

6

Méthodes de diagnostic de l'obésité chez l'enfant

L'obésité est définie chez l'enfant comme chez l'adulte par un excès de masse grasse. Le diagnostic, évident au premier regard dans les cas extrêmes, se heurte en réalité, à une série de difficultés. Certaines sont propres à l'enfance : lors de la croissance, la composition corporelle et avec elle la masse grasse évoluent jusqu'à la fin de la puberté. Il n'est donc pas possible de retenir, quels que soient le critère ou la méthode utilisés, une valeur seuil unique de la naissance à la fin de la puberté. D'autres difficultés sont communes avec l'adulte : la masse grasse n'est, en effet, pas directement accessible. Les méthodes utilisées pour la quantifier ou déterminer sa répartition sont indirectes et nécessitent une validation puis une interprétation qui tiennent compte du sexe, de l'âge, de l'origine ethnique, du statut hormonal voire des pathologies intercurrentes. Parallèlement, l'histoire nutritionnelle précoce du patient, son activité ou degré d'inactivité physique sont des déterminants importants de la composition corporelle. Les méthodes de diagnostic et l'orientation du dépistage doivent donc tenir compte du contexte dans lequel vit un individu ou une population.

Alors que chez l'adulte l'existence de complications permet d'établir des liens entre degré d'obésité et morbidité, chez l'enfant, il est plus difficile de mettre en évidence des déterminants dans l'enfance responsables de complications observées chez l'adulte. Si les données épidémiologiques actuelles ne laissent planer aucun doute sur l'apparition précoce mais silencieuse de l'athérome dans l'enfance, ni sur le fait que l'obésité est un facteur de risque indépendant dont l'effet perdure, elles ne résolvent pas la question de l'appréciation du risque individuel. La localisation de la masse grasse, sous-cutanée ou intra-abdominale, est une donnée qui permet de pondérer les risques associés à l'obésité chez l'adulte mais elle n'est accessible que par les techniques d'imagerie les plus sophistiquées et demande chez l'enfant une interprétation prudente car elle évolue au cours de la croissance et peut présenter des différences importantes d'une ethnie à l'autre.

Porter un diagnostic d'obésité chez l'enfant expose donc à des risques d'erreur qu'il s'agisse de l'examen d'un individu ou de l'analyse de cohortes de sujets. La prudence s'impose d'autant plus que les résultats obtenus lors du diagnostic

servent à interpréter des mesures de dépense d'énergie et à élaborer des recommandations nutritionnelles.

Evolution physiologique de la masse grasse au cours de la croissance

Les premières données disponibles sur la composition corporelle chez l'enfant proviennent, souvent d'examen anatomopathologiques. Les enfants nés à terme ont une masse grasse d'environ 13 à 15 % du poids corporel (Fomon, 1993). A 26 semaines d'aménorrhée, la masse grasse est seulement d'environ 1 % du poids du corps (Widdowson, 1985) et la majeure partie est déposée au cours du dernier trimestre de la grossesse. Le pic de 25 à 26 %, est ensuite atteint entre 5 et 6 mois, dans les deux sexes puis vers 18 mois, il décroît jusqu'à 21-22 %. A 5 ans, le taux est d'environ 12 à 16 % (Poskitt 1995a), puis survient une augmentation prépubertaire, le « rebond d'adiposité » (Rolland-Cachera et coll., 1984).

Evolution différente en fonction du sexe

Au moment de la puberté surviennent des évolutions opposées chez la fille et le garçon. Chez ce dernier, l'importante croissance de la masse maigre jusqu'à 19 ans, la synergie hormonale entre testostérone et leptine (Wabtsch et coll., 1997) mènent à une diminution physiologique de 4 % entre 13 et 15 ans où est atteint le pourcentage minimum. A l'inverse, cette augmentation de la masse grasse chez la fille jusqu'à 17 ans semble nécessaire pour permettre la reproduction (Flodmark, sous presse). Au début de l'âge adulte, les pourcentages de masse grasse représentent environ 20 à 25 % du poids corporel chez les femmes et 15 à 20 % chez les hommes. Il faut toutefois souligner l'extrême variabilité de ces chiffres d'un individu à l'autre.

Répartition de la masse grasse

La répartition de la masse grasse évolue avec la croissance et de façon différente selon le sexe. En effet, elle peut être sous-cutanée et répartie de façon harmonieuse ou au contraire localisée de façon préférentielle sur le tronc ou les membres. Au cours de la croissance, la masse grasse totale croît plus vite que la masse grasse sous-cutanée. Durant l'adolescence, l'accumulation se produit chez les filles au même rythme sur le tronc et les membres tandis que chez les garçons, le dépôt s'effectue de façon préférentielle sur le tronc, aux dépens des membres. Le tissu adipeux intra-abdominal, qui n'est analysable que par des techniques d'imagerie, croît avec l'âge dans les deux sexes. Toutefois, à indice de corpulence équivalent, sa proportion varie considérablement, y compris chez les sujets minces (Bouchard et coll., 1993).

L'origine ethnique est également un déterminant important de la répartition de la masse grasse. Aux Etats-Unis, la comparaison des enfants inclus dans l'étude de Bogalusa a mis en évidence, à poids identiques, des plis cutanés plus épais chez les enfants de 7 à 15 ans caucasiens par rapport aux afro-américains, à l'exception des plis sous-scapulaires (Harscha et coll., 1980). L'analyse par scanner et absorptiométrie biphotonique (DEXA) révèle que les enfants afro-américains, à l'âge de 7 ans, ont au niveau de l'abdomen, une masse grasse sous-cutanée plus importante et intra-abdominale plus faible par rapport à leurs homologues caucasiens, concordant avec l'observation précédente (Goran et coll., 1997). Nous ne disposons pas de données publiées permettant la comparaison des populations d'origine asiatique.

Diagnostic de l'obésité par les méthodes anthropométriques

Le recueil de données anthropométriques a longtemps été le seul outil disponible pour décrire la croissance ou le statut nutritionnel d'un individu. Appliquée à des populations, l'anthropométrie a permis l'élaboration de courbes de référence nationales.

Indices anthropométriques

La France est l'un des rares pays à disposer non seulement de ses propres références (Guillaume, 1999) mais aussi à les avoir utilisées de manière sophistiquée : aux courbes de croissance staturale et pondérale (Sempé et coll., 1979) sont venues s'ajouter les courbes d'IMC (P/T^2) ou indice de Quetelet (Rolland-Cachera et coll., 1982). Ces courbes ont apporté une dimension nouvelle à l'observation des individus, en décrivant l'évolution de leur corpulence. Elles soulignent ce qui n'était alors qu'une simple observation clinique : l'augmentation de la corpulence jusqu'à l'âge de 1 an, suivie d'une période de régression avant le rebond prépubertaire, dit « rebond d'adiposité ». Ces courbes sont largement disponibles en France, et figurent depuis quelques années dans les carnets de santé. Le recueil des données pour les établir ne nécessite que du matériel peu coûteux : une balance et une toise.

La mesure des périmètres des membres, du tronc, des tours de taille et de hanche est simple mais parfois aléatoire car les repères recommandés sont d'autant plus difficiles à situer que le sujet est obèse.

La mesure des plis cutanés a ajouté une mesure de la masse grasse sous cutanée et une appréciation de la répartition tronculaire, dite centrale ou périphérique, sur les membres. Toutefois, le recueil des mesures nécessite un opérateur entraîné, un matériel relativement onéreux et fragile. La précision exigée n'autorise que l'utilisation de matériel standardisé et régulièrement contrôlé.

La mesure de la longueur des différents segments (tronc, membres) et de leurs rapports n'a pas à l'heure actuelle sa place dans le diagnostic de l'obésité ni le

phénotypage des patients. Seul le diamètre transversal de l'abdomen est ponctuellement utilisé chez l'adulte.

L'anthropométrie a cependant des limites. Le poids d'un individu, son indice de Quetelet ne sont que des reflets très imparfaits de sa composition corporelle et de sa masse grasse. Les plis cutanés ne sont pas exclusivement composés de masse grasse et, de surcroît, chez les sujets très obèses sont difficiles à mesurer de façon rigoureuse : l'observateur ne peut correctement saisir le pli, tandis que le positionnement du compas se fait dans une position plus ou moins oblique et difficilement reproductible. Le choix de l'anthropométrie, malgré sa grande fréquence et simplicité, doit donc être assorti à des précautions découlant des limites de cette méthode.

Limites et validité de l'IMC chez l'enfant et l'adolescent

L'indice de Quetelet (IMC), développé en 1869, est universellement accepté pour définir l'obésité chez l'adulte car il est bien corrélé avec la masse grasse ($r = 0,7 - 0,8$) (Guillaume, 1999). Chez l'enfant, par simplicité et continuité entre les méthodes, le choix s'est porté également sur l'IMC. Toutefois, les comparaisons des données anthropométriques chez les garçons de quatre pays (Etats-Unis, Japon, Grande-Bretagne et Singapour) ont mis en exergue que des valeurs proche de 3 exprimaient mieux au moment de la puberté la relation entre poids, taille et adiposité. L'IMC aurait donc tendance à sous-estimer l'effet de la taille sur le poids entre 8 et 16 ans tandis que les enfants les plus grands tendront à avoir des indices plus élevés (Franklin, 1999). La capacité de cet indice à détecter l'obésité a également été étudiée dans un groupe de 1570 adolescents américains et européens de différentes origines ethniques. Les plis cutanés étaient pris comme référence. A une spécificité élevée pour détecter tant le surpoids (86,1 - 98,8 %) que l'obésité (96,3 - 100 %) est opposée une sensibilité très variable et relativement faible (4,3 - 75 %) pour le risque de surpoids et pour la présence du surpoids (14,3 - 60 %). Beaucoup d'adolescents de cette étude n'étaient donc pas correctement identifiés par le seul indice de Quetelet (Malina et Katzmarzyk, 1999).

Par ailleurs, une étude longitudinale effectuée pendant 25 ans au Guatemala (Schroeder et Martorell, 1999) a attiré l'attention sur l'impact d'une malnutrition précoce sur l'évolution de la composition corporelle : ces sujets à la croissance staturale ralentie durant l'enfance (*stunted*) ont à l'adolescence puis à l'âge adulte des tailles inférieures au 5^{ème} percentile des courbes de référence des Etats-Unis mais des indices de Quetelet supérieurs à la valeur médiane. La coexistence de plis cutanés tricipitiaux minces et subscapulaires médians a conduit à deux hypothèses : une localisation centrale préférentielle de la masse grasse ou une altération des proportions corporelles telles que la croissance du tronc est préservée tandis que les membres demeurent relativement courts, produisant des indices élevés.

L'avantage majeur de cet indice, confirmé en France (Rolland-Cachera, 1995) comme dans une population caucasienne des Etats-Unis (Guo et Chumlea, 1999) est sa capacité à prédire l'obésité à l'âge adulte.

L'*International Obesity Task Force* et l'Organisation Mondiale de la Santé ont entériné ce choix mais en l'assortissant de recommandations (Dietz et Bellizzi, 1999) :

- étendre sa validation à d'autres groupes d'enfants que les caucasiens et l'utiliser avec prudence pour déterminer la masse grasse dans des populations
- vérifier la sensibilité et la spécificité dans des groupes d'enfants obèses où les valeurs pourraient être plus élevées que dans les populations générales utilisées initialement.
- vérifier la composition corporelle dans les populations malnutries.

L'*European Childhood Obesity Group* (ECOG) avait auparavant exprimé cette opinion en recommandant de le rapporter à des standards pour l'âge exprimés sous forme de centiles, de pourcentage de la moyenne ou de Z score (Poskitt, 1995b).

Intérêt de la mesure des périmètres et des plis cutanés

Depuis la description par Vague, en France, en 1956, des différentes formes d'obésité androïdes et gynoïdes chez l'adulte, les mesures des tours de taille et tour de hanche font partie des paramètres couramment relevés. Cependant, chez l'enfant, des données récentes font douter de la validité de cette mesure. N'oublions pas que l'idée initiale sous jacente était la description de degrés de risque cardiovasculaire et de diabète différents selon la répartition de la masse grasse. Avec l'apparition du scanner et de la résonance magnétique nucléaire (RMN), on a pu effectuer la comparaison entre ces mesures et la répartition de la masse grasse intra-abdominale ou viscérale, paramètre crucial pour l'estimation du risque de pathologies associées chez l'adulte. Son caractère prédictif a pu être confirmé chez l'enfant, mais la différence de composition en acides gras entre masse grasse viscérale et tissu sous-cutané reste encore à préciser (Schoen et coll., 1996).

L'étude de Gower et coll. (1999) qui a porté sur des enfants afro-américains et caucasiens prépubères a révélé les différences suivantes entre les deux sous-groupes : à corpulence semblable, définie par des indices de Quetelet, la masse grasse sous-cutanée et viscérale est plus importante chez les caucasiens que chez les afro-américains. Après ajustement pour la masse grasse totale, les enfants afro-américains sont moins insulino-sensibles (- 42 %) que les caucasiens. Une association indépendante de la masse grasse viscérale avec les triglycérides plasmatiques et l'insulinémie, mais non la sensibilité à l'insuline mesurée par un test au tolbutamide modifié, a été trouvée. Après ajustement pour la masse grasse totale et viscérale, les triglycérides plasmatiques et le HDL-C ne sont plus associés de façon indépendante à l'origine ethnique. La

masse grasse viscérale semble donc jouer un rôle métabolique particulier dès l'enfance et serait un marqueur précoce du risque cardiovasculaire (Ellis, 1997).

Si la graisse viscérale est un élément important de phénotypage et d'évaluation du risque associé à l'obésité, la relation entre l'accumulation de masse grasse totale et intra-abdominale demeure incertaine, à l'heure actuelle, dans l'enfance (Goran et Gower, 1999). Les périmètres abdominaux ont donc trouvé un regain d'intérêt mais leur utilisation nécessite, dans une population donnée, d'établir au préalable des corrélations avec des mesures obtenues par imagerie.

La mesure des plis cutanés, largement utilisée en anthropométrie, permet, en théorie, de distinguer masse grasse totale et sous-cutanée et donc de déduire la masse grasse viscérale. L'un des premiers travaux effectués chez l'adulte (Seidell et coll., 1987) avait, en effet, mis en évidence une bonne prédiction de la distribution, de la masse grasse par plusieurs circonférences et leurs rapports (tour de taille/tour de hanches) ainsi que par la mesure des plis cutanés para ombilicaux et supra-iliaques. Chez l'enfant et l'adolescent, la masse grasse du bras, calculée en associant la mesure du pli cutané tricipital et le périmètre brachial, s'est avérée bien corrélée avec la masse grasse totale, mesurée par une coupe de scanner à hauteur de L 4, chez des sujets minces et modérément obèses (Rolland-Cachera et coll., 1997). Il faut noter que les auteurs signalent avoir dû exclure les sujets les plus obèses, dont le pli cutané était supérieur à 4 cm, car les limites du compas étaient atteintes. Il est évident que les plis cutanés mesurés au compas connaissent là une limite trop ignorée lorsque l'on ne s'occupe pas d'obésité (Poskitt, 1995a). L'étude sus-citée utilisait les références françaises. En Grande-Bretagne, un récent plaidoyer en faveur de nouvelles références chez les nourrissons a été publié : paradoxalement, la diminution de l'obésité dans cette tranche d'âge depuis une trentaine d'années amène à classer dans les insuffisances la majorité des nourrissons contemporains (Paul et coll., 1997). D'autres études ont permis, à l'issue d'analyses complexes, de comparer entre eux et aux mesures de masse grasse obtenues par imagerie les différents paramètres anthropométriques (cf infra). La mesure des plis cutanés n'a souvent été validée que dans la population dans laquelle l'étude d'origine a été conduite. Il faut donc insister sur le fait que des études de validation croisée (cross validation) sont encore le plus souvent nécessaires (Reilly, 1998).

Mesure de la masse grasse et de sa distribution

La mesure de la composition corporelle chez l'enfant, outre l'intérêt en santé publique, permet d'interpréter des données de dépense d'énergie et d'analyser la signification fonctionnelle des différents compartiments de l'organisme (Reilly, 1998). Plusieurs techniques sont disponibles : les unes recourent à la

dilution de traceurs et supposent des modèles pluri- compartimentaux de l'organisme, les autres permettent la mesure des différents tissus de l'organisme.

Les limites de toutes les méthodes sont :

- la validité (*accuracy*) c'est à dire la différence entre la valeur mesurée et la « vraie » valeur par comparaison à un standard.
- la précision (*reliability*) qui permet la reproduction de la technique et est exprimée par le coefficient de variation
- la sensibilité (*sensitivity*), soit la variation qui peut être mesurée avec précision (Keller et Thomas, 1995).

Mesures de la composition corporelle totale

Ces techniques d'emploi difficile chez l'adulte, voire impossible chez l'enfant ont été, avant l'avènement de l'imagerie, les seules références disponibles. Il s'agit de la pesée hydrostatique et des mesures de dilution de différents isotopes permettant de mesurer différents secteurs de l'organisme.

Pesée hydrostatique

La pesée hydrostatique, basée sur le principe d'Archimède et introduite en 1943, s'avère quasi inutilisable chez l'enfant et difficile à mettre en œuvre chez l'obèse. Elle a pour but de mesurer la densité corporelle en assignant une densité fixe au tissu adipeux (0,900) et à la masse maigre (1,100). Le volume résiduel pulmonaire et les gaz doivent être évalués correctement et le sujet plongé, après expiration forcée, dans un volume de liquide. Des corrections inappropriées mènent à une sous-estimation du pourcentage de masse grasse (Harsha et Bray, 1996). Cette méthode, hautement reproductible, a permis de valider les premières analyses de composition corporelle lors de l'introduction de nouvelles techniques chez l'adulte. Une méthode analogue mais utilisant la compression de l'air, est en cours de développement.

Mesures de dilution isotopique

Des isotopes (D_2O , $H_2^{18}O$) ou des substances non isotopiques (urée, bromure) peuvent être utilisés pour estimer l'eau, la masse grasse corporelle ou d'autres compartiments dans un modèle du corps à deux compartiments. Le coefficient de variation de ces méthodes est de 1 à 3 % et la précision d'environ 3 % (Harsha et Bray, 1996). La mesure de la dilution du deutérium ou de l'oxygène 18 ont permis de mettre en évidence une augmentation de la proportion d'eau extracellulaire chez les sujets obèses adultes. Chez l'enfant obèse pré-pubère, la même particularité a été retrouvée. Le rapport eau extracellulaire/eau intracellulaire est respectivement de $0,61 \pm 0,19$ et $0,76 \pm 0,09$ chez les contrôles et les sujets obèses. La différence entre les deux groupes est due à l'augmentation de l'eau extracellulaire mais non intracellulaire chez les obèses (Battistini et coll., 1995). Ces études apportent des renseignements cruciaux

sur la composition corporelle mais demeurent du strict domaine de la recherche médicale du fait de leur coût et de leur complexité.

L'isotope ^{40}K du potassium permet une mesure de la masse maigre totale. Cette méthode, qui utilise également un modèle corporel à deux compartiments, n'est pas applicable au jeune enfant.

Pour ces différentes méthodes, l'application des équations validées chez l'adulte mènerait chez l'enfant à une surestimation importante de la masse grasse (Reilly, 1998).

Techniques d'imagerie

D'une manière générale, ces techniques connaissent deux sortes de limites que ne doivent pas faire oublier leur apparente simplicité d'utilisation : les limites liées aux caractéristiques de la méthode physique et la validité des équations et donc des hypothèses sous-jacentes, permettant d'extrapoler la composition corporelle à partir de paramètres purement physiques.

Scanner

Cette technique est utilisée pour mesurer la graisse viscérale. Elle suppose la rotation d'un tube à rayons X autour du sujet. L'exposition aux radiations est faible mais non nulle. L'image est composée en unités Hounsfield (-1000, tous les signaux passent, + 1000, aucun signal ne passe) couvrant les densités de l'air à l'os. Cette méthode a été validée par comparaison avec des analyses de cadavres avec un coefficient de corrélation à 0,90 (Keller, 1995). Deux examens effectués à 6 semaines d'intervalle chez 61 filles pré-pubères minces confirment la bonne précision de la méthode quant à la masse grasse abdominale (CV = 12,3 %), sous-cutanée (CV = 10,7 %) et viscérale (CV = 21,5 %). Les erreurs portent sur des quantités calculées de tissu adipeux inférieures à 3 cm² (Figuroa-Colon et coll., 1998).

Résonance magnétique nucléaire (RMN)

Le sujet est placé dans un fort champ magnétique. L'intensité de l'image est due aux propriétés des protons des différents tissus. Les signaux du tissu adipeux le rendent particulièrement distinct des tissus plus riches en eau. La reproductibilité de cette méthode pour la graisse abdominale est de 5-7 % (Keller, 1995). Il n'y a pas d'exposition aux radiations mais, outre son coût, cette méthode est relativement longue et donc peu utilisable dans l'étude de l'obésité chez les jeunes enfants.

Ultrasonographie

Le principe de la technique est l'envoi d'un faisceau d'ultrasons qui sont réfléchis aux différentes interfaces. L'épaisseur des différents tissus est moins bien révélée que par scanner ou RMN.

Chez la femme adulte, l'ultrasonographie a permis de distinguer correctement trois groupes de sujets dont la masse grasse intra-abdominale était préalablement quantifiée par RMN. Aucun paramètre anthropométrique ne permettait de classer correctement l'ensemble des sujets (Armellini et coll., 1991). La même équipe rapporte l'évaluation avec succès, selon la même méthode, de la diminution du tissu adipeux viscéral lors de périodes d'amaigrissement de 3 semaines, sous régime à très basse teneur en calories. Toutefois, la reproductibilité est faible par comparaison avec le scanner (Armellini et coll., 1993).

Cette technique s'est avérée intéressante pour mesurer l'épaisseur de la graisse sous-cutanée. Au Japon, elle a été utilisée en milieu scolaire, à la place de la mesure des plis cutanés tricipital et subscapulaire, lors d'un examen scolaire, dans un groupe de 161 garçons et 161 filles âgés de 10 ans. Le degré de surpoids était par ailleurs estimé en pourcentage du poids idéal pour la taille des références nationales. Le degré de corrélation avec le surpoids était respectivement de 0,67 et 0,75 ($p < 0,001$). La technique a été jugée simple d'utilisation, sensible et très acceptable par les enfants (Kanda et coll., 1997).

Absorptiométrie

Le principe de cette méthode est la mesure de l'absorption différentielle de photons, provenant du gadolinium (^{153}Gd) ou de rayons X émis à deux niveaux d'énergie différents. La dégradation progressive du gadolinium rend cette technique peu reproductible. On lui préfère l'absorptiométrie des rayons X (DEXA) qui utilise l'atténuation des signaux pour fournir un modèle à trois compartiments de la composition corporelle. L'irradiation induite est très inférieure à celle d'une radiographie de thorax et à peine supérieure à l'irradiation naturelle (0,005 - 0,1 mSv). Elle est largement utilisée chez l'enfant et l'adolescent. Les centres les plus performants rapportent un coefficient de variation de 0,85 % pour l'os, 1,26 % pour la densité et 1,73 % pour la graisse et 2 % pour le poids corporel (Harsha et Bray, 1996). L'inconvénient de cette méthode est l'absence de différenciation entre le tissu adipeux abdominal viscéral et sous-cutané. Par ailleurs, d'importantes variations de la composition corporelle (ajout de 23 kg de lard répartis sur la face antérieure du corps, puis retirés graduellement pour mimer un amaigrissement) (Jensen, 1994) ou d'importants amaigrissements chez l'adolescent (Dao et coll., 1999) induisent des modifications significatives des données de la minéralisation osseuse qui soulignent un autre aspect des limites des méthodes les plus raffinées et les difficultés d'interprétation des résultats ainsi obtenus.

Impédancemétrie

Cette méthode repose sur l'application à l'organisme d'un courant de faible intensité qui permet de mesurer la résistance ou impédance du corps. La masse grasse et la masse maigre ont des conductivités différentes. Les facteurs limitant l'application sont le degré d'hydratation et la géométrie du corps, or dans

l'obésité sévère de l'enfant ces paramètres peuvent varier. L'augmentation du liquide extracellulaire chez l'obèse est un obstacle important à la validité des mesures. Un contrôle des paramètres utilisés est particulièrement nécessaire à l'heure où plus de 60 marques d'impédancemètres sont commercialisées. L'utilisation d'une fréquence de 50 kHz mesure le liquide extracellulaire et une partie du liquide intracellulaire. Chez l'adulte, les équations développées chez les sujets minces vont tendre à sous-estimer la masse grasse (Deurenberg, 1996). À côté de sa maniabilité et de sa simplicité d'utilisation, la validité des prédictions de l'impédancemétrie n'est uniquement démontrée que dans la population étudiée. Les équations développées chez l'enfant le sont en majorité chez des caucasiens. Cette technique est donc recommandée pour les équipes averties par l'étude de groupes plus que pour le suivi de patients individuels (Houtkooper et coll., 1996).

Techniques de mesure de la dépense d'énergie

Les techniques de mesures de la dépense d'énergie ne sont citées que pour mémoire, dans la mesure où elles ne permettent pas de mesurer un excès de masse grasse mais un autre paramètre impliqué dans le développement de l'obésité : la dépense d'énergie. La plus répandue est la calorimétrie indirecte qui mesure la dépense énergétique de repos. La calorimétrie en chambre mesure la dépense d'énergie du sujet actif, selon le même principe. La quantité d'énergie consommée est calculée à partir du quotient respiratoire non protéique, c'est-à-dire de la consommation d'oxygène et de la production de gaz carbonique. L'hypothèse sous-jacente est que, dans un état respiratoire stable, les échanges gazeux respiratoires sont en équilibre avec ceux qui se produisent au sein des mitochondries, et permettent donc de mesurer de façon indirecte la phosphorylation oxydative (Bodamer et coll., 1997). L'utilisation de l'eau doublement marquée repose sur le même principe mais seule la production de CO_2 est mesurée. La consommation d' O_2 est évaluée à partir d'une valeur moyenne du quotient respiratoire. La technique repose sur la mesure de la différence d'élimination des composants d'une dose d'eau doublement marquée : le deuterium quitte l'organisme sous forme d'eau tandis que l' ^{18}O est éliminé à la fois sous forme d'eau et de gaz carbonique (Aubert et coll., 1991).

L'utilisation de ces méthodes suppose une évaluation correcte de la composition corporelle. Elles sont donc en général couplées à l'anthropométrie et à l'impédancemétrie ou la DEXA. De la validité de ces mesures dépendent donc les assertions relatives aux variations de la dépense d'énergie après perte de poids chez l'obèse adulte (Leibel et coll., 1995) et l'enfant (Tounian et coll., 1999).

Apport de l'imagerie à l'analyse de la composition corporelle

De nombreuses études ont été effectuées pour corrélérer les données anthropométriques et l'analyse de la composition corporelle par les techniques d'imagerie.

Données chez l'adulte

Les premiers travaux effectués chez l'adulte ont utilisés le scanner et ont porté sur les corrélations entre la masse grasse mesurée à hauteur de L4, différenciée en masse grasse viscérale ou intra-abdominale et masse grasse sous-cutanée. Seidell et coll. (1987), Weits et coll. (1988), Koester et coll. (1992), Jensen et coll. (1995) ont ainsi confirmé l'intérêt de la technique pour différencier et mesurer la graisse sous-cutanée et intra-abdominale et trouvé d'excellentes corrélations entre la masse grasse intra-abdominale et le tour de taille. Les autres paramètres se comportent de manières différentes selon les études et les modèles retenus.

Une étude a comparé l'indice de Quetelet et la DEXA, méthode de référence, chez des sujets obèses et conclu à la forte spécificité (100 % dans les deux sexes) mais à la faible sensibilité (12-14 %) de l'indice de Quetelet (Curtin, 1997).

Au Japon, les auteurs se sont intéressés à la corrélation entre graisse intra-abdominale, obésité et risque cardiovasculaire. Cette étude trouve que 40 % de sujets non obèses et 90 % des obèses atteints de maladie coronarienne ont une masse grasse intra-abdominale augmentée. L'augmentation de la masse grasse intra-abdominale est corrélée chez les obèses à l'intolérance au glucose et à l'existence d'une dyslipidémie (Matsuzawa et coll., 1995). Aux Etats-Unis, les femmes amérindiennes ont une localisation préférentielle sous-cutanée de la masse grasse abdominale par rapport aux caucasiennes et afro-américaines (Keller et coll., 1999).

Données chez l'enfant et l'adolescent

Dans différentes populations, les études ont également pour but de décrire l'évolution de la répartition de la masse grasse en fonction de la croissance. Les études effectuées par DEXA ont apporté plusieurs résultats.

En Italie, la comparaison de deux groupes d'enfants âgés de 10 à 15 ans, respectivement obèses et minces, a permis de conclure que le tissu adipeux sous-cutané (353 ± 94 et 79 ± 61 cm²) est prépondérant dans les deux groupes par rapport au tissu adipeux intra-abdominal (49 ± 21 et 22 ± 11 cm²). Le ratio des deux tissus est le même dans les deux groupes et ne varie ni avec le sexe ni avec le stade pubertaire. L'anthropométrie ne permettait pas, dans cette étude, un calcul correct de la masse grasse. Les auteurs attribuent cet obstacle à l'inexactitude de la mesure des plis cutanés chez les sujets très obèses (Brambilla et coll., 1994).

Aux Etats-Unis, 113 enfants pré-pubères caucasiens et afro-américains, âgés de 4 à 10 ans, ont été examinés par DEXA et scanner, effectués au niveau de l'ombilic et anthropométrie. La masse grasse intra-abdominale était corrélée au mieux avec le pli cutané abdominal et la masse grasse du tronc mesurée par la DEXA. La graisse sous-cutanée était mieux prédite par la masse grasse du tronc et la masse grasse totale estimées à la DEXA et le pli cutané abdominal. En l'absence de DEXA, la masse grasse intra-abdominale était au mieux corrélée avec les plis cutanés abdominaux, l'origine ethnique et le pli cutané subscapulaire. La graisse sous-cutanée était très corrélée au tour de taille et au pli subscapulaire (Goran et coll., 1998). Dezenberg et coll. (1999), reprenant les équations proposées par Goran ont trouvé qu'elles ne s'appliquaient pas à une population d'enfants hétérogène, comprenant notamment des enfants très obèses (pourcentage de masse grasse : 6,2 - 49,6 %). Ils ont donc proposé de nouvelles équations destinées à prédire la masse grasse à partir des données anthropométriques.

Dans un groupe de 403 adolescents en bonne santé de Hollande, la masse grasse était plus importante chez les filles plus âgées (24 % et 15 %, respectivement de la masse corporelle totale). Chez les garçons, le pourcentage moyen de masse grasse était de 11 (intervalle de confiance 9,9 - 11,6 %) et ne variait pas avec l'âge. Jusqu'à l'âge de 14 ans, la masse maigre était semblable chez les filles et les garçons puis augmentait chez les garçons jusqu'à l'âge de 20 ans. Masse maigre et densité minérale osseuse étaient étroitement corrélées dans les deux sexes (Boot et coll., 1997).

En Nouvelle Zélande, la DEXA a été utilisée pour mesurer la masse grasse et déterminer sa localisation chez 196 filles caucasiennes en bonne santé. Toutes les variables mesurées, dont la masse grasse totale et son pourcentage étaient plus élevés chez les filles les plus âgées qui avaient également un pourcentage de masse grasse dans le tronc plus élevé. L'indice de Quetelet était positivement corrélé avec le pourcentage de masse grasse du tronc et négativement avec celui des membres inférieurs. Le pourcentage de masse grasse passe de $19,4 \pm 7,4$ % chez les enfants de 4 à 5 ans à $27,5 \pm 8,7$ % entre 14 et 15 ans (Taylor et coll., 1996).

Chez 25 garçons et filles âgés de 11 ans, sélectionnés pour représenter les quintiles d'indice de masse corporelle de leur tranche d'âge, la RMN a permis de mettre en évidence l'extrême variabilité de la quantité de tissu adipeux viscéral : de 15 à 50 cm² et 6 à 58 cm² chez les filles et les garçons respectivement. Masse grasse sous-cutanée et intra-abdominale sont fortement corrélées chez la fille et modérément chez le garçon. Les meilleurs prédicteurs anthropométriques (le pli cutané sous-scapulaire chez la fille et le rapport pli tricipital/pli sous-scapulaire chez le garçon) ne s'avéraient pas, dans cette étude, suffisamment sensibles pour autoriser la prédiction clinique de la masse grasse intra-abdominale (Fox et coll., 1993).

110 Chez la fille à différents stades de la puberté, la RMN a permis de montrer l'évolution de la masse grasse à hauteur des trochanters (142 ± 12 vs

$201 \pm 26 \text{ cm}^2$) tandis que la surface au niveau de la taille restait stable à $24 - 26 \text{ cm}^2$. Les tours de taille, hanche et trochanter étaient bien corrélés à la surface de masse grasse à la différence de tous les rapports (De Ridder, 1992).

Toujours chez des filles adolescentes minces, les masses grasses estimées par RMN et anthropométrie ont été confrontées à la performance physique représentée par le VO_2 max, mesurée avant et après 5 semaines d'entraînement et comparées à un groupe contrôle. La masse grasse abdominale est directement proportionnelle au poids corporel ($1,14 \pm 0,16$). La relation avec la masse grasse des cuisses est plus faible ($0,38 \pm 0,12$). L'entraînement conduit à une augmentation de la masse maigre de la région médiane des cuisses et empêche l'accroissement de la masse grasse distale des cuisses. Le VO_2 max est négativement corrélé au poids normalisé et à la graisse sous-cutanée totale, abdominale et des cuisses (Eliakim et coll., 1997).

Au Japon, la masse grasse abdominale a été évaluée par scanner à l'ombilic chez 36 enfants obèses des deux sexes âgés de 5 à 15 ans et corrélée aux lipides plasmatiques et pressions artérielles de repos. Les auteurs concluent au faible développement de la masse grasse intra-abdominale chez l'enfant par rapport aux valeurs qu'ils avaient mesurées chez l'adulte. Le rapport entre graisse sous-cutanée et abdominale est au mieux corrélée de façon négative avec l'indice de Quetelet (Iwata et coll., 1995).

Au total, les études par imagerie confirment l'évolution de la masse grasse avec la croissance, son augmentation supérieure en valeur absolue chez la fille au moment de la puberté et la grande variabilité interindividuelle précoce des valeurs. Trop peu de données sont encore disponibles pour que l'on puisse décrire avec certitude l'évolution des rapports entre graisse intra-abdominale et graisse sous-cutanée. Le rapport tour de taille sur tour de hanche ne confirme pas dans la majorité des études chez l'enfant sa valeur prédictive du risque cardiovasculaire, alors que les périmètres sont fortement corrélés à la masse grasse totale. Les corrélations avec la graisse sous-cutanée et intra-abdominales varient selon l'âge, le sexe et l'origine ethnique.

Lors de l'amaigrissement, la DEXA permet chez l'adolescent non seulement de surveiller la perte de masse grasse mais aussi l'évolution de la masse maigre, particulièrement importante en période de croissance. Dao et coll. (1999) ont pu ainsi mettre en évidence une diminution préférentielle de la masse grasse abdominale et étudier les modifications de la masse maigre en rapport avec les aptitudes physiques de ces sujets.

Apport de l'impédancemétrie

L'impédancemétrie a fait l'objet d'utilisation extensive chez l'adulte. L'un des exemples les plus significatifs est son application à la population (ici 2032 sujets âgés de 20 à 89 ans) suivie dans l'étude de Framingham, aux Etats-Unis. La corrélation dans un sous-groupe avec l'analyse corporelle par DEXA a montré une corrélation de 0,85 chez les hommes et 0,88 chez les femmes.

L'indice de Quetelet s'est révélé, confronté à l'impédancemétrie, la DEXA et l'anthropométrie, le moins bon indicateur de la masse grasse (Roubenoff et coll., 1995). Une application originale a été tentée : la détection des obésités « sarcopéniques », c'est-à-dire dans laquelle la masse musculaire est réduite, contrairement au phénomène classique. Dans un groupe de 306 sujets obèses, l'impédancemétrie a identifié des obésités sarcopéniques chez des sujets à indice de Quetelet normal, ce par rapport aux prédictions des équations de Garrow et Webster. Ces sujets appartenaient à un groupe de femmes à haut risque de cancer du sein. De l'avis même des auteurs cette étude intéressante mérite d'être complétée (Heber et coll., 1996).

Chez l'enfant, les difficultés théoriques (cf supra) ont limité son application :

- Au Japon, l'impédancemétrie a été corrélée aux taux de lipides plasmatiques de 90 enfants obèses et 241 enfants minces, âgés de 10 à 15 ans : les auteurs concluent que son utilisation a permis de bien caractériser les sujets obèses (Takahasi et coll., 1996).
- En Espagne, la question de la variation circadienne de la composition corporelle et de sa détection par impédancemétrie a été posée. Les mesures effectuées à 17 h sont inférieures de 4,64 % à celles du matin à 8 h. Les auteurs rappellent donc que cet examen connaît, chez l'enfant, les mêmes variations diurnes que chez l'adulte et doit être effectué à jeun (Rodriguez et coll., 1999). L'impédancemétrie est donc la méthode la plus simple après l'anthropométrie mais aussi celle dont la validation entre populations reste la moins avancée. Sa précision mérite d'être affinée et pourrait s'avérer inférieure à celle de l'anthropométrie (Goran et coll., 1998).

En conclusion, le diagnostic d'obésité infantile est avant tout clinique et repose sur l'analyse des courbes de croissance. Si l'anthropométrie demeure l'outil privilégié du dépistage, elle connaît des limites. La mesure des plis cutanés, reflet de la graisse sous-cutanée, en particulier, n'est plus valable chez l'enfant très obèse. La mesure des périmètres du tronc reflète, quant à elle, la masse grasse viscérale. L'indice de Quetelet apporte des informations clé sur l'évolution de la corpulence de l'enfant mais ne constitue pas pour autant un indicateur idéal en raison des importantes variations physiologiques de la composition corporelle. La combinaison de plusieurs indices et mesures et le tracé des courbes apparaissent donc nécessaires pour procéder à de bonnes évaluations.

Parmi les méthodes d'imagerie, il serait intéressant de vérifier l'intérêt en épidémiologie de la mesure des plis cutanés par ultrasonographie. Les autres techniques, qu'il s'agisse de l'imagerie ou de l'utilisation de traceurs demeurent du domaine de la recherche médicale. La DEXA semble prometteuse pour la surveillance longitudinale des patients. Seuls le scanner et la RMN permettent de mesurer la graisse viscérale. L'impédancemétrie, comme toutes les techniques, doit être, selon les recommandations des diverses instances

internationales, validée spécifiquement dans les populations que l'on se propose d'étudier ; un large travail reste donc à effectuer avant son introduction, en routine, en épidémiologie et en clinique chez l'enfant en France.

BIBLIOGRAPHIE

ARMELLINI F, ZAMBONI M, ROBBI R, TODESCO T, RIGO L et coll. Total and intra-abdominal fat measurements by ultrasound and computerized tomography. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1993, **17** : 209-214

ARMELLINI F, ZAMBONI M, RIGO L, BERGAMO-ANDREIS IA, ROBBI R et coll. Sonography detection of small intra-abdominal fat variations. *Int J Obes* 1991, **15** : 847-852

AUBERT R, MUNCK A, MONTAGNON B, FOUCAUD P, NAVARRO J. Energy expenditure : contribution of doubly labelled water. *Pathol Biol (Paris)* 1991, **39** : 640-643

BATTISTINI N, VIRGILI F, SEVERI S, BRAMBILLA P, MANZONI P, BECCARIA L, CHIUMELLO G. Relative expansion of extracellular water in obese vs. normal children. *J Appl Physiol* 1995, **79** : 94-96

BODAMER OA, HOFFMANN GF, VISSER GH, JANECKE A et coll. Assessment of energy expenditure in metabolic disorders. *Eur J Pediatr* 1997, **156** : S24-S28

BOOT AM, BOUQUET J, DE RIDDER MA, KRENNING EP, DE MUINCK KEIZER-SCHRAMA SM. Determinants of body composition measured by dual-energy X-ray absorptiometry in Dutch children and adolescents. *Am J Clin Nutr* 1997, **66** : 232-238

BOUCHARD C, DESPRES JP, MAURIEGE P. Genetic and nongenetic determinants of regional fat distribution. *Endocr Rev* 1993, **14** : 72-93

BRAMBILLA P, MANZONI P, SIRONI S, SIMONE P, DEL MASCHIO A et coll. Peripheral and abdominal adiposity in childhood obesity. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1994, **18** : 795-800

CURTIN F, MORABIA A, PICHARD C, SLOSMAN DO. Body mass index compared to dual-energy X-ray absorptiometry : evidence for a spectrum bias. *J Clin Epidemiol* 1997, **50** : 837-843

DAO HH, FRELUT ML, OBERLIN F, PORQUET D, BOURGEOIS P et coll. Variations des masses maigres grasses et osseuses mesurées par DEXA chez des adolescents obèses sévères avant et après perte de poids. *Nutr Clin Metab* 1999, **13** : 55s.

DE RIDDER CM, DE BOER RW, SEIDELL JC, NIEUWENHOFF CM, JENESON JA et coll. Body fat distribution in pubertal girls quantified by magnetic resonance imaging. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1992, **16** : 443-449

DEURENBERG P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. *Am J Clin Nutr* 1996, **64** : 449S-452S.

DEZENBERG CV, NAGY TR, GOWER BA, JOHNSON R, GORAN MI. Predicting body composition from anthropometry in pre-adolescent children. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1999, **23** : 253-259

DIETZ WH, BELLIZZI M. Introduction : the use of body mass index to assess obesity in children. *Am J Clin Nutr* 1999, **70** : 123S-125S.

ELIAKIM A, BURKE GS, COOPER DM. Fitness, fatness, and the effect of training assessed by magnetic resonance imaging and skinfold-thickness measurements in healthy adolescent females. *Am J Clin Nutr* 1997, **66** : 223-231

ELLIS KJ. Visceral fat mass in childhood : a potential early marker for increased risk of cardiovascular disease. *Am J Clin Nutr* 1997, **65** : 1887-1888

FIGUEROA-COLON R, MAYO MS, TREUTH MS, ALDRIDGE RA, HUNTER GR et coll. Variability of abdominal adipose tissue measurements using computed tomography in prepubertal girls. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998, **22** : 1019-1023

FOMON SJ. Nutrition of normal infants, Mosby, Londres 1993, pp 36-67.

FOX K, PETERS D, ARMSTRONG N, SHARPE P, BELL M. Abdominal fat deposition in 11-year-old children. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1993, **17** : 11-16

FRANKLIN MF. Comparison of weight and height relation in boys from four countries. *Am J Clin Nutr* 1999, **70** : 157S-162S.

FLODMARK CE., FRELUT ML. The obese adolescent in Childhood Obesity, TJ COLE, W BURNIAT, I LISSAU Ed, Cambridge University Press, sous presse.

FRELUT ML., NAVARRO J. Obésité de l'enfant. Presse Médicale (sous presse)

GORAN MI, GOWER BA. Relation between visceral fat and disease risk in children and adolescents. *Am J Clin Nutr* 1999, **70** : 149s-46s.

GORAN MI, GOWER BA, TREUTH M, NAGY TR. Prediction of intra-abdominal and subcutaneous abdominal adipose tissue in healthy pre-pubertal children. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1998, **22** : 549-558

GORAN MI, NAGY TR, TREUTH MS, TROWBRIDGE C, DEZENBERG C et coll. Visceral fat in white and african-american prepubertal children. *Am J Clin Nutr* 1997, **65** : 1703-1708

GOWER BA, NAGY TR, GORAN MI. Visceral fat, insulin sensitivity, and lipids in prepubertal children. *Diabetes* 1999, **48** : 1515-1521

GUILLAUME M. Defining obesity in childhood : current practice. *Am J Clin Nutr* 1999, **70** : 126S-130S.

GUO SS, CHUMLEA WC. Tracking of body mass index in children in relation to overweight in adulthood. *Am J Clin Nutr* 1999, **70** : 145S-148S

HARSHA DW, VOORS AW, BERENSON GS. Racial differences in subcutaneous fat patterns in children aged 7--15 years. *Am J Phys Anthropol* 1980, **53** : 333-337

HARSHA DW, BRAY GA. Body composition and childhood obesity. *Endocrinol Metab Clin North Am* 1996, **25** : 871-885

HEBER D, INGLES S, ASHLEY JM, MAXWELL MH, LYONS RF, ELASHOFF RM. Clinical detection of sarcopenic obesity by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996, **64** : 472S-477S

HOUTKOOPER L, LOHMAN T, GOING SB, HOWELL WH. Why bioelectrical analysis should be used for estimating adiposity. *Am J Clin Nutr* 1996, **64** : 436S-448S

IWATA F, TANIGUCHI K, YAMAZAKI H, HARA M, OKADA T, HARADA K. Intra-abdominal fat in obese children. *Acta Paediatr Jpn* 1995, **37** : 617-620

- JENSEN LB, FLEMMING Q, SORENSEN OH. Bone loss accompanying voluntary weight loss in obese humans. *J Bone Miner Res* 1994, **9** : 459-463
- JENSEN MD, KANALEY JA, REED JE, SHEEDY PF. Measurement of abdominal and visceral fat with computed tomography and dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 1995, **61** : 274-278
- KANDA A, WATANABE Y, KAWAGUCHI T. Estimation of obesity in schoolchildren by measuring skinfold thickness. *Public Health* 1997, **111** : 29-32
- KELLER C, CHINTAPALLI K, LANCASTER J. Correlation of anthropometry with CT in Mexican-American women. *Res Nurs Health* 1999, **22** : 145-153
- KELLER C, THOMAS KT. Measurement of body fat and fat distribution. *J Nurs Meas* 1995, **3** : 159-174
- KOESTER RS, HUNTER GR, SNYDER S, KHALED MA, BERLAND LL. Estimation of computerized tomography derived abdominal fat distribution. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1992, **16** : 543-554
- LEIBEL RL, ROSENBAUM M, HIRSCH J. Changes in energy expenditure resulting from altered body weight [published erratum appears in *N Engl J Med* 1995, **333** : 399]. *N Engl J Med* 1995, **332** : 621-628
- MALINA RM, KATZMARZYK P. Validity of the body mass index as an indicator of the risk and presence of overweight in adolescents. *Am J Clin Nutr* 1999 ; **70** : 131S-136S
- MATSUZAWA Y, SHIMOMURA I, NAKAMURA T, KENO Y, KOTANI K, TOKUNAGA K. Pathophysiology and pathogenesis of visceral fat obesity. *Obes Res* 1995, **3** : 187S-194S
- PAUL AA, COLE TJ, AHMED EA, WHITEHEAD RG. The need for revised standards for skinfold thickness in infancy. *Arch Dis Child* 1997, **78** : 354-358
- POSKITT EME. Assessment of body composition in the obese In : *Body Composition Techniques in Health and Disease*, PSW DAVIES, TJ COLE Eds, Cambridge University Press, 1995a, pp 146-169
- POSKITT EME. Defining childhood obesity : the relative body mass index. *Acta Paed* 1995b, **84** : 961-963
- REILLY JJ. Assessment of body composition in infants and children. *Nutrition* 1998, **14** : 821-825
- RODRIGUEZ G, MORENO LA, SARRIA A, FLETA J, BUENO M. Diurnal variation in the assessment of body composition using bioelectrical impedance in children. *Eur J Clin Nutr* 1999, **53** : 244
- ROLLAND-CACHERA MF, BRAMBILLA P, MANZONI P, AKROUT M, SIRONI S et coll. Body composition assessed on the basis of arm circumference and triceps skinfold thickness : a new index validated in children by magnetic resonance imaging. *Am J Clin Nutr* 1997, **65** : 1709-1713
- ROLLAND-CACHERA MF, DEHEEGER M, AKROUT M, BELLISLE F. Influence of macronutrients on adiposity development : a follow up study of nutrition and growth from 10 months to 8 years of age. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1995, **19** : 573-578
- ROLLAND-CACHERA MF, DEHEEGER M, BELLISLE F, SEMPE M, GUILLOUD- BATAILLE M, PATOIS E. Adiposity rebound in children : a simple indicator for predicting obesity *Am J Clin Nutr* 1984, **39** : 129-135

- ROLLAND-CACHERA MF, SEMPE M, GUILLOUD BATAILLE M, PEQUIGNOT-GUGGENBUHL F, FAUTRAD V. Adiposity indices in children *Am J Clin Nutr* 1982, 36 : 178-184
- ROUBENOFF R, DALLAL GE, WILSON PW. Predicting body fatness : the body mass index vs estimation by bioelectrical impedance [published erratum appears in *Am J Public Health* 1995, 85 : 1063]. *Am J Public Health* 1995, 85 : 726-728
- SCHOEN RE, EVANS RW, SANKEY SS, WEISSFELD JL, KULLER L. Does visceral adipose tissue differ from subcutaneous adipose tissue in fatty acid content ? *Int J Obes Relat Metab Disord* 1996, 20 : 346-352
- SCHROEDER DG, MARTORELL R. Fatness and body mass index from birth to young adulthood in a rural Guatemelan population. *Am J Clin Nutr* 1999, 70 : 137S-144S
- SEIDELL JC, OOSTERLEE A, THIJSSSEN MA, BUREMA J, DEURENBERG P, HAUTVAST JG, RUIJS JH. Assessment of intra-abdominal and subcutaneous abdominal fat : relation between anthropometry and computed tomography. *Am J Clin Nutr* 1987, 45 : 7-13
- SEMPÉ M, PÉDRON G, ROY-PERNOT MP. Auxologie, méthodes et séquences, Théraplix 1979, Paris.
- TAKAHASHI H, HASHIMOTO N, KAWASAKI T, KIKUCHI T, UCHIYAMA M. The usefulness of measuring body fat deposition for detecting obesity and atherogenesis in Japanese school children. *Acta Paediatr Jpn* 1996, 38 : 634-639
- TAYLOR RW, CANNAN R, GOLD E, LEWIS-BARNED NJ, GOULDING A. Regional body fat distribution in New Zealand girls aged 4-16 years : a cross-sectional study by dual energy X-ray absorptiometry. *Int J Obes Relat Disord* 1996, 20 : 763-767
- TOUNIAN P, FRELUT ML, ABOUNAUFAL C, AYMARD N, VEINBERG F et coll. Weight loss and changes in energy metabolism in massively obese adolescents. *Int J Obesity* 1999, 23 : 830-837
- WABITSCH M, BLUM MF, MUCHE R, BRAUN M, HUBE F et coll. Contribution of androgens to the gender difference in leptin production in obese children and adolescents. *J Clin Invest* 1997, 100 : 808-813
- WIDDOWSON EM. Croissance et composition corporelle de l'enfant. In : Nutrition du Jeune Enfant, BRUNSER O, CARRRAZZA F, GRACEY M, NICHOLS B, SENTERRE J. Eds, Nestlé Nutrition, Raven Press, New York 1985 pp 1-21.
- WEITS T, VAN DER BEEK EJ, WEDEL M, TER HAAR ROMENY BM. Computed tomography measurement of abdominal fat deposition in relation to anthropometry. *Int J Obes* 1988, 12 : 217-225