

Évaluation de la dépense énergétique chez l'adulte : un champ à explorer pour les diététiciens

Travail de Bachelor

Rey Mathilde et Yacoub Maroun Marc

No de matricules : 15494610 et 15494826

Directrice de TBSc: Kruseman Maaïke – Diététicienne diplômée HES, Professeure HES

Membres du jury: Kruseman Maaïke – Diététicienne diplômée HES, Professeure HES
Lecoultre Virgile - Chef de projet à l'Hôpital Intercantonal de la Broye

Genève, 31 juillet 2018



Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteur-e-s et en aucun cas celle de la Haute école de santé Genève, du Jury ou de la Directrice de Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seul-e-s le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles indiquées dans la liste des références bibliographiques.

22.07.2018

Rey Mathilde et Yacoub Maroun Marc

1 Table des matières

2	Table des illustrations.....	4
3	Abréviations.....	5
4	Résumé	6
5	Introduction.....	7
6	Cadre de référence	9
6.1	Dépense énergétique totale	9
6.2	Facteurs perturbateurs de la DET	14
6.3	Évaluation de la DET.....	17
6.4	Evaluation de la DER.....	21
6.5	Évaluation de la thermogenèse alimentaire	24
6.6	Évaluation de la dépense énergétique liée à l'activité physique.....	24
6.7	Avantages et inconvénients des outils et moyens d'évaluation de la dépense énergétique	33
6.8	Synthèse	36
7	Revue de la littérature	38
7.1	Question de recherche.....	38
7.2	But	38
7.3	Objectifs	38
7.4	Hypothèses.....	38
7.5	Méthodologie de recherche.....	39
7.6	Résultats.....	42
7.7	Discussion.....	50
8	Conclusion	56
9	Bibliographie.....	57

2 Table des illustrations

Figure 1: Les composantes de la dépense énergétique totale	9
Figure 2 : Composantes de la DET avec la catégorisation des différents types d'activité physique.....	13
Figure 3 : Graphique de gauche : évolution de la distance d'entraînement au cours des 40 semaines. Graphique de droite : évolution de la dépense énergétique liée à l'activité physique au cours des 40 semaines.	15
Figure 4: évaluation de la dépense énergétique totale (DET) à partir de la production de CO2 dans la mesure par DLW.	17
Figure 5 : Illustration de la calorimétrie directe en chambre pour évaluer la dépense énergétique totale	20
Figure 6 : Illustration d'une chambre respiratoire pour évaluer la dépense énergétique totale	21
Figure 7 : Illustration d'une calorimétrie indirect pour évaluer la dépense énergétique de repos	21
Figure 8 : Impératifs méthodologique pour une mesure de calorimétrie indirect de repos optimale.....	23
Figure 9: Calorimétrie indirecte d'effort.....	29
Figure 10 : Calorimétrie indirect d'effort portable avec Cosmed K5.....	32
Figure 11: l'Actigraph GT3X-BT(57) porté au niveau de la hanche.....	30
Figure 12: Un des bracelets connectée Fitbit	32
Figure 13 Un des bracelets connectée Jawbone	32
Figure 14 : Le flowchart détaillant la sélection des articles.....	40
Figure 15 eAR porté sur l'oreille droite.....	48
Figure 16 SenseWear	48
Figure 17 Actical porté au niveau de hanche	48
Figure 18 Actiheart placé conformément.....	49
Figure 19 : : Comparaison des NAP des échantillons des études avec étude épidémiologiques.....	52

3 Abréviations

ACC : accéléromètre

BMI: Body Mass Index

DER: dépense énergétique de repos

DET: dépense énergétique totale

DLW: doubly labeled water/eau doublement marquée

DRI : Dietary Reference Intake

EAT: exercice activity thermogenesis/dépense énergétique liée au sport

FAO : Organisation des Nation Unies pour l'alimentation et l'agriculture

FQ : food quotient

Kcal : kilocalories

MB: métabolisme de base

MET: metabolic equivalent of task

MPD : mean percentage of deviation

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONU : Organisation des Nations Unies

NAP: niveau d'activité physique

NEAT: non-exercice activity thermogenesis/dépense énergétique non liée au sport

PAEE: physical activity energy expenditure/dépense énergétique liée à l'activité physique

VO₂ : mesure de la consommation d'oxygène

4 Résumé

Introduction: La disponibilité alimentaire des produits à haute densité énergétique et faible densité nutritionnelle est en augmentation, ce qui augmente le risque de souffrir de surpoids et d'obésité ainsi que des maladies associées. Parallèlement, il existe une tendance à "auto-monitorer" sa santé (*tracking for health* en anglais). Aux Etats-Unis, en 2012, 60% des adultes "auto-monitoraient" leur poids, alimentation et activité physique.

En tant que diététicien, nous favorisons la santé de nos patients par une alimentation en qualité et en quantité optimale. Nous ne manquons pas de recommandations claires, ainsi que d'expertise pour prodiguer des conseils sur la qualité de l'alimentation. Néanmoins, nous manquons de repère pour donner des indications de quantité. En effet, pour indiquer les quantités à consommer, il est nécessaire d'évaluer la dépense énergétique totale de l'individu. Nous sommes aujourd'hui formés à utiliser la calorimétrie indirecte pour évaluer la dépense énergétique de repos. En revanche, évaluer la dépense énergétique liée à l'activité physique des individus en condition de *free-living* est peu clair. Les technologies actuelles nous facilitent peut-être l'évaluation de la dépense énergétique totale.

But: Évaluer la dépense énergétique totale d'un individu en condition de *free-living*

Méthode: Nous avons effectué une revue de la littérature avec la base de donnée Medline.

Résultats: L'*Actiheart*, utilisant une équation de prédiction avec la fréquence cardiaque et calibré individuellement, est l'appareil qui a démontré le plus de précision contre la mesure par eau doublement marquée (environ 1.7%). D'autres études ont évalué l'*Actiheart* pour prédire la dépense énergétique et les résultats sont concordants. Cependant, nous ne pouvons pas conseiller cet outil car nous ignorons si son utilisation est réaliste et faisable pour les diététiciens. De plus, dans toutes les études que nous avons trouvées, l'échantillon de validation avait un niveau d'activité physique actif selon la classification de l'OMS. Il n'y a aucune garantie que l'*Actiheart* soit aussi performant pour prédire la dépense énergétique totale chez des personnes avec un style de vie sédentaire. Davantage de recherches sur la précision de l'*Actiheart* auprès d'autres populations, ainsi que l'investigation sur la faisabilité pour les diététiciens d'utiliser cet appareil sont nécessaires.

Conclusion: Dans l'attente de ces résultats, nous proposons d'effectuer une calorimétrie indirecte de repos et de multiplier par un niveau d'activité physique avec un questionnaire valide et fiable pour l'individu. Les résultats obtenus doivent être utilisés comme des approximations et non comme des cibles à atteindre absolument. Les résultats des moniteurs d'activité physique disponibles dans le commerce peuvent nous aider comme indicateurs de suivi de l'activité physique, mais pas pour déterminer des cibles énergétiques.

Mots clés: adulte, *free-living*, dépense énergétique totale, eau doublement marquée, , niveau d'activité physique, moniteurs d'activité physique

5 Introduction

La disponibilité alimentaire est en augmentation et la stimulation à manger des aliments à haute valeur énergétique et faible valeur nutritionnelle est constante. Il est redouté que cette stimulation constante brouille les signaux physiologiques de faim, rassasiement et satiété et pousse les individus à consommer plus d'énergie que nécessaire. Cela peut conduire à une prise de masse grasse avec un risque de souffrir de surpoids, d'obésité et des maladies associées (1).

En parallèle, ces dernières années, la tendance de l'« auto-monitoring » de sa santé grandit. L'auto-monitoring (*tracking for health* en Anglais) est le fait de prendre régulièrement des mesures sur sa santé (2). Selon un sondage téléphonique américain de 2012 de Fox et Duggan (2), 60% des adultes suivaient leur poids, leur alimentation ou leur activité physique. Depuis quelques années, de nombreuses applications pour smartphones sont disponibles comme *Will Corp. Software, compteur de calories, Myfitness PAL* et autres *nutrition apps* (3). La littérature rapporte que les personnes ayant perdu du poids et le maintenant utilisent des applications smartphones pour s'assurer qu'elle consomme une quantité d'énergie compatible avec le maintien de leur perte de poids (4). Les personnes s'intéressent donc à connaître leurs besoins énergétiques.

En tant que futurs diététiciens, notre rôle est de guider et d'accompagner nos patients dans des choix alimentaires favorisant leur santé. Une alimentation qui favorise la santé répond aux besoins de l'organisme, tant au niveau qualitatif que quantitatif (5). Nous ne manquons pas de recommandations claires sur la qualité de l'alimentation (6–9). Nous sommes aussi tout à fait capables de personnaliser les conseils en matière de la qualité de l'alimentation selon les préférences et les habitudes de nos patients. En revanche l'aspect quantitatif est moins clair. Nous avons des fourchettes énergétiques selon l'activité sportive ou de multiples équations de prédiction, voire de la calorimétrie indirecte multipliées par un niveau d'activité physique (NAP) (10,11). Nous n'avons cependant que rarement observé dans nos stages des diététiciens donnant des indicateurs de quantités autres que les sensations alimentaires pour les personnes en condition de *free-living* (condition de vie libre en autonomie). Pourtant, il est conseillé d'évaluer les besoins énergétiques de nos patients vivant en *free-living* tout comme en institution. En effet, l'évaluation des besoins énergétiques permet de coupler les interventions qualitatives et quantitatives (12,13).

Au final, comment peut-on évaluer les besoins énergétiques de nos patients en condition de *free-living* ? Existe-t-il aujourd'hui un outil nous permettant, à nous diététiciens, d'évaluer de manière plus précise les besoins énergétiques ?

Nous souhaitons être capables d'estimer la dépense énergétique totale (DET) pour répondre aux demandes des patients, mieux les accompagner vers leur objectif nutritionnel (prise, perte de poids, sportifs) et de baser nos interventions sur la technologie disponible.

Pour cela, nous allons aborder, dans le cadre de référence, les composantes de la dépense énergétique, ainsi que leurs méthodes de mesure. Ensuite, notre travail de Bachelor s'axera sur les outils et moyens récemment publiés. Enfin, nous concluons et prendrons position à travers notre revue de la littérature.

6 Cadre de référence

6.1 Dépense énergétique totale

La dépense énergétique totale (DET) est l'énergie dépensée en moyenne sur 24h par un individu ou un groupe d'individus. La DET reflète la dépense d'énergie générale d'un jour typique mais ce n'est pas la quantité exacte dépensée chaque jour. Pour étudier la DET, il faut la décomposer en trois parties (figure 1) (14) : la dépense énergétique de repos (DER) ou métabolisme de base (MB), la thermogénèse alimentaire et l'énergie dédiée à l'activité physique (PAEE) (15).

Par ce travail, nous souhaitons être capables d'estimer la DET pour un individu en bonne santé issu de la population générale. Pour cela, il est nécessaire de comprendre et de connaître l'importance des éléments qui composent la DET. Ceci fait l'objet des prochains chapitres.

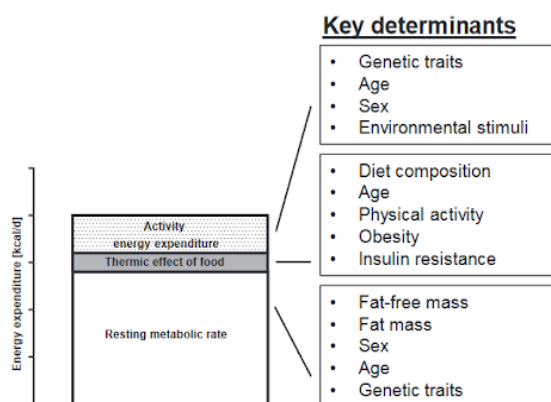


Figure 1: Les composantes de la dépense énergétique totale

6.1.1 Dépense énergétique de repos / métabolisme de base

La DER représente le coût énergétique des systèmes biochimiques du corps au repos. Elle se divise en 2 catégories : la dépense énergétique durant le sommeil et la dépense énergétique de l'organisme éveillé sans activité physique (14). Toutefois, l'évaluation de la DER se base uniquement sur la dépense énergétique de l'organisme éveillé au repos. (cf La mesure par chambre respiratoire). La DER représente environ 70% de la DET chez les individus sédentaires.

Fondamentalement, la DER n'est pas équivalente au MB. En effet le MB correspond à la DER sans la thermogénèse alimentaire (cf. Thermogénèse alimentaire)(13,16). Néanmoins, la mesure de la DER se fait à jeun (cf. Évaluation de la DER) (17,18), c'est pourquoi la plupart des revues que nous avons utilisées considère que la DER est équivalente au MB (14,19,20). Nous

considérons donc aussi les deux concepts indifféremment et utilisons uniquement le terme de DER dans notre texte.

6.1.1.1 Données anthropométriques et l'âge

La DER est influencée par des caractéristiques personnelles telles que l'âge, le sexe, la génétique, la taille et la composition corporelle. Il semblerait que l'âge, la masse maigre et le sexe expliquent 83% de la DER chez un individu. L'influence du genre s'explique car les hommes ont en général une masse maigre plus importante que les femmes. La masse maigre est la composante du corps qui consomme le plus d'énergie (cf composition corporelle). Au fil des années, le capital de masse maigre diminue. Les personnes âgées ont donc DER inférieure à celle d'un adulte de 30 ans par rapport à leur poids (14,21,22).

6.1.1.2 Composition corporelle

6.1.1.2.1 La dépense énergétique de la masse maigre

La dépense énergétique de repos augmente en fonction de la masse maigre. Cependant, la relation n'est pas linéaire. A partir d'un certain seuil de masse maigre, la dépense énergétique par kilogramme de masse maigre décroît. Les personnes souffrant de surpoids ou d'obésité sont donc celles qui ont la DER la plus importante en valeur absolue. Cela est majoritairement dû à une augmentation du poids et de la taille des organes.

Les modèles de la dépense énergétique des organes sont issus des démarches suivantes. La masse des organes a été évaluée par autopsie dans les années 1980 (23). La dépense énergétique des organes a été évaluée par la consommation d'oxygène chez l'humain et l'animal (24). Pour la dépense énergétique, nous nous intéressons aux organes et aux muscles. Il est admis que les organes représentent 5% du poids corporel. Ils sont cependant les principaux contributeurs de la DER. En moyenne, 70-80% de la DER est due aux organes (principalement au foie, cerveau, rein et cœur). Les muscles pèsent environ 40% du poids corporel et nécessitent 10-20% de la DER (24).

La dépense énergétique de la masse d'un organe noble (foie, cœur, reins et cerveau) varie entre 200-440kcal/kg de masse d'organe. La dépense énergétique des muscles varie entre 13 et 15kcal/kg de muscle squelettique. La dépense énergétique dépend de la masse individuelle de chaque organe et de sa densité en tissus actif métaboliquement. La teneur en eau est également un facteur important. En effet, le contenu en eau augmente le poids de l'organe mais n'augmente pas sa dépense énergétique (24). La masse maigre n'est pas une entité homogène mais la somme de deux moitiés distinctes: la masse maigre active métaboliquement (les organes et les muscles), les organes et tissus à basses dépenses énergétiques (par exemple : os, cartilages) (21).

6.1.1.2.2 Dépense énergétique de la masse grasse

La masse grasse a un coût énergétique bien moindre que la masse maigre, puisqu'il est d'environ 5kcal/kg/j (25). Toutefois, étant donné que la masse grasse peut représenter une proportion non négligeable du poids total chez des personnes souffrant d'obésité, elle peut contribuer de manière notable à la dépense énergétique. Tout comme pour la masse maigre, la relation entre masse grasse et dépense énergétique n'est pas linéaire et plafonne à partir d'un certain pourcentage de masse grasse (25).

6.1.2 Thermogénèse alimentaire

De l'énergie est nécessaire pour l'ingestion et la digestion de la nourriture, ainsi que pour l'absorption, le transport, métabolisation et le stockage des nutriments. Ce processus métabolique est appelé thermogénèse alimentaire. La thermogénèse alimentaire représente environ 10% de la DET (26). Les trois macronutriments impactent de manière différente sur la thermogénèse alimentaire. Les lipides nécessitent 0-3% de leur apport énergétique, les glucides 5-10% et les protéines 20-30% (14).

6.1.3 Dépense énergétique liée à l'activité physique

La dépense énergétique liée à l'activité physique (PAEE) reste la composante la plus variable de la DET chez les individus non hospitalisés (27). La PAEE représente 15% de la DET chez les personnes très sédentaires et jusqu'à 50% de la DET chez les individus hautement actifs. (14) L'activité physique se définit comme l'intégralité des mouvements du corps produits par les muscles squelettiques qui provoquent une dépense d'énergie. L'activité physique comprend l'activité sportive (EAT) mais aussi l'activité physique non sportive (NEAT), comme l'activité physique liée au travail, aux tâches ménagères, aux déplacements et au temps libre (figure 2) (18). Pour évaluer l'activité physique de manière satisfaisante, il est nécessaire de l'analyser sous plusieurs angles : le type d'activité physique, la fréquence, l'intensité, la durée ainsi que le moment durant lequel elle est pratiquée (28)

6.1.3.1 Dépense énergétique due à l'exercice : Exercice Activity Thermogenesis (EAT)

Cette dépense énergétique est déterminée par l'exercice sportif. Cette activité physique est structurée et planifiée dans le temps. Elle fait référence aux entraînements, cours de sport ou encore leçons individuelles ou collectives auxquelles l'individu participe. Elle est considérée comme volontaire (20).

6.1.3.2 Non-Exercise Activity Thermogenesis (NEAT)

La NEAT désigne toutes les dépenses énergétiques qui participent au contrôle du poids et au maintien de la santé, à l'exception de manger, dormir et faire du sport. Elle représente 15 à 50% de la DET (29). Elle se sépare en 2 groupes : les occupations/loisirs (par exemple : lecture, réfléchir, marcher au travail) et l'activité physique spontanée (SPA). Les gesticulations et

déplacements spontanées de la personne sont des activités physiques spontanée (SPA) (18). Il est nécessaire de relever que la NEAT et la SPA ne sont pas définis consensuellement (30).

La NEAT est influencée par les facteurs suivants (29):

Occupation professionnelle: un employé de bureau présentera un NEAT inférieur à un travailleur physique.

Environnement urbain et mécanisation: dans les pays à hauts revenus, le style de vie sédentaire est encouragé par l'environnement. Les magasins, écoles, restaurants, banques, arrêts de bus et habitations sont proches pour assurer plus de confort. La mécanisation comme les escalators, ascenseurs ou appareils électroménagers augmentent aussi le confort et diminuent l'activité physique allouée à ces tâches. Dans l'expérience de Levin et al (29) la mécanisation a permis aux individus d'épargner 111kcal par jour.

Sexe: Aux États-Unis, les hommes et les femmes présentent des niveaux d'activité physique (NAP) (cf. Évaluation de la PAEE) similaires selon les données auto-rapportées. Au Canada, Angleterre et Australie, les hommes ont un NAP 1.5 à 3 fois plus élevé que les femmes. En revanche, les populations d'agriculteurs, les attentes culturelles des genres pour lesquelles les femmes devraient travailler hors et dans la maison peuvent pousser les femmes à avoir un NAP 30% plus important que celui des hommes.

Instruction: Aux États-Unis, plus le niveau d'éducation est haut plus on a des loisirs physiques. Nous n'avons pas trouvé de données sur les NEAT non liés aux loisirs.

Variations saisonnières : Il y a peu de données disponibles. Le peu de littérature montre que les NEAT sont plus faibles en hiver et lorsqu'il pleut ou fait froid.

Les NEAT et plus particulièrement la SPA sont très variables aussi en fonction de l'individu. Dans une étude utilisant la mesure en chambre respiratoire (cf Mesure par chambre respiratoire) où la NEAT est limitée, les individus présentaient une SPA qui contribuait de 4 à 17% de la DET (18,30). Ceci démontre la variabilité individuelle de la SPA. Ce qui suggère que la SPA varie en fonction de la personnalité. Les personnes les plus dynamiques, qui gigotent, ont tendance à faire des gestes avec leur mains en parlant ont une SPA à priori plus importante (30).

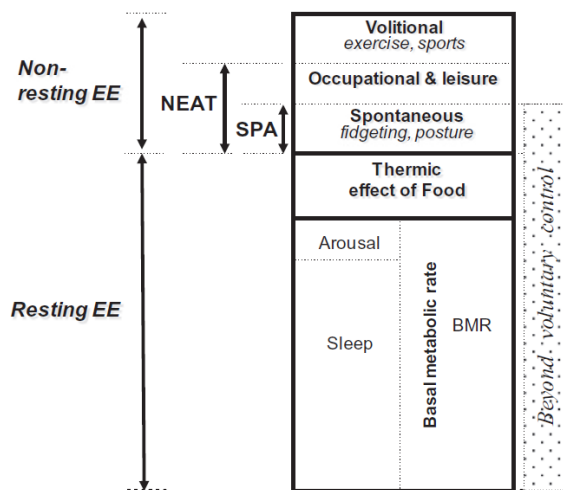


Figure 2 : Composantes de la DET avec la catégorisation des différents types d'activité physique. Abréviations par ordre alphabétique : BMR : dépense énergétique de repos, DER ; NEAT : Non exercise activity thermogenesis ; Non-resting EE : dépense énergétique liée à l'activité physique ; Volitional : activité physique sportive (EAT)

6.1.4 La PAEE chez les personnes souffrant d'obésité

À activité physique égale, la PAEE est plus importante chez les personnes souffrant d'obésité que chez les personnes avec un BMI inférieur à 30kg/m². Ceci est expliqué par le poids du corps représentant une charge supplémentaire à porter lors des différentes activités physiques. L'augmentation de la PAEE est particulièrement flagrante pour les activités de levée de poids, qui sont de grandes intensités (31).

6.1.5 Synthèse

Suite à ce survol des composantes de la DET, il est clair que de nombreux facteurs l'influencent. En résumé, les organes nobles sont ceux qui ont le plus impact sur la DER, de l'ordre de 70 à 80%. Les muscles ne représentent que 10 à 20% de la DER. La thermogénèse alimentaire équivaut à environ 10% de la DER. L'activité physique est la composante la plus variable chez un individu et se définit en fonction de sa durée, son intensité et sa fréquence.

Sous certaines conditions, la DET est perturbée et ne reflète pas la logique des principes exposés ci-dessus. C'est pourquoi nous avons expliqué brièvement ces facteurs perturbateurs dans le chapitre suivant.

6.2 Facteurs perturbateurs de la DET

6.2.1 Thermorégulation

La thermorégulation est l'adaptation du corps à la température intérieure et extérieure du corps, afin de garder une température corporelle de 37°C. Dans un environnement froid, le corps produira plus de chaleur pour maintenir la température corporelle grâce au tissu adipeux brun. L'exposition prolongée au froid peut augmenter de 2 à 17% le métabolisme de base (14). L'Academy of Nutrition and Dietetics (17) mentionne qu'il n'y a pas de preuves fondées sur l'augmentation de la dépense énergétique en milieu chaud. Cependant, lorsque la température corporelle augmente, il est admis dans la littérature que chaque degré au-dessus de 37°C accroît la dépense énergétique de 10-13% (par exemple dans le cadre d'un effort physique soutenu) (14).

6.2.2 Variation de poids et thermogenèse adaptative

Comme nous l'avons expliqué dans le chapitre sur la composition corporelle, plus l'individu a une masse maigre importante, plus la DER est importante. Lors de perte de poids, la masse maigre et la masse grasse diminuent. La DER diminue donc aussi (32).

La thermogenèse adaptative est le changement de la dépense énergétique indépendamment du changement de masse grasse et de masse maigre. Cette thermogenèse est liée à une sur- ou sous-nutrition. Elle est considérée comme un mécanisme de défense du corps. En effet, en cas d'une sous-nutrition, cette thermogenèse sera diminuée afin de préserver l'énergie. Dans le cas d'une sur nutrition, cette thermogenèse augmente afin de consommer l'excès d'énergie. Le but de cette thermogenèse serait de maintenir l'homéostasie du poids. L'homéostasie du poids décrit comme le poids d'équilibre est une théorie dans la gestion naturelle du poids (18,32).

Cependant, le principe du poids d'équilibre et de la thermogenèse adaptative dans l'homéostasie du poids ne sont pas clairement démontrés par la recherche. Peu d'études ont mesuré tous les compartiments de la dépense énergétique simultanément et indépendamment. De plus, il y a des erreurs dans l'évaluation de la dépense énergétique par rapport à la masse maigre. En effet, il n'est pas toujours clair si la masse maigre a été à nouveau mesurée avec le nouveau poids de l'individu. Par exemple, dans l'étude du Minnesota, une thermogenèse adaptative a été décrite avec la baisse de 50kcal à 400kcal mais la perte de masse maigre n'a pas été prise en compte. Il y a donc confusion dans l'interprétation des résultats (18). Enfin, il n'y a pas de définition précise basée sur une équation mathématique. La question de la thermogenèse adaptative reste donc controversée (14). Il semblerait que la thermogenèse adaptative soit significative chez certains individus et

non significative chez d'autres, ce qui est identifié comme le concept d'élasticité métabolique (18).

6.2.2.1 Concept d'élasticité métabolique

Il semblerait que certains individus, lors de perte de poids, soient capables de mieux préserver leur masse maigre, ce qui les pousserait à moins diminuer leur dépense énergétique. Ces individus ont été appelés les "spendthrift phenotype". Pour ces individus, perdre du poids serait "facile". D'autres individus, suite à la restriction calorique, subissent une perte de masse maigre plus importante. Ce sont les "thrifty phenotype". Ces phénotypes ne sont identifiables qu'au moyen d'un dosage de l'hormone thyroïdienne avant et après la restriction calorique, ainsi qu'avec la composition corporelle par imagerie avant et après la restriction calorique, et des mesures visant à identifier le stress métabolique avant et après la perte de poids (25).

Plus d'études sur les hypothèses de thermogénèse adaptative et d'élasticité métabolique sont nécessaires avant d'avoir une notion fondée (18).

6.2.3 Niveau d'entraînement

Le niveau d'entraînement d'un individu affecte sa dépense énergétique liée à l'activité physique. Un individu entraîné à faire une activité physique est plus économe qu'un individu non entraîné (figure 3) (33). Ce phénomène physiologique n'est pas totalement élucidé. Selon Pontzer et al. (34), il y aurait une adaptation métabolique à l'exercice physique.

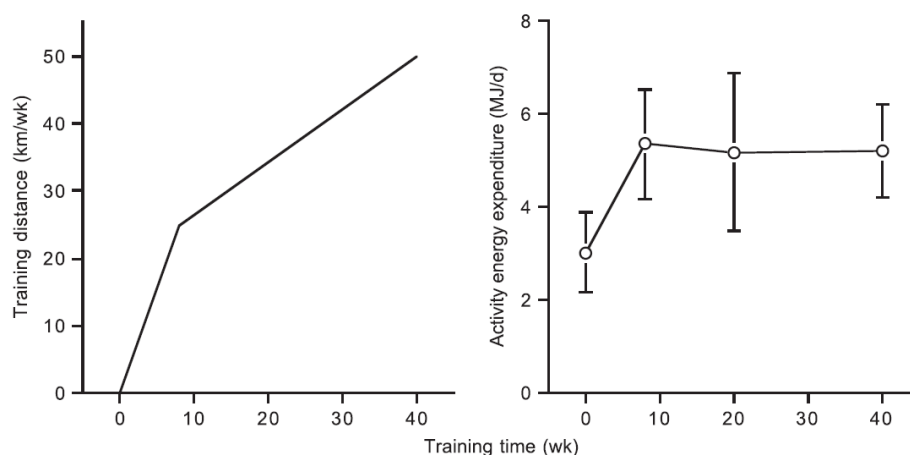


Figure 3 : Graphique de gauche : évolution de la distance d'entraînement au cours des 40 semaines. Graphique de droite : évolution de la dépense énergétique liée à l'activité physique au cours des 40 semaines. La dépense énergétique liée à l'activité physique atteint un plateau environ à la 10^e semaine.

6.2.4 Maladie

Les maladies influencent aussi la dépense énergétique (35). Dans notre travail de Bachelor, nous nous intéressons aux personnes en *free-living* non malades ou en situation de maladies chroniques stables (cf définition de l'étude). De ce fait, nous n'allons pas développer la dépense énergétique des personnes malades.

6.2.5 Synthèse

La thermorégulation, les variations de poids et le niveau d'entraînement peuvent perturber la DET. Nous devons connaître ces éléments et les situations dans lesquelles ils pourraient avoir une importance.

Nous allons maintenant aborder les outils et moyens d'évaluation des composantes de la DET. Nous résumerons leurs avantages et inconvénients dans le tableau 4 en fin de chapitre.

6.3 Évaluation de la DET

Pendant longtemps, la DET a été évaluée sur la base de ce que les gens mangeaient, avec un poids stable. Black et al. (36), avec l'eau doublement marquée (DLW), ont démontré que cette approche était incorrecte. En effet, l'évaluation des consommations alimentaires est toujours fautive, que ce soient des données auto-rapportées ou des données évaluées par un spécialiste. Il est donc nécessaire d'évaluer la dépense énergétique. La mesure DLW permet de mesurer la DET en condition de *free-living*. En condition de laboratoire, il est possible d'utiliser la chambre respiratoire et la calorimétrie directe (14).

6.3.1 Eau doublement marquée

La mesure par eau doublement marquée (DLW) (figure 4) (37) est la mesure de référence (gold standard) pour mesurer la DET des individus adultes en condition de *free-living* (11).

6.3.1.1 Eau doublement marquée en pratique

La technique de DLW consiste à faire boire une eau chargée de deux isotopes stables d'hydrogène et d'oxygène au sujet d'étude. Les deux isotopes permettent d'évaluer les sorties d'eau (H_2O) et la production de gaz carbonique (CO_2). Le taux d'erreur est de 2 à 8% (28).

Plus précisément, un isotope d'hydrogène est excrété par la sueur et l'urine et l'isotope d'oxygène par la respiration. La différence entre les taux d'élimination des isotopes permet d'évaluer le flux de CO_2 . La production de CO_2 est ensuite transformée en kilocalories par estimation du quotient énergétique du CO_2 . Dans une alimentation contenant 55% d'hydrates de carbone, 15% de protéines et 30% de graisses, l'équivalent énergétique du CO_2 est de 23.5kj/l, donc environ 5.6kcal/l de CO_2 produit. Ce calcul correspond au quotient respiratoire par défaut utilisé dans les recherches, soit 0.85.

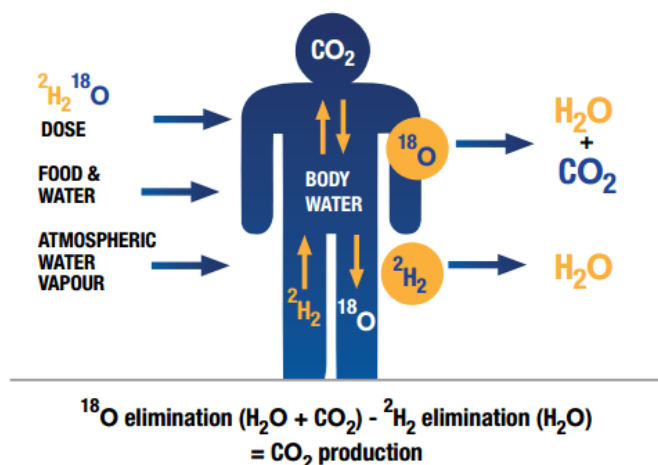


Figure 4: Mesure de la dépense énergétique totale (DET) à partir de la production de CO_2 dans la mesure par DLW. Abréviations : CO_2 : gaz carbonique ; H_2O : eau ; 2H_2 : isotope d'hydrogène ; ^{18}O : isotope d'oxygène

6.3.1.2 Les enjeux méthodologiques

Tableau 1 : étapes essentielles dans un protocole de mesure par eau doublement marquée (DLW)

Choix de la durée de l'étude	1. choisir un intervalle d'observation de 1 à 3 semaines
Ajustement des doses d'isotope	2. Préparer les doses d'isotopes : >1.8g d'eau/kg d'eau corporelle avec 10% de ¹⁸ O et >0.12 g eau/kg eau corporelle avec 99% ² H
Collecte des échantillons	3. Prélever un échantillon avant l'administration des doses 4. Prélever 2 échantillons indépendants directement après le temps d'équilibrage 5. Prélever 2 échantillons indépendants à la fin de la période d'observation
Analyse des échantillons	6. Analyser les échantillons grâce au spectromètre de masse à une précision de 0.5 partie par million (ppm)

6.3.1.2.1 Durée de la mesure

Le choix de la durée de la mesure se fait selon les sujets d'études. Il est admis que la durée de mesure optimale est de 1 à 3 fois la demi-vie des isotopes. La demi-vie varie de 3 jours chez les adultes les plus actifs jusqu'à 10 jours pour les adultes les plus sédentaires. Il est aussi recommandé de choisir son temps de mesure par cycle d'une semaine pour inclure la routine hebdomadaire de l'activité physique. C'est pourquoi, la durée de la mesure est adaptée à la fourchette des NAP des sujets d'études. Par exemple, pour des sportifs d'endurance, la mesure dure 1 semaine et, chez les adultes sédentaires, 2 semaines (38).

6.3.1.2.2 Ajustement des doses d'isotope

Le volume d'eau corporelle est le principal déterminant des doses d'isotopes. Comme l'eau est contenue dans la masse maigre, les sujets les plus corpulents nécessitent une dose d'isotopes plus importante, tout comme les hommes nécessitent une dose plus importante que les femmes (38).

6.3.1.2.3 Collecte des échantillons

Il est possible de mesurer l'enrichissement en isotopes dans le sang, la salive et les urines. Les taux d'isotopes attendus sont différents selon le fluide corporel, c'est pourquoi dans un même protocole les échantillons devraient tous provenir du même fluide corporel. L'urine est le plus souvent choisie. Le moment de la collecte d'urine est important. En effet, si l'urine est retenue dans la vessie de manière prolongée, la concentration d'isotope urinaire sera faussée (38).

Après avoir collecté un échantillon urinaire de base, le sujet boit la solution de DLW. Chez le sujet adulte jeune, les isotopes atteignent un plateau de concentration 2.5 heures après l'ingestion de la solution de DLW. C'est le temps d'équilibre. La plupart des protocoles d'études admettent un temps d'équilibre de 4 à 6h. La deuxième collecte d'échantillons (deux échantillons indépendants) est prélevée directement à la fin du temps d'équilibre. Chez les sujets les plus corpulents, le temps d'équilibre est plus long, c'est pourquoi la dose de solution de DLW est donnée juste avant le coucher. Dans ce cas, la deuxième collecte d'échantillons est prélevée au réveil (38).

Les protocoles qui incluent plusieurs collectes d'échantillons augmentent la précision. Le protocole de Maastricht (le plus utilisé) permet une adaptation au sujet dans la dose d'isotopes, le temps d'équilibre et les variations analytiques. Dans ce protocole, le sujet boit la dose de DLW au coucher, l'équilibre s'effectue durant la nuit et 2 échantillons indépendants sont collectés au réveil. Ensuite, 2 échantillons sont collectés chaque semaine. Les échantillons sont collectés dans des contenants en verre fermés par des capsules étanches.

6.3.1.2.4 Analyse des échantillons

Cette étape demande le plus de temps lorsqu'on veut mesurer la dépense énergétique par la DLW. Brièvement, l'enrichissement en taux d'isotopes est mesuré au spectromètre de masse de rapport isotopique (38).

6.3.1.2.5 Sources d'erreurs possible

La mesure par DLW peut être biaisée par certaines variables. En voici des exemples:

- Les isotopes s'incorporent dans les tissus non aqueux du corps à des taux estimés de 1% à 4%.
- Les isotopes lourds sont moins prompts à se transformer en vapeur que l'eau. La sueur est donc moins riche en isotopes que l'eau corporelle. Approximativement, 2% des isotopes sont perdus dans les selles au lieu des urines.
- Le CO₂ contient environ 4% de plus de l'isotope d'oxygène que l'eau corporelle. (28)

Toute variation du quotient respiratoire de 0.01 par rapport à la valeur standard résulte en une erreur de 1% de la dépense énergétique. (38)

La mesure par DLW est aujourd'hui encore trop coûteuse pour que son utilisation s'étende hors du domaine de la recherche. En effet, le coût des isotopes seul s'élève à plusieurs centaines de dollars américains par sujet d'étude (28). En recherche, elle permet de valider les outils de mesure de la dépense énergétique pour les activités de la vie quotidienne (13).

Depuis la mesure par DLW de 574 personnes par Black et al. (39), il est recommandé de grouper les déterminants de la DET en deux catégories : la dépense énergétique de repos et l'activité physique (11,19,40). Cette étude a aussi développé une approche factorielle de

l'activité physique : la mesure de la DET par DLW divisée par la DER obtenu par calorimétrie indirecte. Ce qui résulte en un niveau d'activité physique qui est un facteur (41).

Grâce à cette étude de référence, il existe maintenant les niveaux d'activité physique (NAP) qui sont recommandés par FAO/OMS/ONU (11) et DRI (40) pour évaluer la dépense énergétique liée à l'activité physique

6.3.2 La calorimétrie directe

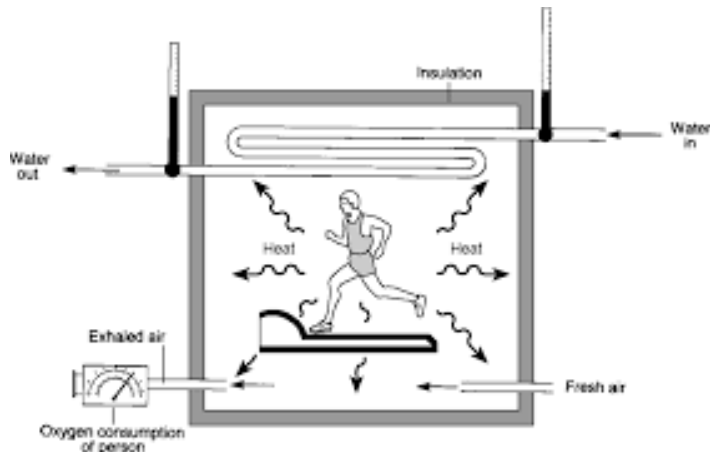


Figure 5 : Illustration de la calorimétrie directe en chambre pour évaluer la dépense énergétique totale

La calorimétrie directe (figure 5) (42) est basée sur le principe de la thermodynamique : l'énergie utilisée pour tous les processus physiologiques se dissipe en chaleur. Cette technique nécessite de mesurer les flux thermiques, notamment la perte de chaleur due à l'évaporation. La mesure de calorimétrie directe s'effectue dans une pièce à température contrôlée et étanche aux échanges gazeux. En plus de la difficulté de la mesure par le matériel, la mesure de calorimétrie directe subit 2 limitations. La première est que la mesure ne permet pas de tenir compte des changements ponctuels tels que la dépense augmentée due à la thermogénèse alimentaire. La deuxième est que le besoin de confiner les participants dans une pièce étanche et isotherme limite l'applicabilité des résultats, car nous ne sommes plus en condition de *free-living* (14).

En revanche, des bracelets de mesure récemment élaborés mesurent la dépense énergétique selon le même principe. Ils peuvent être utilisés pour mesurer la dépense énergétique en condition de *free-living*. Ces outils mesurent : la température de la peau, le flux de chaleur (notamment la perte de chaleur due à l'évaporation). Ces bracelets sont validés contre la mesure de calorimétrie indirecte et non contre la mesure DLW (pour rappel la mesure DLW est le gold standard pour valider les outils et moyens évaluant la dépense énergétique en *free-living* (14,38). Un article de 2017 propose l'utilisation d'un nouveau calorimètre direct portable. Les résultats semblent satisfaisants. L'article conclut que cette méthode de mesure pourrait prendre plus d'importance dans le futur (43).

6.3.3 La mesure par chambre respiratoire



Figure 6 : Illustration d'une chambre respiratoire pour évaluer la dépense énergétique totale

La chambre respiratoire (figure 6) (44) utilise la mesure des échanges gazeux pour évaluer la DET dans une pièce étanche. Pour cela, on alimente la pièce avec une composition contrôlée d'air et on documente les sorties d'air. Il est possible de poursuivre la mesure sur plusieurs jours, pour autant que le sujet reste dans la pièce. Cette technique permet aussi de calculer la thermogénèse alimentaire. (cf. mesure de la thermogénèse alimentaire) (45).

6.4 Evaluation de la DER

6.4.1 La calorimétrie indirecte sous canopy

La méthode de référence pour la mesure de la DER est la calorimétrie indirecte (figure 7) (46). Elle se base sur les échanges gazeux d'oxygène et de gaz carbonique que le corps consomme et produit (sur le même principe que la chambre respiratoire)(14). La revue systématique de l'académie de nutrition et diététique (17) souligne que la calorimétrie indirecte reste l'outil de premier choix pour évaluer la DER.



Figure 7 : Illustration d'une calorimétrie indirecte pour évaluer la dépense énergétique de repos

Pour une mesure fiable de la DER par la calorimétrie indirecte, une attention particulière aux éléments exposés ci-dessous est essentielle.

6.4.1.1 Activité physique avant et pendant la mesure

L'effet et la durée de l'effet de l'activité physique sur la dépense énergétique de repos dépend de l'intensité et de la durée de l'activité physique. La revue systématique de l'académie de nutrition et diététique souligne le manque d'études évaluant l'impact de l'activité physique modérée à vigoureuse sur la dépense énergétique de repos (les définitions de l'activité physique modérée et vigoureuse sont développées dans le chapitre MET). L'impact de l'activité physique très légère est plus investigué. En effet, il a été observé qu'après un temps de repos de 30 minutes, la DER atteint son état normal. Ceci explique la recommandation de se reposer pendant 30 minutes avant la mesure et de ne pas faire d'activité physique modérée à vigoureuse 24h avant la mesure. Le maintien de la position couché permet de garder la DER à sa valeur initiale. Les mouvements de « gigotements » durant la mesure doivent être évités, car ils augmentent la DER (17).

6.4.1.2 Thermogénèse alimentaire

Les études évaluées par la revue systématique (17) montrent qu'un repas de 450 à 1500 kcal augmente la DER entre 3 et 5 heures après le repas. Aucune des études n'a duré assez longtemps pour observer le retour de la DER à sa valeur initiale. Le pôle d'expert a donc statué sur un minimum de 7 heures de jeûne précédant la mesure (17).

6.4.1.3 Café et autres stimulants

Le café augmente la DER. La durée exacte de cette augmentation est inconnue. Stopper le café et les autres stimulants 4 heures avant la mesure est issu de recommandations d'experts (17).

6.4.1.4 Cigarette

Les preuves scientifiques suggèrent que le fait de fumer augmente la DER pendant 140 minutes. Il n'existe aujourd'hui pas de données sur les autres formes de consommation nicotinique. Stopper les produits contenant de la nicotine 2.5 heures précédant la mesure est issu de recommandations d'experts (17).

6.4.1.5 Température de la pièce

Une température ambiante inférieure à 20°C induit une augmentation de la DER. Entre 22°C et 25°C, la DER est à sa valeur initiale. Il n'y a aucune donnée sur l'effet d'une température supérieure à 25°C (17).

6.4.1.6 Le temps de stabilité

Le temps de stabilité est la période de temps continue où la consommation d'oxygène varie de moins de 10%. Atteindre 10 minutes de stabilité et supprimer les données précédentes est important pour une mesure optimale (17).

La figure 8 résume les éléments exposés ci-dessus.

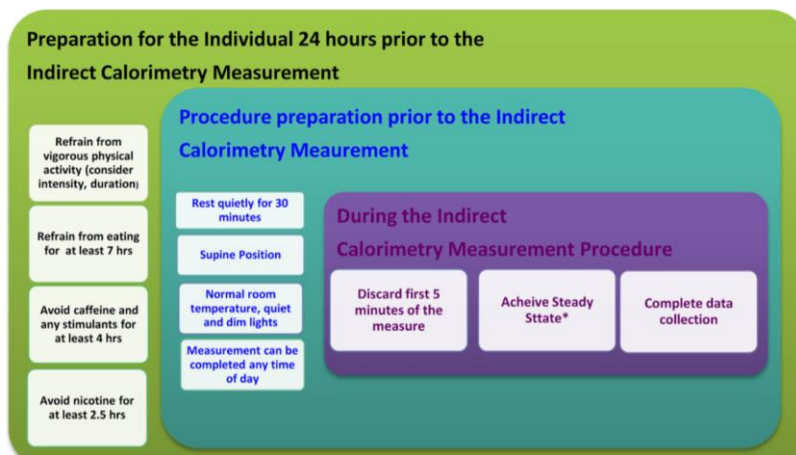


Figure 8 : Impératifs méthodologique pour une mesure de calorimétrie indirecte de repos optimale.

6.4.1.7 Formules d'estimation de la DER

Les formules sont l'outil le plus utilisé pour déterminer la DER. Il existe une multitude de formules avec une précision variable selon les individus. Une revue systématique faite par l'Academy of Nutrition and Dietetics a évalué les formules d'estimations de la DER suivantes : Harris-Benedict, Mifflin-St Jeor, Owen et de FAO/OMS/ONU) par rapport à la calorimétrie indirecte. L'équation de Mifflin-St Jeor est celle qui offre le taux d'erreur le plus faible par rapport à la calorimétrie indirecte pour les individus de 18 à 65 ans avec un BMI de 18 à 40kg/m². Il n'existe pas de recommandations pour les personnes avec un BMI supérieur à 40 kg/m² (12).

6.4.2 Détermination de la DER grâce à la composition corporelle

Certains outils et moyens utilisent la composition corporelle pour déterminer la DER. La revue de Müller et al (25) montre que la prédiction de la DER depuis la composition corporelle à deux compartiments (la masse grasse et la masse maigre) obtenue par Bio-impédance électrique, Bodpod™ ou hydro-densitométrie n'est pas fiable pour les individus .

En effet, la composition corporelle à deux compartiments ne permet pas de faire la différence entre la masse maigre à haute dépense énergétique (les organes et les muscles) et de la masse maigre à faible dépense énergétique (cf. composition corporelle). Dans la masse maigre à haute dépense énergétique, de grandes différences existent entre la dépense énergétique des organes et la dépense énergétique du muscle squelettique. Dans les organes, tous les tissus ne dépensent pas la même énergie. Les constantes utilisées par les analyses de

régression pour convertir les données brutes en kcal/kg de poids corporel/jour sont des moyennes établies grâce aux données issues d'autopsies. Comme chaque corps humain est unique, la prédiction individuelle n'est pas optimale (24)

En outre, il n'est pas établi si la masse de chaque organe a une dépense énergétique homogène. C'est pourquoi, même si on pouvait identifier le volume et la masse précise de chaque organe par une technologie d'imagerie comme l'IRM ou la tomographie par ordinateur, il serait difficile d'en déduire une dépense énergétique fiable.

Müller et al. (24) préconise davantage de recherches avec une méthodologie claire de calorimétrie et des technologies d'imagerie (IRM et tomographie par ordinateur), afin d'améliorer la prédiction de la DER par l'évaluation de la composition corporelle. Cette technique a des intérêts pour la recherche. Par contre, nous ne pensons pas que cette méthode soit pertinente au niveau clinique, car nous disposons de données de référence grâce à la calorimétrie indirecte que nous sommes capables de réaliser en tant que diététiciens.

6.5 Évaluation de la thermogénèse alimentaire

Les méthodes de mesure de la thermogénèse alimentaire sont controversées. Selon Schutz et al. (47), la chambre respiratoire permet de mesurer la thermogénèse alimentaire en effectuant la soustraction du métabolisme de base et de l'énergie attribuée à l'activité physique à la dépense énergétique totale (14). D'autres études proposent de mesurer les différences entre la dépense énergétique à jeun et la dépense énergétique après un repas. D'autres encore mesurent les fluctuations de la DER sur 24 heures. Pour cela, les sujets doivent rester couchés. Toutes ces méthodes ont une mauvaise reproductibilité. Le taux d'erreur intra-individuel est de 43%. Pour cette raison, la dépense énergétique liée à la thermogénèse alimentaire reste compliquée à mesurer (14).

En recherche, lorsque le quotient alimentaire (FQ) est dans les normes (0.69-0.90), on admet que la thermogénèse alimentaire correspond à 10% de la DET (17). Il a été démontré qu'une alimentation plus riche en calories augmente cette thermogénèse (26).

Il est aussi essentiel de prendre en compte la thermogénèse alimentaire lorsque le niveau d'activité physique est calculé d'après une mesure de la DET divisée par une mesure de la DER. Le calcul est $DET = (DET \times 0.1) + PAEE + DER$ (27).

6.6 Évaluation de la dépense énergétique liée à l'activité physique

La dépense énergétique liée à l'activité physique représente environ 15% de la DET chez les individus les plus sédentaires et jusqu'à 50% de la DET chez les individus les plus actifs (14).

Nous avons regroupé les outils et moyens pour évaluer la dépense énergétique liée à l'activité physique en deux catégories :

- Les outils et moyens nécessitant une anamnèse poussée de l'évaluateur
- Les outils et moyens ne nécessitant pas d'anamnèse poussée de l'évaluateur

6.6.1 Les outils et moyens nécessitant une anamnèse de l'évaluateur

6.6.1.1 L'équivalent métabolique (MET)

L'équivalent métabolique (*metabolic equivalent of task*, abrégé MET en anglais) permet de calculer la dépense énergétique d'une activité physique spécifique, ainsi que son intensité (48). Les MET sont surtout utilisés dans les sciences du mouvement pour évaluer la dépense énergétique propre à chaque activité physique. Par convention, 1 MET est égal à 3.5mL d'oxygène/kg de poids corporel/min ou 1kcal/kg de poids corporel/heure chez l'adulte. Le MET a pour référence un homme de 70kg et 40 ans. La valeur moyenne de la DER est estimée à 1 MET ce qui équivaut à 1680kcal/24 heure (48,49). Toutefois, cette valeur moyenne de 1 kcal/kcal/h n'est pas recommandée pour déterminer le DER (27).

Pour calculer la dépense d'énergie liée à une activité physique précise, il faut se référer à la liste complète du compendium des activités physiques (50), qui est disponible sur internet: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXib21wZW5kaXVtb2ZwaHlzaWNhbGFjdGI2aXRpZXN8Z3g6MmlwNzI4ZTQ2NGU3ZTQ2Ng>.

Une fois l'activité choisie, on peut calculer la dépense énergétique en fonction du poids de l'individu, de la durée et de l'intensité de l'activité. La formule pour calculer sa dépense énergétique est la suivante : $\text{kcal} = \text{MET} \times \text{kg} \times \text{h}$. Le tableau 2 montre comment sont classées les activités en fonction de leur intensité d'après le compendium des activités physique (50).

Tableau 2 : Classification des MET en fonction de leur intensité

Caractéristique de l'intensité	fourchette en MET
Comportement sédentaire	1.0 - 1.5
Intensité légère	1.6 - 2.9
Intensité modérée	3.0 - 5.9
Intensité vigoureuse	≥ 6

Le MET permet donc d'évaluer minute par minute l'activité physique ainsi que son intensité. Calculer la PAEE avec le MET reste néanmoins une estimation car le calcul avec le MET ne prend pas en compte l'augmentation de la dépense énergétique post-exercice. Cette augmentation dépend de l'intensité de l'exercice, de sa durée ainsi que du niveau

d'entraînement de l'individu. L'augmentation de la dépense énergétique post-exercice est admise comme étant 15% de l'augmentation de la dépense énergétique durant l'exercice (40).

6.6.1.2 Niveaux d'activité physique

Contrairement au MET, les niveaux d'activité physique (NAP) sont destinés à évaluer à quel point le style de vie général est actif et non de calculer la dépense énergétique d'une activité physique spécifique. Le facteur NAP ne prend pas en compte la thermogénèse alimentaire (51). Le NAP aussi utile pour comparer le style de vie des différentes populations d'étude (15,52). Les NAP ont été établis grâce aux études incluant la mesure de la DET et la DER, chez de nombreux individus (39). En divisant la DET par la DER, on obtient le facteur NAP. Suite à cette division, on peut établir des classes d'activité physique (sédentaire, active, très active, etc.) selon l'interprétation des évaluateurs. Le NAP peut varier de 1.2 à 2.5. Les fourchettes de NAP sont performantes pour évaluer l'activité d'une population mais il manque de précision pour l'évaluation de l'activité physique individuelle (11,40).

Le rapport de FAO/OMS/ONU (11) explique les différents NAP comme suit :

Style de vie sédentaire ou légèrement actif : 1.4-1.69

Ce sont des personnes ayant des occupations à faible demande physique. Ils ne marchent pas de longues distances. Ils utilisent des véhicules à moteur, ne pratiquent pas d'activités sportives régulières et passent la plupart de leur temps libre assis ou debout avec de petits déplacements (p.ex. parler, lire, regarder la télévision, utiliser un ordinateur).

Style de vie actif ou modérément actif : 1.70-1.99

Personnes qui ont des occupations, qui ne sont pas astreignantes mais plus physiques que celles du style de vie sédentaire (par exemple les travailleurs dans le bâtiment).

Les personnes qui ont une occupation sédentaire mais qui pratiquent de l'activité physique de manière vigoureuse font aussi partie de cette catégorie (p.ex. les déplacements à vélo ou à pied de manière vigoureuse pendant 60 min par jour).

Style de vie vigoureux ou vigoureusement actif : 2.00-2.40

Ces personnes effectuent régulièrement des activités astreignantes pendant plusieurs heures. Ce sont des personnes qui ont une occupation professionnelle non sédentaire et effectuent des activités sportives pendant 1 à 2 heure/ jour.

Selon la FAO/OMS/ ONU (11), les NAP inférieurs à 1.4 et supérieurs à 2.4 sont incompatibles avec la santé à long terme. En revanche, d'après les données récoltées par les Dietary Reference Intake (DRI) avec la mesure par DLW (40), les fourchettes des NAP sont différentes :

Style de vie sédentaire : 1 à 1.39

Ces personnes effectuent les activités de la vie quotidienne comme les activités ménagères et les déplacements courts jusqu'aux transports publics.

Style de vie peu actif : 1.4 à 1.6

Ces personnes effectuent aussi les activités de la vie quotidiennes comme la catégorie sédentaire et en plus 30 à 60 minutes par jour d'activité physique modérée comme marcher de 5 à 7 km/h.

Style de vie actif : 1.6 à 1.9

Les personnes qui effectuent les activités de la vie quotidiennes et au moins 1 heure par jour d'activité physique modérée ont un style de vie actif

Style de vie très actif : 1.9 à 2.5.

Ces personnes effectuent les activités de la vie quotidienne et au moins 2 heures par jour d'activité modérée à intense. Pour rappel, marcher de 5 à 7km/h représente une activité physique modérée.

Selon les DRI (40), le NAP est la méthode de choix pour calculer la dépense énergétique de l'activité physique, car elle peut prendre en compte aussi les activités spontanées de l'individu ainsi que l'augmentation de la dépense énergétique post-exercice. La complexité de l'utilisation du NAP demeure dans le choix de ce dernier. En effet, le diététicien doit faire un choix subjectif avec une anamnèse poussée de l'activité physique de l'individu (dont l'activité physique spontanée) dans laquelle il investit le type, la fréquence, la durée et l'intensité de l'activité physique.

6.6.2 Les outils et moyens qui nécessitent peu de calcul de l'évaluateur

Ces évaluations se font par le biais d'outils qui fournissent directement des résultats en kcal, en un NAP, ou en MET. La recherche tente de valider ces outils pour que les cliniciens (diététiciens ou spécialistes du mouvement) puissent les utiliser. Nous nous sommes basés principalement sur une revue systématique de 2018 qui évalue les outils sous les 3 angles : **la validité, la fiabilité et la sensibilité** (53).

6.6.2.1 Validité

L'outil mesure ce qu'il est sensé mesurer. Il est possible de mesurer la validité par deux méthodes : la validité de critère et la validité concurrente. La validité de critère compare les résultats de l'outil à un gold standard. Dans notre cas, la validité de critère de la dépense énergétique en "free-living" s'évalue par la mesure DLW. La validité concurrente s'évalue lorsque deux outils de mesure, qui ne sont pas des gold standard, devraient donner les mêmes résultats. Dans notre cas, des mesures pourraient comparer le résultat obtenu par calorimétrie indirecte de repos multiplié par le NAP (déduit par le clinicien) avec des résultats obtenus par accéléromètre. Dans notre démarche, nous n'utilisons que la validité de critère pour ne comparer la mesure de « free-living » qu'à une mesure gold standard de DLW.

6.6.2.2 Fiabilité

Le degré auquel un test peut produire des résultats constants à différentes occasions quand il n'y a pas de preuve de changement.

6.6.2.3 Sensibilité

Capacité du test à détecter les changements effectifs.

6.6.2.4 Mesures auto-reportées : questionnaires et carnets d'activité physique

Le questionnaire est un outil utilisé pour catégoriser la dépense énergétique d'un individu en plusieurs catégories (sédentaire, actif, très actif, etc.). Il existe des questionnaires qui fournissent des estimations du nombre de kcal par semaine est alloué à l'activité physique, d'autre un NAP ou MET (28,54). Le questionnaire le plus utilisé dans la littérature scientifique est "The International Physical Activity Questionnaires (IPAQ)". Ce questionnaire estime correctement l'activité physique d'une population mais manque de précision pour une évaluation individuelle (55).

La revue de revues de Dowd et al.(53), publiée en 2018, a examiné la validité des critères des mesures auto-rapportées en comparaison avec la mesure par 7 à 15 jours de DLW. Les outils de mesure étaient des questionnaires sur les 7 derniers jours, sur l'année précédente, sur une semaine typique et des journaux d'activité physique (53). Les revues qui ont examiné la validité des journaux d'activité physique ont trouvé une précision allant d'une sous-estimation de la DET de 12.9% à une surestimation de la DET de 20.8%. Les questionnaires qui

évaluaient une semaine typique étaient moins précis allant d'une sous-estimation de 59.5% à une surestimation de 62.1%. Les revues qui examinaient des questionnaires sur l'activité physique durant le mois précédent ont présentés les évaluations les plus proches de celle de la mesure DLW, soit d'une sous-estimation moyenne de 13.3% à une surestimation moyenne de 11.4%. La fiabilité et la sensibilité des tests ont été jugées adéquates (53).

6.6.2.5 Calorimétrie indirecte d'effort

La calorimétrie indirecte d'effort (figure 9) (56) suit le même principe que la calorimétrie indirecte pour mesurer la DER (cf calorimétrie indirecte sous canopy). Elle s'effectue sur un tapis roulant à plat ou incliné, sur un vélo elliptique ou un vélo d'intérieur. Elle permet de mesurer la dépense énergétique lors d'un exercice prédéfini. En recherche, elle est utilisée pour valider les outils et moyens d'évaluer la dépense énergétique pour des activités physique spécifiques en conditions de laboratoire. Il existe des outils sous forme de masques, d'embouts buccaux ou de canopy qui permettent d'effectuer une calorimétrie indirecte portable (figure 10) (57). Ces outils permettent d'évaluer la dépense énergétique des sujets hors d'un laboratoire. Ils ne permettent pas réellement de mesurer la dépense énergétique en *free-living* car ils sont encombrants (14).



Figure 9 : Calorimétrie indirecte d'effort sur un vélo d'intérieur



Figure 10 : Calorimétrie indirecte d'effort portable avec Cosmed K5

6.6.2.6 Podomètres

Les podomètres comptent les pas et donc les distances parcourues (58). Dans la revue systématique de Dowd et al. (53), la validité des critères des podomètres a été évaluée par des études dans lesquelles les podomètres étaient portés durant 2, 7 et 8 jours. La MPD variait d'une sous-estimation de 64.4% à une surestimation de 0.8%. La fiabilité de la mesure était jugée comme acceptable. Une seule revue a analysé la sensibilité, qui était convaincante (27,53).

6.6.2.7 Accéléromètres

Les accéléromètres mesurent les accélérations de manière uniaxiale (accélérations verticales) ou triaxiale (accélérations d'avant en arrière, verticales et latérales). La plupart incluent aussi la mesure de l'intensité de l'effort. Toutes ces données sont combinées en *counts*. Les *counts* sont converti en kcal par les MET que l'accéléromètre attribue aux *counts*. (27,59). Les accéléromètres peuvent se porter au poignet ou au niveau de la hanche (figure 11) (60)



Figure 9: l'Actigraph GT3X-BT(59) porté au niveau de la hanche

Actuellement, il existe de nombreux accéléromètres (*Actigraph*, *Actical*, *RT3*,...) utilisés dans les études. Chaque accéléromètre est différent et utilise ses propres modèles de prédiction. Évaluer la dépense énergétique par accéléromètre est donc compliqué. De plus, les calibrations effectuées sur les accéléromètres se basent sur un échantillon d'individu identique à celui avec lequel l'accéléromètre était produit. Ainsi, l'échantillon de test fait les mêmes activités que l'échantillon de développement de l'accéléromètre. La conséquence est que les accéléromètres évaluent précisément certaines activités physiques et non d'autres (59).

Les accéléromètres ont tendance à sous-estimer la dépense énergétique. La sous-estimation varie de 56.59% à 96.84%. La fiabilité des accéléromètres est variable. Les mesures de l'*Actigraph* sur le même individu à un coefficient de variation de 3 à 10% et le *RT3* de 6% à 35%. La sensibilité des moniteurs d'activités a été évaluée seulement pour un appareil *Actiwatch*. L'appareil est capable de détecter les changements significatifs chez le jeune adulte (53).

6.6.2.8 Fréquence cardiaque

Il est possible d'estimer la dépense énergétique liée à l'activité physique par la mesure de la fréquence cardiaque. En effet, il existe une relation linéaire entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène qui permet d'estimer la dépense énergétique. Cependant, cette relation linéaire est notamment marquée lors d'efforts moyens à intenses. On perd donc en précision pour des efforts de basses intensités (par exemple, lors des NEAT). De plus, la fréquence cardiaque est fortement influencée par des événements extérieurs autres que l'activité physique (stress, température, altitude)(28).

Dans l'étude Dedipac de Dowd et al. (53), 12 études ont examiné la validité de critère des moniteurs de fréquence cardiaque. L'évaluation durait de 24 heures à 14 jours. 2 études ont comparé le NAP dérivé de la fréquence cardiaque avec le NAP trouvé par la mesure de DLW. La MDP variait entre -11.1 à -7.6% avec une légère tendance à la sous-estimation. Les 10 autres revues ont comparé la DET déterminée par fréquence cardiaque ou par DLW. La MPD montre que les moniteurs de fréquence cardiaque sous-estiment jusqu'à 60.8% et surestiment jusqu'à 19.7%. La fiabilité ainsi que la sensibilité n'ont pas été évaluées (27,53).

6.6.2.9 Multi-sensors

Dans la revue de Dowd et al. (53), 8 revues ont estimé la validité de critère des multi-sensors (53). Les multi-sensors analysés étaient: des accéléromètres multiples, des accéléromètres avec gyroscope (détecte une accélération de rotation autour d'un axe) ou des accéléromètres avec des moniteurs de la fréquence cardiaque. L'activité physique en "free-living" était surestimée par rapport à la mesure de DLW de 13 à 26.8%. La fiabilité et sensibilité n'ont pas été évaluées.

6.6.2.9.1.1 Moniteurs d'activité physique disponibles dans le commerce pour les individus

Comme mentionné dans l'introduction, l'engouement pour les méthodes d'auto-monitoring grandit (2). Ces moniteurs sont pour la plupart des multi-sensors. Une revue systématique de 2015 a analysé la validité et la fiabilité des appareils du commerce des marques *Jawbone* (figure 11) et *Fitbit* (figure 12)(61).

La compagnie *Jawbone* a mis sur le marché au moins 6 moniteurs depuis 2011, la plupart se portent au poignet. Ils sont dotés d'un accéléromètre triaxial ainsi que de la mesure de la fréquence cardiaque et de la réaction de la peau face à l'exercice. Les deux compagnies utilisent leurs propres algorithmes pour calculer la dépense énergétique. Depuis 2008, *Fitbit* a sorti au moins 8 moniteurs qui se portent au poignet, à la taille, dans le soutien-gorge ou dans une poche (selon la recommandation de la compagnie). Les moniteurs de *Fitbit* sont des multi-sensors avec un accéléromètre triaxial, un altimètre, la mesure de la fréquence cardiaque et un GPS.



Figure 11: Un des bracelets connectée Fitbit



Figure 10 Un des bracelets connectée Jawbone

Dans les études incluses dans la revue systématique, la validité de critère des deux moniteurs a été évaluée par calorimétrie indirecte d'effort, ou avec l'accéléromètre (*Actigraph GT3X*) ou avec un multi-sensor (61). Aucune étude n'a comparé les résultats des deux moniteurs avec la mesure de DLW. Cette comparaison aurait dû avoir lieu car la mesure DLW est le gold standard pour mesurer la dépense énergétique en condition *free-living* (53). Les moniteurs de *Fitbit* (*Classic, One, Flex, Ultra et Zip*) ont tendance à sous-estimer la dépense énergétique. Les moniteurs de *Jawbone* (*UP et UP24*) ont également tendance à sous-estimer la dépense énergétique. Par contre, la fiabilité des moniteurs de *Fitbit* a été jugée excellente à chaque fois. Il s'agissait des gammes *Classic, Ultra, One et Flex* (61).

6.6.2.9.1.2 Smartphones

Les smartphones sont des multi-sensors car ils sont équipés en général d'un accéléromètre, gyroscope, d'une boussole et d'un GPS. Le téléphone transforme ensuite les données brutes en kcal grâce aux algorithmes des différents logiciels et applications (62). Les résultats obtenus par les smartphones et leurs applications par rapport à la dépense énergétiques manquent de fondements scientifiques (63).

6.7 Avantages et inconvénients des outils et moyens d'évaluation de la dépense énergétique

Tableau 3 : Avantages et inconvénients des outils et moyens d'évaluation de la dépense énergétique

	Avantages	Inconvénients
DLW (28,38)	<ul style="list-style-type: none"> ● Précision ● Gold standard de la DET en condition "free-living" ● Permet de valider toutes les autres techniques d'évaluation de la dépense énergétique 	<ul style="list-style-type: none"> ● Coût extrêmement élevé ● Besoins d'un spectromètre de masse ● Nécessite une grande expertise des chercheurs ● Dépend de l'eau corporelle ● Récolte des urines ● Ne donne pas de précision sur la façon dont les calories sont dépensées (activité, endurance, courte/intensive) ● Nécessite un quotient respiratoire (via le carnet alimentaire) ● Variation du quotient respiratoire de 0.01 ajoute 1% d'erreur ● Peut être faussée par une dilution des isotopes individuels ● Peut être faussée par la sueur
Calorimétrie directe en chambre (14)	<ul style="list-style-type: none"> ● Mesure directement la production de chaleur ● Précision ● Qualifié de Gold standard pour les mesures en laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ● Coûteux à cause de la structure ● Ne donne pas de précision sur la façon dont les calories sont dépensées (activité, endurance) ● Contraignant pour le sujet de rester dans une pièce ● Mesure impossible en <i>free-living</i>
Chambre respiratoire (14,28)	<ul style="list-style-type: none"> ● Très bonne précision ● Gold standard pour les mesures en laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ● Coût élevé ● Structure nécessaire ● Contraignant pour les sujets de rester dans une pièce ● Pas représentatif pour les

		<p>sujets actifs</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Mesure impossible en <i>free-living</i>
<p>Calorimétrie indirecte de repos sous canopy (14)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Précision ● Gold standard pour la mesure de la DER ● Les diététiciens sont formés à utiliser la calorimétrie indirecte de repos 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nécessite du matériel technique et expertise du praticien/chercheur ● Conditions préalables à respecter ● Conditions de mesures à respecter ● Les sujets doivent supporter le canopy
<p>Formules de prédictions (12)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Permettent d'évaluer l'approvisionnement en nourriture nécessaire pour une communauté ● Facilité d'utilisation ● Pas de contrainte ● Rapidité 	<ul style="list-style-type: none"> ● Mauvaise précision individuelle ● Choix de la formule de prédiction nécessite de l'expertise du praticien ou du chercheur
<p>MET (40)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Précis pour le calcul de la dépense énergétique pour des activités physiques spécifiques 	<ul style="list-style-type: none"> ● Ne prend pas en compte le coût énergétique supplémentaire que subissent les personnes souffrant d'obésité ● Ne prend pas en compte les différents niveaux d'entraînement des individus ● Ne prend pas en compte l'augmentation de la dépense énergétique post-exercice ● Demande du temps de calcul au praticien ou chercheur
<p>NAP (40)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Rapidité et facilité d'utilisation ● Fournit des fourchettes des besoins caloriques, grande probabilité que les besoins de l'individu soient dans la fourchette ● Permet d'approvisionner des communautés ● Permet d'évaluer à quel point le style de vie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Perte de précision avec les fourchettes de NAP ● Risque de sur ou de sous-nourrir l'individu ● Peu de clarté dans les définitions : sédentaire, légèrement actif, actif, modérément actif et vigoureusement actif ● Absence de consensus entre FAO/OMS/ONU et

	général est actif	DRI sur le NAP du style de vie sédentaire
Questionnaire (28)	<ul style="list-style-type: none"> ● Facilité d'utilisation ● Coût modeste 	<ul style="list-style-type: none"> ● Auto-reporté ● Pas toujours représentatif ● Validité et fiabilité fortement variable entre les questionnaires ● Précision fortement dépendante de l'implication du sujet ● Nécessite une analyse des données par le praticien ou chercheur
Calorimétrie indirecte d'effort en laboratoire (53)	<ul style="list-style-type: none"> ● Précision ● Permet de mesurer la dépense énergétique d'activités spécifiques à une intensité choisie ● Mesure de validation 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nécessite du matériel technique et expertise du praticien chercheur ● Mesure uniquement en laboratoire
Calorimétrie indirecte d'effort portable (14)	<ul style="list-style-type: none"> ● Mesure permanente de la du flux d'oxygène et de gaz carbonique ● Gold standard pour mesurer la PAEE en laboratoire 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nécessite du matériel technique ● Appareil encombrant ● Ne permet pas de mesurer le <i>free-living</i> à proprement parler ● Mesure impossible lorsque l'on mange, se douche ● Ne fait pas la différence entre l'augmentation de la consommation d'oxygène causée par le stress et l'effort ● Gênant pour le sujet
Accéléromètre (59)	<ul style="list-style-type: none"> ● Peu de contraintes ● Performants pour mesurer les pas ainsi que la vitesse de la marche et de la course ● Analyse des données ● Efficient au niveau des coûts 	<ul style="list-style-type: none"> ● Précision selon les activités sportives ● Mauvaise précision dans l'évaluation des NEAT
Moniteur de fréquence cardiaque (28)	<ul style="list-style-type: none"> ● Précision de la prédiction de la dépense énergétique dans les 	<ul style="list-style-type: none"> ● Faible précision pour les activités de très faible intensité et ainsi que les

	<p>activités physiques de moyennes à forte intensités (corrélation entre la fréquence cardiaque et consommation d'oxygène forte)</p>	<p>activités physiques intermittentes</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Ne fait pas la différence entre l'augmentation du rythme cardiaque causée par le stress ou l'effort ● Nécessitent une calibration individuelle pour prédire la dépense énergétique de manière fiable
<p>Multi-sensor (53)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Évaluation de plusieurs paramètres : fréquence cardiaque, distance parcourue avec GPS, chaleur corporelle, accéléromètre ● Disponibilité dans le commerce ● Documentation automatique des données ● Peu contraignant 	<ul style="list-style-type: none"> ● Appareils coûteux pour le praticien/chercheur ou pour l'individu ● Précision dépendante de l'activité physique et du moniteur ● Publicité agressive ● Large choix ● Difficulté pour l'individu, le praticien ou le chercheur de faire un choix éclairé ● Manque de transparence sur la transformation des données brutes en kcal dépensées
<p>Smartphones et applications (63,64)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Accessibilité quasiment universelle dans les pays industrialisés ● Coût modeste (si on dispose d'un smartphone) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Peu/pas de données sur la précision des podomètres, accéléromètres, gyroscopes des smartphone ● Peu/ pas de transparence sur les algorithmes utilisés ● Faibles fondements scientifiques

6.8 Synthèse

En résumé, il existe de nombreux outils et moyens pour mesurer la dépense énergétique. La mesure de référence en condition de *free-living* reste la mesure DLW. Comme elle est utilisable seulement en recherche, nous sommes contraints d'utiliser d'autres méthodes. Les recommandations de FAO/OMS/ONU (11) et des DRI (13) préconisent la mesure de la DER par calorimétrie, puis la multiplication par un NAP, qui est une évaluation subjective. Nous disposons également des questionnaires qui peuvent nous guider vers le NAP le plus approprié. Leur validité et fiabilité n'est pas toujours optimale. De plus, la technologie nous

offre aujourd'hui de nombreuses possibilités de mesurer la dépense énergétique. Nous souhaitons examiner de plus près les outils et moyens les plus récents dont les résultats ont été comparés et validés avec la mesure DLW.

7 Revue de la littérature

7.1 Question de recherche

“Actuellement, comment évaluer la dépense énergétique d'un individu adulte en condition de *free living* issu d'un pays industrialisé ?”

Voici notre question de recherche présenté avec la méthode PICO

Population: adultes de 18 à 65 ans avec un poids stable, non-malades ou avec une maladie chronique stable, vivant dans un pays industrialisé

Exposition: *free-living*

Outcome: la dépense énergétique totale

7.2 But

Suite à notre travail, nous souhaitons être capables d'évaluer la dépense énergétique totale d'un individu que nous pourrions rencontrer en consultation.

7.3 Objectifs

- Identifier les outils et moyens pour mesurer la DET validés contre la mesure DLW et publiés dans la littérature depuis 5 ans.
- Mettre en visibilité les nouvelles méthodes d'évaluation de la dépense énergétique pour les diététiciens.
- Comparer ces outils et moyens entre eux et avec d'autres méthodes plus anciennes
- Identifier les populations pour lesquelles ces outils sont intéressants : fiables, valides, et non contraignants.
- Discuter de leur utilisation dans le cadre d'une intervention nutritionnelle.

7.4 Hypothèses

- L'évaluation de la dépense énergétique par les outils de mesure disponibles aujourd'hui est plus précise qu'une évaluation selon l'expertise du praticien ou chercheur avec le NAP ou qu'au moyen un questionnaire sur l'activité physique.
- Il existe des outils ou moyens d'évaluation de la dépense énergétique précis, nous permettant de l'évaluer correctement mais nous ne les connaissons pas en tant que diététiciens

7.5 Méthodologie de recherche

7.5.1 Choix de la base de données

Nous avons concentré nos recherches dans la base de données Medline via PubMed, car elle offre des études adaptées à notre question de recherche (en contraste à Cochrane qui offre des revues systématiques de très bonne qualité mais qui sont axées sur le domaine clinique). De plus, au vu du nombre de composantes entrant dans la dépense énergétique (cf.cadre de référence), le temps à disposition ne nous permettait pas de faire des recherches sur d'autres bases de données.

7.5.2 Choix des mots clefs et de l'équation de recherche

Comme mentionné dans le cadre de référence, la mesure DLW est le gold standard pour la mesure de la DET. Nous avons donc choisi la mesure de DLW comme mot clé, dans le but que tous les outils et moyens inclus dans notre revue soient validés en comparaison à la mesure DLW. Ensuite, nous voulions évaluer la dépense énergétique traduite en Mesh term par « energy metabolism ». Nous nous intéressons à une population non hospitalisée, traduite par « activity of daily living » en Mesh term ou par *free-living* en all fields et par "adult". Enfin, comme nous voulions uniquement des études récentes, utilisant les dernières technologies et les populations les plus comparables aux caractéristiques humaines actuelles, nous avons établi un filtre captant uniquement les études datant des 5 dernières années.

Le 1^{er} juin 2018, nous avons lancé l'équation suivante:“(adult[MeSH Terms]) AND ((((((doubly labeled water) OR ((deuterium[MeSH Terms]) AND water[MeSH Terms]))) AND energy metabolism[MeSH Terms]) AND (activity of daily living[MeSH Terms] OR free living)) AND "last 5 years"[PDat] AND Humans[Mesh]”

7.5.3 Critères d'inclusion et d'exclusion

Nous avons **inclus** les études avec des populations d'adultes en santé et en *free-living*. Nous avons **exclu** les études qui traitaient d'une population avec une maladie particulière, des variations de poids ainsi que les études avec les enfants, les personnes âgées (>65 ans), femmes enceintes/allaitantes et les études interventionnelles ou analysant l'effet d'une substance sur la DET. Nous avons exclus les calorimètres portables car l'outil est encombrant (28)

7.5.4 Sélection des études

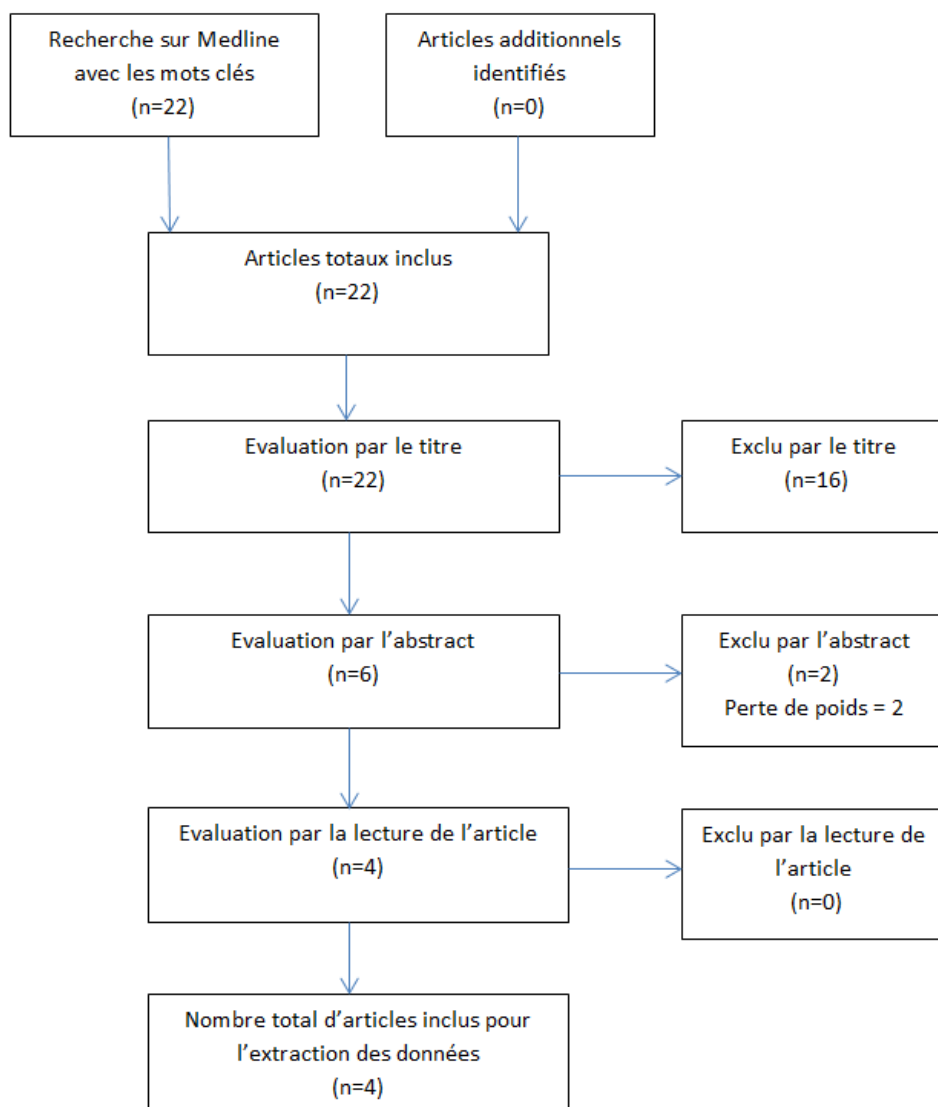


Figure 12 : Le flowchart détaillant la sélection des articles

7.5.5 Analyse descriptive et qualitative

Pour l'analyse de la qualité de nos articles, nous avons utilisé la grille qualité de l'AND, traduite en français (65).

7.5.6 Extraction des données

Nous avons choisi d'exposer nos résultats dans le tableau 4. Pour que nous puissions comparer les populations, nous avons relevé toutes les données anthropométriques et démographiques disponibles dans les études. Pour pouvoir comparer les résultats et les populations, nous avons converti tous nos résultats en kcal (arrondi à 1 kcal près) et nous avons relevé ou calculé le NAP moyen pour chaque population d'étude. Lorsque les différences entre la mesure DLW et l'outil étudié étaient donnés en kcal/kg/j, nous avons

multiplié le résultat par le poids moyen de l'échantillon d'étude pour obtenir une différence journalière.

7.5.7 Recherche des illustrations

Pour faciliter la compréhension, nous avons recherché des illustrations des appareils dont traitaient nos 4 articles. Pour cela, nous avons entré le nom de l'appareil et le nom du fabricant, le 20.07.18, dans le moteur de recherche GOOGLE Images. L'illustration de *eAR* de Bouarfa et al. (66) était déjà disponible dans l'article. Aucune illustration pour le Tracmor_D de Valenti et al. (67) n'était disponible.

7.6 Résultats

7.6.1 Tableau des résultats par études

Tableau 4 Résultats par étude avec mise en évidence des données anthropométriques, niveau d'activité physique, procédures de comparaisons et différence calorique par jour par rapport à la mesure DLW Liste des abréviations par ordre alphabétique : ACC : accéléromètre; AP : activité physique ; BMI : Body Mass Index; j:jour; DER : dépense énergétique de repos ; DET : dépense énergétique totale; DLW: eau doublement marquée; ET : écart-type ; FFQ : Food Frequency Questionnaire ; HR : fréquence cardiaque ; IPAQ : International Physical Activity Questionnaire ; kcal : kilocalorie ; MET : équivalent métabolique ; N: nombre; PAEE : dépense énergétique liée à l'activité physique QR : quotient respiratoire ;

Etude /outil de mesure type d'outil	N de sujets	Âge ET E	BMI ET E	NAP	Procédure de comparaison En « free-living »	Différence calorique /j par rapport à la mesure DLW
1. Bouarfa et al (66) eAR Accéléromètre triaxial porté à l'oreille	2 F 4 H	Age moye n 28.5 ET 3.39	24.98 ET 2.5	1.9 (Calculé DET/BMR) (15)	<p>Critères inclusion</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sujets sains • Pas de femmes enceintes <p>Devoirs des participants</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pas alcool ni d'activité physique modérée à intense 24h avant les mesures • La veille à jeun depuis 21h (sauf l'eau) • Le même repas à 20h à j-1 et j13 <p>Mesures anthropométrique, BMR, QR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le matin à jeun à j0 et à j14 	<p>Marge d'erreur évaluée par « MAD » 272kcal/j soit 9% de la DET</p> <p>La prédiction de l'accéléromètre est éloignée de 272kcal de la mesure DLW</p> <p>Avec ajustement de l'algorithme</p> <p>Marge d'erreur de 133kcal/j soit 4% de la DET</p> <p>À la suite de l'ajustement la prédiction de l'accéléromètre est éloignée en moyenne de 133kcal de la mesure DLW</p>

					<ul style="list-style-type: none"> à température de 17 à 24°C <p><u>DLW</u></p> <ul style="list-style-type: none"> IPAQ à j0 Échantillon d'urine pré-dose Dose de DLW selon le poids du participant Recueil des urines à 7 reprises par les participants et stockage au frigo Carnet alimentaire sur les 14j pour le QR <p><u>Ear-Worn Sensor</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 14 j en parallèle Estimation du MET propre à chaque participant pour transformer les données en kcal 	<p><u>Remarque des auteurs</u></p> <p>Non généralisable car l'échantillon est restreint avec 6 sujets</p>
<p><u>2.Brazeau et al (68)</u></p> <p><i>Actical</i></p> <p>Accéléromètre omnidirectionnel</p> <p>Technologie piézoélectrique</p> <p><i>SenseWear</i></p>	20	26.2 ET 3.6 E 18 à 45 ans	23.1 ET 2.3 E 20.0 - 30.3	1.82 (Calculé DET/DER)(15)	<p><u>Critères d'inclusions</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sujets sains Sans médication qui influence le métabolisme Non-fumeurs Examen clinique à J0 <p><u>Mesures anthropométriques et DER</u></p> <ul style="list-style-type: none"> J0 Poids /taille avec habits légers et sans chaussures 	<p><u>Actical</u></p> <p>Sous-estimation moyenne de 244kcal ET : 258kcal</p> <p>Soit 9.6%, ET 9.9</p> <p>Mesure de Actical significativement différente de mesure DLW</p> <p><u>SenseWear</u></p>

<p>Calcul de DET avec Innerview Research Software</p> <p>Multi-sensor avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Accéléromètre biaxial ● Mesure du flux sanguin ● Mesure réponse galvanique de la peau et du corps ● Température de la peau ● Mesure de la température proche du corps 					<ul style="list-style-type: none"> ● Entre J8 et J10 : DER par CI équation de Weir ● Calibration du calorimètre avant chaque mesure ● Sujets allongés pendant 60 minutes, 50 dernières minutes utilisées dans l'analyse <p><u>Port simultané de Actical et SenseWear</u></p> <p><u>Actical</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Pendant 7j pour « free-living » ● Positionnés sur la hanche ● Actical en « free-living » ● Appareil ôté seulement pour la douche et les activités aquatiques <p><u>SenseWear pro 3</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Sur le bras droit ● Les participants ôtent l'appareil seulement pour la douche et les activités aquatiques ● Contre DLW sur 7 jours <p><u>DET par DLW</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ● 7 j 	<p>Surestimation moyenne de 94kcal ET 319</p> <p>Soit 2.8%, ET 12.4%</p> <p><u>Remarque des auteurs</u></p> <p>Les écarts-types importants reflètent les différences interindividuelles importantes</p>
--	--	--	--	--	---	--

					<ul style="list-style-type: none"> 0.3g/kg de poids corporel de DLW 	
3.Brage et al. (69) Actiheart Accéléromètre et Fréquence cardiaque	F : 23	F	F	F :1.91 ET : 0.30 E :1.36-2.42	<u>Devoirs des participants</u> <u>Au moins 2h d'arriver au labo</u> <ul style="list-style-type: none"> Ne pas manger Boire seulement de l'eau Ne pas fumer Ne pas faire de l'AP vigoureuse 	<u>DET résultats moyens convertis en kcal d'après les Mégajoule</u> <ul style="list-style-type: none"> DLW :2868 kcal/j- ACC : 2677kcal/ sous-estimation de 191kcal/jour, soit 6.65% HR Flex : 2916kcal/surestimation de 48 kcal/jour, soit 1.7% ACC + HR Flex 2987kcal/surestimation de 119kcal/jour, soit 4% <u>Remarque des auteurs</u> Cohérents avec les résultats de la littérature Livingstone et al 1990
	H :23	H	H	H :1.97 ET : 0.3 E : 1.49-2.55	<u>Calibration individuelle</u> <ul style="list-style-type: none"> Poids/taille protocole standard Composition corporelle avec DEXA, Bodpod, DLW DER: 45 minutes sous canopy 4 niveaux de calibrations individuelles avec mesure de DET en milieu contrôlé <u>Mesure de la DET</u> <ul style="list-style-type: none"> 2 échantillons d'urine pré-dose JO 1 dose de DLW selon le poids Récolte d'un échantillon d'urine à chaque miction par les participants Ne pas récolter la première urine du matin 	

					<ul style="list-style-type: none">● Noter l'heure de la miction sur la bouteille et sur une feuille séparée● Tenir les échantillons au frigo jusqu'à J14● J14 FFQ pour calculer le quotient alimentaire comme intermédiaire du QR● Thermogénèse alimentaire déterminée par le FFQ et normalisée avec DET● PAEE déterminée en prenant en compte la TA <p><u>Actiheart</u></p> <ul style="list-style-type: none">● Port au-dessous de la pointe du sternum● Port permanent y compris pour la douche et la nage● Les participants devaient changer les électrodes chaque 2 jours● Estimation de la DET avec la calibration individuelle● Evaluation de 3 modèles pour DET en « free-living » ACC seul, HR seules, ACC + HR contre DLW● DET estimé avec $(REE + PAEE) / 0.9$ (prise en compte de la TA)	
--	--	--	--	--	--	--

4.Valenti et al(67) Tracmor_D Accéléromètre	F : 25	41	31.0	1.77	<u>Mesure de la dépense énergétique durant le sommeil par CI</u> <ul style="list-style-type: none"> • Dans une chambre respiratoire de 21h à 7h30 • Interdiction de manger dans la chambre • Température constante de 20°C • Mesure de la dépense énergétique du sommeil <u>Mesure anthropométriques</u> <ul style="list-style-type: none"> • Poids et taille le matin à jeun mesures standardisées <u>Mesure de la DET par DLW</u> <ul style="list-style-type: none"> • Protocole de Maastricht sur 14 jours • 1 Echantillon d'urine pré-dose • Collecte par le participant à j1, 8, 15 le matin et j1, 7, et 14 le soir • NAP =DET/SMR • AEE = (0.9xTEE)-SMR (avec TA supposée é 10%) 	Erreur d'estimation standard pour la PAEE avec équation publiée : 3kcal/kg/j → 271kcal/j (calculé avec poids moyen des sujets d'étude 90.3kg) Erreur d'estimation standard pour la PAEE avec la nouvelle équation : 2kcal/kg → 181kcal (calculé avec poids moyen des sujets d'étude 90.3kg) <u>Remarque des auteurs :</u> Une limitation de cette étude est qu'elle suppose que les <i>counts</i> d'activité physique que mesure l'ACC et la dépense énergétique sont liés de manière linéaire
	H : 11	ET : 7	ET : 2.45	ET 0.19		

7.6.2 Synthèse des résultats

1. Dans l'étude de Bouarfa et al. (66), le e-AR (figure15) (66) a obtenu une marge d'erreur de 272 kcal/j, soit l'équivalent d'une différence de 9% par rapport à la DET évaluée par DLW. Après avoir effectué un ajustement de la prédiction de l'accéléromètre, le e-AR a obtenu une marge d'erreur de 133 kcal/j, soit une différence de 4% de la DET mesurée par DLW. La population de 2 femmes et 4 hommes incluse dans l'étude avait un âge moyen de 28.8 ans, un BMI de 24.98kg/m² et un NAP de 1.9 (calculé par nous-mêmes en divisant la DET par la DER) (66).



Figure 13 eAR porté sur l'oreille droite

2. Dans l'étude de Brazeau et al. (68), évaluant le *SenseWear*(figure 16) (64) et l'*Actical* (figure 17) (70), le *SenseWear* a surestimé la dépense énergétique de 94 kcal/j en moyenne, soit 2.8% par rapport à la DLW, mais avec un écart-type de 319 kcal/j. L'*Actical* a obtenu une sous-estimation de 244 kcal/j et avec un écart-type de 258 kcal/j, soit 9% par rapport à DLW, ce qui est significativement différent. La population de 20 personnes avait un âge moyen de 26.2 ans, un BMI de 23.1 kg/m² et un NAP calculé à 1.82 (calculé par nous) (68).



Figure 15 Actical porté au niveau de hanche



Figure 14 SenseWear

3. Dans l'étude de Brage et al (69), l'accéléromètre seul de l'*Actiheart* (figure 18) (71) a sous-estimé la dépense de 191 kcal/j. Le capteur de fréquence cardiaque seul a obtenu une surestimation de 48 kcal/j. La combinaison des 2 a obtenu une surestimation de 119 kcal/j. La population de 46 personnes (23 hommes et 23 femmes) avait un âge moyen pour les femmes de 35 ans et pour les hommes de 33.2 ans. Le BMI moyen pour les femmes et les hommes était de 24.1 kg/m² et 24.9 kg/m² respectivement. Le NAP moyen des femmes était de 1.91 et celui des hommes de 1.97.



Figure 16 Actiheart placé conformément

4. Dans l'étude de Valenti et al (67), le *Tracmor_D* a obtenu une erreur d'estimation de 271 kcal/j avec l'équation publiée et une erreur d'estimation de 181 kcal/j avec la nouvelle équation. La population comptait 25 femmes et 11 hommes en surpoids ou obèses. L'âge moyen était de 41 ans et le BMI moyen était de 31.0 kg/m². Le NAP moyen était de 1.77. Aucune illustration n'était disponible.

7.6.3 Analyse qualité

La qualité de nos articles était moyenne selon les critères de la grille de l'AND (65). De manière générale, le protocole de mesure était toujours très détaillé mais les données sociodémographiques des échantillons peu décrites. Aucune donnée sur le niveau socio-économique des sujets n'a été présentée. L'occupation professionnelle n'a pas été décrite non plus. Seule l'étude de Brazeau et al. (62) a décrit l'ethnie principale de l'échantillon d'étude (85% des participants était caucasiens). L'étude de Valenti et al. est de mauvaise qualité, car elle ne fournit aucun critère d'exclusion et d'inclusions et aucune donnée sociodémographique. De plus, cette étude ne respecte pas les standards pour évaluer la dépense énergétique de repos. En effet, la dépense énergétique du sommeil a été évaluée et non la DER. La dépense énergétique du sommeil est utilisée comme le DER. Ceci constitue un biais de mesure. (cf Biais)

7.7 Discussion

Les 4 études de notre ont évalué 5 appareils avec divers équations (66–69). L'*Actiheart*, utilisant la fréquence cardiaque (*Flex Heart*) pour prédire la dépense énergétique, est l'appareil avec l'équation qui a montré le plus de précision, en comparaison avec la mesure DLW. Cette technique de mesure conduisait à une surestimation moyenne de 48 kcal/jour.

L'*Actiheart* a aussi été validé chez des sujets Camerounais à Yaoundé (72). Le modèle *Flex HR* a montré une surestimation de 22 kcal/jour, soit une différence de 0.75% avec la mesure DLW. Les 33 sujets Camerounais (17 femmes et 16 hommes) provenaient de la ville et de la campagne et présentaient un NAP de 1.68 et 1.89 et un BMI de 26.25 et 27.8 kg/m² respectivement (72).

Une revue de Villars (73) des méthodes objectives d'évaluation de l'énergie dédiée à l'activité physique a mis en avant que les moniteurs de fréquence cardiaque donnaient des résultats concluants pour les individus en calibrant les appareils individuellement, ce que Brage et al. ont fait (69). Si la calibration individuelle n'était pas faite, la marge d'erreur était plus importante. La procédure de calibration individuelle était effectuée par des techniciens de laboratoire. Elle est détaillée dans l'article (69).

Dans les articles de Brage et al. (69) et Bouarfa et al. (66), les outils avaient tendance à surestimer la dépense énergétique des sujets avec la plupart des modèles étudiés. Ceci pouvait être expliqué par l'effet de l'entraînement des individus. En effet, les sujets d'étude (notamment les hommes) présentaient un NAP dans la fourchette supérieure des styles de vie actifs, soit 1.97. Il était donc vraisemblable que les sujets étaient entraînés. Comme mentionné dans le cadre de référence, l'entraînement rend les individus plus économes dans leurs dépenses énergétiques (34). Il était probable que le e-AR estimait de manière imprécise la dépense énergétique des sujets d'étude pour les mêmes raisons. En effet, leur NAP moyen était de 1.9.

Dans l'étude de Valenti et al. (67) sur le *Tracmor_D*, le SMR a été évalué à la place de la DER. La dépense énergétique de repos durant le sommeil (SMR) n'est pas équivalent à la DER. En 1988, Goldberg et al. (16) ont mesuré le SMR et la DER. Le SMR équivalait à 95% de la DER chez les adultes de poids normal. La différence était plus grande chez les adultes souffrant de surpoids ou d'obésité (16). De plus, les recommandations de mesure de la calorimétrie spécifient que le sujet ne doit pas s'endormir durant la mesure (15,17). Ce biais de mesure a faussé le calcul du NAP. Le NAP a été surévalué car les chercheurs ont divisé la DET par le SMR et non par la DER. La méthodologie de cette étude implique que les résultats ne sont pas vraiment comparables aux 3 autres études. Nous avons cependant décidé de la garder dans notre revue parce qu'elle était la seule qui incluait des individus souffrant d'obésité.

La plupart des outils et moyens de notre revue utilisaient la technique des accéléromètres. D'après les différentes études et revues recensées, les accéléromètres étaient limités, car ils étaient peu performants pour mesurer les mouvements de faible intensité ((53).

7.7.1 Comparaison avec des outils basées sur les données auto-reportées

Nous avons comparé les outils de notre revue avec des outils basées sur les données auto reportés. Nous avons choisi cette comparaison parce que nous pensons que les diététiciens utilisent principalement des données auto-reportées (anamnèse alimentaire, carnet alimentaire, anamnèse d'activité physique). Les outils et moyens pour mesurer la dépense énergétique liée à l'activité physique avec des données auto-reportées sont les questionnaires, l'évaluation par MET, et l'estimation par les NAP et les fourchettes des recommandations de nutrition sportive (10,41,48).

Comme mentionné dans le cadre de référence, les meilleurs questionnaires présentaient une variation de la précision entre une sous-estimation de 13.3% et une surestimation de 11.4%(53). En plus, Altschuler et al.(74) a démontré que les individus évaluaient mal leur activité physique dans les questionnaires. Les individus pensent faire plus d'activité et de manière plus intense que la réalité. Les individus les moins entraînés sont ceux qui surestiment le plus l'intensité de l'activité physique. Il est probable que les évaluations avec les MET et le NAP soient aussi confrontées à ce problème. L'application *Myfitness PAL* (75) utilise l'équation de Mifflin St-Jeor (76) puis, l'application multiplie la DER par le NAP évalué par l'utilisateur à l'aide d'une question à choix multiple : pas très actif, modérément actif, actif, très actif. L'individu doit donc totalement se fier à son impression. L'*Actiheart* a évalué la dépense énergétique avec plus de précision (surestimation de 1.7%) et la mesure est objective (69).

7.7.2 Correspondance des sujets d'étude avec la population générale

Nous avons examiné les NAP des sujets. Nous avons relevé dans un graphique (figure 19) le NAP moyen des sujets dans les 4 études de notre revue. Les sujets inclus dans les études étaient en majorité actifs avec une étendue des moyennes des NAP de 1.77 à 1.97. Nous avons aussi ajouté le NAP d'une méta-analyse épidémiologique qui a inclus uniquement des études qui mesuraient la DET avec la technique DLW (77). La méta-analyse exposait les NAP moyens des pays par catégorie d'indice de développement humain. Cet indice était une classification établie par les Nations Unies pour comparer les niveaux socio-économiques des pays. Dans notre graphique, nous exposons uniquement les résultats des pays développés.

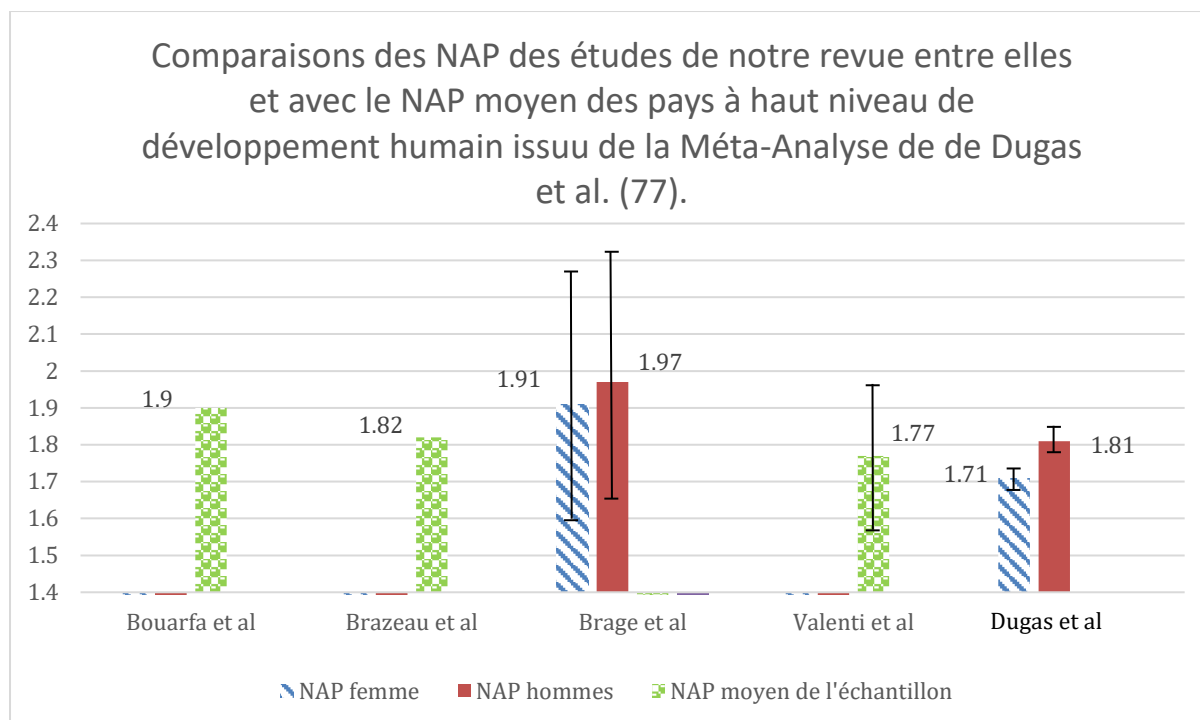


Figure 17 : NAP : niveau d'activité physique. Les écart-types des études de Bouarfa et al. et Brazeau et al. ne sont pas disponibles car nous avons dû calculer le NAP des échantillons d'études nous-même.

Le graphique met en évidence la différence entre les sujets des études et les données épidémiologiques de la méta-analyse de Dugas et al. (77). Même si les études de notre revue de littérature ne font pas toutes la différence entre le NAP des hommes et celui des femmes, il est clair que les NAP relevés dans les études de notre revue de la littérature sont tous supérieurs aux données de la méta-analyse. Cette affirmation montre que les sujets de nos études avaient une activité physique plus importante. Les échantillons étudiés ne représentent donc pas la population générale.

Dowd et al. (53) ont mis en avant qu'on ne pouvait pas garantir des résultats analogues avec des populations différentes que celle étudiée. En effet, les appareils sont validés avec une population identique à celle qui a servi à générer l'algorithme de transformation des valeurs brutes en kcal.

Il est compréhensible que les études validées avec DLW n'inclussent pas des sujets issus de populations variées. En effet, comme exposé dans le cadre de référence, le protocole de mesure avec la technique DLW doit s'adapter aux individus qu'elle mesure. L'eau corporelle influence la dose des isotopes donnés et le moment de la récolte de l'échantillon post-dose. L'activité physique influence la durée de l'observation. Inclure une population très hétérogène augmente la complexité de la mesure, ce qui augmente les coûts de l'étude (38).

7.7.3 Forces

Nous avons décortiqué les composantes de la dépense énergétique de manière poussée, ce qui nous a permis de comprendre leurs méthodes de mesure et les avantages et inconvénients des outils et moyens de mesure. Notre cadre de référence offre donc une vue d'ensemble de l'évaluation de la dépense énergétique de l'individu. Nous avons aussi exposé et analysé nos résultats sous un angle différent de celui proposé dans les articles. En effet, les articles se focalisaient sur la méthodologie relative à l'outil de mesure et nous avons choisi de nous focaliser sur les NAP des échantillons d'étude pour pouvoir les comparer. Nous avons aussi tenté de présenter les résultats des études de notre revue de manière compréhensible pour les diététiciens (en convertissant toutes les différences caloriques en kcal/jour). Les concepts statistiques ont également été vulgarisés.

7.7.4 Limites

Premièrement, notre sujet est vaste et peu standardisé au niveau des mots clés. Nous aurions sans doute trouvé d'autres études en utilisant des mots clés synonymes de ceux que nous avons sélectionnés. Deuxièmement, nous aurions pu nous focaliser sur la dépense énergétique liée à l'activité physique, en utilisant des Mesh terms spécifiques et inclure des articles qui répondent à notre question de recherche. Finalement, nous avons uniquement cherché sur Medline via PubMed; lancer des équations de recherche dans d'autres bases de données aurait peut-être élargi nos résultats.

7.7.5 Biais

Nous avons identifié un biais de sélection : dans nos 4 études, le recrutement a été fait par la publicité. Il y avait donc de fortes chances que seulement les individus avec un intérêt spontané à mesurer leur activité physique et dépense énergétique ce soient portés volontaires. Nous avons émis l'hypothèse que les individus les plus intéressés effectuaient plus d'activité physique que la population générale. De plus, les études décrivent peu la population choisie. Nous avons toujours obtenu le BMI mais avons dû calculer le NAP par nous-même à deux reprises (68,69). Nous soupçonnons donc d'autres biais de sélections non documentés. En outre, le fait de mesurer l'activité physique peut créer un biais de désirabilité sociale et pousser les individus à pratiquer plus d'activité physique que d'habitude (78). Cette hypothèse pourrait expliquer les NAP plus élevés chez les sujets de nos études par rapport aux données épidémiologiques. Comme détaillé plus haut (cf hypothèse sur les résultats), l'étude de Valenti et al. (67) comporte un biais de mesure. Dans cette étude la dépense énergétique du sommeil a été évaluée à la place de la DER.

7.7.6 Perspectives

Il serait intéressant d'explorer les possibilités et la faisabilité que les diététiciens utilisent l'*Actiheart*. Il faudrait évaluer à quel point il est possible pour un diététicien de le calibrer et

de l'adapter à son patient. Nous avons sollicité des informations sur le coût de l'appareil mais aucune réponse ne nous est parvenue (71).

Un autre axe de travail est de rechercher de manière plus concrète les activités précises des personnes avec un NAP sédentaire à légèrement actif, actif à modérément actif et actif vigoureusement. En effet l'utilisation du NAP est un outil rapide et peu coûteux mais les larges fourchettes inhibent toute la précision. De plus, le tempérament pourrait agir sur la NEAT et donc augmenter le NAP. Dans les catégories de NAP, les gigotements spontanés dus à un tempérament plus « dynamique » ne sont pas mentionnés (19,40). Les DRI (40) recommandent davantage de recherches pour déterminer précisément le NAP.

7.7.7 Autres réflexions ouvertes par ce travail

Au fil de nos recherches, nous avons appris que la DET et le NAP des pays à bas statut socio-économique n'était pas significativement différents des DET et NAP des pays à haut statut socio-économique (34,79). La méta-analyse de Dugas et al. (53) explique cette idée reçue vient des lacunes méthodologiques. Les études qui ont démontré que les personnes des pays industrialisés dépensaient moins d'énergie que celles des pays en voie de développement se basaient sur les observations des experts et non sur la mesure DLW (77). Par conséquent, la dépense énergétique n'est pas liée au risque de surpoids et d'obésité (80). Pontzer et al. (52) ainsi que Westerterp et Speakman (81) identifient les apports alimentaires supérieurs aux besoins comme la cause de l'épidémie d'obésité. Ceux-ci peuvent être en partie dus à l'offre alimentaire obésogène présente surtout dans les pays développés (1).

Grace à ce travail, nous avons réalisé que les bienfaits de l'activité physique n'étaient pas extrapolables aux bienfaits de la dépense énergétique. En effet, c'est l'activité physique telle que décrite dans les recommandations qui est un facteur protecteur avéré pour la santé. Selon l'OMS (82), les adultes devraient pratiquer au moins 150 minutes d'activité d'endurance à intensité modérée ou au moins 75 minutes d'activité physique intense par semaine. Les séances d'endurance devraient durer au moins 10 minutes. Des exercices de résistance qui font intervenir l'ensemble des groupes musculaires devraient être pratiqués 2 fois par semaine. Le respect de ces recommandations induit approximativement un NAP à 1.7 (40,82). Ce NAP est donc une conséquence du respect des recommandations de l'activité physique et non un facteur de protection de la santé (40). Dans le prolongement de cette réflexion, nous nous demandons si les NEAT et plus particulièrement l'activité physique spontanée (cf PAEE) qui peuvent augmenter le NAP des sujets sédentaires, ont réellement un impact positif sur la santé au même titre que l'activité sportive (14,29). Comme décrit dans la revue de Ravussin et al. (45), des personnes qui ne pratiquent pas d'activité physique de loisir ou occupationnelle peuvent « gigoter » de manière importante mais nous n'avons pas trouvé d'information sur la participation de ces mouvements à la santé de l'individu (14).

7.7.8 Pour la pratique

Finally, even though our literature review has shown evidence for the *Actiheart*, we cannot recommend it, as we have not obtained precise information on the cost of the device as well as its calibration. In addition, individual calibration seems to require additional expertise beyond that of the dietitian. We do not know if we are capable of using this device correctly. This is why, at the moment, we refer to the recommendations of FAO/OMS/ONU, DRI and AND (11,17,17,40). The first intention method is indirect calorimetry of resting energy expenditure multiplied by the NAP. If calorimetry is not available, it is recommended to use the Mifflin-St-Jeor equation (12). We propose to obtain the NAP using a valid and reliable questionnaire for the population in question, even though the method is based on the individual's subjective perception.

All these results should be considered as indicative to provide portion guidelines and not as daily targets to be reached. Evidently, as in all our interventions, the re-evaluation of nutrition-related indicators is primordial. Food intake, physical activity (type, frequency, intensity, duration), weight and the person's satisfaction relative to the intervention will guide our follow-up. Most of the tools and methods used to measure energy expenditure that we found have a satisfactory reliability (53,61). They therefore make sense as indicators of follow-up with repeated measurements over time.

Many physical activity monitors can help us follow physical activity, notably walking and running. They provide valid and reliable data on duration, frequency and intensity, but do not provide estimates of energy expenditure that are satisfactory for all individuals (53).

8 Conclusion

La dépense énergétique est un sujet un vaste et complexe, influencé par de nombreuses variables. Nous pensons qu'il est nécessaire que les diététiciens connaissent mieux le domaine de la dépense énergétique, afin de pouvoir mieux cibler les interventions nutritionnelles. Il est aussi nécessaire pour nous d'avoir un œil critique sur toutes les méthodes d'évaluation de la dépense énergétique, notamment l'évaluation par les applications smartphones, qui sont nombreuses et faciles d'accès. Nous pensons que la collaboration avec des spécialistes du mouvement pour évaluer la dépense énergétique nous permettrait aussi d'améliorer nos interventions nutritionnelles.

Aujourd'hui, nous connaissons mieux comment évaluer la dépense énergétique et surtout l'activité physique. Ce travail ne nous a pas permis de trouver un outil ou moyen nettement supérieur aux autres pour les diététiciens. En revanche, il expose de nombreux outils et moyens qui évaluent l'activité physique de manière satisfaisante. Comme nous l'avons expliqué précédemment, l'activité physique est un facteur protecteur de la santé avéré, contrairement à la dépense énergétique. En tant que diététiciens, il est aussi de notre devoir d'encourager nos patients à atteindre les recommandations d'activité physique afin de promouvoir leur santé. La technologie d'aujourd'hui peut se révéler un précieux allié.

9 Bibliographie

1. Giskes K., van Lenthe F., Avendano-Pabon M., Brug J. A systematic review of environmental factors and obesogenic dietary intakes among adults: are we getting closer to understanding obesogenic environments? 2011;12(5):e95-106.
2. Fox S, Duggan M. 69% of U.S. adults track a health indicator like weight, diet, exercise routine, or symptom. Of those, half track "in their heads," one-third keep notes on paper, and one in five use technology to keep tabs on their health status. Pew Research Center's Internet & American Life Project. 2013;40.
3. Franco RZ, Fallaize R, Lovegrove JA, Hwang F. Popular Nutrition-Related Mobile Apps: A Feature Assessment. JMIR MHealth UHealth. 2016;4(3):e85.
4. Goldstein CM, Thomas JG, Wing RR, Bond DS. Successful weight loss maintainers use health-tracking smartphone applications more than a nationally representative sample: comparison of the National Weight Control Registry to Pew Tracking for Health. Obes Sci Pract. 2017;3(2):117-26.
5. Freeland-Graves JH, Nitzke S. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Total Diet Approach to Healthy Eating. J Acad Nutr Diet. 2013;113(2):307-17.
6. Pyramide alimentaire suisse [En ligne]. Société Suisse de Nutrition SSN. 2015 [consulté le 7 mars 2018]. Disponible : <http://www.sge-ssn.ch/fr/toi-et-moi/boire-et-manger/equilibre-alimentaire/pyramide-alimentaire-suisse/>
7. Bien manger avec le Guide alimentaire canadien - Premières Nations, Inuit et Métis présentation prête à utiliser à l'intention des éducateurs en nutrition [En ligne]. [consulté le 23 juillet 2016]. Disponible : http://www.hc-sc.gc.ca/fn-an/food-guide-aliment/educ-comm/_fnim_pnim/ppt-fra.php#slide-diapos_2
8. Les 9 repères à la loupe | Manger Bouger [En ligne]. [consulté les 18 juillet 2018]. Disponible : <http://www.mangerbouger.fr/Les-9-reperes/Les-9-reperes-a-la-loupe>
9. U.S. Department of Health and Human Services and U.S. Department of Agriculture. Chapter 1. Key Elements of Healthy Eating Patterns. In: 2015-2020 Dietary Guidelines for Americans. Washington, D.C.; 2015.
10. Potgieter S. Sport nutrition: A review of the latest guidelines for exercise and sport nutrition from the American College of Sport Nutrition, the International Olympic Committee and the International Society for Sports Nutrition. South Afr J Clin Nutr. 2013;26(1):6-16.
11. Ferro-Luzzi A, Heymsfields S, Shetty P, Weisell R, Westerterp K. Energy of Adults. In: Human energy requirements [En ligne]. Rome: FAO/WHO/UNU; 2001 [consulté le 23 juillet 2018]. Disponible : <http://www.fao.org/docrep/007/y5686e/y5686e00.HTM>
12. Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C. Comparison of Predictive Equations for Resting Metabolic Rate in Healthy Nonobese and Obese Adults: A Systematic Review. J Am Diet Assoc. 2005;105(5):775-89.

13. Trumbo P, Schlicker S, Yates AA, Poos M. Energy. In: Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids [En ligne]. 2002 [consulté le 23 juillet 2018]. p. 1621-30.
14. Lam YY, Ravussin E. Analysis of energy metabolism in humans: A review of methodologies. *Mol Metab.* 2016;5(11):1057-71.
15. Ferro-Luzzi A, Heymsfields S, Shetty P, Weisell R, Westerterp K. Principles and Definitions. In: Human energy requirements [En ligne]. FAO/WHO/UNU; 2001 [consulté le 23 juillet 2018]. Disponible : <http://www.fao.org/docrep/007/y5686e/y5686e00.HTM>
16. Goldberg GR, Prentice AM, Davies HL, Murgatroyd PR. Overnight and basal metabolic rates in men and women. *Eur J Clin Nutr.* févr 1988;42(2):137-44.
17. Fullmer S, Benson-Davies S, Earthman CP, Frankenfield DC, Gradwell E, Lee PSP, et al. Evidence Analysis Library Review of Best Practices for Performing Indirect Calorimetry in Healthy and Non-Critically Ill Individuals. *J Acad Nutr Diet.* 2015;115(9):1417-1446.e2.
18. Dulloo AG, Jacquet J, Montani J-P, Schutz Y. Adaptive thermogenesis in human body weight regulation: more of a concept than a measurable entity? *Obes Rev.* 2012;13:105-21.
19. Shetty P. Energy requirements of adults. *Public Health Nutr.* 2005;8(7a):994-1009.
20. Melanson EL. The effect of exercise on non-exercise physical activity and sedentary behavior in adults. *Obes Rev.* 2017;18:40-9.
21. Geisler C, Braun W, Pourhassan M, Schweitzer L, Glüer C-C, Bosy-Westphal A, et al. Age-Dependent Changes in Resting Energy Expenditure (REE): Insights from Detailed Body Composition Analysis in Normal and Overweight Healthy Caucasians. *Nutrients.* 2016;8(6).
22. Bogardus C, Lillioja S, Ravussin E, Abbott W, Zawadzki JK, Young A, et al. Familial dependence of the resting metabolic rate. *N Engl J Med.* 1986;315(2):96-100.
23. Clarys JP, Martin AD, Drinkwater DT. Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Hum Biol.* sept 1984;56(3):459-73.
24. Müller MJ, Bosy-Westphal A, Kutzner D, Heller M. Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans: recent lessons from imaging technologies. *Obes Rev.* 2002;3(2):113-22.
25. Müller MJ, Bosy-Westphal A, Later W, Haas V, Heller M. Functional body composition: insights into the regulation of energy metabolism and some clinical applications. *Eur J Clin Nutr.* 2009;63(9):1045-56.
26. D'Alessio DA, Kavle EC, Mozzoli MA, Smalley KJ, Polansky M, Kendrick ZV, et al. Thermic effect of food in lean and obese men. *J Clin Invest.* 1988;81(6):1781-9.
27. Butte NF, Ekelund U, Westerterp KR. Assessing Physical Activity Using Wearable Monitors: Measures of Physical Activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44:S5-12.
28. Dishman R, Heath G, Lee I-M. Measurement and Surveillance of Physical Activity and Fitness. In: *Physical Activity Epidemiology - 2nd Edition.* 2 edition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2013.

29. Levine JA. Nonexercise activity thermogenesis (NEAT): environment and biology. *Am J Physiol-Endocrinol Metab.* 2004;286(5):E675-85.
30. Garland T, Schutz H, Chappell MA, Keeney BK, Meek TH, Copes LE, et al. The biological control of voluntary exercise, spontaneous physical activity and daily energy expenditure in relation to obesity: human and rodent perspectives. *J Exp Biol.* 2011;214(2):206-29.
31. Westerterp KR. Impacts of vigorous and non-vigorous activity on daily energy expenditure. *Proc Nutr Soc.* 2003;62(3):645-50.
32. Müller MJ, Enderle J, Bosy-Westphal A. Changes in Energy Expenditure with Weight Gain and Weight Loss in Humans. *Curr Obes Rep.* 2016;5(4):413-23.
33. Westerterp KR. Control of energy expenditure in humans. *Eur J Clin Nutr.* 2017;71(3):340-4.
34. Pontzer H, Durazo-Arvizu R, Dugas LR, Plange-Rhule J, Bovet P, Forrester TE, et al. Constrained Total Energy Expenditure and Metabolic Adaptation to Physical Activity in Adult Humans. *Curr Biol CB.* 2016;26(3):410-7.
35. Psota T, Chen KY. Measuring energy expenditure in clinical populations: rewards and challenges. *Eur J Clin Nutr.* 2013;67(5):436-42.
36. Black AE, Welch AA, Bingham SA. Validation of dietary intakes measured by diet history against 24 h urinary nitrogen excretion and energy expenditure measured by the doubly-labelled water method in middle-aged women. *Br J Nutr.* 2000;83(4):341-54.
37. Water [En ligne]. sd [consulté le juillet 2018]. Disponible: https://serconlimited.com/sercon_systems/water/
38. Westerterp KR. Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(7):1277-85.
39. Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr.* 1996;50(2):72-92.
40. Lupton J, Brooks GA, Butte NF, Caballero B, Flatt JP, Fried SK, et al. Physical Activity. In: *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)* [En ligne]. Washington, D.C.: National Academies Press; 2005 [consulté le 23 juillet 2017]. Disponible: <http://www.nap.edu/catalog/10490>
41. Black AE. Physical activity levels from a meta-analysis of doubly labeled water studies for validating energy intake as measured by dietary assessment. *Nutr Rev.* 1996;54(6):170-174.
42. Soulsby C. Accuracy of methods for measuring and predicting energy expenditure. sd
43. Swibas TL, Creasy SA, Catenacci VA, Szuminsky N, Melanson EL. Measurement Of Daily Energy Expenditure In Humans Using A Body-worn Calorimeter: 2104 Board #117 June 1 200 PM - 330 PM. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(5S):579.

44. University of Warwick Business Facilities - Analytical Equipment - WBC [En ligne]. sd [consulté le 7 juillet 2018]. Disponible: <https://warwick.ac.uk/services/ris/impactinnovation/impact/analyticalguide/wbc/>
45. Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, Christin L, Bogardus C. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest.* 1986;78(6):1568-78.
46. File:Indirect calorimetry laboratory with canopy hood.jpg - Wikimedia Commons [En ligne]. sd [consulté le 7 juillet 2018]. Disponible: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Indirect_calorimetry_laboratory_with_canopy_hood.jpg
47. Schutz Y, Bessard T, Jéquier E. Diet-induced thermogenesis measured over a whole day in obese and nonobese women. *Am J Clin Nutr.* 1984;40(3):542-52.
48. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett DRJ, Tudor-Locke C, et al. 2011 Compendium of Physical Activities: A Second Update of Codes and MET Values. *Med Sci Sports Exerc.* août 2011;43(8):1575-81.
49. Byrne NM, Hills AP, Hunter GR, Weinsier RL, Schutz Y. Metabolic equivalent: one size does not fit all. *J Appl Physiol.* 2005;99(3):1112-9.
50. Ainsworth. 2011 Compendium of physical activities. 2011 [consulté le 3 novembre 2017]; Disponible: http://download.lww.com/wolterskluwer_vitalstream_com/PermaLink/MSS/A/MSS_43_8_2011_06_13_AINSWORTH_202093_SDC1.pdf
51. Prentice AM, Black AE, Coward WA, Cole TJ. Energy expenditure in overweight and obese adults in affluent societies: an analysis of 319 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr.* 1996;50(2):93-7.
52. Pontzer H, Raichlen DA, Wood BM, Mabulla AZP, Racette SB, Marlowe FW. Hunter-Gatherer Energetics and Human Obesity. *PLOS ONE.* 2012;7(7):e40503.
53. Dowd KP, Szeklicki R, Minetto MA, Murphy MH, Polito A, Ghigo E, et al. A systematic literature review of reviews on techniques for physical activity measurement in adults: a DEDIPAC study. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2018;15:15.
54. Bexelius C, Löf M, Sandin S, Trolle Lagerros Y, Forsum E, Litton J-E. Measures of Physical Activity Using Cell Phones: Validation Using Criterion Methods. *J Med Internet Res* [En ligne]. 2010 [cité 20 mai 2018];12(1). Disponible : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2821583/>
55. Silsbury Z, Goldsmith R, Rushton A. Systematic review of the measurement properties of self-report physical activity questionnaires in healthy adult populations: Figure 1. *BMJ Open.* sept 2015;5(9):e008430.
56. indirect calorimetry Archives [En ligne]. sd [consulté le 12 juillet 2018]. Disponible: <https://www.indirectcalorimetry.net/tag/indirect-calorimetry/>
57. COSMED - K5 (Wearable Metabolic Technology) [En ligne]. sd [consulté le 23 juillet 2018]. Disponible: <http://www.cosmed.com/en/products/cardio-pulmonary-exercise-testing/k5>

58. Tharion WJ, Yokota M, Buller MJ, DeLany JP, Hoyt RW. Total energy expenditure estimated using a foot-contact pedometer. *Med Sci Monit Int Med J Exp Clin Res.* 2004;10(9):CR504-509.
59. Lyden K, Kozey SL, Staudenmeyer JW, Freedson PS. A comprehensive evaluation of commonly used accelerometer energy expenditure and MET prediction equations. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(2):187-201.
60. ActiGraph [En ligne]. sd [consulté le 12 juill 2018]. Disponible: <https://actigraphcorp.com/>
61. Evenson KR, Goto MM, Furberg RD. Systematic review of the validity and reliability of consumer-wearable activity trackers. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2015;12:159.
62. Lane N, Miluzzo E, Lu H, Peebles D, Choudhury T, Campbell A. A survey of mobile phone sensing. *IEEE Commun Mag.* 2010;48(9):140-50.
63. Rivera J, McPherson A, Hamilton J, Birken C, Coons M, Iyer S, et al. Mobile Apps for Weight Management: A Scoping Review. *JMIR MHealth UHealth* [En ligne]. 2016 [consulté le 30 janvier 2018];4(3). Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4978862/>
64. Sridhar S, Arunlal K. A Focus on Wearable Electronics. *Br J Math Comput Sci.* 2017;21(6):1-20.
65. EAL [En ligne]. [consulté le décembre 2017]. Disponible: <https://www.anddeal.org/evidence-analysis-manual>
66. Bouarfa L, Atallah L, Kwasnicki RM, Pettitt C, Frost G, Guang-Zhong Yang. Predicting Free-Living Energy Expenditure Using a Miniaturized Ear-Worn Sensor: An Evaluation Against Doubly Labeled Water. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2014;61(2):566-75.
67. Valenti G, Camps SGJA, Verhoef SPM, Bonomi AG, Westerterp KR. Validating measures of free-living physical activity in overweight and obese subjects using an accelerometer. *Int J Obes.* 2014;38(7):1011-4.
68. Brazeau A-S, Beaudoin N, Bélisle V, Messier V, Karelis AD, Rabasa-Lhoret R. Validation and reliability of two activity monitors for energy expenditure assessment. *J Sci Med Sport.* 2016;19(1):46-50.
69. Brage S, Westgate K, Franks PW, Stegle O, Wright A, Ekelund U, et al. Estimation of Free-Living Energy Expenditure by Heart Rate and Movement Sensing: A Doubly-Labelled Water Study. *PLOS ONE.* 8 sept 2015;10(9):e0137206.
70. Philips Respironics | Actical [En ligne]. sd [consulté le 12 juillet 2018]. Disponible: <http://www.actigraphy.com/solutions/actical>
71. Actiheart Overview - CamNtech [En ligne]. sd [consulté le 12 juillet]. Disponible: <https://www.camntech.com/products/actiheart/actiheart-overview>
72. Assah FK, Ekelund U, Brage S, Wright A, Mbanja JC, Wareham NJ. Accuracy and validity of a combined heart rate and motion sensor for the measurement of free-living physical activity energy expenditure in adults in Cameroon. *Int J Epidemiol.* 2011;40(1):112-20.
73. Villars C. Mesure objective de l'activité physique en conditions de vie libre et relations avec l'adiponectine. *Univ Claude Bernard.* 2011;292.

74. Altschuler A, Picchi T, Nelson M, Rogers JD, Hart J, Sternfeld B. Physical Activity Questionnaire Comprehension: Lessons from Cognitive Interviews. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(2):336-43.
75. Outil de calcul du MB, Outil de calcul du métabolisme de base | MyFitnessPal.com [En ligne]. [consulté le 24 juin 2018]. Disponible: <https://www.myfitnesspal.com/tools/bmr-calculator>
76. Mifflin MD, Jeor STS, Hill LA, Scott BJ, Daugherty SA, Koh YO. A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr.* 1990;51(2):241-7.
77. Dugas LR, Harders R, Merrill S, Ebersole K, Shoham DA, Rush EC, et al. Energy expenditure in adults living in developing compared with industrialized countries: a meta-analysis of doubly labeled water studies¹²³. *Am J Clin Nutr.* 2011;93(2):427-41.
78. Crowne DP, Marlowe D. A new scale of social desirability independent of psychopathology. *J Consult Psychol.* 1960;24(4):349.
79. Ebersole K, Dugas L, Durazo-Arvizu RA, Adeyemo AA, Tayo BO, Omotade OO, et al. Energy Expenditure and Adiposity in Nigerian and African American Women. *Obes Silver Spring Md.* 2008;16(9):2148-54.
80. Hunter GR, Byrne NM. Physical activity and muscle function but not resting energy expenditure impact on weight gain. *J Strength Cond Res.* 2005;19(1):225-30.
81. Westerterp KR, Speakman JR. Physical activity energy expenditure has not declined since the 1980s and matches energy expenditures of wild mammals. *Int J Obes.* 2008;32(8):1256-63.
82. Organisation mondiale de la santé. Niveaux d'activité physique recommandés pour la population. In: *Recommandations mondiales sur l'activité physique pour la santé.* Genève: OMS; 2010.