



L3 ES

U253.3A Nutrition du Sportif

T.BRIOCHE, PhD
Maitre de Conférences
thomas.brioche@umontpellier.fr



Alimentation = Dépenses
Énergétiques (DE)



Balance Energétique

Masse corporelle

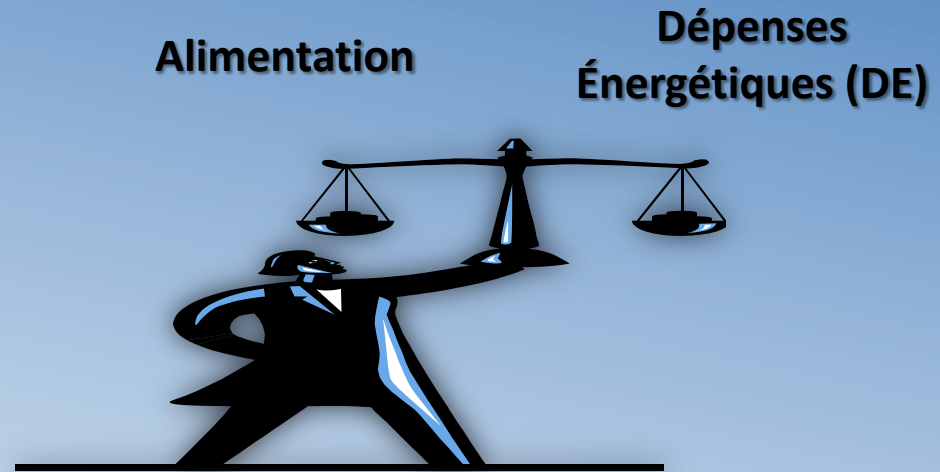
Qualité des apports

Composition Corporelle



**Masse corporelle mais le plus important
Composition Corporelle:
Masse grasse et Masse Non grasse**

=



➤ Poids corporel stable si Apports Énergétiques compensent Dépenses Énergétiques

➤ ↘ Poids corporel si Apport Énergétique < Dépense Énergétique (théoriquement)



3 scénarios = ↘ uniquement des apports

↗ uniquement de la DE

↗ de la DE et ↘ des apports

➤ ↗ Poids corporel si Apport Énergétique > Dépense Énergétique



Surplus de lipides stockés dans les adipocytes sous formes de Triglycérides

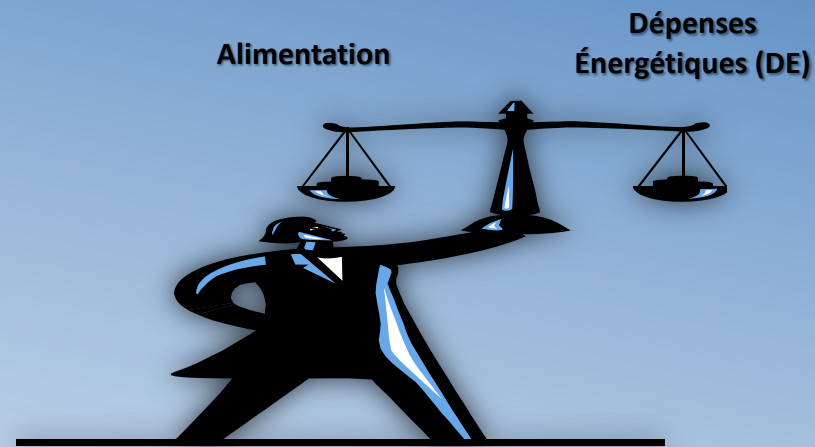
Surplus de glucides : glucose + pyruvate = synthèse de lipides par les adipocytes et stockage sous forme de TG

Apport en glucides excessif = pic d'insuline = activation lipogénèse



Poids corporel mais le plus important
Composition Corporelle:
Masse grasse et Masse Non grasse

=



➤ ↗ Poids corporel avec ↗ %MM (masse maigre: tout ce qui n'est pas des lipides) si Dépense Énergétique (Entraînement en musculation) > Apport Energétique mais



Apport en protéine pour renouveler les protéines « endommagées » et en synthétiser de nouvelles (très couteux en ATP), refaire les stocks de glycogènes post-séance et pris juste après la séance d'entraînement

➤ Poids corporel stable avec ↗ %MM et ↘ %MG si Dépense Énergétique compensent Apport Energétique mais avec des stratégies spécifiques



**Masse corporelle mais le plus important
Composition Corporelle:
Masse grasse et Masse Non grasse**

=

Alimentation

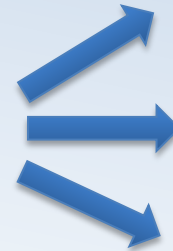
**Dépenses
Énergétiques (DE)**



• Perte de poids
ou amélioration de la composition corporelle



- Perte homogène
- Pas d'effet délétère sur la santé (déshydratation, diminution densité minérale osseuse...)
- Maintien des performances (force, puissance, endurance...)



Esthétisme



Santé



Performance



Composition corporelle

- La mesure composition corporelle est essentielle
 - Appréciation globale de l'état nutritionnel
 - Permet l'analyse de ses variations
 - Interprétation du métabolisme énergétique (état de la balance énergétique)
 - Interpréter les effets de l'entraînement

➤ Ex:

- début de saison, Bob, 65kg, $VO_2\max = 3,5 \text{ l/min} = 53\text{ml/min/kg}$

Après entraînement: 2 scénarios:

$VO_2\max = 4 \text{ l/min} = 61\text{ml/kg/min}$ sans perte de poids

si perte de poids de 3kg, $VO_2\max = 64\text{ml/kg/min}$

Pour course à pied : DE moy = 1kcal/kg/km/h donc DE moy sur 10km en 1 heure = 650kcal si perte de 3 kg = 620 kcal, pour avoir la même DE, il peut courir à 10,5km.

- Escalade : perte de MG = - de travail potentiel

Le poids et la composition corporelle jouent sur la performance

Performance = puissance métabolique / cout énergétique

- La composition corporelle et surtout la typologie des muscles

- Fortement dépendant du poids dans les disciplines où l'on porte son poids

Quand faire le suivi?

- Pas de recommandations « officielles ou scientifique mais du bon sens
- Au minimum en début et fin de saison
- En début et fin de cycle axé sur la perte de poids notamment si axé sur perte de masse grasse
- En début et fin de cycle axé sur la musculation
- De manière générale, en début et fin de chaque cycle (car gain ou perte de performance peuvent être dus aux variations de masse corporelle et composition corporelle)
- Avant et après les périodes de trêve
- Avant et après certaines épreuves longues type semi-marathon, marathon, ultra-endurance, étape cycliste...

Inverse relationship between percentage body weight change and finishing time in 643 forty-two-kilometre marathon runners.

Zouhal H, Groussard C, Minter G, Vincent S, Cretual A, Gratas-Delamarche A, Delamarche P, Noakes TD.

Br J Sports Med. 2011 Nov;45(14):1101-5. doi: 10.1136/bjism.2010.074641.

J Sports Sci. 2012;30(11):1131-40. doi: 10.1080/02640414.2012.692479. Epub 2012 Jun 6.

A faster running speed is associated with a greater body weight loss in 100-km ultra-marathoners.

Knechtle B¹, Knechtle P, Wirth A, Alexander Rüst C, Rosemann T.

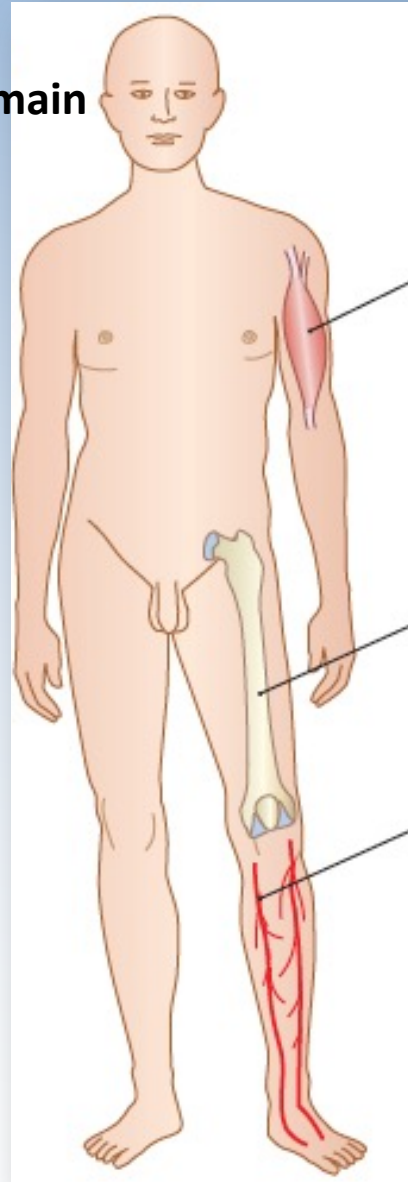
Les constituants de l'organisme

L'organisme est constitué d'eau, d'éléments minéraux et de matière organique (présence d'atome de carbone : glucides, lipides, protéines, vitamines, acides nucléiques)

Composition générale du corps humain (% de masse corporelle)

Eau : 65%
Protéines
Acides nucléiques
Lipides
Glucides
Sels minéraux

Molécules organiques = biomolécules



Tissu musculaire squelettique

Eau : 75%
Protéines : 15 à 20%
Lipides : 2%
Glycogène, sels minéraux : variables

Tissu osseux

Eau 25%
Protéines (osséine) : 30%
Minéraux : 45%

Plasma sanguin, composé de tissu sanguin

Eau : 91%
Protéines : 7%
Autres composés (nutriments, lipides, gaz respiratoires ...) : 2%

Les constituants de l'organisme

Composition atomique du corps humain.

Cette table donne le pourcentage du poids du corps de chaque élément atomique qui le compose et des atomes de chacun. On pourra noter, par exemple, que l'hydrogène compte pour 10% du poids corporel mais pour 62,45 % des atomes.

Eléments	N° atomique	Symbole	% du poids du corps	% des atomes du corps
Oxygène	8	O	61,15	23,87
Carbone	6	C	23	11,97
Hydrogène	1	H	10	62,45
Azote	7	N	2,6	1,16
Calcium	20	Ca	1,4	0,2
Phosphore	15	P	1,1	0,22
Soufre	16	S	0,2	0,037
Potassium	19	K	0,2	0,03
Sodium	11	Na	0,14	0,038
Chlore	17	Cl	0,12	0,02
Magnesium	12	Mg	0,027	0,0065
Silicium	14	Si	0,026	0,0058
Fer	26	Fe	0,006	6,57E-04
Fluorine	9	F	0,0037	1,22E-03
Zinc	30	Zn	0,0033	3,22E-04
Rubidium	37	Rb	4,60E-04	3,38E-05
Strontium	38	Sr	4,60E-04	3,26E-05
Brome	35	Br	2,90E-04	2,29E-05
Plomb	82	Pb	1,70E-04	5,10E-06
Cuivre	29	Cu	1,00E-04	9,91E-06
Aluminium	13	Al	9,00E-05	2,08E-05
Cadmium	48	Cd	7,00E-005	4,12E-06
Bore	5	B	7,00E-05	4,37E-05
Barium	56	Ba	3,00E-05	1,44E-06
Etain	50	Sn	2,00E-05	1,12E-06
Manganèse	25	Mn	2,00E-05	2,31E-06
Iode	53	I	2,00E-05	9,83E-07
Nickel	28	Ni	1,00E-05	1,08E-06
Or	79	Au	1,00E-05	3,17E-07
Molybdène	42	Mo	1,00E-05	6,37E-07
Chrome	24	Cr	3,00E-06	3,60E-07
Cesium	55	Cs	2,00E-06	9,39E-08
Cobalt	27	Co	2,00E-06	2,19E-07

Composant	Symbole	% en poids
Oxygène	O	65 %
Hydrogène	H	10 %
Carbone	C	18 %
Azote	N	3 %
Minéraux et Olig- éléments	Ca, P, K, S, Na, Cl, Mg, I, Fe, Cu, Al, Si, Pb, Z, Se, Mo, Mn, Sn, Fl, Li, St, V	4 %

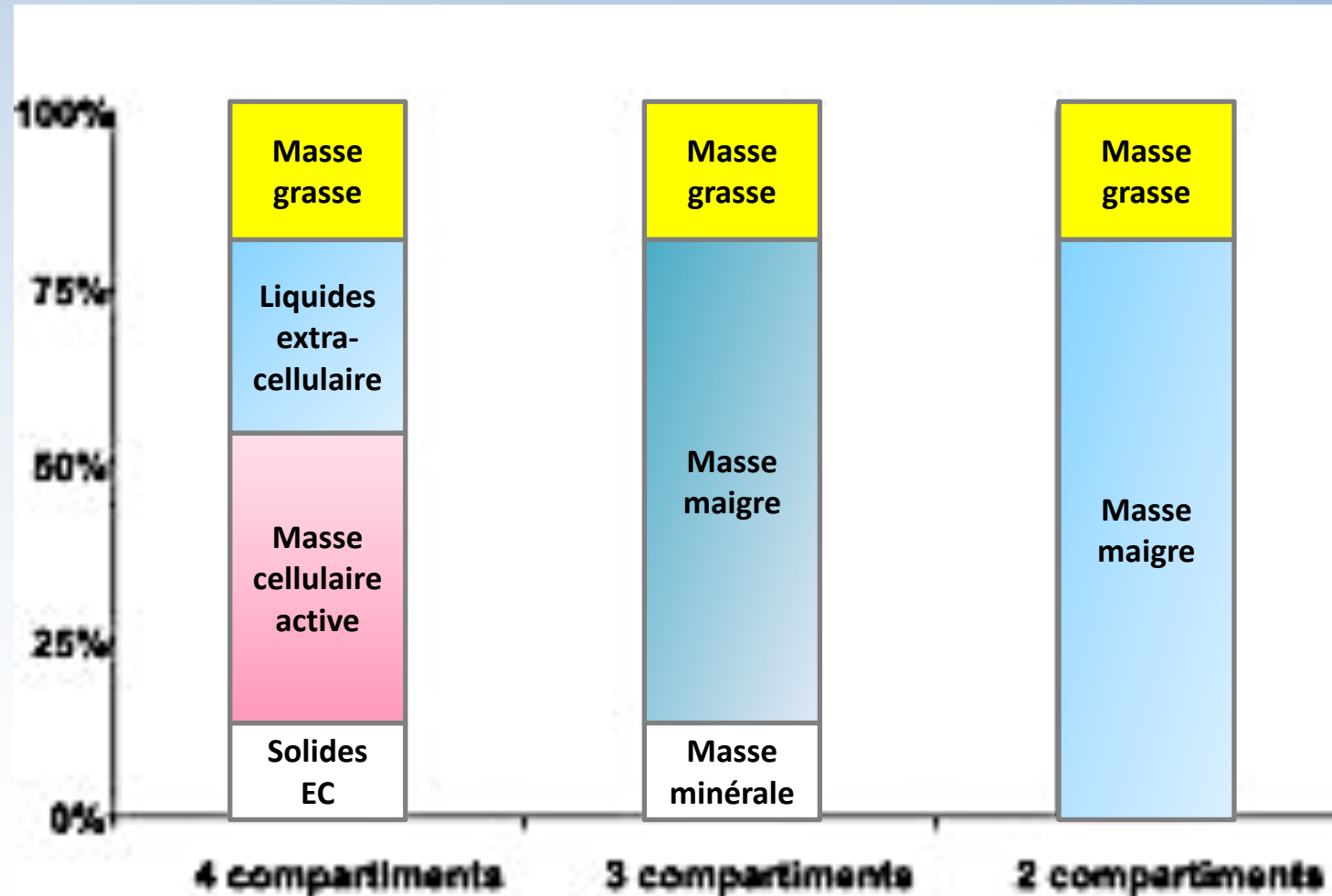
Les modèles de la composition corporelle

➤ Le modèle à deux compartiments

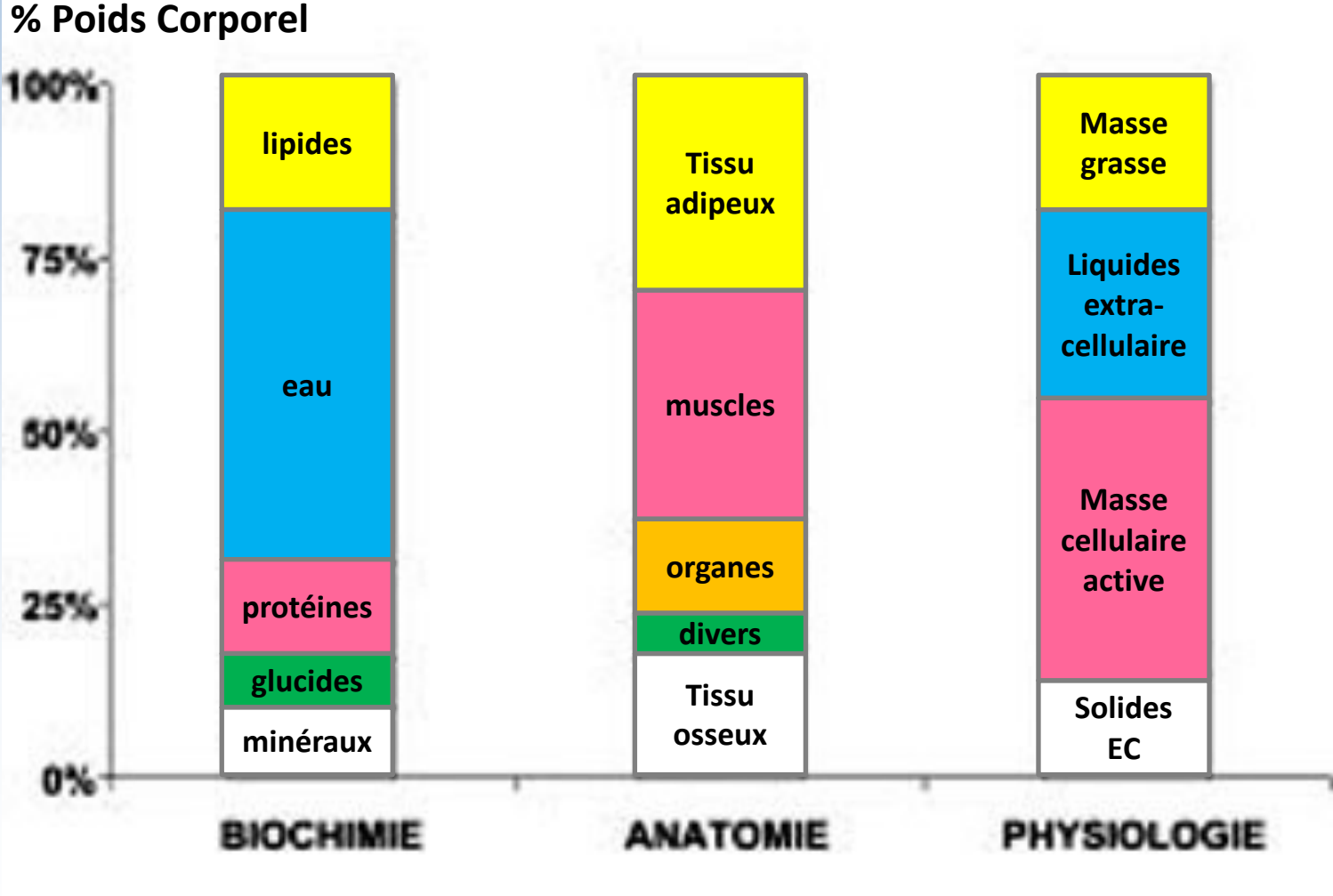
- oppose la masse grasse et la masse non grasse (abusivement nommée masse maigre)
- **Modèle le plus simple et le plus utilisé**

➤ Le modèle à 3 compartiments ou 4 compartiments

- Masse grasse + Masse maigre + Masse Minérale séparée en :
- Masse grasse + Masse minérale, masse cellulaire active, eau extracellulaire



Les modèles de la composition corporelle



La composition corporelle moyenne

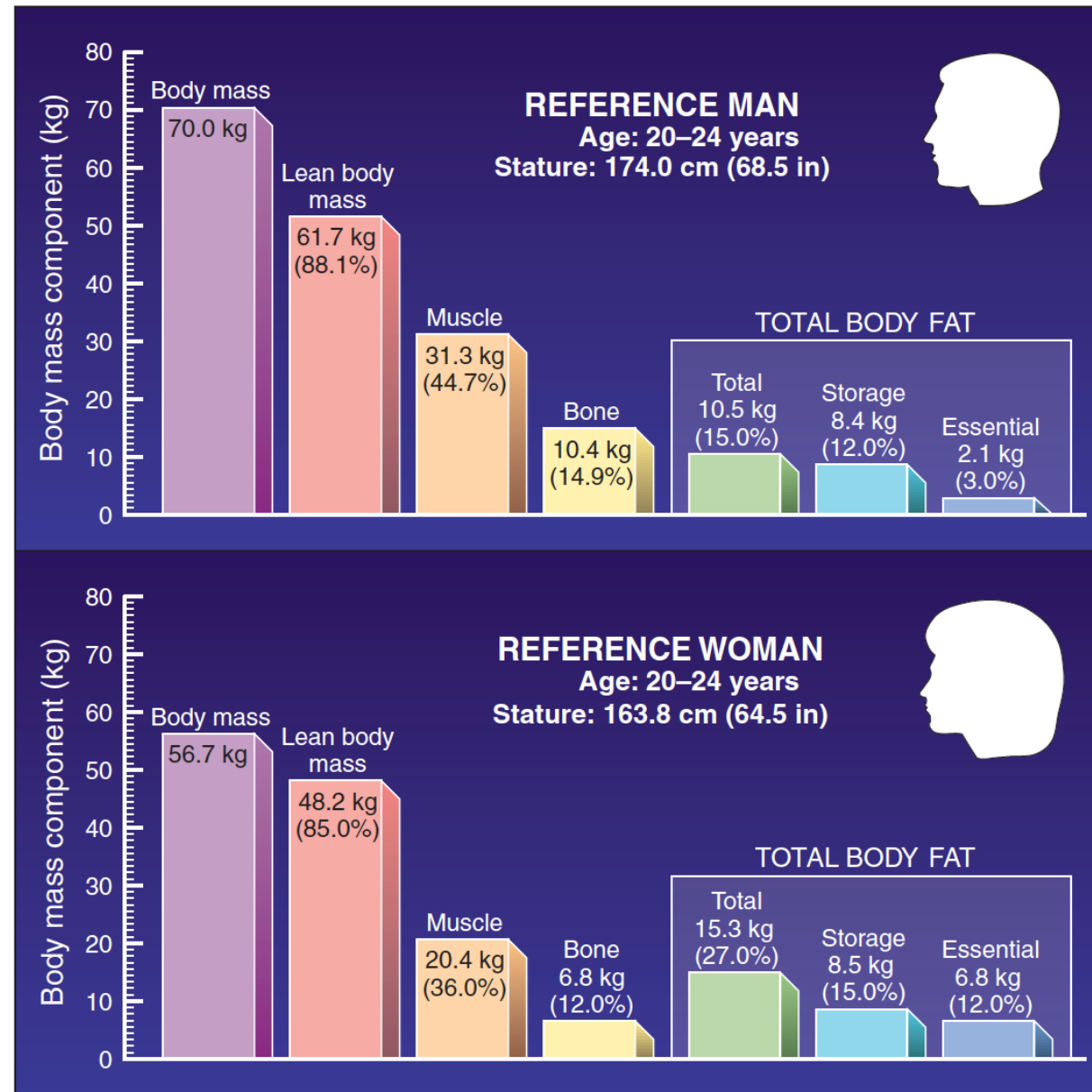
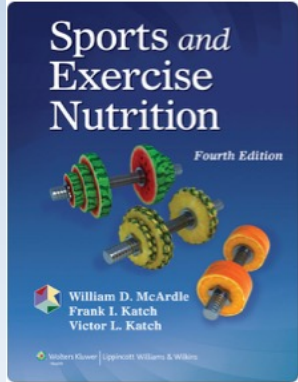


FIGURE 13.4. Behnke’s theoretical model for the reference man and reference woman. Values in parentheses represent the specific value expressed as a percentage of total body mass.

La composition corporelle

Femmes

Hommes



Sport	Sex	N	Age (y)	Stature (cm)	Mass (kg)	Body Fat (%)	Number
Track events, <i>continued</i>							
Triathlon	F	16	24.2 ±4.3	162.1 ±6.3	55.2 ±4.6	16.5 ±1.4	16
	M	14	36.0 ±9.9	176.4 ±8.6	73.3 ±8.6	12.5 ±5.9	17
	M	8	29.6 ±2.6	180.0 ±2.4	73.9 ±2.1	7.9 ±0.5	26
Volleyball	F	14	21.6 ±0.8	178.3 ±4.2	70.5 ±5.5	17.9 ±3.6	25
	M	11	20.9 ±3.7	185.3 ±10.2	78.3 ±12.0	9.8 ±2.9	40
Weight lifting and body building							
Power lift	F	10	25.2 ±6.0	164.6 ±3.7	±8.6 ±3.6	21.5 ±1.3	10
	M	13	24.8 ±1.6	173.5 ±2.8	80.8 ±3.2	9.1 ±1.2	11
Body builders	F	10	30.4 ±8.2	165.2 ±5.6	56.5 ±0.9	13.5 ±1.5	10
	F	10	27.0	160.8	53.8	13.2	7
	M	16	28.0 ±1.8	175.1 ±1.7	86.2 ±3.1	12.5 ±3.4	4
	M	18	27.8 ±1.8	177.1 ±1.1	82.4 ±1.0	9.3 ±0.8	11
	M	14	31.6 ±6.7	170.8 ±5.6	83.8 ±9.2	10.9 ±2.4	14
Wrestling ^c							
Adult	M	37	19.6 ±1.34	174.6 ±7.0	74.8 ±12.2	8.8 ±4.1	28
Adolescent	M	409	16.2 ±1.0	171.0 ±7.1	±3.2 ±10.0	11.0 ±4.0	9
Sumo seki-tori)	M	37	21.1 ±3.6	178.9 ±5.2	115.9 ±27.4	26.1 ±6.4	14

^aValues reported as means ± SD.

^bModified from Sinning, W.E.: *Body composition in athletes*. In *Human Body Composition*. Roche AF, et al, eds. Human Kinetics, Champaign, IL, 1996.

^cNote: consult our web page (<http://www.lww.com/mkk>) for the recent NCAA policy about minimal wrestling weight certification.

Sports and Exercise Nutrition

Fourth Edition



William D. McArdle
Frank I. Katch
Victor L. Katch

Wolters Kluwer | Lippincott Williams & Wilkins

La Masse Grasse (MG)

- Composée essentiellement de Triglycérides (1 Glycérol + 3 Acides Gras) **stockés dans les adipocytes**
- Densité = 0,9 g/ml
- Très pauvre en eau
- En moyenne 10 à 30% du Poids de corps pour des sujets « normaux »

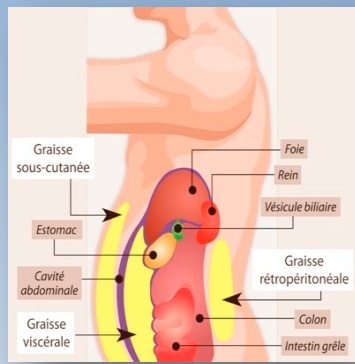
- 4 rôles essentiels
 - Réserves énergétiques de l'organisme
 - Isolant thermique
 - Protection contre les chocs
 - Synthèse hormonale (adipokines)

Table 6.14
General Body-fat Percentage Categories

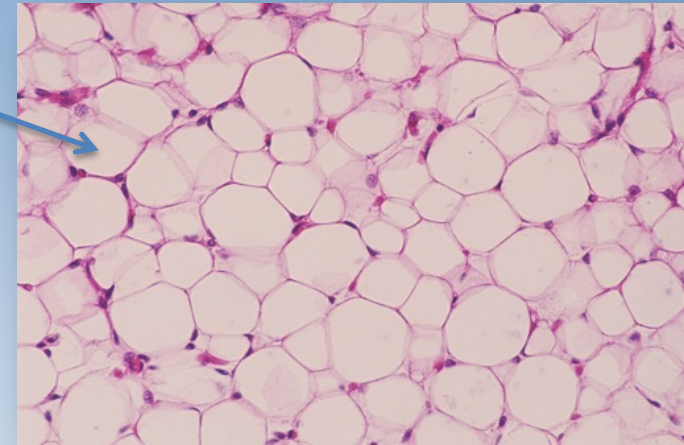
Classification	Women (% fat)	Men (% fat)
Essential fat	10–13%	2–5%
Athletes	14–20%	6–13%
Fitness	21–24%	14–17%
Average	25–31%	18–24%



Tissu adipeux (principalement sous cutané et viscéral)



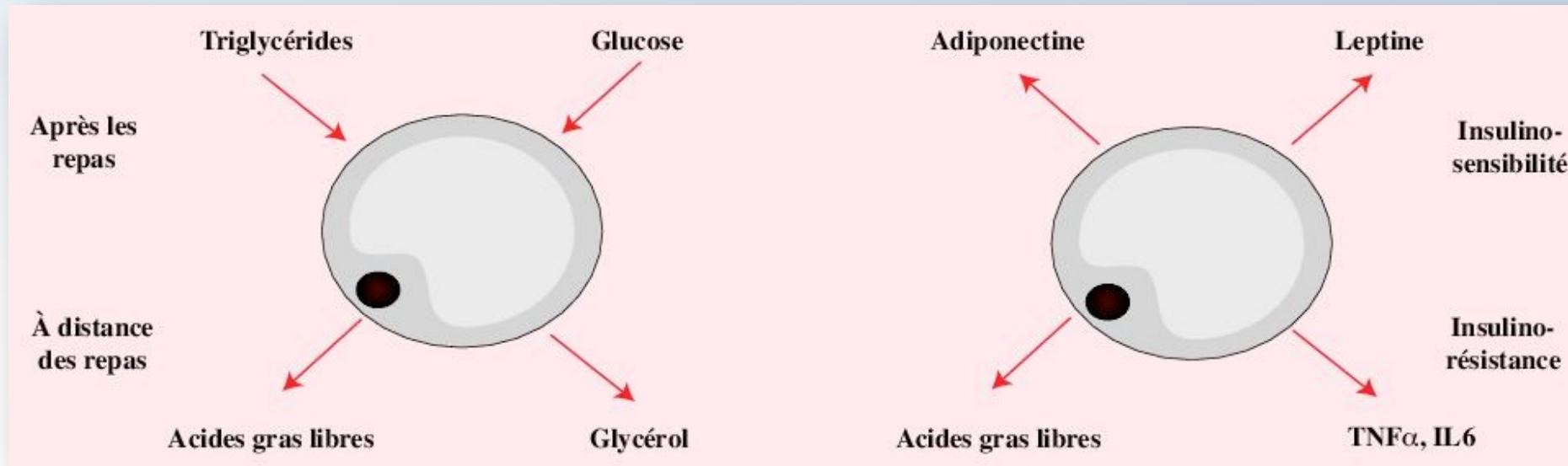
Unité fonctionnelle du tissu adipeux blanc : adipocyte



possède une seule vacuole remplie de triglycérides (forme de stockage des lipides)

Stockage des triglycérides

Sécrétion d'hormones, de cytokines, .. (paracrine, endocrine)



La masse maigre (MM) ou Masse Non Grasse

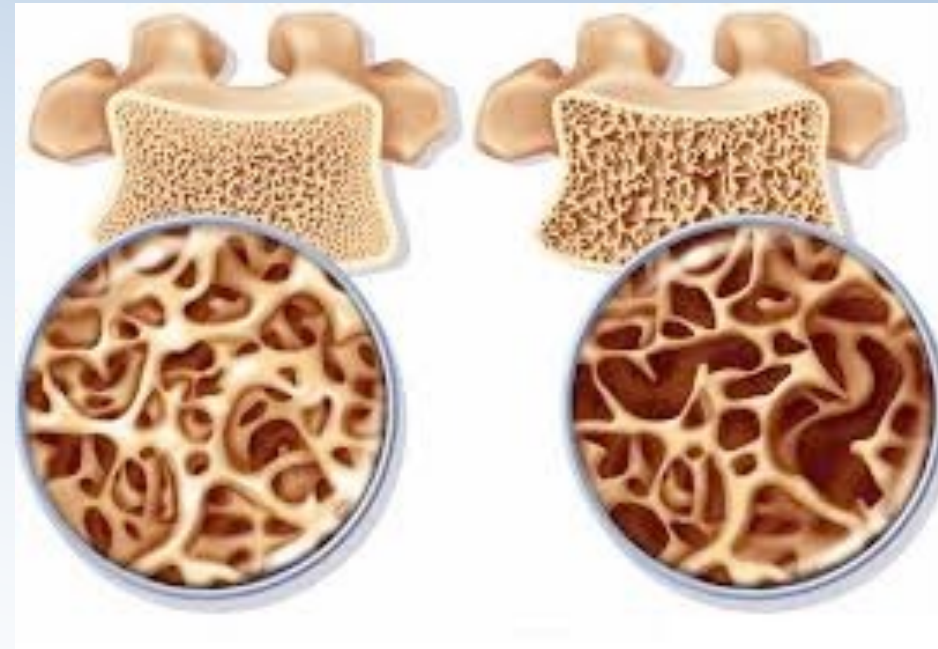
- **Polymorphe: correspond à la somme de l'eau, des os, des organes, des muscles**
- contient les éléments vitaux, notamment les protéines
- Hydratation entre 72 et 74%
- Densité = 1,1 g/ml
- Teneur en potassium constante (Homme 60 à 70 mmol/kg; Femme 50 à 60 mmol/kg)
- Le rapport entre l'eau et la MM (73%) définit l'hydratation de la masse maigre
- 70 à 90% du poids de corps



➤ Masse minérale osseuse

- correspond aux cristaux de phosphates tricalciques du squelette
- Densité 3g/ml
- Sa baisse signe l'ostéoporose (*vieillesse, ménopause*), fragilisation liée à l'entraînement associé à un déséquilibre de la balance énergétique (REDS Syndrome anciennement triade de la sportive, cf The Female Athlete Triad/Relative Energy Deficiency in Sports (RED-S)", Coelho & al., 2021, The IOC Consensus Statement: Beyond the Female Athlete Triad—Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S)", Mountjoy & al., 2014; lien vidéo <https://www.youtube.com/watch?v=9ecC9IJE9ck&list=PLCe5TvnPKPw-WR4HhvAcCjUsF6LYohxi&index=8>)

- **5% Poids de corps**

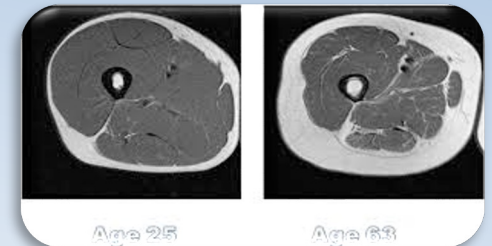


Composition corporelle (revue de question sur ENT)

- Nombreuses technique pour évaluer la Compo corpo
- Méthode directe : dissection de cadavres
- Méthodes indirectes (+ ou - invasives, précises, complexes...)
- repose à la fois sur:
 - une **mesure** corporelle (*densité, volumes, impédances, absorbance*)
 - la référence à un **modèle** de composition corporelle (2, 3 ou 4 composantes)
 - l'acceptation d'une **hypothèse** permettant une **estimation** des compartiments (par ex: hydratation MM 73 %, masse grasse souscutanée représentative de l'ensemble le la masse grasse...)
- 3 types de méthodes indirectes:



- Méthodes de prédictions d'un compartiment à partir de mesures
- Méthodes d'estimation in vivo des compartiment de l'organisme
- Méthodes de quantification in vivo des constituants spécifiques de l'organisme



- **Validité : L'outil mesure ce qu'il est sensé mesurer.**
- deux méthodes : la validité de critère et la validité concurrente.
- La validité de critère compare les résultats de l'outil à un gold standard. La validité concurrente s'évalue lorsque deux outils de mesure, qui ne sont pas des gold standard, devraient donner les mêmes résultats.
- **Sensibilité : Capacité du test à détecter les changements effectifs.**
- **Fiabilité : Le degré auquel un test peut produire des résultats constants à différentes occasions quand il n'y a pas de preuve de changement.**

➤ Poids corporel: à connaître

- Nu ou en slip
- Balance révisée régulièrement avec une précision de 100g
- Toujours dans les mêmes conditions
- Si possible : A jeun après vidange des intestins et de la vessie



- Sert à normaliser les performances en musculation en exprimer les donner en Kg/kg de poids corporel, en Watt/kg et N/kg

- Utile dans le calcul du coup énergétique et de l'économie de course, pour normaliser les valeurs de VO2...

Ex: Antoine 50kg et Pierre 100kg, même max en Squat 100kg

A priori ils sont aussi performants l'un et l'autre

Mais si on relativise la perf par le poids corporel

Antoine= $100/50= 2\text{kg/kg}$ de poids de corps

Pierre= $100/100= 1\text{kg/kg}$ de poids de corps

Antoine est finalement 2 fois plus performant que Pierre

- Avant et après certaines épreuves pour avoir une idée des pertes hydriques (Marathon de Doha ce WD -6 kg pour une athlètes)

[J Sports Sci.](#) 2012;30(11):1131-40. doi: 10.1080/02640414.2012.692479. Epub 2012 Jun 6.

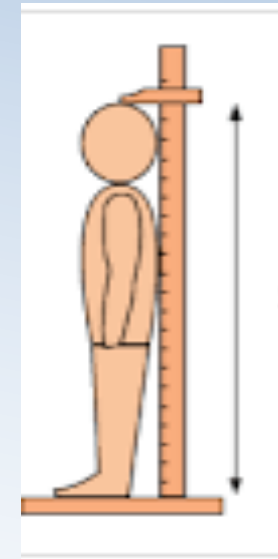
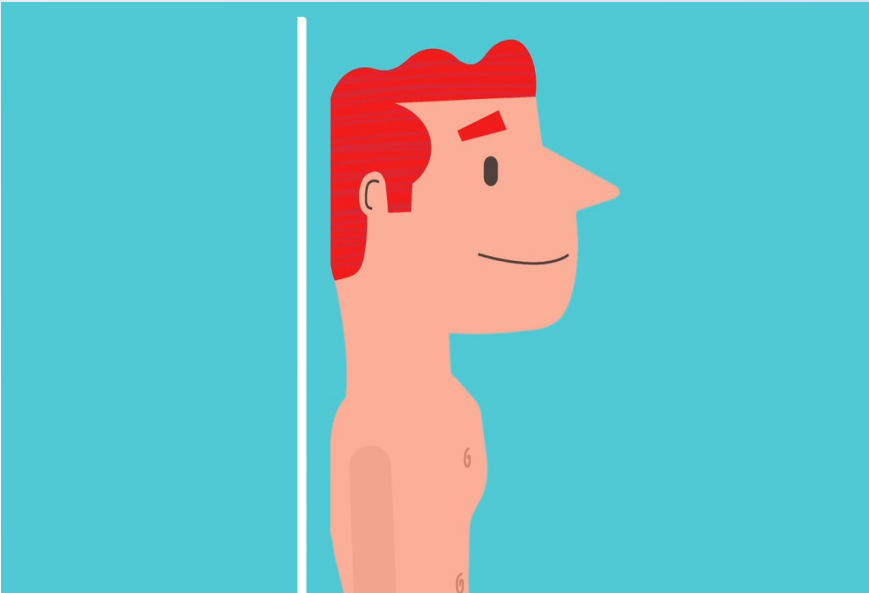
A faster running speed is associated with a greater body weight loss in 100-km ultra-marathoners.

Knechtle B¹, Knechtle P, Wirth A, Alexander Rüst C, Rosemann T.

➤ Évaluation des dimensions corporelles

• La taille debout: à connaître

- Toise fixe ou mobil dont la verticalité est contrôlée
- Pieds nus, talons joints, pointes de pieds écartés de 30 à 45°
- Talons, le bas du dos et arrière de la tête doivent être mis en contact avec la toise
- La tête est droite et le regard aussi
- Précision de lecture: 1 mm



<https://www.youtube.com/watch?v=FPToB149rW4>

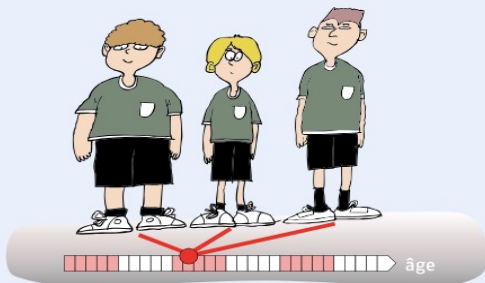
Etat du développement biologique

Contexte

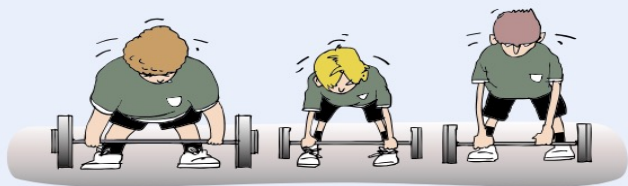


Définition

Des enfants de même âge chronologique (AC) peuvent présenter un développement biologique différent, en particulier pendant la puberté (♀ 10–16 ans ; ♀ 11–17 ans).



Cette différence peut s'élever jusqu'à cinq ans.¹ De nombreux éléments-clés de la capacité de performance physique (comme la taille, la force, la rapidité et l'endurance) dépendent de l'état du développement biologique.²



En quoi cela est-il important

L'état du développement biologique influence d'autres critères d'évaluation, notamment le développement de la performance et la performance actuelle. Prendre en compte cet état permet d'opérer des sélections équitables.

Mise en pratique



Evaluation

En matière de développement biologique, on distingue :

- **le développement normal** (croissance, taille et poids dans la moyenne des personnes du même âge) ;
- **le développement tardif** (croissance, taille et poids inférieurs à ceux des personnes du même âge) ;
- **le développement précoce** (croissance, taille et poids supérieurs à ceux des personnes du même âge).

Méthode d'évaluation

Détermination de l'âge osseux

Au moyen d'une radiographie de la main ou d'une imagerie par DXA. Analyse de l'image et détermination de l'âge osseux par des experts.

Méthode de Mirwald

Détermination de l'état du développement biologique sur la base de la taille en position assise et debout, ainsi que du poids (à l'aide d'une formule de calcul).

Evaluation de l'entraîneur

Détermination de l'état du développement biologique par un expert.

A prendre en compte

Pondération :

Prise en compte de l'âge, du sexe et du sport en question. C'est durant la poussée de croissance que les différences sont les plus marquées. L'âge moyen de la poussée de croissance est de 12 ans chez les filles et de 13,8 ans chez les garçons.

Pratique



Exemples de bonnes pratiques

Football

- 1) Détermination de l'âge osseux: Lors des journées de sélections de l'équipe nationale des M15, les joueurs effectuent une radiographie du poignet au SOMC de Macolin afin de définir leur âge osseux. Cette information est prise en compte lors de la sélection définitive des joueurs.
- 2) Méthode de Mirwald: Dans les différents centres de performance du football, les joueurs sont mesurés et pesés régulièrement pour déterminer leur état de développement biologique.
- 3) Evaluation de l'entraîneur: Lors des journées de sélection de l'équipe nationale des M15, les entraîneurs évaluent l'état du développement biologique de chaque joueur lors d'un match.



Sélection nationale M15. Les 3 joueurs ont le même âge chronologique.

Méthodes d'évaluation

<https://www.youtube.com/watch?v=Obqobheco98>

Détermination de l'âge osseux

Définition

L'âge osseux est l'indicateur le plus précis de l'âge biologique. La méthode repose sur une comparaison de la maturité des os avec des images de référence.⁴

Evaluation

Détermination de l'âge osseux à l'aide d'une image du squelette de la main gauche obtenue au moyen d'une radiographie ou d'une imagerie par DXA. L'examen de cette image par des experts permet d'estimer l'âge osseux (qui correspond à l'âge biologique). La différence entre l'âge biologique (AB) et l'âge chronologique (AC) permet d'identifier dans quelle catégorie le développement s'inscrit.

Catégories

- Développement précoce ($AB - AC \geq +1$ an)
- Développement normal $AB - AC =$ entre -1 et $+1$ an
- Développement tardif ($AB - AC \leq -1$ an)

Avantages et inconvénients

- + « Gold standard »
- + Procédure relativement rapide
- Exposition à un rayonnement, même si la dose est faible:
 - Imagerie de la main par DXA = $0,2 \mu\text{Sv}$
 - Radiographie de la main = $1 \mu\text{Sv}$
 - Vol Zurich-New York (env. 9h) = $50 \mu\text{Sv}$
- Analyse uniquement réalisable par des experts
- Coût

Outil

- [Contact SOMC Macolin](#)

Méthode de Mirwald

Définition

Durant la poussée de croissance, ce sont d'abord les extrémités qui grandissent, puis le tronc. A ce moment-là, la méthode de Mirwald permet d'estimer l'âge biologique à l'aide d'une formule mathématique qui prend notamment en compte l'âge chronologique et le rapport entre la taille assis et la taille debout. On peut alors estimer l'âge individuel au moment de la poussée de croissance.⁵

Age moyen au moment de la poussée de croissance :
12,0 ans chez les filles / 13,8 ans chez les garçons

Evaluation

Différence (Δ) entre l'âge moyen et l'âge estimé au moment de la poussée de croissance.

Catégories

- Développement précoce ($\Delta \geq +1$ an)
- Développement moyen ($\Delta =$ entre -1 et $+1$ an)
- Développement tardif ($\Delta \leq -1$ an)

Avantages et inconvénients

- + Peu de matériel nécessaire
- + Durée (seulement 5 min par athlète)
- Imprécision croissante des résultats à mesure qu'on s'éloigne de la poussée de croissance

Outil

- [Tool Mirwald](#)

Evaluation de l'entraîneur

Définition

Le développement biologique est un concept complexe qui regroupe l'état du développement biologique et le déroulement du développement. Dans leur prise de décision, les entraîneurs considèrent la personne comme un tout (consciemment comme intuitivement). Ce faisant, ils obtiennent la plupart du temps de meilleurs résultats que des systèmes d'évaluation complexes.³

Evaluation

Critères comparatifs par rapport à d'autres sportifs du même âge (chronologique) :

- Masse musculaire (élevée/normale/faible)
- Taille (grande/normale/petite)
- Pilosité du visage, des aisselles et des jambes (marquée/normale/faible)
- Larynx (marqué/normal/petit)
- Rapport entre la largeur du bassin et celle des épaules (chez les filles)

Catégories

- Développement précoce
- Développement normal
- Développement tardif

Avantages et inconvénients

- + Evaluation de la personne comme un tout
- + Durée
- + Concordance relativement bonne avec les radiographies de la main
- Grande expérience nécessaire chez l'entraîneur

Liste de références

Développement de la performance

1. Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., & Philippaerts, R. M. (2008). Talent identification and development programmes in sport: current models and future directions. *Sports Med*, 38(9), 703–714.

Performance actuelle

1. Pearson DT, Naughton GA, Torode M. Predictability of psychological testing and the role of maturation in talent identification for adolescent team sports. *J Sci Med Sport* 2006; 9 (4): 277–87
2. Buekers, M., Borry, P., & Rowe, P. (2015). Talent in sports. Some reflections about the search for future champions. *Movement & Sport Sciences*. (2), 3–12.

Psyché

1. Coetzee, B., Grobbelaar, H., & Gird, C. (2006). Sport psychological skills that distinguish successful from less successful soccer teams. *J Hum Mov Stud*, 51(6), 383–402.
2. MacNamara, Á., Button, A., & Collins, D. (2010). The role of psychological characteristics in facilitating the pathway to elite performance. Part 2: Examining environmental and stage-related differences in skills and behaviors. *The Sport Psychologist*, 24(1), 74–96.
3. Elbe, A., & Beckmann, J. (2006). Motivational and self-regulatory factors and sport performance in young elite athletes. In D. Hackfort & G. Tenenbaum (Hrsg.), *Essential processes in attaining peak performance* (S.137–157). Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
4. Höner, O., & Feichtinger, P. (2016). Psychological talent predictors in early adolescence and their empirical relationship with current and future performance in soccer. *Psychology of Sport and Exercise*, 25, 17–26.

5. Alfermann, D., & Stoll, O. (2010). *Sportpsychologie: Ein Lehrbuch in 12 Lektionen*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
6. Zuber, C., Zibung, M., & Conzelmann, A. (2015). Motivational patterns as an instrument for predicting success in promising young football players. *J Sports Sci*, 33(2), 160–168.

Résistance

1. Fröhner, G., & Wagner, K. (2011). *Körperbau und Talent. Leistungssport*, 41(2).
2. Malina, R.M., Baxter-Jones, A.D., Armstrong, N., Beunen, G.P., Caine, D., Daly, R.M., Lewis, R.D., Rogol, A.D., and Russell, K. (2013). Role of intensive training in the growth and maturation of artistic gymnasts. *Sports Med* 43, 783–802.
3. Brink, M. S., Visscher, C., Arends, S., Zwerver, J., Post, W. J., & Lemmink, K. A. (2010). Monitoring stress and recovery: new insights for the prevention of injuries and illnesses in elite youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 44(11), 809–815.
4. Kellmann, M. & Kallus, K.W. (2000). *Erholungs-Belastungsfragebogen für Sportler*. Manual. Frankfurt/M: Swets & Zeitlinger.
5. Horvath, S., Messerli, T. & Birrer, D. (2015). Erholung und Belastung schnell erfassen und Überbelastung/Verletzungen vorbeugen. Poster präsentiert an der Magglinger Trainertagung 2015: Entscheiden!, Magglingen, Schweiz.

Facteurs anthropométriques

1. Buekers, M., Borry, P., & Rowe, P. (2014). Talent in sports. Some reflections about the search for future champions. *Movement & Sport Sciences – Science & Métricité*, 88, 2–12.

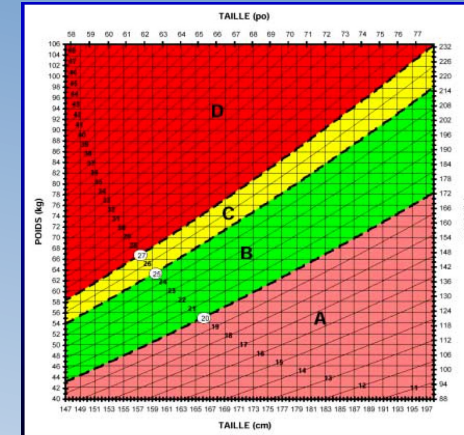
Biographie des athlètes

1. Côté, J., & Hay, J. (2002). Children's involvement in sport: A developmental perspective. *Psychological foundations of sport*, 484–502.
2. Lloyd, R. S. & Oliver, J. L. (2012). The Youth Physical Development Model: A New Approach to Long-Term Athletic Development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61–72.
3. Coetzee B, Grobbelaar H, Gird C. Sport psychological skills that distinguish successful from less successful soccer teams. *J Hum Mov Stud*. 51(6), 383–402 (2006).

Etat du développement biologique

1. Malina, R., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*. 2nd ed. Champaign: Human Kinetics.
2. Sherar, L.B., Baxter-Jones, A.D.G., Faulkner, R.A., & Russell, K.W. (2007). Do physical maturity and birth date predict talent in male youth ice hockey players? *J Sports Sci*, 25(8), 879–886.
3. Tanner, J., Healy, M., Goldstein, H., & Cameron, N. (2001). Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3). *WB Saunders*, London, 243–254.
4. Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694.
5. Romann M, Javet M, Fuchslocher J. Coache's eye as a valid method to assess biological maturation in youth elite soccer. *Talent Dev Excell*. 2017;9:3–13.

$$\text{IMC (kg / m}^2\text{)} = \frac{\text{Poids (kg)}}{\text{Taille (m}^2\text{)}}$$



- Permet de détecter une surcharge pondérale
- Normes différentes chez les enfants et adolescents comparées aux adultes
- Ne prend pas en compte la composition corporelle

➤ (à connaître)

IMC (taille/masse ²)	Interprétation	Risques de maladies
moins de 15	Famine	Extrêmement élevés
15 à 18,5	Maigreur	Accrus
18,5 à 25	Corpulence normale	Faibles
25 à 30	Surpoids	Accrus
30 à 35	Obésité modérée	Elevés
35 à 40	Obésité sévère	Très élevés
plus de 40	Obésité morbide / massive	Extrêmement élevés

Exercice :

Calculer votre IMC?

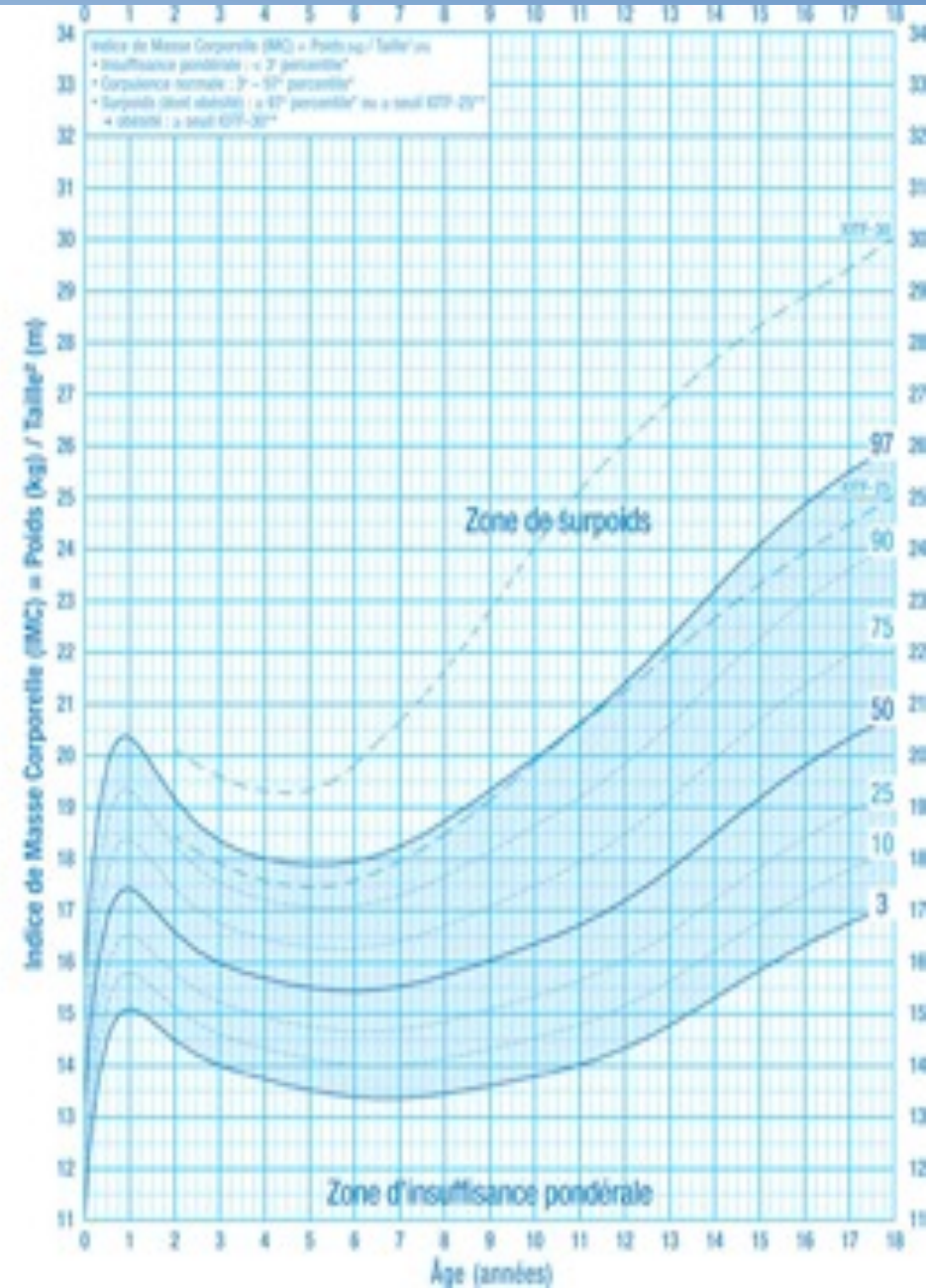
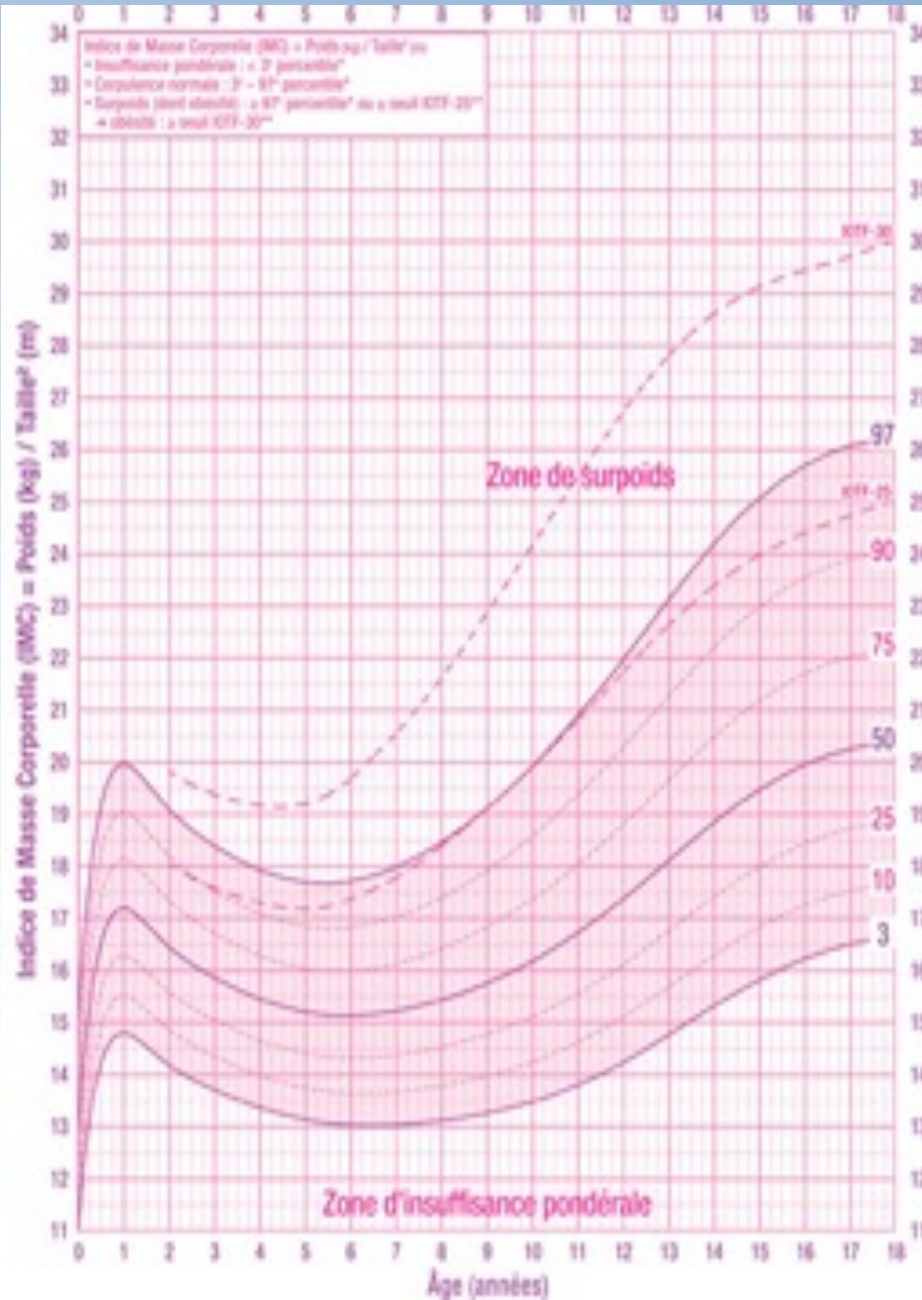
Dans quelle catégorie êtes vous?

Quelle est la critique majeure?



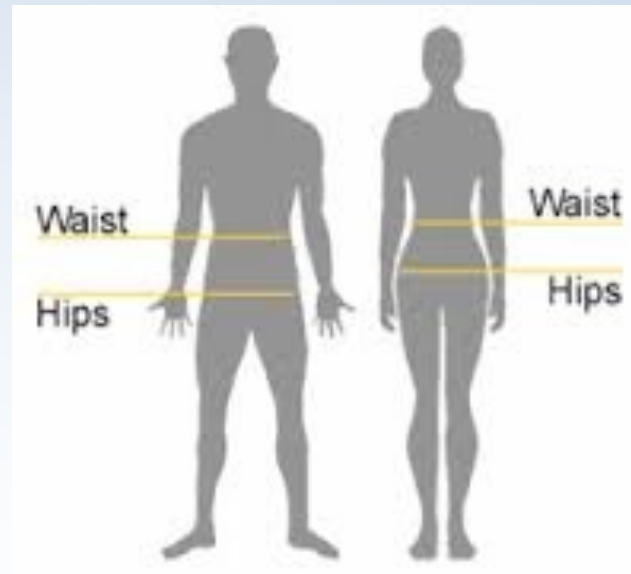
Si mesure unique de l'IMC alors beaucoup de sportifs sont en surpoids car densité de la masse maigre (1,1) > densité masse grasse 0,9
 Mesure de base chez « Mr tout le monde »

- Courbe de l'évolution de l'IMC spécifique pour les enfants (0-18ans)



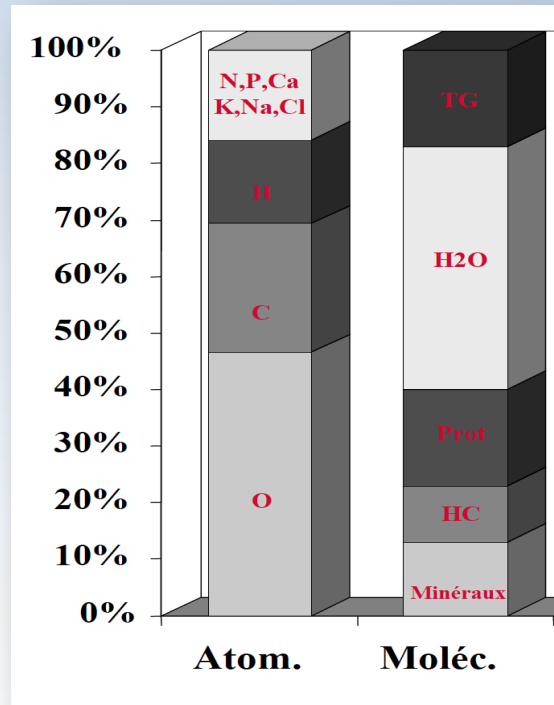
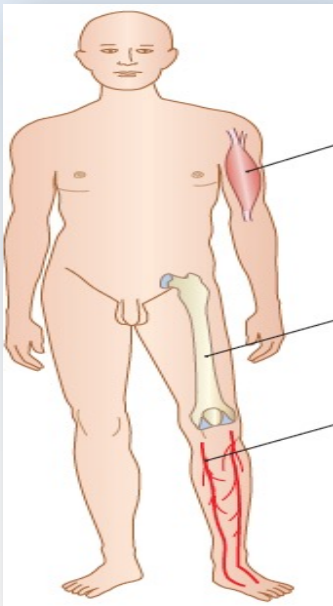
➤ indice de la distribution des graisses

- circonférence mini du tronc /circonférence maxi à la hauteur des fesses
 - Distribution abdominale des graisses
 - Rapport augmente en même temps que Risque cardiovasculaire, Fréquence du diabète
 - Anormal si > 1 chez l'homme et si $> 0,88$ chez la femme
- Avantage de la mesure du tour de taille seul ?
- mieux corrélée aux modifications de MG intra-abdo au cours du temps



Méthodes directes : Dissection des cadavres

- technique de référence pour valider toutes les autres techniques
- Les données biochimiques directes sur la composition corporelle de l'organisme humain sont cependant très limitées. Elles reposent sur deux études effectuées sur quelques dizaines de cadavres
- Séparation des composants de l'organisme en fonction de leurs propriétés chimiques réalisées sur des cadavres :
eau, lipides, protéines, glucides, minéraux...



Impédancemétrie bioélectrique

- Postulat de départ:
- basée sur la capacité des tissus hydratés à conduire l'énergie électrique
 - la Masse grasse est dépourvue d'eau
 - La masse non grasse est hydratée à 73%

Qu'est ce qui est mesuré avec cette technique ?

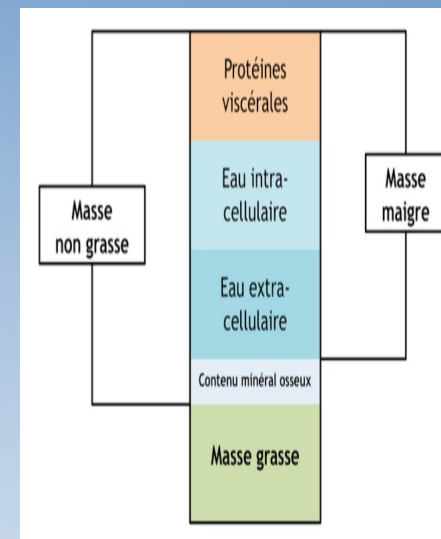
► Principe physiques (1/2)

- Basée sur la conduction d'un courant alternatif de faible intensité entre la main et le pied ($I = 50$ à $800 \mu A$)

- La différence de potentielle (U) mesurée entre ces deux extrémités permet de calculer l'impédance corporelle (Z) selon le principe de la loi d'Ohm :

$$U = Z \times I$$

(où Z correspond à la résistance qu'offrent les tissus au passage d'un courant alternatif)



- Calcul de la quantité totale d'eau extra et intra-cellulaire
- Calcul de la masse maigre et masse grasse

Exemples d'équations utilisées lors d'une mesure de BIA:

- Hommes 18–30 ans: $FFM (kg) = 0,485(Ht^2/Z) + 0,338 Wt + 5,32$

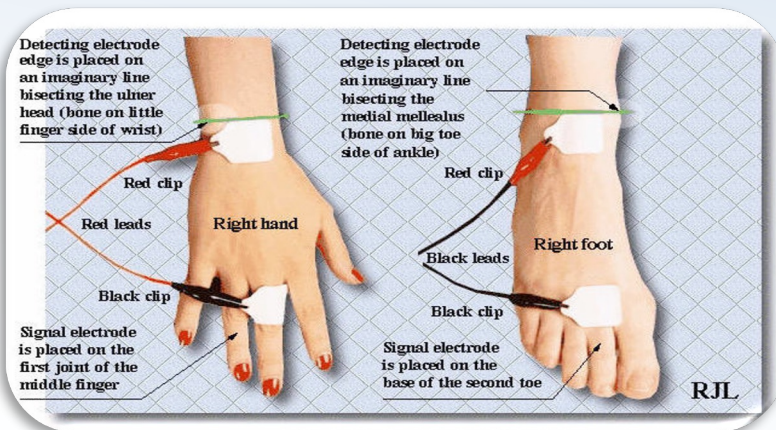
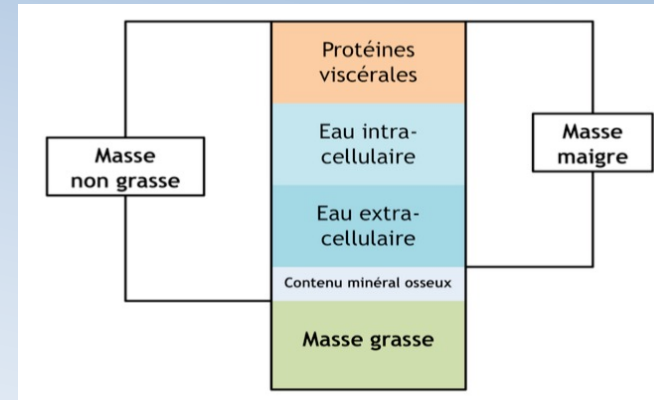
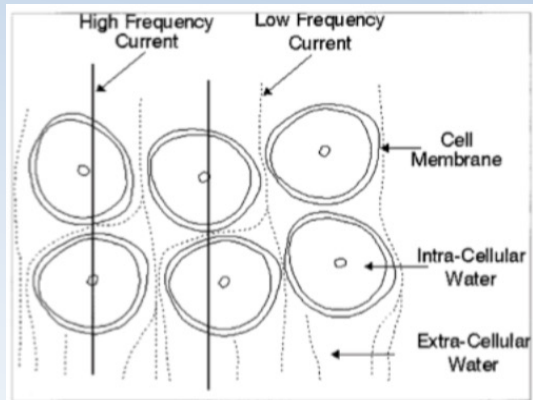
- Femme 30-50 ans : $FFM(kg) = 0,536(Ht^2/Z) + 0,155Wt + 0,075Xc + 2,87$

(Ht = Taille en cm et Wt = poids en kg)

- 2 électrodes au niveau du poignet, et 2 au niveau de la cheville homo-latérale.
- Le courant est appliqué pendant quelques secondes, et la mesure de Z est lue
- Le plus souvent, un seul courant de 800 μ Amp avec une fréquence de 50 kHz (indolore)
- Les mesures avec plusieurs fréquences permettent une approche des \neq secteurs hydriques, les membranes cellulaires se comportant comme une capacité électrique

Quand le courant a une fréquence > 50 kHz, le volume mesuré est assimilé à l'eau totale

Quand cette fréquence est < 5 kHz, le volume mesuré correspond à l'eau extracellulaire



Avantages

- Assez fiable (en fonction de la méthode)
- Méthode non invasive
- Peu coûteuse
- Facile d'utilisation

Inconvénients / limites

- Nécessite aucun contact entre les membres (difficultés en cas d'obésité)
- Mesures peuvent être faussées selon les conditions d'utilisations : statut d'hydratation, règle, grossesse, problèmes rénaux, port de prothèse ou implant métallique
- Contre-indication en présence d'un pacemaker.
- Etre âgé au minimum de 7 ans et mesurer 1m10

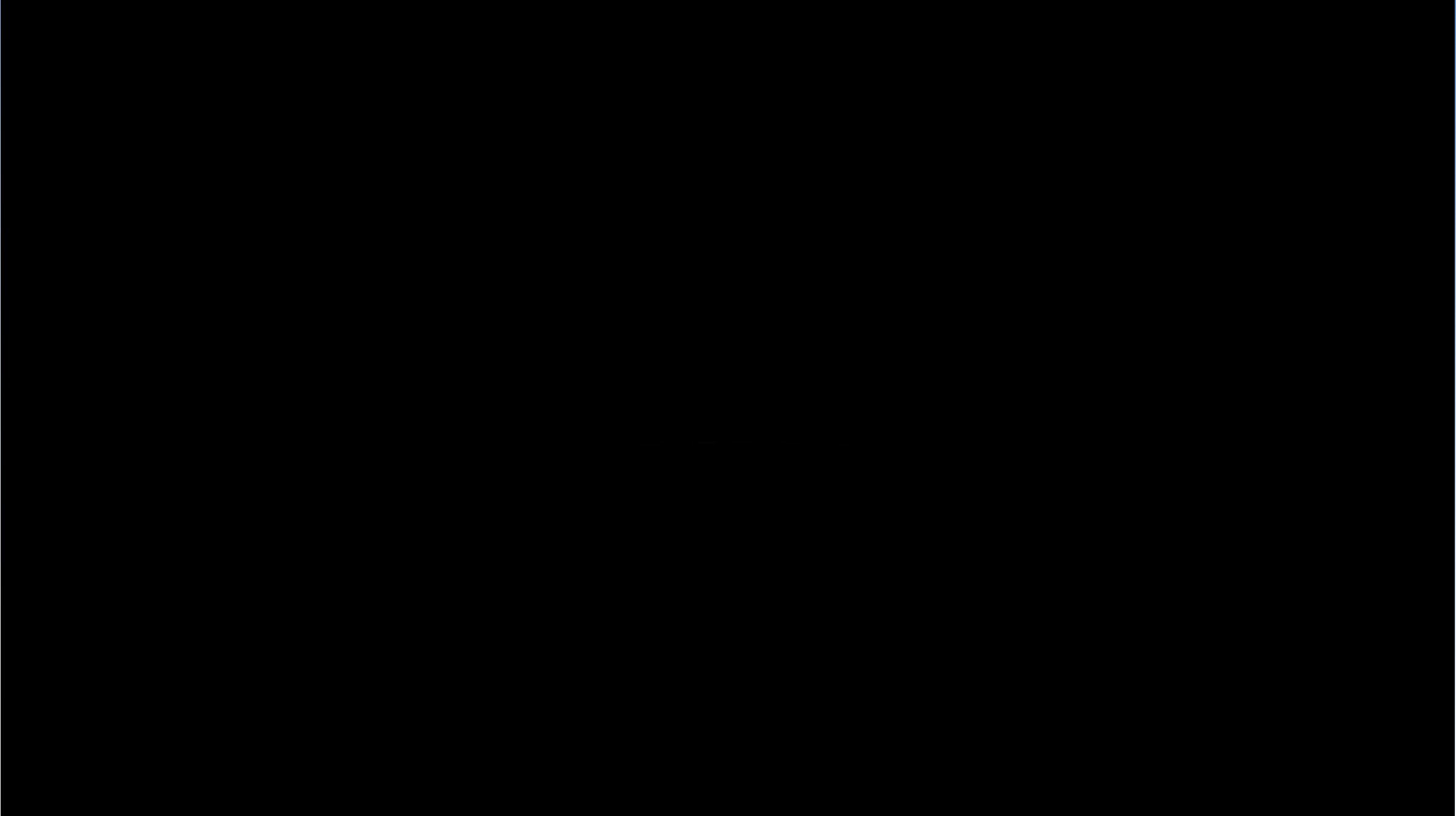
Bio impédancemétrie et densité minérale osseuse???

- Pour avoir une idée globale pourquoi mais pas assez fin pour détecter une déminéralisation sur un segment en particulier

❖ Prédiction de la Masse Grasse par la mesure de **PLIS CUTANÉS**

- **Hypothèse** = épaisseur de la graisse sous-cutanée reflète la MG totale de l'organisme.
- La technique mesure des plis de graisse sous-cutanée
 - Utilisation d'un adiposimètre
 - Pince de Holtain (la référence des pinces à plis)
 - Pression entre les mâchoires constante (10g/mm²)
 - Graduation du cadran: 0,2mm
- Mesure des plis cutanés (cf vidéo sur l'ENT)



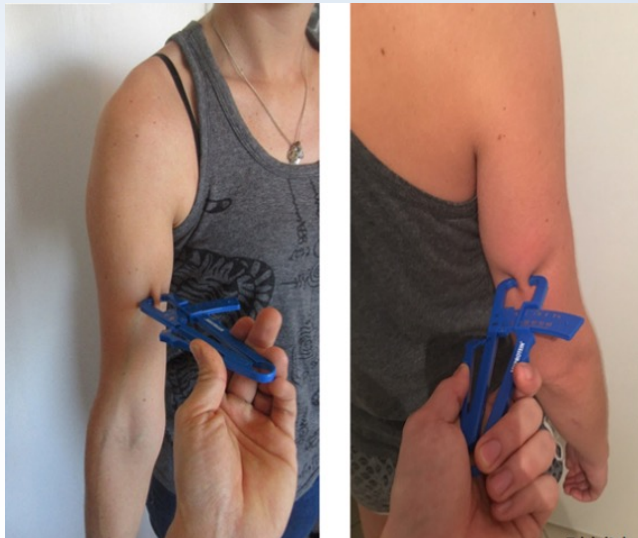


➤ Jackson & Pollock

- 3 plis
 - Homme : pectoraux, abdominaux, cuisse
 - Femme : triceps, cuisse, supra-iliaque
- 7 plis → pectoral, axillaire, tricipital, sous-scapulaire, supra-iliaque, cuisses, abdomiaux.

➤ Durnin et Womersley (la plus utilisée)

- **Tricipital, bicipital, sous-scapulaire, supra-iliaque**



❖ Prédiction de la Masse Grasse par la mesure de **PLIS CUTANÉS**

- **Hypothèse** = épaisseur de la graisse sous-cutanée reflète la MG totale de l'organisme.
- La technique mesure des plis de graisse sous-cutanée
 - Utilisation d'un adiposimètre
 - Pince de Holtain (la référence des pinces à plis)
 - Pression entre les mâchoires constante ($10\text{g}/\text{mm}^2$)
 - Graduation du cadran: 0,2mm
- Equations pour calculer directement le % de masse grasse en utilisant les valeurs d'épaisseur des plis séparément ou leur somme (plus vraiment utilisées)



Équation de Mayhew (2 plis cutanés) :

$$MG = 0,1215 \times \text{poids} + 0,265 \times \text{plis supra iliaque} + 0,2754 \times \text{plis cuisse} - 7,2$$



Équation de Parizkova (5 plis cutanés) :

$$\%MG = 2,015 - 0,119 \times \text{plis sous scapulaire} + 0,674 \times \text{plis supra iliaque} + 0,784 \times \text{plis bicipital} + 0,519 \times \text{plis mollets}$$



Composition corporelle

❖ Prédiction de la Masse Grasse par la mesure de **PLIS CUTANÉS**

- **Hypothèse** = épaisseur de la graisse sous-cutanée reflète la MG totale de l'organisme.
- **La technique mesure des plis de graisse sous-cutanée**
 - Utilisation d'un adiposimètre
 - Pince de Holtain (la référence des pinces à plis)
 - Pression entre les mâchoires constante ($10\text{g}/\text{mm}^2$)
 - Graduation du cadran: $0,2\text{mm}$
 - Equations pour calculer directement le % de masse grasse en utilisant les valeurs d'épaisseur des plis séparément ou leur somme (plus vraiment utilisées)
 - **Equations prédictives de la densité corporelle (d ou BD), en fonction de l'âge et du sexe**



➤ Équation de Jackson et Pollock (7 plis cutanés) :

- Pectoral, axillaire, tricipital, sous-scapulaire, abdomen, supra-iliaque, cuisse

$$\text{Body Density} = 1,112 - 0,00043499 \times \Sigma 7 \text{ plis cutanés} + 0,00000055 \times (\Sigma 7 \text{ plis cutanés})^2 - 0,00028826 \times \text{âge}$$

➤ L'équation de Durnin et Womersley (4 plis cutanés) :

- Équation de référence chez les sportifs, les patients et la population générale quelque soit le sexe à partir de 17 ans
- **Addition des 4 mesures pour calculer la densité corporelle (BD) :**

$$\text{BD} = C - (M * (\log_{10} (\Sigma 4 \text{ plis}))) \quad (\text{formule écrite comme dans excel})$$

Hommes	17-19 A	20-29 A	30-39 A	40-49 A	> 50 A
C	1,1620	1,1631	1,1422	1,1620	1,1715
M	0,0678	0,0632	0,0544	0,0700	0,0779
Femmes	17-19 A	20-29 A	30-39 A	40-49 A	> 50 A
C	1,1549	1,1599	1,1423	1,1333	1,1339
M	0,0678	0,0717	0,0632	0,0612	0,0645

Composition corporelle

❖ Prédiction de la Masse Grasse par la mesure de **PLIS CUTANÉS**

- **Hypothèse** = épaisseur de la graisse sous-cutanée reflète la MG totale de l'organisme.
- **La technique mesure des plis de graisse sous-cutanée**
 - Utilisation d'un adiposimètre
 - Pince de Holtain (la référence des pinces à plis)
 - Pression entre les mâchoires constante ($10\text{g}/\text{mm}^2$)
 - Graduation du cadran: $0,2\text{mm}$
- Equations pour calculer directement le % de masse grasse en utilisant les valeurs d'épaisseur des plis séparément ou leur somme (plus vraiment utilisées)
- **Equations prédictives de la densité corporelle (d ou BD), en fonction de l'âge et du sexe**
- **Calcul du % de masse grasse à partir de l'équation de Siri**



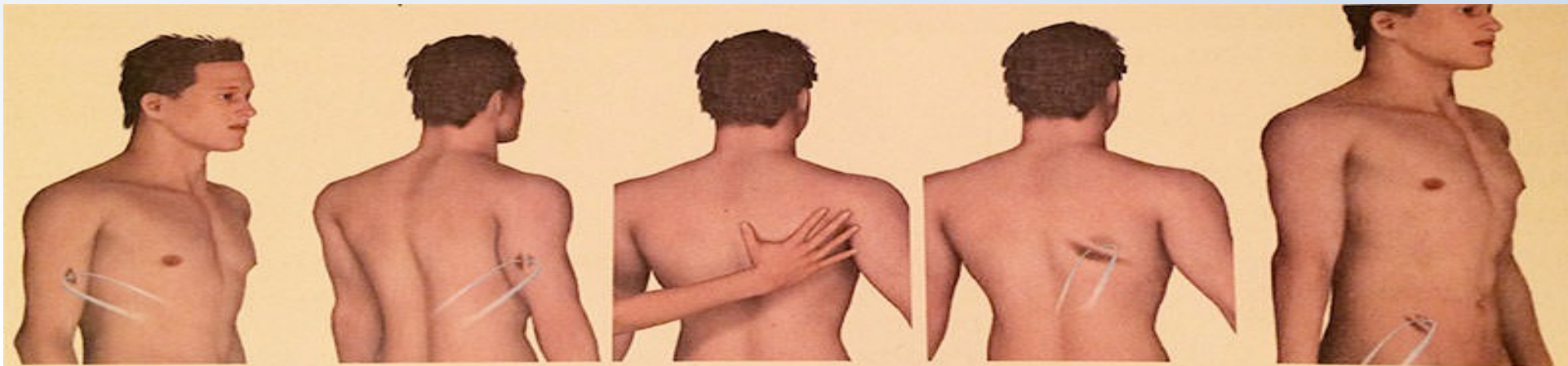
- **L'équation de Siri (à connaître)**
- Permet de convertir la densité corporelle en % de masse grasse
- $\%MG = (4,95/BD - 4,5) \times 100$
- $\% \text{ Masse non grasse} = 100 - \% \text{ Masse Grasse}$

Composition corporelle

- Simple mais **opérateur dépendant**
- Nécessité de Standardiser la prise des plis
 - En pratique (à connaître)
- Faire les mesures sur le côté droit
- Prendre le plis entre le pouce et l'index de votre main non dominante
- Pour chaque plis, avant la première mesure, prendre le plis et demander au sujet de contracter le ou les muscles afin de bien décoller le tissu sous-cutané du plan musculaire
- Pour les « vraie mesures » le ou les Muscles doivent être relâchés
- Pression des doigts doit être relâchée pendant la mesure de la pince
- Perpendiculaire à la surface cutané, lecture dans la 2 à 3 sec
- Répéter la mesure 3 à 5 fois et faire la moyenne
- Sur un même sujet l'écart sur la somme des plis doit être $< 5\%$

➤ **Mesure des plis cutanés (cf vidéo sur ENT) (à connaître)**

- le pli bicipital : après mesure de la distance entre la pointe de l'olécrane et celle de l'acromion, la peau est pincée dans le sens de la longueur du biceps, à la mi-distance mesurée, en regard de la face antérieure du bras,
- le pli tricipital : à mi-distance mesurée, dans le sens de la longueur du triceps, en regard de la face postérieure du bras.
- le pli sous-scapulaire : à 2 travers de doigt sous la pointe de l'omoplate, le pli cutané est formé et orienté en haut et en dedans formant un angle d'environ 45° avec l'horizontale,
- le pli supra-iliaque : à mi-distance entre le rebord inférieur des côtes et le sommet de la crête iliaque, sur la ligne médioaxillaire, le pli est formé verticalement.



Plis bicipital, tricipital, sous-scapulaire et supra-iliaque

Hommes				
Somme des 4 plis en mm	17-29	30-39	40-49	50+
15	4.8			
16	5.5			
17	6,2			
18	6,9			
19	7.5			
20	8.1	12,2	12,2	12,6
21	8.6	12,6	12,8	13,2
22	9.1	13,0	13,4	13,8
23	9.6	13,4	14,0	14,4
24	10.1	13,8	14,5	15,5
25	10s5	14,2	15,0	15,6
26	11.0	14,6	15,6	16,2
28	12.0	15,4	16,7	17,4
29	12,5	15,8	17,2	18,0
30	12,9	16,2	17,7	18,6
31	13,3	16,5	18,1	19,1
32	13.7	16,8	18,5	19,6
33	14.1	17,1	18,9	20,0
34	14,4	17,4	19,3	20,4
35	14,7	17,7	19,6	20,8
36	15.1	18,0	20,0	21,3
37	15,5	18,3	20,4	21,7
38	15.8	18,6	20,8	22,1
39	16,1	18,9	21,1	22,5
40	16,4	19,2	21,4	22,9
41	16,7	19,5	21,8	23,3
42	17,0	19,8	22,1	23,7

Abaques

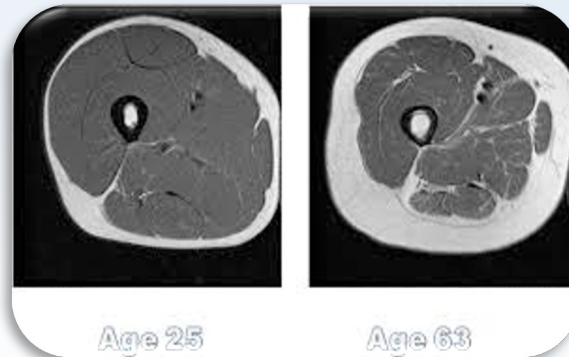
Le pourcentage de masse grasse se lit sur un abaque après addition des quatre chiffres élémentaires.

Femmes				
Somme des 4 plis en mm	17-29	30-39	40-49	50+
15	10.5			
16	11.3			
17	12,0			
18	12,7			
19	13,4			
20	14.1	17,0	19,8	21,4
21	14,7	17,5	20,3	22,0
22	15,3	18,0	20,8	22,5
23	15.8	18,5	21,3	23,0
24	16.3	19,0	21,8	23,5
25	16,8	19,4	22,2	24,0
26	17,4	19,9	22,7	24,6
27	18,0	20,4	23,2	25,1
28	18,5	20,9	23,7	25,6
29	19,0	21,4	24,1	26,1
30	19,5	21,8	24,5	26,6
31	19,9	22,2	24,9	27,0
32	20,3	22,6	25,3	27,4
33	20,7	23,0	25,7	27,8
34	21,1	23,4	26,1	28,2
35	21,5	23,7	26,4	28,5
36	21,9	24,1	26,8	28,9
37	22,3	24,5	27,2	29,3
38	22,7	24,9	27,6	29,7
39	23,1	25,2	27,9	30,0
40	23,4	25,5	28,2	30,3
41	23,8	25,8	28,5	30,7

- Identifier les zones où se font la perte et les gains de masse grasse (notion de zones préférentielles pour la prise de MG et de zones résistantes pour la perte)
- Tour de taille + plis abdominale = appréciation de la perte de masse grasse viscérale
- Plis cutanés + circonférence du membre = appréciation des gains ou perte de masse musculaire

➤ 3 techniques d'imagerie:

- Scanner ou CT-scan (tomodensitométrie computerisée; le gold standard)
- IRM
- DEXA = dual energy X-ray absorptiometry (absorption bi-photonique à rayons X)

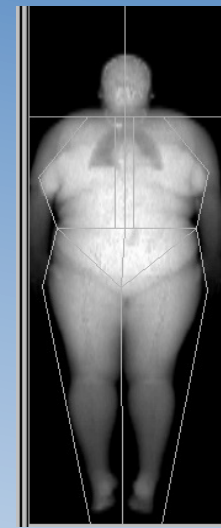


❖ Absorptiométrie biphotonique à rayon X (DEXA)

- méthode de référence pour l'étude de la composition corporelle
- permet d'accéder directement à un modèle à trois compartiments:

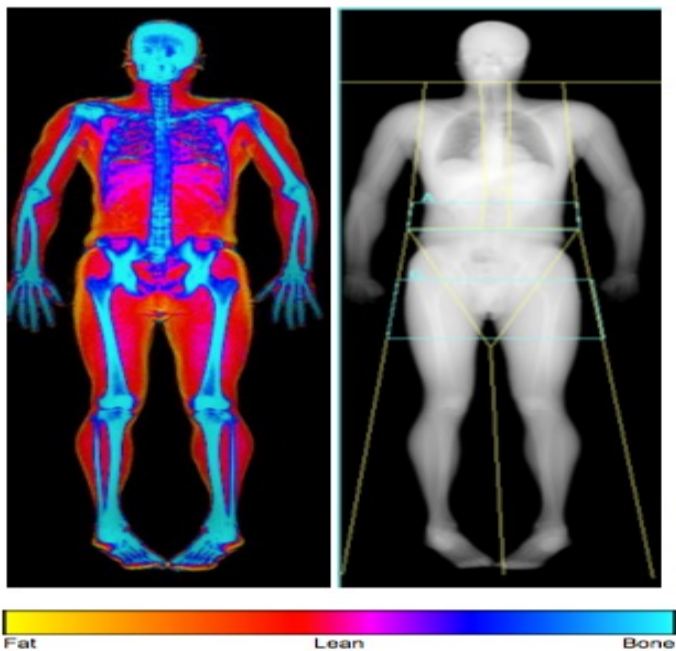
MG + MM + contenu minéral osseux

- consiste à balayer l'ensemble du corps avec un faisceau de rayons X à 2 niveaux d'énergie (40 et 100 Kiloélectronvolt)
- Mesure le rapport des atténuations de ces 2 Rayons en fonction de la composition de la matière traversée
- calibration effectuée avec des fantômes artificiels contenant des triglycérides et du Calcium
- traitement informatique des mesures physiques
- La précision est excellente
- permet une approche régionale (bras, tronc, jambes) des trois compartiments mesurés
- L'irradiation imposée au patient est faible et similaire à celle d'une radio pulmonaire.



Peut être couplé à l'impédancemétrie pour mesurer 5 compartiments:

MM; MG; Masse calcique, eau extracellulaire, eau intracellulaire



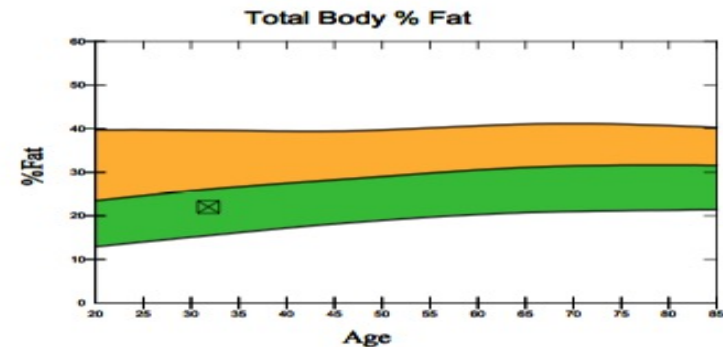
Body Composition Results

Region	Fat Mass (g)	Lean+ BMC (g)	Total Mass (g)	% Fat	T-score	% Fat Z-score
L Arm	939	3873	4812	19.5		
R Arm	949	3805	4754	20.0		
Trunk	8244	28068	36312	22.7		
L Leg	2561	9775	12335	20.8		
R Leg	2752	9605	12357	22.3		
Subtotal	15445	55126	70571	21.9		
Head	1221	3853	5074	24.1		
Total	16666	58979	75645	22.0	-0.4	-0.7
Android	1258	4133	5390	23.3		
Gynoid	3041	9256	12297	24.7		

Scan Date: 18 March 2014 ID: A03181408
 Scan Type: e Whole Body
 Analysis: 18 March 2014 15:56 Version 13.0
 Auto Whole Body
 Operator: GJ
 Model: Explorer (S/N 91075)
 Comment:

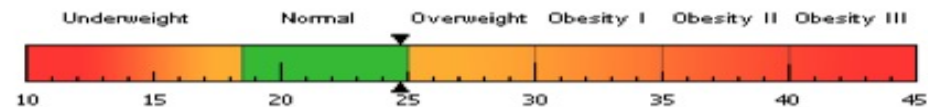
Le score T : densité minérale d'un jeune individu de même sexe (valeur max) normal .

Si score Z < -2,5 DS = ostéoporose



Source: 2008 NHANES White Male

World Health Organization Body Mass Index Classification
 BMI = 24.7 WHO Classification Normal



BMI has some limitations and an actual diagnosis of overweight or obesity should be made by a health professional. Obesity is associated with heart disease, certain types of cancer, type 2 diabetes, and other health risks. The higher a person's BMI is above 25, the greater their weight-related risks.

Adipose Indices

Measure	Result	T-score	Z-score
Total Body % Fat	22.0	-0.4	-0.7
Fat Mass/Height (kg/m)	5.41	-0.4	-0.6
Android/Gynoid Ratio	0.94		
% Fat Trunk/% Fat Legs	1.06	0.8	0.4
Trunk/Limb Fat Mass Ratio	1.14	0.8	0.3

Lean Mass Indices

Measure	Result	T-score	Z-score
Lean Mass/Height (kg/m)	19.1	-0.1	-0.2
Appen. Lean Mass/Height (kg/m)	8.78	-0.1	-0.2

Le score Z : densité minérale d'une personne de même sexe et même âge.

Avantages :

- Précision reconnue comme excellente
- Bonne reproductibilité et prédictibilité
- Toutes les zones du corps
- Irradiation faible
- Examen peu coûteux

< 3%

Inconvénients / Limites:

- Pas de distinction entre os cortical et trabéculaire
- Pas de distinction masse grasse sous cutanée et viscérale
- Matériel coûteux
- Limite de place sur table
- Contre indiqué chez les femmes enceintes

➤ Comment se déroule l'examen

- Durée : entre 10 et 30 minutes.
- Pas d'injection.
- Eviter supplémentation en calcium 48h avant.
- Maintien de la position allongé.
- Entre 70 et 140^e l'examen



Domaine médical :

- Initialement développé pour la détection de l'ostéoporose.
- Prédiction des fractures.
- Suivi d'un traitement sur la déossification et réossification.

Domaine sportif :

- Suivi nutritionnel/entraînement (minimum 2 scan par an).
- Suivi santé et **prévenir les fractures de fatigue** (fracture, suivie de blessure).

