portable gauge (Seca, Germany). All circumferences were measured to the nearest 0.1 cm with a nonelastic metric measuring tape, with the subject wearing minimal clothing. The left mid-upper arm circumference (MUAC) was measured at the midpoint of the upper arm with the subject's arm relaxed. Wrist circumference was measured at the left side over the distal ends of the radius and the ulna. The proximal thigh circumference was measured at the left side located immediately distal to the gluteal furrow. For the measurement of the hip circumference, the measurer squatted beside the subjects to judge the level of maximum extension of the buttocks. The circumference was measured at this level on a horizontal plane. Waist circumference was measured on a horizontal plane at the narrowest part of the torso (ie, the smallest horizontal circumference in the area between the ribs and iliac crest). Skinfold thickness measurements were made on the left side of the body using a Holtain (Crymych, UK) skinfold calliper. The measurements were made to the nearest millimetre at the triceps, biceps, subscapular and supriliac sites in each woman. Arm span was measured to the nearest 0.1 cm, from middle finger tip to middle finger tip, using a wall mounted board, with the subjects standing erect against the wall and arms spread horizontally. Anthropometric measurement values were the mean of duplicates. All measurements were made by the same observer (AG).

### Bioimpedance body fat analysis

Percentage body fat was estimated using a HHI analyser (%BF<sub>HHI</sub>), following instructions given in the manufacturer's manual (Omron HBF300, Omron Healthcare Inc, Vernon Hills, IL, USA). The subject had to stand with her feet slightly

apart, and to hold the analyser with both hands, with her arms held straight out in front of her at an angle of 90°. During the measurement, the instrument recorded impedance from hand to hand and consequently calculated body fat from the impedance value and the pre-entered subject's weight, height, age and sex. Body fat mass (kg) and %BF<sub>HHI</sub> values were read to the nearest 0.1 kg or 0.1%, respectively, from a digital display and recorded. LBM<sub>HHI</sub> was derived by subtracting body fat mass from body weight.

#### Air displacement plethysmography

In this study the ADP method used the BOD POD™ body-composition system (model 2000A, Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA; software ver 1.69, 19 June 1997). The device is a single egg-shaped unit consisting of two chambers: a test chamber where the subject is seated and a reference chamber with the breathing circuit. As described in detail (Dempster & Aitkens, 1995), the system determines body volume through an air displacement method by the application of Poisson's gas law (McCroly *et al*, 1995).

Wearing minimal clothing, subjects were first weighed to the nearest 0.01 kg using the BOD POD system electronic scale (Tanita Corp., Tokyo, Japan). Since hair contributes to measurement error, subjects were required to wear an acrylic bathing cap. After a two-point calibration with the chamber empty and with a standard 50 l cylinder in the test chamber, the volume of the subject was obtained while she was seated quietly in the test chamber and breathing normally. An average of two trials was used in estimating body volume. To correct for the volume of exhaled air by the subject (thoracic gas volume, TGV) that comes into contact with the chamber gas volume during the body volume test, while in the test chamber and wearing nose clips, the subject was instructed to perform gentle 'puffing' against a momentarily occluded airway. During this brief procedure, the subject breathed through disposable tubing that is connected to a pulmonary function analyser and then quickly alternated between contraction and relaxation of the diaphragm. A predicted, rather than measured, value for the TGV can be used that is calculated by a formula using height and age (the BOD POD manufacturer keeps the exact equation confidential since it is proprietary, but the final equations were based on reference literature and company research). For 30 of the 146 subjects, a measured TGV was not adequately obtained, and the predicted TGV was used. The adjusted body volume and the subject's body weight were used to calculate body density.

There is increasing evidence that the assumption of a constant density of the LBM is not valid across populations groups, for example blacks have a higher density of LBM than whites (Ortiz *et al*, 1992; Wagner & Heyward, 2000, 2001). Specific formulas have been recommended for converting body density to %BF in black men (Wagner & Heyward, 2000) and women (Ortiz *et al*, 1992). For this reason, %BF<sub>ADP</sub> was calculated from body density taking into

account the value of 1.106 kg/l given by Ortiz *et al* (1992) for the density of LBM in black women, and the value of 0.9007 kg/l for the density of fat used in black men by Wagner and Heyward (2001). The precise equation we established is

$$\%BF_{ADP} = ((4.852285436/\text{density}_{ADP}) - 4.387238188) \times 100$$

LBM<sub>ADP</sub> was estimated by calculating body weight minus body fat mass.

#### Statistical analysis

Statistical software used for data entry and validation was Epi-Info (CDC, Atlanta, GE, USA). Statistical analyses were performed using the SAS system for Windows (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA), release 8.0. For each analysis, the SAS procedures used are indicated below. Values are expressed as means and standard deviations (s.d.). The critical value for the probability of a Type I error was set at 0.05 for all analyses.

The intrasubject reliability of ADP or HHI measurement was tested by performing duplicates. The intrasubject differences were calculated in absolute value. The technical error of measurement ( $TEM = \sqrt{\Sigma(\text{intrasubject difference})^2 / 2 \times \text{number of duplicates}}$ ) and the percentage reliability ( $TEM \times 100 / \text{overall mean of the measurements}$ ) were calculated.

The bias (predicted-measured) value of LBM or %BF was tested against zero by using a paired *t*-test (*t*-test procedure, paired statement). The dependency of the bias on the mean of measured and predicted values was tested using correlation analysis (corr procedure). The bias' 95% limits of agreement, calculated as  $\pm 1.96$  s.d. of the bias, were used to evaluate agreement between the two methods (Bland & Altman, 1986, 1995).

Regression analysis (reg procedure) was used to predict body composition values by using the HHI estimate according to Guo & Chumlea (1996) as described below. Correlation ( $R^2$ -value from reg procedure) was used to study the relationship between the response variable and each possible predictor. The predictor variables were selected by using the maximum  $R^2$  procedure, that is, by finding the one-predictor variable equation that yielded the highest  $R^2$ . A two-predictor variable equation was then formulated by adding another variable selected from those remaining that resulted in the largest increase in  $R^2$  from the one-predictor variable. To test if the predictive equations fit well to the data from which they were generated, we used the root means square error (RMSE value from reg procedure) as a measure of the precision of the predictive equation. The smaller the RMSE value, the greater the precision. The RMSE is the square root of the sum of the squares of the deviations of the predicted values from the measured values, divided by the total number of observations (*n*) minus the number of parameters (*p*), that is  $RMSE = \sqrt{\Sigma(\text{observed-predicted})^2 / (n-p-1)}$ . The coefficient of variation (CV) is the RMSE value standardised

for the mean value of the response variable. The accuracy of the predictive equations was tested by a cross-validation test. Cross-validation was performed by the data-splitting approach in which two-thirds of the sample were used to develop an equation ( $n = 100$ ), and the remaining one-third was used to cross-validate it ( $n = 46$ ). Analysis of variance ( $t$ -test procedure, class statement) was used to compare validation groups. To test the performance of the predictive equations on cross-validation, we used the pure error as a measure of the accuracy of the predictive equations. The smaller the pure error value, the greater the accuracy. The pure error is the square root of the sum of squared differences between the predicted and the measured values divided by the number of subjects ( $n$ ) in the cross-validation sample; that is, pure error =  $\sqrt{\Sigma(\text{observed} - \text{predicted})^2/n}$ .

## Results

Some characteristics of the 146 subjects are given in Table 1. These data comprise a wide range of BMI (12.7–38.7 kg/m<sup>2</sup>) and of %BF (12.2–55.7%). In our sample, the proportion of subjects with BMI < 18.5 kg/m<sup>2</sup> was 21.2%, with BMI  $\geq$  25 was 29.4% and with BMI  $\geq$  30 was 4.1%. Table 1 also presents the different anthropometrical variables that were tested as possible predictors.

The intrasubject reliability of HHI was estimated in 51 women. Absolute values of the difference between replicates of LBM<sub>HHI</sub> ranged from 0 to 3.6 kg, and between replicates of %BF<sub>HHI</sub> from 0 to 3.5%, and the percentage reliability was good (Table 2). The intrasubject reliability of ADP was estimated for 128 out of the 146 participants. This test concerned replicates of the body volume measurement (raw

value before adjustment) when maintaining a constant value for TGV, that is, the predicted value. There was a very good percentage reliability value for body volume, resulting in a similar reliability value for body density (Table 2). The intrasubject variation in body volume only, the second measured factor being constant, resulted in percentage reliability of 1.3% for LBM and 2.4% for %BF (Table 2).

HHI overestimated LBM compared to ADP by an average of 5.6 kg, resulting in an underestimation of %BF by 8.8%, the errors being 2.6 kg and 3.7%, respectively. These significant

Table 1 Characteristics of the 146 Senegalese women

	Mean value	s.d.	Minimum:maximum
Age (y)	31.0	9.1	18:56
Body weight (kg)	60.9	13.1	33.4:98.3
Height (cm)	164.0	5.6	152.2:178.1
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.6	4.5	12.7:38.7
MUAC (cm)	28.0	4.6	19.5:41.1
Wrist circumference (cm)	15.6	1.0	13.4:17.9
Arm span (cm)	170.9	6.5	159.2:186.2
Waist circumference (cm)	71.4	9.9	53.4:99.9
Hip circumference (cm)	97.4	9.9	72.1:124.0
Waist/hip ratio	0.73	0.05	0.63:0.90
Thigh circumference (cm)	56.7	7.2	38.8:74.0
Sum of four SF (mm)	56.9	25.8	16.1:132.2
Lean body mass (kg) from ADP	39.1	4.7	28.0:52.1
Lean body mass (kg) from HHI	44.7 <sup>a</sup>	6.0	29.8:60.4
% body fat from ADP	34.1	9.0	12.2:55.7
% body fat from HHI	25.3 <sup>a</sup>	8.5	4.2:45.2

MUAC, mid-upper arm circumference; SF, skinfold thickness; ADP, air displacement plethysmography; HHI, hand-held impedancemetry.

<sup>a</sup>Significantly different ( $P < 0.0001$ ) from the measurement by ADP.

Table 2 Intrasubject reliability of hand-held impedancemetry and air displacement plethysmography

	n	Duplicates		Mean difference <sup>b</sup> (s.d.)	Technical error of measurement <sup>c</sup>	Percentage of reliability <sup>d</sup>
		First measure	Second measure			
<b>Hand-held impedancemetry</b>						
Lean body mass (kg)	51	46.9 (7.6)	47.0 (7.6)	0.19 (0.51)	0.38	0.8
% body fat	51	26.5 (10.3)	26.4 (10.5)	0.27 (0.53)	0.42	1.6
<b>Air displacement plethysmography</b>						
Body volume (l)	128	57.2 (13.5)	57.2 (13.5)	0.099 (0.10)	0.10	0.2
Density <sup>a</sup> (kg/l)	128	1.02530 (0.01928)	1.02532 (0.01960)	0.001842 (0.001850)	0.00182	0.2
Lean body mass <sup>a</sup> (kg)	128	38.5 (4.5)	38.6 (4.6)	0.50 (0.50)	0.50	1.3
% body fat <sup>a</sup>	128	34.7 (8.9)	34.7 (9.0)	0.84 (0.83)	0.84	2.4

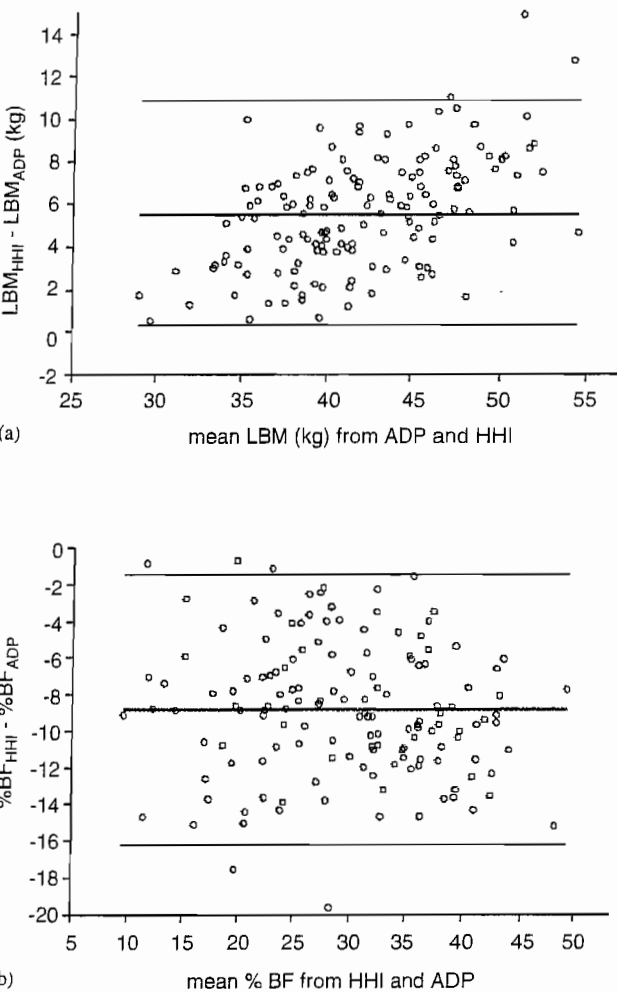
<sup>a</sup>Obtained with constant lung volume, that is, with predicted lung volume.

<sup>b</sup>Differences are absolute values.

<sup>c</sup> $\sqrt{(\Sigma d^2/2n)}$ ,  $d$ =difference between two observations,  $n$ =number of pairs of observations.

<sup>d</sup> $100 \times (\text{technical error}) / \text{mean of measurements}$ .

( $P < 0.0001$ ) biases resulted in unacceptable 95% limits of agreement between HHI and ADP (Figure 1). In Figure 1, Bland–Altman plots show the individual differences in LBM or %BF between the methods plotted against the means of the two methods. For estimation of LBM, the direction of the method-difference was related to the LBM of the individual. The correlation between the mean of the two methods and the difference in both methods was significant in the case of LBM ( $R = 0.51$ ,  $P < 0.0001$ ), but not %BF ( $R = -0.13$ ;  $P = 0.12$ ). As a result of the poor agreement between ADP and HHI methods, we developed equations to predict body composition measurements in African women by using the HHI estimate as predictor. Following allocation of subjects to the prediction ( $n = 100$ ) or validation ( $n = 46$ ) set, values for anthropometrical characteristics and body composition measurements of the two groups were not significantly different ( $P > 0.36$ ).



**Figure 1** The difference between LBM determined by HHI and ADP vs the mean LBM from the two methods (a), and difference between %BF determined by HHI and ADP vs the mean %BF from the two methods (b). The horizontal lines represent the mean (—) and 95% confidence intervals (—) of the individual differences.

Along with the HHI estimate, other possible predictor variables were chosen among anthropometrical characteristics that all have biological and statistical relationships with lean or fat compartments of the body. The first step of the selection of predictors was performed on the total sample (146 subjects). The one-predictor variable equation that yielded the highest  $R^2$  was the one using the HHI estimate for LBM ( $R^2 = 0.82$ ) and for %BF ( $R^2 = 0.83$ ) (Table 3). Alone, each anthropometrical variable led to a lower correlation with the response variable, notably weight or BMI that are usually used in predictive equations for body composition. Since anthropometrical variables can each be tested as second predictors (added to HHI estimate), their relationship with the HHI estimate was also tested by the correlation coefficient in the total sample (Table 3) in order to document possible multicollinearity. To obtain body composition estimates from HHI with the Omron device, it was necessary to enter the woman's age, weight and height. That is why these variables were not selected as possible predictor variables for predictive equations along with the HHI estimate. The relationship between weight, height or BMI with measured (ADP) or estimated (HHI) body composition values is presented in Table 3. As expected, better agreement was observed between LBM and body weight and between %BF and BMI.

The performance of the regressions was tested by generating them on the prediction subsample of 100 subjects (precision of the prediction) and then applying them to the remaining 46 subjects of the cross-validation set (accuracy of the prediction). Concerning the prediction of LBM, it appeared that any of two-predictor variable equations, formulated by adding each of the anthropometrical variables to the HHI estimate, resulted in an improved precision (or decreased RMSE value) when compared to the one-predictor equation with  $LBM_{HHI}$  (data not shown). Only the addition of MUAC to the one-predictor equation yielded a slightly improved accuracy (a decreased pure error value of 2.14 vs 2.18 kg; Table 4). In the case of the prediction of %BF, addition of wrist circumference or arm span as a second predictor did not change the  $R^2$  or the precision, and the other anthropometrical variables led to a slight change in  $R^2$  from 0.83 to 0.87. Again, only the addition of MUAC to the one-predictor equation yielded a slightly improved accuracy (a decreased pure error value of 3.32 vs 3.56%; Table 4). At the same time as testing the predictive equations with estimate from HHI, we tested the performance of predicting  $LBM_{ADP}$  or  $\%BF_{ADP}$  from only the three anthropometrical variables usually included in predictive equations (age, weight and height). In the cross-validation sample, the accuracy of the prediction of  $LBM_{ADP}$  obtained with age, weight and height was less (by 0.38 kg) than that obtained with  $LBM_{HHI}$  alone, and even less (by 1.9 kg) with age and BMI (Table 4). To predict  $\%BF_{ADP}$ , anthropometrical variables alone led to less accuracy (by about 1.3%) than obtained with  $\%BF_{HHI}$  as predictor (Table 4). Addition of MUAC or wrist circumference to the

**Table 3** Correlation analysis of LBM or %BF determined by the two methods, and with each anthropometrical variable in the total sample (n=146)

Response variable	Predictor variable	Correlation between the response variable and each predictor variable (R <sup>2</sup> )	Correlation between LBM <sub>HHI</sub> or %BF <sub>HHI</sub> and each anthropometrical variable (R <sup>2</sup> )
LBM <sub>ADP</sub>	LBM <sub>HHI</sub> (kg)	0.82	
	MUAC (cm)	0.41	0.57
	Wrist circumference (cm)	0.59	0.67
	Arm span (cm)	0.19	0.19
	Waist circumference (cm)	0.43	0.54
	Hip circumference (cm)	0.50	0.60
	Thigh circumference (cm)	0.45	0.56
	Sum of four SF (mm)	0.32	0.46
	Weight (kg)	0.62	0.77
	Height (cm)	0.37	0.44
	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.42	0.53
%BF <sub>ADP</sub>	%BF <sub>HHI</sub>	0.83	
	MUAC (cm)	0.75	0.69
	Wrist circumference (cm)	0.33	0.27
	Arm span (cm)	0.0037	0.0004
	Waist circumference (cm)	0.73	0.72
	Hip circumference (cm)	0.70	0.69
	Thigh circumference (cm)	0.73	0.71
	Sum of four SF (mm)	0.71	0.67
	Weight (kg)	0.70	0.64
	Height (cm)	0.0065	0.0028
	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	0.77	0.78

LBM<sub>ADP</sub>, lean body mass from air displacement plethysmography; LBM<sub>HHI</sub>, lean body mass from hand-held impedancemetry; %BF<sub>ADP</sub>, % body fat from air displacement plethysmography; %BF<sub>HHI</sub>, % body fat from hand-held impedancemetry; MUAC, mid-upper arm circumference; SF, skinfold thickness.

**Table 4** Predictive regression equations in the prediction subsample (n=100) and cross-validation in an independant subsample (n=46)

Response variable	Predictor variables	Validation in the sample used to establish the equations (n=100)			Cross-validation in an independent sample (n=46)	
		R <sup>2</sup>	RMSE (precision)	CV	Pure error (accuracy)	CV
			kg	%	Kg	%
LBM <sub>ADP</sub>	LBM <sub>HHI</sub>	0.81	1.91	4.9	2.18	5.6
	LBM <sub>HHI</sub> +MUAC	0.81	1.91	4.9	2.14	5.5
	Age+weight+height	0.70	2.43	6.2	2.56	6.6
	Age+BMI	0.50	3.12	7.9	4.08	10.5
%BF <sub>ADP</sub>	%BF <sub>HHI</sub>	0.83	3.73	11.1	3.56	10.2
	%BF <sub>HHI</sub> +MUAC	0.87	3.23	9.6	3.32	9.5
	Age+weight+height	0.80	4.03	11.9	4.84	13.9
	Age+BMI	0.80	4.02	11.9	4.88	14.0

R<sup>2</sup>, proportion of the total variance in the response variable explained by the predictor variables; RMSE, root means square error:  $\sqrt{\sum(\text{observed}-\text{predicted})^2/(n-p-1)}$ , where *n* is the number of observations and *p* is the number of predictor variables; Pure error:  $\sqrt{\sum(\text{observed}-\text{predicted})^2/n}$  where *n* is the number of observations; CV, coefficient of variation: RMSE or pure error value standardised for the mean value of the response variable; LBM<sub>ADP</sub>, lean body mass from air displacement plethysmography; LBM<sub>HHI</sub>, lean body mass from hand-held impedancemetry; %BF<sub>ADP</sub>, % body fat from air displacement plethysmography; %BF<sub>HHI</sub>, % body fat from hand-held impedancemetry; MUAC, mid-upper arm circumference.

anthropometrical predictions did not improve the accuracy (data not shown).

As the accuracy is similar to the precision, this justified expanding the regression model to the whole data set (n = 146), prediction and cross-validation sets combined.

The final models that could be applicable in the case of African women are given in Table 5, with one- or two-predictor equations. The addition of the MUAC measurement to the one-predictor variable model did not improve the precision of the prediction of LBM, and improved the

precision of the prediction of %BF (decrease in RMSE value only from 3.66 to 3.24%; Table 5). Only the prediction of %BF in the two-predictor variables equation (%BF<sub>HHI</sub> and MUAC) showed a nonsignificant intercept.

**Discussion**

Whole-body ADP is a new practical alternative method (McCrorry *et al*, 1995; Biaggi *et al*, 1999; Nunez *et al*, 1999) to more traditional body-composition reference methods. The ADP and hydrostatic weighing densitometry agree within 1% BF in adults (Fields *et al*, 2002). ADP is a reliable and valid technique that can quickly and safely evaluate body composition (Demerath *et al*, 2002). The validity of ADP has not yet been tested in Africa where reference methods (golden standards) are difficult to implement for financial and environmental (climatic) reasons. For the first time in Africa, this study used ADP and tested the reliability of ADP measurement. Our results showed that this technique is easy to use in an African population with very reliable measurements of body volume. Moreover, in the present study we have taken into account the higher lean mass density in black subjects by adapting Siri's (1961) equation for calculating %BF from body density, and we reach an equation consistent with the recommendation of Heyward (2001).

Compared with the ADP method, the HHI method, on average, overestimated LBM by 5.6 kg and underestimated %BF by 8.8% in our sample. This marked bias could be due to the fact that the incorporated algorithm of the HHI Omron analyser is probably intended to be used specifically for

Caucasians and not for any other ethnic groups (in our case African women). Furthermore, in a sample of 234 females from five European cities, Deurenberg *et al* (2001) found no significant difference between %BF from HHI and from reference methods, whereas relatively small but different bias have been observed among Singaporean Chinese, Malay and Indian females (Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2002).

The prediction of LBM or %BF using arm impedance, weight, height, age and sex assumes that measured arm impedance is representative of the whole body, and this is not necessarily true notably because of differences in body build and particularly relative arm length (Deurenberg & Deurenberg-Yap, 2002). The water content of the arm is one factor that determines conductance. LBM distribution may also play a role. The overestimation of LBM we observed in this study could be explained by relatively more arm muscle in African women than Caucasians. In the same way, if the measured arm impedance is low as a result of relatively short arms, with the same relative composition as long arms, this could also lead to overestimation of LBM (Snijder *et al*, 1999). In fact, individuals with a large LBM have less resistance to current flowing through their bodies compared to those with a smaller LBM (Baumgartner, 1996). Differences in arm muscle or relative arm length between ethnic groups could be the cause of the poor validity of the HHI method when used in African subjects. In our sample, the upper arm muscle area corrected for bone (as calculated from MUAC and the triceps skinfold thickness, Frisancho, 1990) was 33.2 cm<sup>2</sup> (s.d. 10.2), and the arm span (ie, essentially the sum of arm length + chest breadth) relative to body height was 1.043 (s.d. 0.027). It would be of interest to compare these

**Table 5** Predictive equations generated from the total sample (n=146) of African women

Response variable	Predictor variables	Predictive equation		Comparison with ADP measurement		
		Parameter estimate	P-value	R <sup>2</sup>	RMSE (precision)	CV
					kg	%
LBM <sub>ADP</sub>	Intercept	7.507957	<0.0001	0.82	1.97	5.0
	LBM <sub>HHI</sub>	0.707114	<0.0001			
	Intercept	7.69821	<0.0001	0.82	1.95	5.0
	LBM <sub>HHI</sub> MUAC	0.76733 -0.10294	<0.0001 0.056			
				%	%	
%BF <sub>ADP</sub>	Intercept	9.764396	<0.0001	0.83	3.66	10.7
	%BF <sub>HHI</sub>	0.962701	<0.0001			
	Intercept	-1.25699	0.51	0.87	3.24	9.5
	%BF <sub>HHI</sub> MUAC	0.66151 0.66535	<0.0001 <0.0001			

R<sup>2</sup>, proportion of the total variance in the response variable explained by the predictor variables, RMSE, root means square error:  $\sqrt{\sum(\text{observed-predicted})^2 / (n-p-1)}$ , where *n* is the number of observations and *p* is the number of predictor variables, CV, coefficient of variation: RMSE value standardised for the mean value of the response variable, LBM<sub>ADP</sub>, lean body mass from air displacement plethysmography; LBM<sub>HHI</sub>, lean body mass from hand-held impedancemetry; %BF<sub>ADP</sub>, % body fat from air displacement plethysmography; %BF<sub>HHI</sub>, % body fat from hand-held impedancemetry, MUAC, mid-upper arm circumference.



values with the characteristics of the population used to develop the Omron algorithm. Deurenberg *et al* (2002) showed significant differences in relative arm span among Chinese, Malays and Indians in Singapore, and these values (0.99–1.02) were lower than the mean value in our African sample. It is possible that body build factors that have an impact on the prediction might be at least partly responsible for the marked bias we observed in African women when using the Omron software to predict body composition.

As a result of the poor agreement between HHI and ADP measurements, we broke down this data set and used another independent sample to develop prediction equations to estimate LBM or %BF by using the HHI result as predictor. In both cases (LBM or %BF), results from HHI method dominated the prediction of LBM or %BF while the anthropometrical measurements made only a modest contribution, probably because they were already plugged into the input variables. Interestingly, we showed that anthropometrical predictors alone—without the addition of impedancemetry—led to slightly poorer accuracy (greater pure error value). Indeed, anthropometric measurements alone could explain 80% of the variance in relative body fat vs 83% with HHI. This means that integration of the anthropometric parameters as input variables probably has much more statistical power than the impedance measurement in itself, which explains only 3% additional variance. This also explains the excellent reproducibility of HHI (surprisingly nearly two times better than our reference method ADP) because when the same anthropometric variables are used as input in reproducibility tests, the impact of putative impedance differences from test to test (in the test–retest procedure) is largely overshadowed by the anthropometric factors.

The fact that there was a positive significant correlation between the magnitude of LBM and the difference between the measured (ADP) and predicted (HHI) LBM indicates that the bias was not consistent across the range of LBM measured. This suggests that the HHI method overestimates LBM to an increasing extent with an increase in lean mass. This error may well be due to an algorithm bias used to predict LBM from HHI with the software in the Omron apparatus. On the other hand, it should be noted that the bias of %BF prediction from HHI was consistent across the range of %BF measured. When dividing our sample into three BMI groups (below 18.5, 18.5–25 and above 25 kg/m<sup>2</sup>), the precision of the %BF<sub>ADP</sub> prediction from %BF<sub>HHI</sub> and MUAC was similar in the three BMI groups (RMSE value of 3.2, 3.4 and 3.0%, respectively) when compared to the value of 3.2% obtained in the total sample. Conversely, for the prediction of LBM<sub>ADP</sub> the lower the BMI, the better the precision (lower RMSE value). Indeed, the RMSE value was 1.5 kg in the group of thin subjects (BMI < 18.5) and 2.2 kg in overweight subjects (BMI ≥ 25), while it was similar in the normal BMI range and in the total sample (1.93 vs 1.95 kg). The largest difference in precision over BMI groups (0.7 kg LBM) represents 1.8% of the mean LBM. Further studies with

larger samples are needed to establish whether or not it is necessary to differentiate LBM predictive equations as a function of the subject's body composition. It would have been useful to know the algorithm used by the Omron device or the raw value of the hand-to-hand impedance. In this case, we could have tested and compared predictive equations when using the physical parameter directly related to the conducting lean body compartment, thus avoiding the use of indirect successive transformations always including body weight that was closely related to LBM<sub>HHI</sub>.

The RMSE of the regression between %BF<sub>ADP</sub> and %BF<sub>HHI</sub> we found after correction for the bias (3.7%;  $R^2 = 0.83$ ) was similar to that found by Deurenberg *et al* (2001) in European subjects using HHI Omron method and two reference methods (4.1%;  $R^2 = 0.81$ ). A subjective rating system for evaluating standard error of estimate for equations used to predict LBM in adults when validating a new method against densitometry (under-water weighing) was developed by Houtkooper *et al* (1996). A standard error of estimate of <2.3 kg in women is regarded as 'very good'. The predictive equations generated from our sample showed a pure error value of 2.14 kg LBM in the cross-validation study. These can now be applied in epidemiological studies or field studies in which only the predictor variables can be easily measured.

In conclusion, the HHI analyser significantly overestimated LBM and underestimated %BF in African women. However, by using body compartments estimated from HHI as a single predictor in an appropriate prediction equation for correction for the bias, body compartments could easily be quantified in African women in the field with good precision and reasonable accuracy. Addition of an anthropometrical variable as a second predictor was not necessary. In practical terms this means that body composition assessments based on HHI have their value in terms of ease of use in the field and for valid African population-specific prediction. It remains to be seen whether a combination of arm and leg impedancemetry in order to take into account lower limbs would further improve the prediction of body composition in Africans.

#### Acknowledgements

We are indebted to the women who agreed to take part in the study.

#### References

- Baumgartner RN (1996): Electrical impedance and total body electrical conductivity. In: *Human Body Composition*, eds. AF Roche, SB Heymsfield & TG Lohman, pp 79–107. Champaign: Human Kinetics.
- Baumgartner RN, Chumlea WC & Roche AF (1989): Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. *Am. J. Clin. Nutr.* 50, 221–226.
- Bell NA, McClure PD, Hill RJ & Davies PSW (1998): Assessment of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis for the prediction of total body water. *Eur. J. Clin. Nutr.* 52, 856–859.

- Biaggi RR, Vollman MW, Nies MA, Brener CE, Flakoll PJ, Levenhagen DK, Sun M, Karabulut Z & Chen KY (1999). Comparison of air-displacement plethysmography with hydrostatic weighing and bioelectrical impedance analysis for the assessment of body composition in healthy adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 69, 898-903
- Bland JM & Altman DG (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 307-310.
- Bland JM & Altman DG (1995). Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet* 346, 1085-1087.
- Demerath EW, Guo SS, Chumlea WC, Towne B, Roche AF & Siervogel RM (2002). Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 26, 389-397.
- Dempster P & Aitkens S (1995). A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 1692-1697.
- Deurenberg P (1992). *The Assessment of Body Composition: Uses and Misuses*. Annual Report. Lausanne. Nestlé Foundation, pp 35-72.
- Deurenberg P & Deurenberg-Yap M (2002). Validation of skinfold thickness and hand-held impedance measurements for estimation of body fat percentage among Singaporean Chinese, Malay and Indian subjects. *Asia Pacific J. Clin. Nutr.* 11, 1-7.
- Deurenberg P, Yap M & Van Staveren WA (1998). Body mass index and percent body fat: a meta analysis among different ethnic groups. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* 22, 1164-1171.
- Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, Testolin G, Vigano R & Volllaard N (2001). The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur. J. Clin. Nutr.* 55, 973-979
- Deurenberg P, Deurenberg-Yap M & Schouten FJM (2002). Validity of total and segmental impedance measurements for prediction of body composition across ethnic populations groups. *Eur. J. Clin. Nutr.* 56, 214-220.
- Fields DA, Goran MI & McCrory MA (2002). Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am. J. Clin. Nutr.* 75, 453-467
- Frisancho AR (1990). *Anthropometric Standards for the Assessment of Growth and Nutritional Status*. Ann Arbor: The University of Michigan Press
- 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. *Ein. J. Clin. Nutr.* 43, 779-791.
- Guo SS & Chumlea WC (1996). Statistical methods for the development and testing of predictive equations. In: *Human Body Composition*, eds. AF Roche, SB Heymsfield, TG Lohman, pp 191-202. Champaign: Human Kinetics.
- Heyward V (2001). ASEP methods recommendation: Body composition assessment. *J. Exerc. Physiol. on line* 4, 1-12.
- Houtkooper LB, Lohman TG, Going SB & Howell WH (1996). Why bioelectrical impedance analysis should be used for estimating adiposity. *Am. J. Clin. Nutr.* 64(Suppl), 436S-448S
- Jebb SA, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR & Prentice AM (2000). Evaluation of a novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br. J. Nutr.* 83, 115-122.
- Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuck WW & Lykken GE (1985). Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurement of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.* 41, 810-817.
- Lohman TG, Roche AF & Martorell R (ed.) (1988). *Anthropometric Standardisation Reference Manual*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- McCrory MA, Gomez TD, Bernauer EM & Mole PA (1995). Evaluation of a new air displacement plethysmography for measuring human body composition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27, 1686-1691.
- Nunez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang ZM & Heymsfield SB (1997). Bioimpedance analysis: evaluation of a leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29, 524-531.
- Nunez C, Kovera AJ, Pietrobello A, Heshka S, Horlick M, Kehayias JJ, Wang J & Heymsfield SB (1999). Body composition in children and adults by air displacement plethysmography. *Eur. J. Clin. Nutr.* 53, 382-387.
- Ortiz O, Russell M, Daley TL, Baumgartner RN, Waki M, Lichtman S, Wang J, Pierson RN & Heymsfield SB (1992). Differences in skeletal muscle and bone mineral mass between black and white females and their relevance to estimates of body composition. *Am. J. Clin. Nutr.* 55, 8-13.
- Siri WE (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: *Techniques for Measuring Body Composition*, eds. J Brozek, A Henschel, pp 223-244. Washington, DC: National Academy of Sciences.
- Snijder MB, Kuyf BEM & Deurenberg P (1999). The effect of body build on the validity of predicted body fat from body mass index and bioelectrical impedance. *Ann. Nutr. Metab.* 43, 277-285.
- Stewart SP, Bramley PN, Heighton R, Green JH, Horsman A, Losowsky MS & Smith MA (1993). Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments: comparison with dual-energy X-ray absorptiometry. *Br. J. Nutr.* 69, 645-655
- Wagner DR & Heyward VH (2000). Measures of body composition in blacks and whites: a comparative review. *Am. J. Clin. Nutr.* 71, 1392-1402.
- Wagner DR & Heyward VH (2001). Validity of two-component models for estimating body fat of black men. *J. Appl. Physiol.* 90, 649-656.
- Ward LC, Heitmann BL, Craig P, Stroud D, Azinge EC, Jebb S, Cornish BH, Swinburn B, O'Dea K, Rowley K, McDermott R, Thomas BJ & Leonard D (2000). Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. Implications for the population specificity of prediction equations. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 904, 199-202.

# Comparison of foot-to-foot impedance with air-displacement plethysmography to evaluate body composition in African women

<sup>1</sup>A. Gartner, <sup>2</sup>A. Dioum, <sup>1</sup>B. Maire, <sup>1</sup>F. Delpuech and <sup>3</sup>Y. Schutz

<sup>1</sup>Nutrition Unit, UR 106 (WHO Collaborating Centre for Nutrition), IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Montpellier, France.

<sup>2</sup>Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, West Africa.

<sup>3</sup>Institute of Physiology, Faculty of Medicine, University of Lausanne, Switzerland.

The new foot-to-foot impedance (FFI) device, the *Bodymaster*<sup>TM</sup> (SEB, France), provides a precise method for estimating lean or fat mass within a large range of body composition, but the influence of ethnicity has yet to be accounted for. The first objective of this study was to test the validity of body composition estimated from the FFI method compared with whole body densitometry performed by air displacement plethysmography (ADP) in African women. The second objective was to derive new prediction equations to estimate lean body mass (LBM) and percentage body fat (%BF) in African women from FFI results. A total sample of 170 African women from Dakar (Senegal, West Africa), volunteered for the study. Mean (SD) age was 30.6 y (8.7), weight 63.4 kg (15.2) and BMI 23.4 kg/m<sup>2</sup> (5.2). Body composition values estimated by FFI were compared to those measured by ADP. The higher specific density of lean body tissue in black subjects as compared to Caucasian subjects was taken into account for the calculation of %BF from body density. Estimations from FFI showed a bias (mean difference) of 2.4 kg LBM, ie 6%, ( $P < 10^{-4}$ ) and -3.5 %BF, ie 10%, ( $P < 10^{-4}$ ) and errors (SD of the bias) of 2.7 kg LBM and 4.2 %BF. In order to correct for the bias, specific predictive equations were developed. With the FFI result as a single predictor, error values were of 2.6 kg LBM and 4.3 %BF in the prediction group (n=112), and of 2.6 kg LBM and 4.1 %BF in the cross-validation group (n=58). The addition of anthropometrical predictors was not necessary. The study found that the FFI analyser slightly but significantly overestimated LBM, and underestimated %BF in African women, suggesting that the ethnic factor may jeopardize its accuracy. However, after correction for the bias, using an independent sub-sample, it was easy to estimate the body compartments with reasonable accuracy in African women by using the FFI result in a single predictor equation.

**Key words:** Body composition, foot-to-foot bioelectrical impedance, air displacement plethysmography, predictive equations, African women.

## Introduction

The variation in nutritional status and body composition associated with inadequate food and energy supplies is of great concern in developing countries. BMI is used in epidemiological settings as an indicator of thinness or overweight and obesity [1]. However, the most obvious failure of BMI to characterize malnutrition is that it does not differentiate between body lean and fat tissues. Breaking down the quantification of body composition into fat and lean tissues is important to diagnose the excess or deficiency in fat and lean mass that are associated with the risk or onset of disease. Straightforward field methods suitable for

epidemiological measurements of body composition are particularly needed in low-income countries. Since the device is portable, and the method non-invasive and easy to perform, the bioelectrical impedance method is theoretically suitable for epidemiological field measurements. As conductance is mainly determined by the amount of water, which is only present in the lean body mass (LBM), impedance

---

Address for correspondence: A. Gartner, Nutrition Unit, UR 106, IRD, B.P. 64501, 911 Avenue Agropolis, 34394 Montpellier Cedex 5, France  
Fax: +33 4 67 41 63 30  
E-mail: gartner@mpl.ird.fr

measurements should distinguish between fat and lean mass. The classical (whole body) bioelectrical method measures impedance from foot to hand [2] by using two pairs of surface electrodes. The subject needs to lay supine, which limits the practical application of the method, especially in the field. Some authors have shown that segmental impedance measurements of the legs or the arms allow fairly accurate estimations of body composition [3–6]. More recently, impedance analysers were developed that measure segmental impedance from foot to foot [7–9] or from hand to hand [10].

Measuring foot-to-foot impedance (FFI) is a variation on the traditional surface electrode method and is even more straightforward and simple to use. In the traditional method, surface electrodes have to be connected at specific anatomical sites whereas, with FFI, the system's four electrodes are in the form of stainless steel footpads mounted on the top surface of a platform scale. Each footpad is divided in half so that the anterior and posterior portions form separate electrodes, one under the heel of the foot and the other under the sole of the foot. The FFI analyser uses built-in software to assess body composition, using impedance from foot to foot, and weight, height, age and gender as additional input parameters. Data from Nunez et al [7] indicate that pressure-contact electrodes provide impedance measurements and body composition estimates that are comparable with those obtained with the use of conventional gel electrodes. Bell et al [8] found that, at the population scale, predictions of total body water obtained using FFI technology compared well with measured total body water. Jebb et al [9] showed that the FFI method is a valid alternative to other impedance-based prediction techniques for the measurement of body fat. This is explained by the fact that, in the conventional whole-body tetra-polar system, the contribution of body segments to the measured impedance is disproportionate to their mass, with legs contributing 43–44% of the measured impedance [4, 6].

Very recently, a new FFI device, the *Bodymaster*<sup>TM</sup> (SEB Group, France), was cross-validated in an international, multiple centre and multiple ethnic group study [11]. Subjects included in this validation study were Asians, African Americans, and Caucasians from North America, West Europe and the republic of Singapore. However, black subjects from Africa were not included in these studies. It appears that FFI is a precise method in a large range of body compositions, but that nevertheless, the influence of ethnicity should be taken into account. Boulier et al [11] suggested that the precision of the FFI method could be improved by taking into account the ethnic group factor that represented nearly 20% of the differences between the FFI and reference methods observed in their validation study. Data indicating the validity of the *Bodymaster*<sup>TM</sup> device in estimating body composition in Africa have not yet been reported.

The aim of the present study was to test the validity of FFI estimated body composition in African women,

since this is particularly important for the quantification of LBM in the assessment of nutritional status. In the case of a high level of bias, adjustment of the values using a cross-validation study was envisaged. For this purpose, body composition was measured in a group of 170 Senegalese women by using whole-body density from air displacement plethysmography (ADP), taking into account the specific lean-mass density in black subjects. Body composition was estimated using FFI together with anthropometrical measurements.

## Subjects and methods

### Subjects

The sample included 170 women who were recruited from the community in a peri-urban neighbourhood of Dakar, the capital city of Senegal (West Africa). The ethical committee of the University of Dakar approved this study. All subjects gave their written consent to participate in the study after being thoroughly informed of its purpose, requirements and procedures. All measurements were performed at the IRD (French Institute of Research for Development) Dakar Centre, Senegal. Preceding the measurements, subjects fasted from food and drinks for at least 6 h, did not perform strenuous exercise, and emptied their bladder prior to the measurements.

### Anthropometry

Measurements were made by trained personnel using standard procedures [12]. The subjects' body weight was measured during the ADP measurement procedure (see below). Standing height was measured to the nearest 0.1 cm with a portable gauge (Seca, Germany). Sitting height was measured with the same gauge, while sitting on a stool. The height of the stool was then subtracted from the measurement. Leg length was calculated as height minus sitting height. Relative leg length was calculated as leg length divided by height (cm/cm). All circumferences were measured to the nearest 0.1 cm with a non-elastic metric measuring tape, with the subject wearing minimal clothing. The left mid-upper arm circumference (MUAC) was measured at the midpoint of the upper arm with the subject's arm relaxed. For the measurement of the hip circumference, the measurer squatted beside the subjects to judge the level of maximum extension of the buttocks. The circumference was measured at this level on a horizontal plane. Waist circumference was measured on a horizontal plane at the narrowest part of the torso (ie the smallest horizontal circumference in the area between the ribs and iliac crest). Skinfold thickness measurements were made on the left side of the body using a Holtain (Crymych, UK) skinfold calliper. The measurements were made to the nearest millimetre at the triceps biceps, subscapular and supra-iliac sites in each woman. Measurements were made in duplicate and the mean value was used in statistics. All measurements were made by the same observer (AG).

### Foot-to-foot impedance

The subject stood barefoot on the foot-to-foot impedance apparatus (*Bodymaster*<sup>TM</sup>, SEB Group, France). The apparatus records body weight, and when this is stable, predicts LBM ( $LBM_{FFI}$ ) and fat mass via pre-entered subject's age, height and gender and the measurement of impedance from one foot to the other one (the impedance raw value is not given by the analyser).  $LBM_{FFI}$  and body fat mass (kg) values were read to the nearest 0.1 kg from a digital display and recorded. Percentage body fat (%BF) was calculated ( $\%BF_{FFI}$ ) as the ratio of fat mass to body weight.

### Air displacement plethysmography

The ADP method used the *BOD POD*<sup>TM</sup> body-composition system (model 2000A, Life Measurement Instruments, Concord, CA, USA; software version 1.69. 19 June 1997). The device is a single egg-shaped unit consisting of two chambers: a test chamber where the subject is seated and a reference chamber with the breathing circuit. As previously described in detail [13], the system determines body volume through an air displacement method by the application of Poisson's gas law [14]. Wearing minimal clothing, subjects were first weighed to the nearest 0.01 kg using the *BOD POD*<sup>TM</sup> system electronic scale (Tanita Corp., Tokyo, Japan). Since hair contributes to measurement error, subjects were required to wear an acrylic bathing cap. After a two-point calibration with the chamber empty and with a standard 50 l cylinder in the test chamber, the volume of the subject was obtained while she was seated quietly in the test chamber and breathing normally. An average of two trials was used in estimating body volume. To correct for the volume of air exhaled by the subject (thoracic gas volume, TGV) that comes into contact with the chamber gas volume during the body volume test, while in the test chamber and wearing nose clips, the subject was instructed to perform gentle 'puffing' against a momentarily occluded airway. During this brief procedure, the subject breathed through disposable tubing that is connected to a pulmonary function analyser and then quickly alternated between contraction and relaxation of the diaphragm. A predicted, rather than measured, value for the TGV can be used that is calculated by a formula using height and age (the *BOD POD*<sup>TM</sup> manufacturer keeps the exact equation confidential since it is proprietary, but the final equations were based on reference literature and company research). For 36 of the 170 subjects, a measured TGV was not adequately obtained, and the predicted TGV was used. The adjusted body volume and the subject's body weight were used to calculate body density.

As we reported in a previous study in Senegalese women [15],  $\%BF_{ADP}$  was calculated from body density taking into account the value of 1.106 kg/l given by Ortiz et al [16] for the density of LBM in black women, and the value of 0.9007 kg/l for the density of fat used in black men by Wagner & Heyward [17]. The precise equation we established is:

$$\%BF_{ADP} = ((4.852/\text{density}_{ADP}) - 4.387) \times 100.$$

$LBM_{ADP}$  was estimated by calculating body weight minus body fat mass.

### Statistical analysis

Statistical software used for data entry and validation was Epi-Info (CDC, Atlanta, GE, USA). Statistical analyses were performed using the SAS system for Windows (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA), release 8.0. For each analysis, the SAS procedures used are described below. Values are expressed as means and standard deviations (SD). The critical value for the probability of a Type I error was set at 0.05 for all analyses.

The intra-subject reliability of the ADP or FFI measurement was tested by performing duplicates. The intra-subject differences were calculated as absolute values. The technical error of measurement ( $TEM = \sqrt{\Sigma(\text{intrasubject difference})^2 / 2 \times \text{number of duplicates}}$ ) and the percentage reliability ( $TEM \times 100 / \text{overall mean of the measurements}$ ) were calculated.

The bias (predicted-measured) value of LBM or %BF was tested against zero (*t*-test procedure, paired statement). The dependency of the bias on the mean of measured and predicted values was tested using correlation analysis. The 95% limits of agreement of the bias were calculated as  $\pm 1.96 \times SD$  of the bias [18, 19].

Regression analysis was used to predict values from ADP by using the FFI estimate, according to Guo & Chumlea [20] as described below. The predictor variables were selected by using the maximum  $R^2$  procedure. To test if the predictive equations fit well to the data from which they were generated, we used the root means square error (RMSE) as a measurement of the precision of the predictive equation. The smaller the RMSE value, the greater the precision. The RMSE is the square root of the sum of the squares of the deviations of the predicted values from the measured values, divided by the total number of observations ( $n$ ) minus the number of parameters ( $p$ ), that is  $RMSE = \sqrt{\Sigma(\text{observed-predicted})^2 / (n-p-1)}$ . The coefficient of variation (CV) is the RMSE value standardized for the mean value of the response variable. The accuracy of the predictive equations was tested by a cross-validation test. Cross-validation was performed by the data-splitting approach in which two-thirds of the sample ( $n=112$ ) was used to develop an equation, and the remaining one-third ( $n=58$ ) was used to cross-validate it. Analysis of variance (*t*-test procedure, class statement) was used to compare validation groups. To test the performance of the predictive equations on cross-validation, we used the pure error as a measurement of the accuracy of the predictive equations. The smaller the pure error value, the greater the accuracy. The pure error is the square root of the sum of squared differences between the predicted and the measured values divided by the number of subjects ( $n$ ) in the cross validation sample; that is pure error =  $\sqrt{\Sigma(\text{observed-predicted})^2 / n}$ . Values of LBM and %BF

Table 1. Characteristics of the 170 Senegalese women

Characteristic	Mean value	SD	Minimum ; maximum
Age (years)	30.6	8.7	18 ; 56
Body weight (kg)	63.4	15.2	33.4 ; 118.6
Height (cm)	164.3	5.6	152.2 ; 180.5
Leg length (cm)	80.7	4.0	66.7 ; 91.6
Relative leg length	0.491	0.016	0.398 ; 0.528
Body mass index (kg/m <sup>2</sup> )	23.4	5.2	12.7 ; 42.7
Mid-upper arm circumference (cm)	28.7	5.0	19.5 ; 41.5
Waist circumference (cm)	72.8	10.7	53.4 ; 110.7
Hip circumference (cm)	99.3	11.1	72.1 ; 131.0
Waist/hip ratio	0.73	0.05	0.63 ; 0.90
Sum of 4 skinfold thicknesses (mm)	61.5	31.3	16.1 ; 246.0
Lean body mass (kg) from ADP	39.9	5.1	28.0 ; 53.3
Lean body mass (kg) from FFI	42.2 *	5.0	28.5 ; 50.9
% body fat from ADP	35.2	9.5	12.2 ; 57.1
% body fat from FFI	31.7 *	8.2	15.4 ; 61.0

ADP = air displacement plethysmography; FFI = foot-to-foot impedance.

\*significantly different ( $P < 0.0001$ ) from the measurement by ADP.

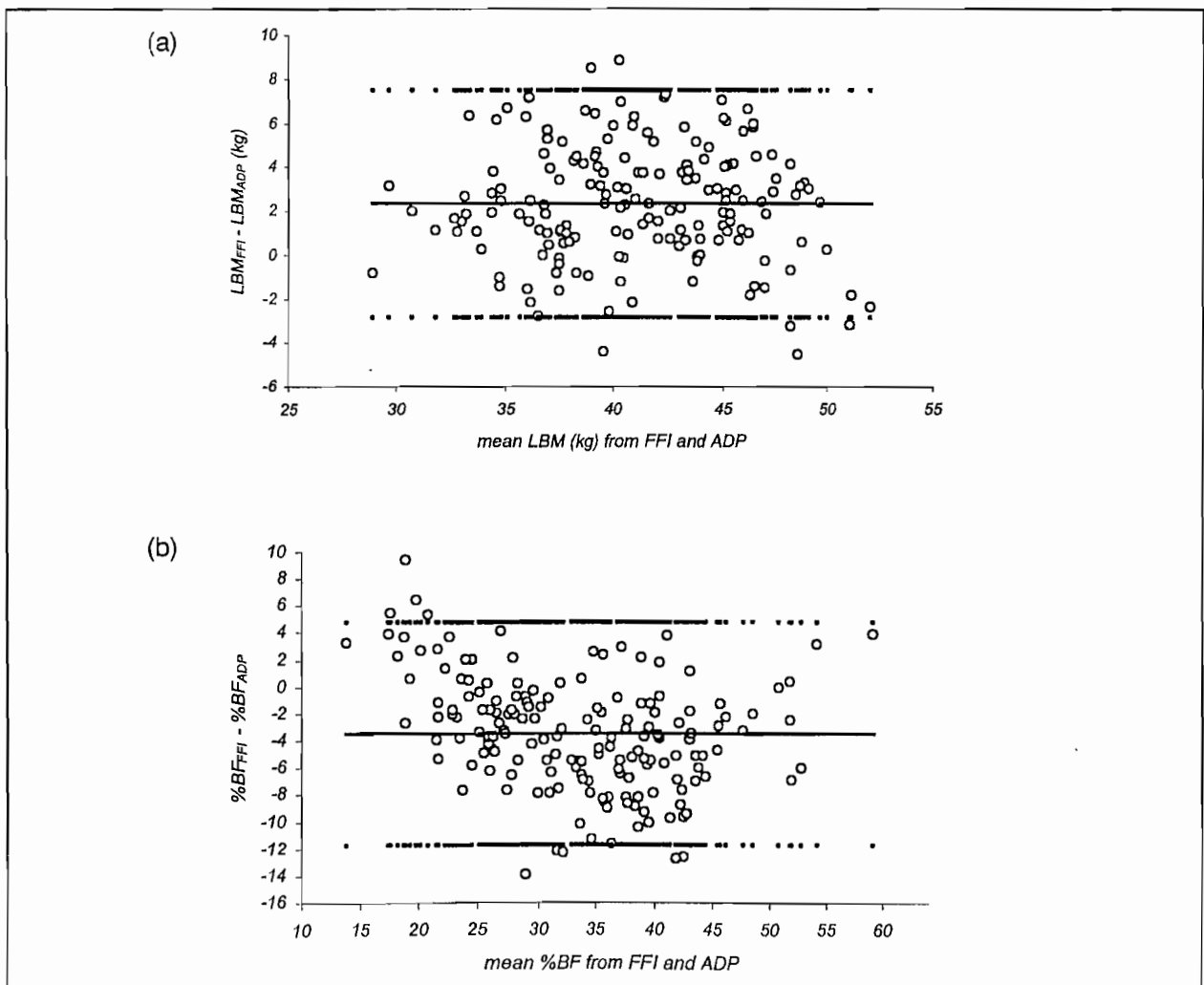


Figure 1. The difference between lean body mass (LBM) determined by foot-to-foot impedance (FFI) and air displacement plethysmography (ADP) vs the mean LBM from the two methods (a), and difference between percentage body fat (%BF) determined by FFI and ADP vs the mean %BF from the two methods (b). The horizontal lines represent the mean (—) and 95% confidence intervals (.....) of the individual differences.

predicted from the new equations were also compared with the measurements by ADP by testing their difference against zero.

## Results

Some characteristics of the women are given in Table 1. These data comprise a wide range of BMI (12.7–42.7 kg/m<sup>2</sup>) and of %BF (12.2–57.1%). For a validation study, it is not a prerequisite that the sample is representative of the total population, but a wide distribution of age and BMI is better to track a heterogeneous population. In our sample, the proportion of subjects with BMI < 18.5 kg/m<sup>2</sup> was 19.4%, with BMI ≥ 25 36.5% and with BMI ≥ 30 9.4%. Table 1 also presents the different anthropometrical variables that were tested as possible predictors.

### Reliability of measurements

The intra-subject reliability of FFI was estimated in 87 women. Absolute values of the difference between replicates of LBM<sub>FFI</sub> ranged from 0 to 1.0 kg (mean difference 0.1 kg, ie 0.3% of mean LBM value; SD 0.2;  $P < 0.0001$ ), and between replicates of %BF<sub>FFI</sub> from 0 to 1.0% (mean difference 0.2%, ie 0.6% of mean %BF value; SD 0.3;  $P < 0.0001$ ), and the percentage reliability was good (less than 0.7%). The intra-subject reliability of ADP was tested in 149 subjects showing a percentage reliability of 1.2% for LBM and 2.2% for %BF when using a constant (predicted) lung volume, confirming our previous findings [15].

### Comparison of methods

FFI overestimated LBM compared to ADP by an average of 2.4 kg, resulting in an underestimation of %BF by 3.5%, the errors being 2.7 kg and 4.2%, respectively. The biases, ie the difference between the methods, were significant ( $P < 0.0001$ ). In Figure 1, Bland-Altman plots show a considerable bias. The correlation between the bias and the mean of the two methods was not significant in the case of LBM ( $R = -0.048$ ;  $P = 0.53$ ), but was significant for %BF ( $R = -0.32$ ,  $P < 0.0001$ ). Moreover, the bias was not related to leg length ( $P = 0.093$  and  $P = 0.28$ ) but rather to relative leg length ( $P = 0.025$  and  $P = 0.027$  for LBM and %BF, respectively) indicating a greater overestimation of LBM or a greater underestimation of %BF with increasing relative leg length. Relative leg length significantly explained 3.0% and 2.9% of the variance of the bias in LBM and %BF, respectively.

### New predictive equations

In order to correct for the bias between ADP and FFI methods, and considering that access to the algorithm was not possible, we developed new equations to calculate body composition measurements in African women by using the FFI estimate as the predictor. Along with the FFI estimate, other possible predictor variables were chosen among anthropometrical characteristics that have biological and statistical relationships with the lean or fat compartments of the body or

Table 2. Correlation analysis between LBM<sub>ADP</sub> or %BF<sub>ADP</sub> and predicted LBM<sub>FFI</sub> or %BF<sub>FFI</sub> or anthropometrical variables in the total sample (n=170)

Measurement	LBM <sub>ADP</sub> R <sup>2</sup>	%BF <sub>ADP</sub> R <sup>2</sup>
LBM <sub>FFI</sub>	0.74	
%BF <sub>FFI</sub>		0.80
Mid-upper arm circumference	0.48	0.77
Waist circumference	0.48	0.76
Hip circumference	0.57	0.73
Waist/hip ratio	0.06	0.23
Sum of 4 skinfold thicknesses	0.34	0.64
Weight	0.66	0.72
Height	0.33	0.0072
Body mass index	0.50	0.78

LBM<sub>ADP</sub> = lean body mass from air displacement plethysmography; %BF<sub>ADP</sub> = % body fat from air displacement plethysmography; LBM<sub>FFI</sub> = lean body mass from foot-to-foot impedance; %BF<sub>FFI</sub> = % body fat from foot-to-foot impedance.

that concern body build. The first step in the selection of predictors was performed on the total sample (170 subjects). The one-predictor variable equation that yielded the highest R<sup>2</sup> was the one using the FFI estimate for LBM (R<sup>2</sup>=0.74) as for %BF (R<sup>2</sup>=0.80) (Table 2). To obtain body composition estimates from FFI, the *Bodymaster*<sup>TM</sup> device used measured body weight and it was necessary to enter the woman's age and height. This explains why these three variables (or BMI) were not selected as possible predictor variables for predictive equations along with the FFI estimate.

The performance of the regression analyses was tested in a sub-sample of 112 subjects (precision of the prediction) and by applying the model to the remaining 58 subjects of the cross-validation set (accuracy of the prediction). Following random allocation of subjects to the prediction or validation set, values for anthropometrical characteristics and body composition measurements of the two groups were not significantly different ( $P > 0.56$ ). By using the estimate from FFI as a single predictor variable, the RMSE value (precision of the prediction) was 2.6 kg LBM and 4.3 %BF, and the pure error value (accuracy in cross-validation) was 2.6 kg LBM and 4.1 %BF (Table 3). Concerning the prediction of LBM, the addition of one anthropometrical characteristic as a second predictor variable yielded similar R<sup>2</sup>, RMSE or pure error value (Table 3). For the prediction of %BF, the addition of one anthropometrical variable led to a similar R<sup>2</sup> value but to a similar or lower RMSE value, the precision being slightly improved with the sum of skinfolds or MUAC as the second predictor (Table 3). The accuracy obtained with %BF<sub>FFI</sub> estimate as the single predictor slightly declined (higher pure error value) when adding the sum of skinfolds as the second predictor variable (Table 3). We tested whether an adjustment for relative leg length in each of the regressions presented in Table 3 improved the prediction. In this

Table 3. Predictive regression equations in the prediction sub-sample (n=112) and cross-validation in an independent sub-sample (n=58).

Response variable	Predictor variables	Validation in the sample used to establish the equations (n=112)			Cross-validation in an independent sample (n=58)	
		R <sup>2</sup>	RMSE (precision) kg	CV %	Pure error (accuracy) kg	CV %
LBM <sub>ADP</sub>	LBM <sub>FFI</sub>	0.76	2.6	6.6	2.6	6.5
	LBM <sub>FFI</sub> and MUAC	0.76	2.6	6.6	2.6	6.5
	LBM <sub>FFI</sub> and waist circumference	0.75	2.6	6.6	2.6	6.5
	LBM <sub>FFI</sub> and hip circumference	0.76	2.6	6.6	2.6	6.5
	LBM <sub>FFI</sub> and waist/hip ratio	0.76	2.6	6.5	2.5	6.4
	LBM <sub>FFI</sub> and sum of 4 skinfolds	0.76	2.6	6.5	2.6	6.4
%BF <sub>ADP</sub>	%BF <sub>FFI</sub>	0.75	4.3	12.2	4.1	11.7
	%BF <sub>FFI</sub> and MUAC	0.77	4.2	11.9	4.1	11.6
	%BF <sub>FFI</sub> and waist circumference	0.76	4.3	12.1	4.0	11.5
	%BF <sub>FFI</sub> and hip circumference	0.75	4.3	12.3	4.1	11.7
	%BF <sub>FFI</sub> and waist/hip ratio	0.76	4.3	12.1	4.1	11.6
	%BF <sub>FFI</sub> and sum of 4 skinfolds	0.77	4.2	11.9	4.5	12.7

R<sup>2</sup> = proportion of the total variance in the response variable explained by the predictor variables; RMSE = root means square error:  $\sqrt{\sum(\text{observed-predicted})^2/(n-p-1)}$  where n is the number of observations and p is the number of predictor variables; Pure error =  $\sqrt{\sum(\text{observed-predicted})^2/n}$  where n is the number of observations; CV = coefficient of variation: RMSE or pure error value standardized for the mean value of the response variable; LBM<sub>ADP</sub> = lean body mass from air displacement plethysmography; LBM<sub>FFI</sub> = lean body mass from foot-to-foot impedance; %BF<sub>ADP</sub> = % body fat from air displacement plethysmography; %BF<sub>FFI</sub> = % body fat from foot-to-foot impedance; MUAC = mid-upper arm circumference.

Table 4. Predictive equations generated from the total sample (n=170) of African women.

	Predictive equation				Comparison with ADP measurement Regression equation		
	Predictor variables	Parameter estimate	Standard error	P value	R <sup>2</sup>	RMSE (precision) kg	CV %
LBM <sub>ADP</sub>	Intercept	2.7	1.7	0.12	0.74	2.6	6.5
	LBM <sub>FFI</sub>	0.88137	0.04035	<0.0001			
%BF <sub>ADP</sub>	Intercept	2.1	1.3	0.10	0.80	4.2	12.0
	%BF <sub>FFI</sub>	1.04157	0.03956	<0.0001			

R<sup>2</sup> = proportion of the total variance in the response variable explained by the predictor variables; RMSE = root means square error:  $\sqrt{\sum(\text{observed-predicted})^2/(n-p-1)}$  where n is the number of observations and p is the number of predictor variables; CV = coefficient of variation: RMSE value standardized for the mean value of the response variable; LBM<sub>ADP</sub> = lean body mass from air displacement plethysmography; LBM<sub>FFI</sub> = lean body mass from foot-to-foot impedance; %BF<sub>ADP</sub> = % body fat from air displacement plethysmography; %BF<sub>FFI</sub> = % body fat from foot-to-foot impedance.

case, the precision and the accuracy were similar when compared to the results without adjustment (data not shown). The predictive equation for body composition comprises only the FFI estimate, as no benefit in prediction error was observed when an anthropometrical characteristic was included in the regression, and, in addition, their measurement can be difficult in the field.

As the accuracy value was similar to the precision value, this justified expanding the one-predictor regression model to the whole data set (n=170), ie

prediction and cross-validation sets combined. The final models that can now be used for African women are given in Table 4. The prediction of LBM or %BF showed a non-significant intercept. On this basis, predicted LBM and %BF were calculated for each subject of the whole group. The bias initially observed between ADP and FFI methods (2.4 kg LBM and -3.5 %BF) was nearly zero (less than 10<sup>-5</sup> kg LBM or %BF) when using predicted values from the new equations, however the error remained similar (2.6 kg LBM and 4.2 %BF).



At the same time as testing the predictive equations with the estimate from FFI, we tested the performance of predicting  $LBM_{ADP}$  or  $\%BF_{ADP}$  from only the three anthropometrical variables usually included in predictive body composition equations (age, weight and height). In the total sample, the predictions obtained with age, weight and height showed similar precision (RMSE value of 2.5 kg LBM and 4.3 %BF) when compared to those obtained with the FFI estimate alone as predictor. However, intercept values were very high (-17 kg LBM and 58 %BF).

#### *Effect of body composition on error*

Since the direction of the %BF difference between ADP and FFI was related to the %BF value of the individual, we tested the effect of BMI groups on the precision of predictive equations, BMI being closely linked to  $\%BF_{ADP}$  ( $R=0.88$ ;  $P<10^{-4}$ ). When dividing our sample into three BMI groups (below 18.5, 18.5 to 25, and above 25 kg/m<sup>2</sup>), the RMSE value of the  $LBM_{ADP}$  prediction from  $LBM_{FFI}$  was lower in the two first BMI groups (2.2 and 2.3 kg LBM, respectively), and it was higher in the group of overweight ( $BMI \geq 25$ ) subjects (2.9 kg LBM), when compared to the value of 2.6 kg obtained in the total sample. The largest difference in precision over BMI groups (0.7 kg LBM) represented 1.8% of the mean LBM. However, this led to similar CV for the LBM prediction in the three BMI groups (6.2%, 6.1% and 6.6%, respectively, vs 6.5% in the total sample). Conversely, for the prediction of  $\%BF_{ADP}$  from  $\%BF_{FFI}$ , the lower the BMI, the poorer the precision (higher RMSE value). Indeed, the RMSE value was 4.8% in the group of thin subjects ( $BMI < 18.5$ ), and 3.6% and 3.6% in normal BMI range and overweight subjects, while it was 4.2% in the total sample. Moreover, the CV differed among the three BMI groups, being 20.6%, 10.8% and 8.1%, respectively (vs 12.0% in the total sample).

## Discussion

### *Validity of FFI measurements*

In the present study, the body composition estimated from FFI was validated against the body composition measured from ADP, which was used as the reference method. As in a previous study [15], we showed that the ADP technique is easy to use in an African population, with very reliable measurements of body volume. Moreover, we have taken into account the higher LBM density in black subjects by adapting Siri's [21] equation for calculating %BF from body density, reaching an equation consistent with the recommendation made by Heyward [22].

Compared with the ADP method, the FFI method, on average, overestimated LBM by 2.4 kg and underestimated %BF by 3.5% in our sample. The LBM bias was larger than the value of 0.7 kg LBM relative to DXA, or 1.2 kg LBM relative to hydrostatic weighing, that Boulier et al [11] observed in their international validation study of the *Bodymaster*<sup>TM</sup> device involving six different centres (none in Africa) and different ref-

erence methods. Our results confirm the need to take into account ethnicity when using the *Bodymaster*<sup>TM</sup> algorithm, as shown by Boulier et al [11]. The need to develop race-specific bioelectrical impedance equations has already been suggested by Heyward [23] for black American subjects, and underscored by Ward et al [24] in the case of African subjects.

In our study, the bias for LBM estimation was not related to the amount of LBM and the %BF bias was not constant across all individuals, suggesting that FFI device underestimates true %BF to an increasing extent at higher values in African women. This error may well be due to the algorithm used to predict %BF from measured foot-to-foot impedance within the software of the apparatus. The reasons for such a large bias may be differences in relative leg length or composition between the African population studied here and the Caucasian population used to establish the FFI algorithm.

### *Reasons for the invalidity of the FFI measurements*

In the bioelectrical impedance method, the percentage of variability explained by individual anthropometric characteristics is usually high and, in predictions, impedance variables are adjusted for individual characteristics. In this study, the subject's age, weight and height were input variables in the incorporated algorithm of the FFI device. Moreover, we found that leg length did not explain the variance of the bias between estimates from FFI and measurements from ADP. Even if leg length may be a more accurate estimate of conductor length when using FFI, Bell et al [8] found that there was no improvement in accuracy when using leg length instead of height. This may be due to the fact that height and leg length are highly correlated ( $R=0.73$ ,  $P<10^{-4}$  in our total sample). Moreover, Boulier et al [11], in their international validation study of the *Bodymaster*<sup>TM</sup> device, found that the length of the lower limbs did not explain the difference observed between FFI and the DXA reference method.

However, in the present study, we found a significant relationship between the bias between FFI and ADP and the relative leg length. It is possible that the body build factors that have an impact on the prediction might be at least partly responsible for the bias we observed in African women when using the FFI software to predict body composition. Snijder et al [25] reported that, in the case of whole-body impedance, parameters of body build do have an impact on the validity of prediction equations for %BF. Compared to whole-body impedance, foot-to-foot impedance makes additional assumptions in the calculation of LBM, namely a constant ratio between estimated LBM in the legs compared to the total body. Obviously this ratio is not a constant across subjects and populations. This may lead to large individual errors. Differences in this ratio may well be reflected in differences in relative leg length that, indeed, varies among ethnic groups. Eveleth [26] suggested that race-specific equations might need to be developed

for field methods that rely on body proportions and limb lengths, because, for a given sitting height, Africans, both in the USA and in Africa, have considerably longer legs than Europeans. Malina [27] also indicated that, for the same stature, black Americans have relatively longer legs than white Americans. Norgan [28] reported that African samples tend to have low mean sitting height/height ratios, 0.51 (range 0.500–0.517), while a typical European value is 0.52, meaning that Africans have a greater relative leg length (1-sitting height/height). In the same way, the anthropometric standards of Frisancho [29] give a sitting height/height value of 0.532–0.535 and 0.516–0.522 for the 50th percentile in 18 to 55-yr-old women from black and white American populations, respectively. Underscoring the importance of such differences, we can see that, as reported by Norgan [28], a 0.01 difference in sitting height/height would be associated with a difference of 1.2 kg/m<sup>2</sup> in BMI in women. In our study, the sitting height/height value was 0.509 (ie relative leg length of 0.491), indicating that our sample is in fact likely to have higher value for relative leg length than the value (unknown at present) in the Caucasian sample used to establish the *Bodymaster*<sup>TM</sup> algorithm. A higher value for relative leg length in Africans could imply that the algorithm derived from Caucasians will estimate from leg impedance a higher total LBM for the whole body. This could explain the overestimation of LBM we observed, that is, moreover positively correlated with relative leg length.

In the same way, differences in leg muscle between ethnic groups may be the cause of the limited validity of the FFI method when used with African subjects. The water content of the leg is one factor that determines conductance. LBM distribution may also play a role. The overestimation of LBM observed in this study may be explained by relatively more leg muscle in African women than in Caucasian populations.

#### New predictive equations

As the *Bodymaster*<sup>TM</sup> algorithm remains undisclosed by the company, we developed new predictive equations from FFI results to attempt to correct for the observed bias. For this purpose, we broke down this data set and used another independent sample to develop prediction equations to estimate LBM or %BF by using the FFI result as a predictor. In both cases (LBM or %BF), results from the FFI method dominated the prediction, and the addition of an anthropometrical characteristic, as a second predictor, did not improve the precision of the prediction. Validation of the new predictive equations in the randomly selected 'cross-validation' subgroup revealed a comparable SD (2.6 kg LBM and 4.1 %BF) compared to the precision of the prediction equation (RMSE value of 2.6 kg LBM and 4.3 %BF) in the 'validation' subgroup, indicating the general applicability of the formulas in the population of African women. This justified expanding the regression model to the whole data set, and when using predicted values from these

new equations, the bias initially observed between ADP and FFI methods was nearly zero; however the error remained similar when compared to the error of the prediction from the FFI device. In the same way, in young male Brazilians, Wells et al [30] obtained similar error values for total body water predicted directly by the *Tanita*<sup>TM</sup> FFI device, ie using the incorporated algorithm (unknown), when compared to the estimated total-body water from their new predictive equations that include the *Tanita*<sup>TM</sup> total-body water value in the regression.

This study led to an unbiased prediction of LBM or %BF in African women, and the precision we obtained (2.6 kg LBM) was in the same range (if not better) than the error value obtained by Boulier et al [11] in their validation study using the same instrument, yielding a lower error value than they observed in their subgroup of black American subjects ( $\pm$  5.3 kg LBM).

We confirmed that an adjustment for relative leg length was not necessary to improve the accuracy of our predictive equation, even when we used the FFI result as the predictor and not a raw FFI impedance value along with the subject's height in the regression.

#### Conclusion

In conclusion, the FFI *Bodymaster*<sup>TM</sup> impedance meter significantly overestimated LBM and underestimated %BF in African women. However, by correcting for the bias observed, LBM or %BF can be quantified in African women in the field with reasonable accuracy. Addition of an anthropometrical variable as a second predictor was shown to be unnecessary. In practical terms this means that by taking into account ethnicity and developing predictions specific for African populations, the assessment of body composition from FFI is of great interest in terms of ease of use in the field.

*Acknowledgements*—We are indebted to the women who agreed to take part in the study. The FFI (*Bodymaster*<sup>TM</sup>) was kindly provided by the Group SEB – Tefal Company (France).

#### References

- 1 WHO (World Health Organization). Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Geneva: WHO Technical Report Series, 1995; 854.
- 2 Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuck WW, Lykken GE. Assessment of fat free mass using bioelectrical impedance measurement of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985; 41: 810–17.
- 3 Baumgartner RN, Chumlea WC, Roche AF. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments. *Am J Clin Nutr* 1989; 50: 221–6.
- 4 Fuller NJ, Elia M. 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* 1989; 43: 779–91.

- 5 Stewart SP, Bramley PN, Heighton R, Green JH, Horsman A, Losowsky MS, Smith MA. Estimation of body composition from bioelectrical impedance of body segments: comparison with dual-energy X-ray absorptiometry. *Br J Nutr* 1993; 69: 645-55.
- 6 Bracco D, Thiebaud D, Chioloro RL, Landry M, Burckhardt P, Schutz Y. Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans. *J Appl Physiol* 1996; 81: 2580-87.
- 7 Nunez C, Gallagher D, Visser M, Pi-Sunyer FX, Wang ZM, Heymsfield SB. Bioimpedance analysis: evaluation of a leg-to-leg system based on pressure contact foot-pad electrodes. *Med Sci Sports Exerc* 1997; 29: 524-31.
- 8 Bell NA, McClure PD, Hill RJ, Davies PSW. Assessment of foot-to-foot bioelectrical impedance analysis for the prediction of total body water. *Eur J Clin Nutr* 1998; 52: 856-9.
- 9 Jebb SA, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR, Prentice AM. Evaluation of a novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr* 2000; 83: 115-22.
- 10 Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, Testolin G, Viganò R, Vollaard N. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55: 973-9.
- 11 Boulier A, Chumlea WC, De Lorenzo A, Deurenberg P, Guo SS, Leger L, Schutz Y. Body composition estimation by leg-to-leg bioelectrical impedance: a six-site international cross validation study. *Acta Diabetologica* 2002; 39: 142-3.
- 12 Lohman TG, Roche AF, Martorell R. Anthropometric standardisation reference manual. Champaign IL: Human Kinetics, 1988.
- 13 Dempster P, Aitkens S. A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 1692-7.
- 14 McCrory MA, Gomez TD, Bernauer EM, Mole PA. Evaluation of a new air displacement plethysmography for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 1995; 27: 1686-91.
- 15 Gartner A, Dioum A, Delpeuch F, Maire B, Schutz Y. Use of hand-to-hand impedancemetry to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* (in press).
- 16 Ortiz O, Russell M, Daley TL, Baumgartner RN, Waki M, Lichtman S, Wang J, Pierson RN, Heymsfield SB. Differences in skeletal muscle and bone mineral mass between black and white females and their relevance to estimates of body composition. *Am J Clin Nutr* 1992; 55: 8-13.
- 17 Wagner DR, Heyward VH. Validity of two-component models for estimating body fat of black men. *J Appl Physiol* 2001; 90: 649-56.
- 18 Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1: 307-10.
- 19 Bland JM, Altman DG. Comparing methods of measurement: why plotting difference against standard method is misleading. *Lancet* 1995; 346: 1085-7.
- 20 Guo SS, Chumlea WC. Statistical methods for the development and testing of predictive equations. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG eds. *Human body composition*. Champaign IL: Human Kinetics, 1996: 191-202.
- 21 Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In Brozek J, Henschel A, eds. *Techniques for measuring body composition*. Washington DC: National Academy of Sciences, 1961: 223-44.
- 22 Heyward V. ASEP methods recommendation: Body composition assessment. *J Exerc Physiol on line* 2001; 4: 1-12.
- 23 Heyward VH. Evaluation of body composition. *Current issues. Sports Med* 1996; 22: 146-56.
- 24 Ward LC, Heitmann BL, Craig P, Stroud D, Azinge EC, Jebb S, Cornish BH, Swinburn B, O'Dea K, Rowley K, McDermott R, Thomas BJ, Leonard D. Association between ethnicity, body mass index, and bioelectrical impedance. Implications for the population specificity of prediction equations. *Ann NY Acad Sci* 2000; 904: 199-202.
- 25 Snijder MB, Kuyf BEM, Deurenberg P. Effect of body build on the validity of predicted body fat from body mass index and bioelectrical impedance. *Ann Nutr Metab* 1999; 43: 277-85.
- 26 Eveleth PB, Tanner JM. *Worldwide variation in human growth*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990; 397 pp.
- 27 Malina RM. Regional body composition: age, sex, and ethnic variation. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG eds. *Human body composition*. Champaign IL: Human Kinetics, 1996: 217-55.
- 28 Norgan NG. Relative sitting height and the interpretation of the body mass index. *Ann Hum Biol* 1994; 21: 79-82.
- 29 Frisancho AR. *Anthropometric standards for the assessment of growth and nutritional status*. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1990; 189 pp.
- 30 Wells JCK, Gigante D, Wright A, Hallal PC, Victoria CG. Validation of leg-to-leg impedance for body composition assessment in male Brazilians aged 16-19 years. *Int J Body Comp Res* 2003; 1: 63-7.

Short article

## Does the combination of hand-to-hand and foot-to-foot impedance measurements improve the prediction of body composition in African women?

A. Gartner<sup>1</sup>, A. Dioum<sup>2</sup>, F. Delpuech<sup>1</sup>, B. Maire<sup>1</sup> and Y. Schutz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Nutrition Unit, UR 106 (WHO Collaborating Centre for Nutrition), IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Montpellier, France;

<sup>2</sup>Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal, West Africa;

<sup>3</sup>Institute of Physiology, Faculty of Medicine, University of Lausanne, Switzerland.

Hand-to-hand (HHI) or foot-to-foot (FFI) impedance methods are both easy to use and inexpensive, and they offer a rare opportunity to evaluate body composition in Africa. However, the standard algorithm supplied with each device is not valid in African subjects. We explored whether a combination of both methods may be valuable for improving the prediction of body composition in 170 African women as measured by air-displacement plethysmography (ADP). Simply taking the arithmetic mean of estimations from FFI and HHI still gave a marked and significant bias. Estimated values were regressed against the reference value from ADP. The mean of the two predicted values, or another predicted value combining HHI and FFI results in the same regression, suggested that there is no clear advantage to using the two methods together. The use of these field methods could gain in value if they were to provide raw impedance values, thus allowing to develop new predictive equations combining arm and leg impedance in order to track both limbs.

**Key words:** body composition; hand-to-hand bioelectrical impedance; foot-to-foot bioelectrical impedance; combination of segmental measurements; air displacement plethysmography; predictive equations; African women.

Recently impedance analyzers have been developed that measure segmental impedance from hand-to-hand (HHI) [1,2] or from foot-to-foot (FFI) [3,4]. When compared to whole-body impedance measurements, these instruments have the advantage that they are both easy to use and inexpensive. This offers a rare opportunity to quantify the body composition into fat and fat-free tissues in epidemiological surveys in Africa, which is particularly important for the assessment of nutritional status. However, the HHI and FFI techniques are indirect methods that use a predictive equation empirically derived from Caucasian populations. As a result of differences in body build between ethnic groups, impedance-based prediction formulas for body composition are population-specific [2, 5, 6].

Since HHI measurements are confined to upper limbs and FFI to lower limbs, it seems justified to attempt to combine both methods in order to track both limbs (Fig 1). Furthermore, it can be hypothesised that the assessment of body composition by two independent techniques (HHI and FFI) may yield more precise data in a given individual since the random noise of both techniques may somehow cancel out. New devices combine the measurements of arm and leg impedance via an eight-point tactile-electrode

impedancemeter (*Biospace*<sup>TM</sup>, *Tanita*<sup>TM</sup>), but they are expensive, have yet to be validated and cannot be used in field conditions. Thus, it might be useful to combine the HHI and FFI methods to estimate body composition in African women.

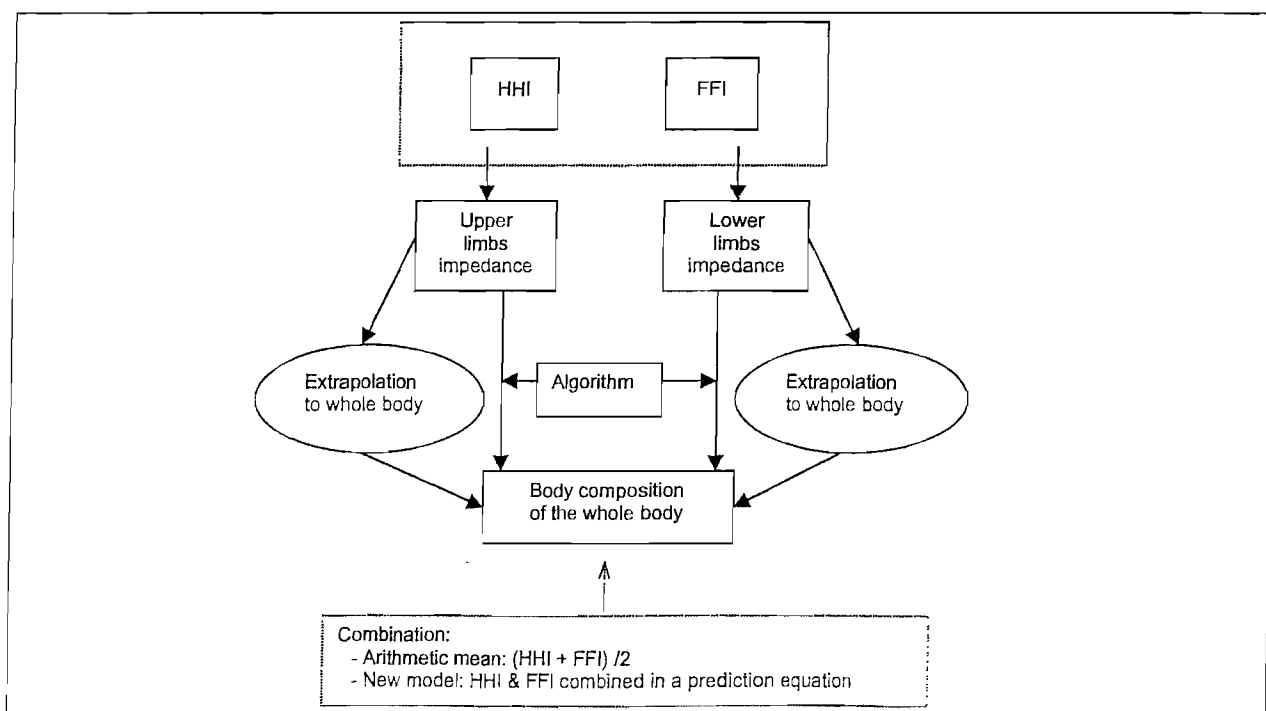
In this paper we present the comparison of the *Omron*<sup>TM</sup> HHI (Omron HBF300, Omron Healthcare Europe BV, Hoofddorp, The Netherlands), and *Body-master*<sup>TM</sup> FFI (Tefal, Rumilly, France) results either separated or in combination. For this purpose, body composition was measured in 170 Senegalese women by using density from air displacement plethysmography (ADP) (Bod Pod<sup>TM</sup> 2000A, Life Measurement Instrument, Concord, CA, USA) taking into account the specific fat-free tissues density in black subjects. The subjects and methods have been described previously [7, 8]. The subjects' mean (SD) age was 30.6 (8.7) y, weight 63.4 (15.2) kg, BMI 23.4 (5.2) kg/m<sup>2</sup>, fat-free mass (FFM) from ADP 39.9 (5.1)

Address for correspondence: A. Gartner,  
Nutrition Unit, UR 106, IRD, B.P. 64501, 911 Avenue Agropolis,  
34394 Montpellier Cedex 5, France.  
E-mail: gartner@mpl.ird.fr  
Fax: +33 4 67 41 63 30

**Table 1.** Hand-to-hand and foot-to-foot impedance measurements alone or in combinations in the sample of African women.

	Comparison with ADP measurements							
	Fat-free mass (kg)				Body fat percent (%)			
	Total sample		Two independent samples		Total sample		Two independent samples	
	(n=170)		Prediction on the first sub-sample (n=112)		(n=170)		Prediction on the first sub-sample (n=112)	
	Bias	Error	RMSE (Precision)	Cross-validation of prediction Error (Accuracy)	Bias	Error	RMSE (Precision)	Cross-validation of prediction Error (Accuracy)
Estimated values from the devices								
$X_{HHI}$	5.8*	2.8			-8.8*	3.6		
$X_{FFI}$	2.3*	2.7			-3.4*	4.2		
Mean: $(X_{HHI} + X_{FFI})/2$	4.1*	2.4			-6.1*	3.4		
Predicted values from one-predictor predictive equations based on:								
$X_{HHI}$	0.0	2.1	2.1	2.0	0.0	3.6	3.7	3.5
$X_{FFI}$	0.0	2.6	2.6	2.6	0.0	4.2	4.3	4.1
$(X_{HHI} + X_{FFI})/2$	0.0	2.1	2.2	2.6	0.0	3.4	3.5	3.2
Mean of the predicted values from the two equations based on $X_{HHI}$ or $X_{FFI}$								
	0.0	2.2			0.0	3.4		
Predicted values from two-predictor predictive equation based on:								
$X_{HHI}$ and $X_{FFI}$	0.0	2.0	2.1	2.0	0.0	3.3	3.5	3.2

HHI = hand-to-hand impedance; FFI = foot-to-foot impedance. Bias is the difference between the reference measurement from ADP and the predicted estimation. Error is the SD of the bias; RMSE = root means square error:  $\sqrt{\sum(\text{observed}-\text{predicted})^2/(n-p-1)}$  where n is the number of observations and p is the number of predictor variables; \*significantly different from zero,  $P < 0.0001$ . ADP = air displacement plethysmography.

**Figure 1.** Hypothesis to be tested: Has a combination of hand-to-hand impedance (HHI) and foot-to-foot impedance (FFI) advantages over the use of one of the methods only?

**Table 2.** Predictive equations generated from the total sample (n=170) of African women.

Response variable	Predictive equation			Comparison with ADP measurement	
	Predictor variables	Parameter estimate	Standard error	P value	R <sup>2</sup>
Fat-free mass (FFM) from ADP	Intercept	7.49	1.12	<0.0001	0.84
	FFM <sub>HFI</sub>	0.70871	0.02422	<0.0001	
	Intercept	2.67	1.72	0.12	0.74
	FFM <sub>FFI</sub>	0.88137	0.04035	<0.0001	
	Intercept	6.38	1.41	<0.0001	0.84
	FFM <sub>HFI</sub>	0.63303	0.06302	<0.0001	
	FFM <sub>FFI</sub>	0.10834	0.08333	0.20	
% body fat (%BF) from ADP	Intercept	9.33	0.86	<0.0001	0.86
	%BF <sub>HFI</sub>	0.98027	0.03107	<0.0001	
	Intercept	2.13	1.29	0.10	0.80
	%BF <sub>FFI</sub>	1.04157	0.03956	<0.0001	
	Intercept	5.43	1.09	<0.0001	0.88
	%BF <sub>HFI</sub>	0.65908	0.06710	<0.0001	
	%BF <sub>FFI</sub>	0.38966	0.07650	<0.0001	

R<sup>2</sup> = proportion of the total variance in the response variable explained by the predictor variables; ADP = air displacement plethysmography; HFI = hand-to-hand impedance; FFI = foot-to-foot impedance.

kg and percentage body fat (%BF) 35.2 (9.5) %. In previous studies [7, 8] the validity of each instrument was tested. Here, we explore whether a combination of both instruments may be valuable for improving the prediction of body composition. The major obvious difficulty was that the values for the measured limb impedance were not displayed in the output of the devices.

The bias in the result from HFI was much greater (higher absolute value) than that from FFI (Table 1), but the error (SD of the bias) was similar in the case of FFM and was better (lower error value) in the case of %BF compared to FFI. The mean of the two independent methods still gave a marked and significant bias. Thus simply taking the arithmetic mean of FFI and HFI is not a satisfactory combination in our measurement conditions and in Africans.

For this reason the original estimated values were regressed against the reference values obtained from ADP in a randomly selected subgroup and the performance of the predictive equation was tested by applying them to an independent cross-validation set. As the accuracy values were similar to the precision values (Table 1), it is justified to expand the regression models to the whole data set (see Table 2). On this basis, predicted FFM or %BF was calculated for each subject and compared to the reference measurement. The bias initially observed was zero ( $P>0.99$ ) when using predicted values from all the four equations (Table 1). When compared to the estimated values from the devices, the error in %BF was similar, whereas error in FFM showed lower values only when using the predictive equations based on HFI

estimation. The combinations used the mean of the predicted values or another predicted value combining HFI and FFI results in the same regression equation, but the result using the two methods together is not really better than with the prediction based on HFI alone.

Our impedance-based equations had an advantage over predictions from anthropometry (weight, height and age) alone that showed high constant values (17 kg of FFM and 58% BF) in the regression (results not shown). However, anthropometric measurements alone were able to explain 76% and 80% of the variance in FFM and %BF, respectively, versus 84% and 88% with our best prediction (Table 2). This means that integration of the subject's weight, height and age as additional predictors in the algorithm used in the devices probably has much more statistical power than the impedance measurement itself, which explains only 8% additional variance in FFM or %BF. We can thus assume that new predictive equations combining raw impedance data from HFI and FFI will be valuable in testing the derivation of a specific prediction for African subjects. Indeed, the role of segmental impedance measurements in the assessment of body composition should be underscored since Bracco *et al* [9] showed in all segments a good correlation between the segmental FFM and the impedance index, and Bedogni *et al* [10] reported that resistance was strongly associated by itself with segmental total body water.

In the present conditions of utilization of these devices, the minor differences in accuracy between the two approaches (single or combined) suggest that

there is no clear advantage to using the two methods together. However, the main reason the combination of the two techniques is not satisfactory might be because we have no access to raw impedance data. Given this fact, combining the two methods does not allow the impedance of the arms and the legs to be actually taken into account simultaneously. The use of the cheap and simple instruments like *Omron*<sup>TM</sup> and *Bodymaster*<sup>TM</sup> could gain in value if they were to include an option to read the measured impedance values directly as an additional output.

### References

- 1 Deurenberg P, Andreoli A, Borg P, Kukkonen-Harjula K, de Lorenzo A, van Marken Lichtenbelt WD, Testolin G, Vigano R, Volvaard N. The validity of predicted body fat percentage from body mass index and from impedance in samples of five European populations. *Eur J Clin Nutr* 2001; 55: 973–9.
- 2 Deurenberg P, Deurenberg-Yap M. Validation of skin-fold thickness and hand-held impedance measurements for estimation of body percentage among Singaporean Chinese, Malay and Indian subjects. *Asia Pacific J Clin Nutr* 2002; 11: 1–7.
- 3 Jebb SA, Cole TJ, Doman D, Murgatroyd PR, Prentice AM. Evaluation of a novel Tanita body-fat analyser to measure body composition by comparison with a four-compartment model. *Br J Nutr* 2000; 83: 115–22.
- 4 Boulier A, Chumlea WC, De Lorenzo A, Deurenberg P, Guo SS, Leger L, Schutz Y. Body composition estimation by leg-to-leg bioelectrical impedance: a six-site international cross validation study. *Acta Diabetologica* 2002; 39: 142–3.
- 5 Deurenberg P, Deurenberg-Yap M, Schouten FJM. Validity of total and segmental impedance measurements for prediction of body composition across ethnic populations groups. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 214–20.
- 6 Snijder MB, Kuyf BEM, Deurenberg P. Effect of body build on the validity of predicted body fat from body mass index and bioelectrical impedance. *Ann Nutr Metab* 1999; 43: 277–85.
- 7 Gartner A, Dioum A, Delpuech F, Maire B, Schutz Y. Use of hand-to-hand impedanceometry to predict body composition of African women as measured by air displacement plethysmography. *Eur J Clin Nutr* 2004; 58: 523–31.
- 8 Gartner A, Dioum A, Maire B, Delpuech F, Schutz Y. Comparison of foot-to-foot impedance with air displacement plethysmography to evaluate body composition in African women. *Int J Body Comp Res* 2003; 1(4): 137–45.
- 9 Bracco D, Thiebaud D, Chioloro RL, Landry M, Burckhardt P, Schutz Y. Segmental body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and DEXA in humans. *J Appl Physiol* 1996; 81: 2580–87.
- 10 Bedogni G, Malavolti M, Severi S, Mussi C, Fantuzzi AL, Battistini N. Accuracy of an eight-point tactile-electrode impedance method in the assessment of total body water. *Eur J Clin Nutr* 2002; 56: 1143–8.

# Afrique

## Composition corporelle spécifique

**Dans les pays** en développement, le statut nutritionnel des femmes est au cœur des préoccupations de recherche actuelles. Un déficit ou un excès de graisse corporelle peut être associé à un risque augmenté de morbidité ou de mortalité.

Or aucune référence de la composition corporelle en termes de masse grasse et de masse maigre spécifique aux Africaines n'est encore disponible pour les enquêtes épidémiologiques nutritionnelles. Étant donné la différence reconnue entre les sujets d'origine africaine et les sujets d'origine caucasienne au niveau de la composition corporelle, les méthodes de mesure indirectes doivent être validées pour une utilisation chez les sujets africains. « C'est pourquoi nous avons préalablement mené à bien la validation de méthodes utilisables sur le terrain » explique Aïssatou Dioum, thésarde de l'ur 106, *Nutrition, alimentation, sociétés*.

Pour décrire de façon précise les pourcentages de masse maigre et de masse grasse des populations africaines, au-delà du seul indice de masse corporelle (IMC : poids/taille<sup>2</sup>) jusqu'ici disponible, deux études épidémiologiques ont été réalisées au Sénégal, sur échantillons représentatifs de 625 femmes rurales et de 298 femmes urbaines. « Nous avons comparé la composition corporelle entre les deux milieux en fonction des classes d'IMC fixées par l'OMS et habituellement utilisées pour définir la maigreur (IMC < 18,5 kg/m<sup>2</sup>) et le surpoids (IMC = 25 kg/m<sup>2</sup>) », poursuit Aïssatou Dioum.

Actualités

3

Les premiers résultats confirment, en Afrique, l'hypothèse d'une différence de relation entre l'IMC et le pourcentage de masse grasse entre groupes de populations, remettant en question l'utilisation d'un seuil d'IMC unique.

La prévalence de surpoids est plus élevée en milieu urbain (45,6 % contre 10,9 %). Le pourcentage de masse grasse ne diffère pas entre les femmes rurales et urbaines dans la classe des femmes maigres. Par contre, dans les deux autres classes d'IMC, le pourcentage moyen de

masse est inférieur chez les femmes rurales (30,5 % contre 32,9 %) dans la classe d'IMC normal, et 41,2 % contre 45,4 % chez les femmes en surpoids. Un tel résultat peut être expliqué par une différence d'activité physique sachant que les femmes rurales ont une charge de travail vraisemblablement supérieure à celle des femmes urbaines de plus en plus sédentaires. Une différence de régime alimentaire serait aussi à explorer.

Il est donc nécessaire, et maintenant possible, de vérifier en Afrique, comme cela a déjà été montré en Asie, la nécessité d'adapter les seuils d'IMC, déterminés initialement chez des Caucasiens, pour définir spécifiquement les niveaux de pourcentage de masse grasse ou d'indice de masse corporelle associés à des risques de morbidité et de mortalité augmentés.



© IRD, F. Godier

Sciences au Sud - Le journal de l'IRD - n° 27 - novembre/décembre 2004



A. GARTNER<sup>1</sup>, A. DIOUM<sup>2</sup>, AC CISSE<sup>2</sup>, F. DELPEUCH<sup>1</sup>, B. MAIRE<sup>1</sup>, S WADE<sup>2</sup>, Y. SCHUTZ<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Unité de Nutrition, UR 106, Centre collaborateur de l'OMS pour la nutrition, IRD (Institut de recherche pour le développement), Montpellier, France  
<sup>(2)</sup> Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Dakar, Sénégal.  
<sup>(3)</sup> Institut de Physiologie, Faculté de Médecine, Université de Lausanne, Suisse

## INTRODUCTION

L'eau, milieu essentiel à l'homéostasie du corps, est une constante de la composition corporelle à l'état normal et permet d'évaluer l'état nutritionnel.

La bioimpédancemétrie (BIA) est une mesure de l'eau corporelle (EC) simple mais indirecte utilisant des équations de prédiction qui n'ont pas été validées en Afrique.

## OBJECTIF

Sachant que la composition corporelle diffère entre sujets d'origine caucasienne et africaine, l'objectif est de tester si la validité d'une prédiction d'EC par BIA chez les sujets africains dépend de l'ethnie de la population d'origine de l'équation.

## SUJETS

36 femmes sénégalaises volontaires à Dakar

Age (ans)	Poids (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
25,1 (6,6)	56,2 (8,0)	20,2 (2,7)
(moyenne (écart-type))		

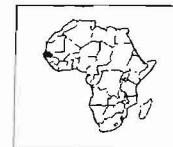
## RESULTATS

L'erreur est acceptable pour toutes les équations (1.3 à 1.9 kg).

Trois équations (dont 2 établies chez des caucasiens) donnent un biais non significatif et pourraient être utilisées chez les sujets africains.

Pour les autres équations, le biais varie largement montrant aussi bien une surestimation qu'une sous-estimation de l'EC mais sans tendance claire en fonction de la population d'origine de l'équation.

L'absence de tendance entre la validité et la population d'origine d'une équation de prédiction est confirmée par le test de certaines équations par d'autres auteurs chez des sujets Africains.



## METHODES

Eau corporelle totale mesurée par dilution du deutérium

- Ingestion de 30g de D<sub>2</sub>O (J<sub>0</sub>)
- Echantillons de salive (J<sub>0</sub>, J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub>, J<sub>3</sub>, J<sub>4</sub>, J<sub>13</sub>, J<sub>14</sub>)
- Spectrophotométrie IR à Transformée de Fourier  
*Espace de dilution du deutérium / 1,04*

Bioimpédance du corps entier à 5, 50 et 100 kHz

- Index BIA: Taille<sup>2</sup>/Résistance (*Xitron 4000B*)
- Seul ou associé aux variables anthropométriques  
*Prédicteur dans les équations*

23 Equations de prédiction publiée établies dans un groupe de:

- A : Caucasiens (14 équations)
- B : Caucasiens & Noirs-américains (3 équations)
- C : Noirs-américains (4 équations)
- D : Africains (2 équations)

Quelle validité des équations?

- Comparaison EC prédite et mesurée (*Bland & Altman*)

### Répartition des équations (n) selon les résultats de validité (*gamme de valeurs*)

Groupe d'équations	Différence moyenne (biais)		
	Aucune différence	Sur-Estimation	Sous-Estimation
<b>A</b> (n=14)	n=2	n=5 (0,7 à 6,1 kg)	n=7 (0,6 à 2,4 kg)
<b>B</b> (n=3)		n=1 (2,0 kg)	n=2 (0,9 et 1,1 kg)
<b>C</b> (n=4)	n=1	n=2 (1,9 et 4,0 kg)	n=1 (1.1 kg)
<b>D</b> (n=2)			n=2 (2.2 et 3.6 kg)

n nombre d'équations,

### Nombre d'équations pour lesquelles une corrélation significative<sup>§</sup> du biais est observée avec

Moyenne EC prédite et mesurée	Taille relative des jambes	Taux d'eau extra-cellulaire*	Indice d'EC (EC/taille <sup>2</sup> )
1	3	2	5
0	0	1	1
0	0	1	2
0	1	0	0

\* indice estimée par le rapport des données BIA à 5 et à 100 kHz <sup>§</sup> P < 0,05

## CONCLUSION

- La nécessité d'équations spécifiques des populations n'est pas vérifiée pour la prédiction d'eau corporelle chez les femmes africaines.
- Contrairement à la prédiction de la graisse corporelle, les différences de composition corporelle connues entre sujets Noirs et Blancs (comme la taille relative des jambes, paramètre important en BIA) n'expliquent pas la non validité des prédictions d'eau corporelle.
- Plutôt que de continuer à établir de nouvelles équations spécifiques des populations, des recherches fondamentales sont nécessaires afin d'explorer les causes de validité ou non d'une équation de prédiction de l'eau corporelle entre populations d'ethnie différente.

A. GARTNER<sup>1</sup>, A. DIOUM<sup>2</sup>, B. MAIRE<sup>1</sup>, F. DELPEUCH<sup>1</sup>, Y. SCHUTZ<sup>3</sup>

<sup>(1)</sup> Unité de Nutrition, UR 106, Centre collaborateur de l'OMS pour la nutrition, IRD (Institut de recherche pour le développement), Montpellier, France  
<sup>(2)</sup> Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie, Département de Biologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Dakar, Sénégal.  
<sup>(3)</sup> Institut de Physiologie, Faculté de Médecine, Université de Lausanne, Suisse

## INTRODUCTION

Dans le monde en développement, le statut nutritionnel des femmes est au cœur des préoccupations de recherche actuelles (dénutrition de l'enfant et maladies chroniques de l'adulte).

La composition corporelle de l'individu constitue une information importante dans l'évaluation de l'état nutritionnel. Un excès ou un déficit de graisse peut être associé à un risque augmenté de morbidité ou de mortalité.

Des méthodes de mesure de la composition corporelle utilisables en enquêtes épidémiologiques ne sont pas encore disponibles en Afrique. En effet, les méthodes légères et indirectes, comme l'impédancemétrie, doivent être validées pour une utilisation spécifique chez les sujets africains.

## OBJECTIF

Etablir des équations de prédiction de la masse maigre (MM) et du pourcentage de graisse (%G) chez les femmes africaines par impédancemétrie.

## SUJETS

170 femmes sénégalaises volontaires à Dakar

Age (ans)	Poids (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
30,6 (8,7)	63,4 (15,2)	23,4 (5,2)

(moyenne (écart-type))

## MESURES

Les valeurs de MM et de %G estimées par les impédancemètres main-à-main (*Omron*) et pied-à-pied (*Bodymaster*) (validés pour des populations occidentales) sont comparées à celles obtenues par la densitométrie par déplacement d'air (*BodPod*<sup>®</sup>) qui est la méthode de référence.

Diverses mesures anthropométriques ont été testées comme potentiels prédicteurs.



main-à-main



pied-à-pied

## RESULTATS

### Validité des impédancemètres

Les corrélations entre les méthodes de terrain et la référence sont significatives ( $R > 0,89$ ) pour la MM et pour le %G.

Chaque méthode d'impédancemétrie est comparée à la référence (Bland&Altman).



## CONCLUSION

- Les équations des impédancemètres développées pour des populations occidentales ne sont pas valides (biais important) pour la mesure de la composition corporelle chez les femmes africaines.
- Après correction du biais par des équations spécifiques, l'impédancemétrie peut être utilisée en population chez les femmes africaines avec une bonne exactitude.
- A la suite des premières applications sur échantillons représentatifs de femmes africaines, on se propose d'étudier la relation entre l'IMC et le taux de graisse qui est spécifique des populations.

Comparaison à la référence

	Masse Maigre (kg)			% de Graisse		
	Référence	Mesurée		Référence	Mesuré	
	<i>BodPod</i>	<i>Omron</i>	<i>Bodymaster</i>	<i>BodPod</i>	<i>Omron</i>	<i>Bodymaster</i>
<b>Moy. (E.T.)</b>	39,2 (4,8)	44,7 (6,1)	41,7 (6,1)	34,0 (9,0)	25,3 (8,4)	30,3 (7,1)
<b>Biais</b>		5,8	2,4		-8,8	-3,5
<b>Erreur</b>		2,8	2,7		3,6	4,2
<b>R (P)</b>		-0,49 ( $P < 10^{-4}$ )	-0,05 ( $P = 0,58$ )		0,14 ( $P = 0,081$ )	0,47 ( $P < 10^{-4}$ )

Moy = moyenne; E.T = écart type; Biais = différence; Erreur = E.T. du biais;  
R = corrélation entre la moyenne et la différence des deux méthodes; P = signification

L'erreur est semblable pour les mesures de MM mais pas pour le %G. Les biais, importants, diffèrent entre les 2 méthodes mais donnent des limites de concordance (= biais  $\pm$  1.96 x erreur) inacceptables.

La différence de MM entre *Omron* et la référence dépend du niveau de MM. La différence de %G entre *Bodymaster* et la référence dépend du %G.

Afin de corriger le biais, des équations spécifiques pour les femmes africaines ont été établies.

### Equations de prédiction

L'échantillon est divisé en 2 sous-groupes de mêmes caractéristiques: le premier (n=112) pour établir les équations, et l'autre (n=58) pour les valider.

Les équations de prédictions sont établies par régression linéaire, pas à pas. La mesure par *Omron* ou *Bodymaster* est incluse dans l'équation, d'abord seule puis associée aux mesures anthropométriques.

La qualité de la prédiction est donnée par  $R^2$  et par l'erreur. Les équations retenues sont soumises à la validation sur l'échantillon-test. Il n'est pas nécessaire d'ajouter des paramètres anthropométriques.

L'équation retenue est ré-établie dans l'échantillon total (n=170) et la précision de prédiction est identique.

Variable dépendante	Prédicteurs	Prédiction (n=112)			Validation (n=58)	
		R <sup>2</sup>	Précision	CV	Exactitude	CV
MM par <i>BodPod</i>	MM <i>Omron</i>	0,84	2,1 kg	5,2 %	2,0 kg	5,0 %
	MM <i>Bodymaster</i>	0,74	2,6 kg	6,5 %	2,6 kg	6,5 %
%G par <i>BodPod</i>	%Gr <i>Omron</i>	0,85	3,7 %	10,3 %	3,5 %	10,2 %
	%G <i>Bodymaster</i>	0,80	4,3 %	12,0 %	4,1 %	11,7 %

Précision ("root means square error") =  $\sqrt{\sum (\text{mesuré-prédit})^2 / (n-p-1)}$  (n = nombre d'observations et p = nombre de prédicteurs);  
Exactitude ("pure error") =  $\sqrt{\sum (\text{mesuré-prédit})^2 / n}$ ;  
CV (coefficient de variation) = 100x (précision ou exactitude) / moyenne

# Mise au point d'équations pour l'évaluation de la composition corporelle des femmes africaines par des méthodes de terrain (impédancemétrie) en référence à la densitométrie

**Aïssatou DIOUM**

Directrice de thèse : **Salimata WADE**, Equipe de Nutrition, Laboratoire de Physiologie Animale, Faculté des Sciences et Techniques, UCAD  
Encadrement IRD : **Agnès GARTNER**, UR 106, "Nutrition, Alimentation, Sociétés", Centre Collaborateur de l'OMS pour la nutrition

## INTRODUCTION

Dans les populations à risque de malnutrition, comme en Afrique, la mesure de l'état nutritionnel est un sujet de préoccupation constante, que ce soit pour le dépistage de la malnutrition, le ciblage et l'évaluation des interventions, ou encore l'appréciation des déterminants.

La composition corporelle de l'individu constitue une information importante dans l'évaluation de l'état nutritionnel. Ainsi, dans le contexte africain, il serait intéressant d'avoir des méthodes de mesure de la composition corporelle portables, simples et peu coûteuses comme l'impédancemétrie.

## OBJECTIF

Etablir des équations de prédiction de la masse maigre et du pourcentage de graisse chez les femmes africaines par impédancemétrie, méthode adaptée à des études sur le terrain, en référence à la densitométrie.

## METHODES

- Sujets: 137 femmes sénégalaises volontaires de caractéristiques (moyenne (écart-type)) :

Age (ans)	Poids (kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )
31,4 (9,1)	60,9 (13,3)	22,6 (4,5)

- Mesures :

Les valeurs de masse maigre et de pourcentage de graisse estimées par les impédancemètres main-à-main (*Omron*) et pied-à-pied (*Bodymaster*) (validés pour des populations occidentales) sont comparées à celles obtenues par la densitométrie (*BodPod*) qui est la méthode de référence.

Diverses mesures anthropométriques ont été testées comme potentiels prédicteurs.



main-à-main



pied-à-pied

## RESULTATS

- Validité de l'impédancemétrie

Les corrélations entre les méthodes de terrain et la référence sont significatives ( $R > 0,89$ ) pour la masse maigre et pour le % de graisse.

Comme la corrélation n'est pas suffisante pour comparer deux méthodes, leur concordance est étudiée par la technique de Bland & Altman.

	Masse Maigre (kg)			% de Graisse		
	Référence <i>BodPod</i>	Mesurée		Référence <i>BodPod</i>	Mesuré	
		<i>Omron</i>	<i>Bodymaster</i>		<i>Omron</i>	<i>Bodymaster</i>
<b>Moy. (E.T.)</b>	39,2 (4,8)	44,7 (6,1)	41,7 (6,1)	34,0 (9,0)	25,3 (8,4)	30,3 (7,1)
<b>Biais</b>		5,5	2,5		-8,7	-3,7
<b>Erreur</b>		2,7	2,5		4,0	4,2
<b>R (P)</b>		-0,49 ( $P < 10^{-3}$ )	-0,05 ( $P = 0,58$ )		0,14 ( $P = 0,091$ )	0,47 ( $P < 10^{-4}$ )

Moy = moyenne; E.T. = écart type ; Biais = différence; Erreur = E.T. du biais;  
R = corrélation entre la moyenne et la différence des deux méthodes ; P = signification

Pour les 2 comparaisons à la référence, l'erreur est semblable (2,5 kg de masse maigre et 4 % de graisse). Les biais, importants, diffèrent entre les 2 méthodes de terrain, donnant des limites de concordance (= biais  $\pm$  1.96 x erreur) trop larges pour conclure à une bonne concordance.

De plus, la différence de masse maigre entre *Omron* et la référence dépend du niveau de masse maigre. Et la différence de % de graisse entre *Bodymaster* et la référence dépend du taux de graisse.

Malgré la bonne corrélation, ces méthodes (référence et terrain) ne sont pas interchangeables. Il est nécessaire de pouvoir corriger le biais et donc d'établir des équations spécifiques pour les femmes africaines.

- Prédiction et validation

L'échantillon est divisé en 2 sous-groupes de mêmes caractéristiques: le premier (n=69) va servir à la **prédiction** et l'autre (n=68) à la **validation**.

Les équations de prédictions sont établies par régression linéaire, et l'inclusion des variables indépendantes est faite pas à pas.

La mesure par *Omron* ou *Bodymaster* est incluse dans l'équation, d'abord seule puis associée aux mesures anthropométriques.

La qualité de la prédiction est donnée par  $R^2$  et par l'erreur. Les équations retenues sont soumises à la validation sur le deuxième groupe. Lorsque l'erreur est acceptable, on ré-établit l'équation dans l'échantillon total (n=137).

**Prédiction** : régression linéaire dans le sous-groupe 1 ; **Validation** : dans le sous-groupe indépendant 2

Variable dépendante	Prédicteurs	Prédiction (n=137)			Validation (n=68)	
		R <sup>2</sup>	Précision	CV	Validité	CV
<b>Masse maigre (MM)</b> par <i>BodPod</i>	MM par <i>Omron</i> + tour de bras + tour de poignet	0,82	2,06 kg	5,3 %	1,98 kg	5,0 %
	MM par <i>Bodymaster</i> + tour de bras + tour de poignet	0,78	2,22 kg	5,7 %	2,17 kg	5,5 %
<b>% de graisse (%Gr)</b> par <i>BodPod</i>	%Gr par <i>Omron</i> + tour de bras + tour de poignet	0,85	3,51 %	10,3 %	3,21 %	9,4 %
	% Gr par <i>Bodymaster</i> + tour de bras + tour de poignet	0,83	3,82 %	11,2 %	3,71 %	10,9 %

Précision ("root means square error") =  $\sqrt{\sum (\text{mesuré-prédict})^2 / (n-p-1)}$  (n= nombre d'observations et p= nombre de prédicteurs);  
Validité ("pure error") =  $\sqrt{\sum (\text{mesuré-prédict})^2 / n}$ ; CV (coefficient de variation) =  $100 \times (\text{précision ou validité}) / \text{moyenne}$

## CONCLUSION

- Les impédancemètres développés pour des populations occidentales ne sont pas valides (biais important) pour la mesure de la composition corporelle chez les femmes africaines.
- Après correction du biais par des équations spécifiques, l'impédancemétrie peut être utilisée chez les Africaines avec une bonne précision. Cette méthode, portable et peu coûteuse, pourra être utilisée dans des études épidémiologiques nutritionnelles en Afrique.
- Une première application est en cours actuellement sur un échantillon représentatif de femmes rurales sénégalaises.

