



**HAL**  
open science

## Nutrition du sportif pratiquant la musculation

Elodie Delannoy

► **To cite this version:**

Elodie Delannoy. Nutrition du sportif pratiquant la musculation. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. dumas-03111262

**HAL Id: dumas-03111262**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03111262v1>**

Submitted on 15 Jan 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE CLERMONT AUVERGNE  
FACULTE DE PHARMACIE

ANNEE 2020

THESE  
pour le  
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE  
par

**DELANNOY Elodie**

Présentée et soutenue publiquement le 25 septembre 2020

## **NUTRITION DU SPORTIF PRATIQUANT LA MUSCULATION**

### JURY

Président : Mr Walrand Stéphane – Professeur, UFR de Pharmacie de Clermont-Ferrand

Directeur de thèse : Mr Talvas Jérémie – Maître de conférences, UFR de Pharmacie de Clermont-Ferrand

Membres : Mr Pouillaude Antoine – Docteur en pharmacie, titulaire d'officine à Gannat

Mr Mallet Leandro – Docteur en pharmacie, directeur d'officine à Clermont-Ferrand



# Table des matières

I.	Introduction.....	14
II.	Première partie : Les besoins nutritionnels de la population générale.....	16
A.	Les dépenses énergétiques.....	16
1.	Le métabolisme de base .....	16
2.	La thermogénèse alimentaire .....	18
3.	La thermorégulation .....	18
4.	L'activité physique .....	19
B.	Calcul des apports énergétiques conseillés .....	19
1.	Mesure du métabolisme de base .....	19
2.	Estimation du métabolisme de base (MB).....	20
3.	Estimation des dépenses énergétiques journalières .....	22
4.	Exemples.....	24
5.	Les nouveaux outils de mesure.....	25
a)	Montres connectées .....	25
b)	Applications .....	26
c)	Appareils de musculation et cardio .....	26
d)	Balances impédancemètres .....	27
C.	Répartition des nutriments et micronutriments devant être apportés.....	28
1.	Glucides .....	28
2.	Lipides.....	33
a)	Acides gras polyinsaturés essentiels.....	34
b)	Acides gras monoinsaturés.....	34
c)	Acides gras saturés .....	34
d)	Acides gras trans et acides gras conjugués .....	35
3.	Protéines et acides aminés .....	38
4.	Vitamines .....	41
a)	Vitamines hydrosolubles .....	41
	Vitamines B1 ou thiamine.....	41
	Vitamine B2 ou riboflavine .....	42
	Vitamine B3 ou niacine .....	43

Vitamine B5 ou acide pantothénique .....	44
Vitamine B6 .....	44
Vitamine B8 ou biotine .....	45
Vitamine B9 ou acide folique .....	45
Vitamine B12 ou cobalamine .....	46
Vitamine C ou acide ascorbique .....	47
b) Vitamines liposolubles.....	47
Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques .....	47
Vitamine D ou cholécalférol .....	48
Vitamine E.....	49
Vitamine K.....	49
5. Minéraux et oligo-éléments.....	50
a) Sodium .....	51
b) Chlore .....	52
c) Potassium .....	52
d) Calcium.....	54
e) Phosphore .....	54
f) Magnésium.....	55
g) Fer .....	56
h) Zinc .....	57
i) Cuivre .....	58
j) Iode .....	58
k) Sélénium.....	59
l) Chrome.....	59
m) Manganèse.....	60
n) Molybdène .....	61
o) Silicium .....	61
6. Fibres alimentaires .....	62
7. Boissons.....	65
III. Deuxième partie : Musculation et nutrition, un objectif différent en fonction de la morphologie .....	66
A. Ectomorphe .....	67

1.	Types d'exercices .....	67
2.	Besoins nutritionnels .....	68
3.	La récupération.....	69
4.	Exemples d'entraînements et alimentation sur une semaine .....	69
a)	Lundi.....	69
b)	Mardi.....	71
c)	Mercredi.....	71
d)	Jeudi .....	73
e)	Vendredi.....	73
f)	Samedi.....	74
g)	Dimanche .....	76
B.	Mésomorphe .....	76
1.	Types d'exercices .....	76
2.	Besoins nutritionnels .....	77
3.	La récupération.....	77
4.	Exemples d'entraînements et alimentation sur une semaine .....	77
a)	Lundi.....	77
b)	Mardi.....	79
c)	Mercredi.....	80
d)	Jeudi .....	81
e)	Vendredi.....	81
f)	Samedi.....	82
g)	Dimanche .....	83
C.	Endomorphe.....	84
1.	Types d'exercices .....	84
2.	Besoins nutritionnels .....	85
3.	La récupération.....	85
4.	Exemples d'entraînements et alimentation sur une semaine .....	86
a)	Lundi.....	86
b)	Mardi.....	87
c)	Mercredi.....	88
d)	Jeudi .....	89

e) Vendredi.....	90
f) Samedi.....	91
g) Dimanche .....	92
IV. Troisième partie : Compléments nutritionnels et compléments alimentaires disponibles en pharmacie .....	93
A. Compléments nutritionnels .....	93
B. Compléments alimentaires.....	94
C. Hydratation.....	96
1. Pendant l'effort.....	97
2. Après l'effort.....	97
V. Conclusion .....	99

## Remerciements

A Mr Jérémie Talvas, de m'avoir fait l'honneur de diriger cette thèse, de m'avoir orienté dans ce sujet et m'avoir aidé à la rédaction, je vous en remercie.

A Mr Stéphane Walrand, de m'accorder du temps pour présider ce jury. Merci pour votre disponibilité.

A Mr Antoine Pouillaude, pour ta relecture attentive, ta patience et tes nombreux conseils, un grand merci.

A Mr Leandro Mallet, merci de m'avoir apporté ton aide et ton soutien un petit peu plus chaque jour.



J'aimerai également remercier,

Mes parents, merci d'avoir tout fait pour que je puisse réussir ces études, de m'avoir soutenue et aidée jusqu'au bout. Vous êtes les meilleurs, je vous aime.

Ma sœur, tu as toujours été là pour moi, merci pour tous ces moments passés ensemble, ces aventures et ses fous rires, tu seras toujours ma petite sœur adorée.

Ma famille, pour tout votre amour, ces moments conviviaux et la joie qui vous anime.

Mes amis, toujours partants pour s'amuser et profiter de la vie, avec vous on ne s'ennuie jamais, merci du fond du cœur.

## Table des abréviations

$^{18}\text{O}$	Oxygène 18
$^2\text{H}$	Deutérium
ADN	Acide désoxyribonucléique
AET	Apport énergétique total
AG	Acide gras
AGMI	Acide gras monoinsaturé
AGPI	Acide gras polyinsaturé
AGPI-LC	Acide gras polyinsaturé à longue chaîne
AGS	Acide gras saturé
ARN	Acide ribonucléique
ATP	Adénosine triphosphate
$\text{CO}_2$	Dioxyde de carbone
DEJ	Dépense énergétique journalière
DHA	Acide docosahexaénoïque
g	Gramme
$\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$	Gramme par jour
$\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$	Gramme par litre
kcal	Kilocalorie
kg	Kilogramme
kJ	Kilojoule
m	Mètre
MB	Métabolisme de base
mg	Milligramme
$\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$	Milligramme par jour
$\text{mg}\cdot\text{MJ}\cdot\text{j}^{-1}$	Milligramme par mégajoule par jour
$\text{MJ}\cdot\text{j}^{-1}$	Mégajoule par jour
mL	Millilitre
$\text{mL}\cdot 24\text{h}^{-1}$	Millilitre par 24 heures
$\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$	Millimole par litre

NAD	Nicotinamide adénine dinucléotide
NADP	Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
NAP	Niveau d'activité physique
PL	Pyridoxal
PLP	Pyridoxal 5'-phosphate
PM	Pyridoxamine
PMP	Pyridoxamine 5'-phosphate
PN	Pyridoxine
PNP	Pyridoxine 5'-phosphate
s	Seconde
VO <sub>2</sub> max	Consommation maximale d'oxygène
W	Watt
μg.j <sup>-1</sup>	microgramme par jour

## Table des tableaux

Tableau 1 : Nombre de données (N) et critères dans diverses relations de prédiction du métabolisme de base.....	21
Tableau 2 : Exemples de niveaux d'activités physique correspondants à différents modes de vie .....	23
Tableau 3 : Apports conseillés en énergie en MJ et kcal, valeurs repères pour des groupes de sujets.....	24
Tableau 4 : Index glycémique de quelques aliments .....	30
Tableau 5 : Synthèse des apports conseillés en acides gras chez l'adulte .....	35
Tableau 6 : Sources alimentaires en vitamine K en $\mu\text{g}$ de phylloquinone pour 100 g d'aliment .....	50
Tableau 7 : Apports alimentaires en potassium .....	53
Tableau 8 : Sources importantes de fibres, en g pour 100 g de matière fraîche .....	63

## Tables des figures

Figure 1 : Contribution des tissus et des organes aux dépenses de l'organisme.....	17
Figure 2 : Schéma du principe de l'impédancemétrie .....	27
Figure 3 : Indices de composition corporelle.....	28
Figure 4 : Augmentation relative de la participation des lipides ou des glucides à la fourniture d'énergie en fonction de l'intensité de l'exercice .....	37

## Lexique

Booster : stimuler, développer, renforcer.

Densité énergétique : énergie par unité de volume.

Macronutriments : nutriments dont l'organisme a besoin en grande quantité, ce sont des éléments énergétiques. Les macronutriments regroupent les protéines, les lipides et les glucides.

Micronutriments : ce sont des nutriments dépourvus de valeur énergétique mais indispensables au fonctionnement de l'organisme. Ils sont présents en faible quantité dans les aliments.

Perfusion intestinale : afflux sanguin au niveau de la paroi intestinale.

Concept de « cross-over » : représente un moyen théorique par lequel on peut comprendre les effets de l'intensité de l'exercice et de l'entraînement d'endurance préalables sur l'équilibre du métabolisme des glucides et des lipides au cours d'un exercice soutenu. (1)

# I. Introduction

La musculation est aujourd'hui un sport très répandu en France, avec plus de 4 000 clubs regroupant près de 6 millions d'adhérents. C'est une discipline à part entière, mais qui peut également venir en complément d'un autre sport afin d'améliorer ses performances.

L'allemand Friedrich Wilhelm Mueller (1867 – 1925) est le premier athlète mondialement connu pour la pratique de la musculation.

La pratique sans risque pour la santé et la réussite dans un sport sont étroitement liées à l'alimentation, c'est pour cela qu'il serait dénué d'intérêt de ne pas aborder la nutrition et la musculation conjointement.

De nos jours, les personnes qui pratiquent cette discipline peuvent avoir des motivations différentes :

- Avoir un physique athlétique
- Perdre du poids
- Être en bonne santé
- Se divertir
- Améliorer ses capacités dans une autre discipline
- Augmenter sa force
- Se tonifier
- Améliorer son explosivité...

Quel que soit la cible, il n'y aura de bons résultats qu'avec rigueur et alimentation adaptée.

Chaque être humain étant différent sur le plan physiologique et morphologique, il n'aura pas le même résultat qu'une autre personne pratiquant exactement le même entraînement et consommant les mêmes repas.

En effet, nous verrons qu'il existe trois grands morphotypes, endomorphe, ectomorphe et mésomorphe.

Nous allons tenter de définir quelles sont les priorités pour chacun de ces groupes de population en termes d'entraînement et de plan nutritionnel.

Dans un premier temps, il sera bon de rappeler quels sont les objectifs nutritionnels pour la population générale.

Par la suite, nous pourrons définir quelles sont les modifications à apporter pour avoir un équilibre alimentaire adapté à sa morphologie et à sa pratique sportive, ici la musculation.

Enfin, nous verrons qu'il existe des produits en pharmacie permettant de pallier certains manques dans notre alimentation, de compenser les pertes engendrées par l'activité sportive, ou encore faciliter l'équilibration de ses apports nutritionnels.



## II. Première partie : Les besoins nutritionnels de la population générale

### A. Les dépenses énergétiques

#### 1. Le métabolisme de base

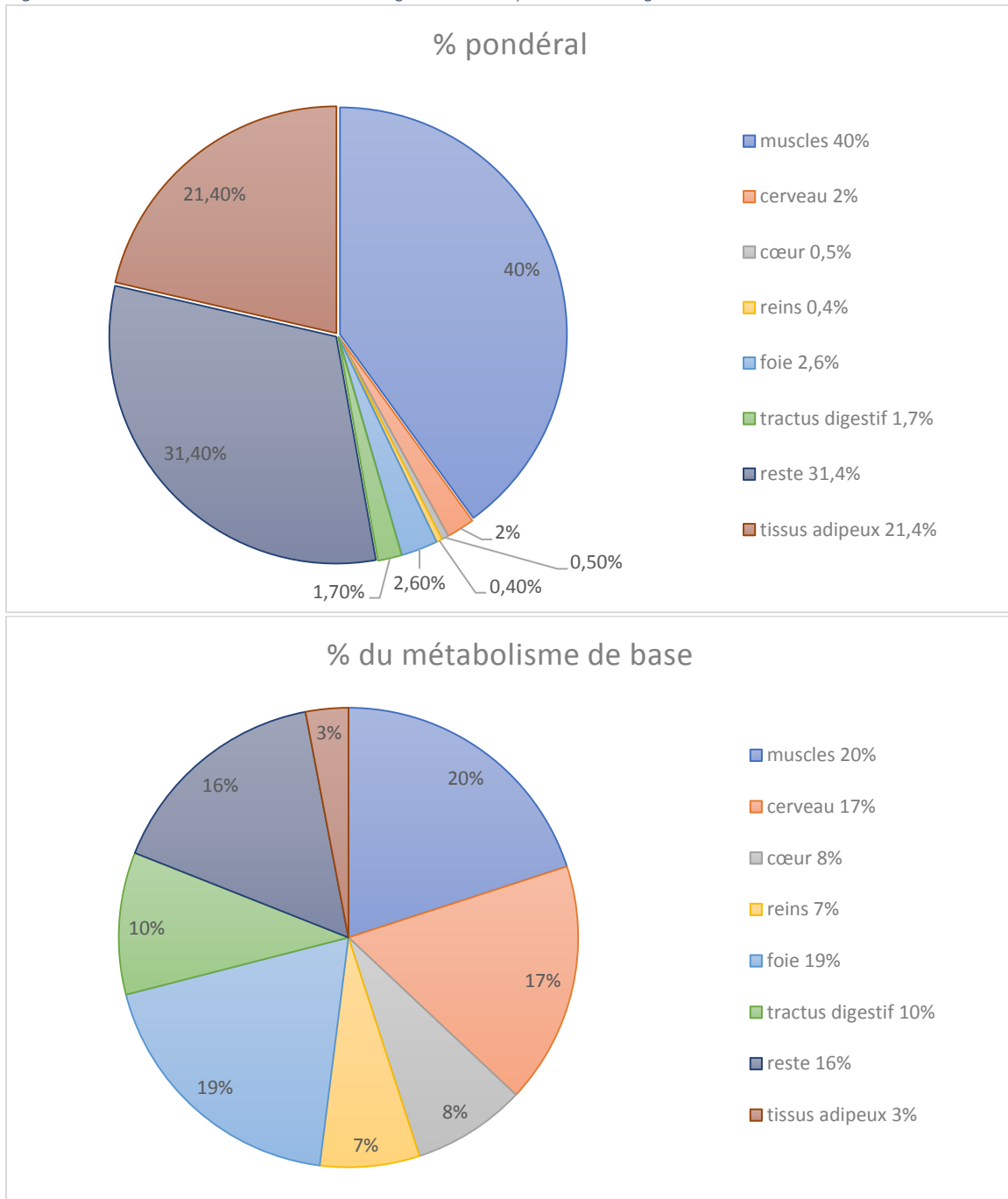
Le métabolisme de base est la quantité d'énergie utilisée pour assurer les fonctions vitales de l'organisme : travail cardiaque et respiratoire, renouvellement des constituants de l'organisme, sécrétions, excrétions, travail des pompes membranaires nécessaires au maintien des gradients ioniques, tractus digestif, activité cérébrale... C'est la dépense énergétique des différents organes et tissus de l'organisme.

Cette dépense d'énergie se mesure chez un sujet à jeun depuis plus de 12 heures, couché et éveillé, placé dans des conditions de thermoneutralité. On obtient une valeur supérieure d'environ 5 % par rapport à un sujet endormi en raison du tonus musculaire et de l'activité cérébrale liée à l'éveil. (2)

Le métabolisme de base représente en moyenne 60 % de la dépense énergétique journalière. Sa fraction diminuera chez un sujet très actif et augmentera chez un sujet très sédentaire.

Certains organes comme le cerveau, le cœur, le foie, les reins et le tube digestif sont de gros consommateurs d'énergie, ce qui explique une répartition de l'énergie consommée différente de la répartition pondérale des organes et tissus. (3) (4) (5)

Figure 1 : Contribution des tissus et des organes aux dépenses de l'organisme



(6) (7)

L'activité métabolique par gramme de tissu ne varie pas significativement avec l'âge, mais la part des organes dans le poids corporel diminue avec l'âge. Elle passe de 18 % à la naissance, à 10 % à 10 ans pour enfin être de 6 % à l'âge adulte.

De plus, chez les adultes la contribution des organes à la masse maigre diminue lorsque le poids corporel augmente. La prise en compte du poids de ces organes permet d'améliorer la précision dans l'estimation du métabolisme de base d'une personne donnée. (4)

La composition corporelle déterminée classiquement rend compte de 75 à 88 % de la variance du métabolisme de base. La masse maigre est le principal déterminant du métabolisme de base. La contribution de la masse grasse au métabolisme de base est faible et significative seulement chez les obèses et les personnes âgées. Le reste de la variante est due à des différences de taille des organes et à des facteurs génétiques ou physiologiques.

A âge, poids et composition corporelle égaux le métabolisme de base des femmes est inférieur de 11 % à celui des hommes. (8) (9) (10) (11) (12)

Le métabolisme de base d'un sujet donné est relativement stable au cours du temps (jours, mois), mais à un poids constant, il diminue de 2 à 4 % par décennie en raison de la variation de la composition corporelle. (7)

## 2. La thermogénèse alimentaire

La prise alimentaire augmente les dépenses énergétiques de l'individu au repos. Cette dépense énergétique est proportionnelle à la quantité d'énergie ingérée. (13)

La thermogénèse alimentaire diffère selon le type de substrat alimentaire :

- 5-10 % pour les glucides
- 0-2 % pour les lipides
- 20-30 % pour les protéines.

Elle est majoritairement expliquée par le coût énergétique associé à l'absorption intestinale, au stockage et à la transformation des aliments. (7) (14)

## 3. La thermorégulation

Le maintien d'une température corporelle de 37-37,5°C est une fonction essentielle de l'organisme humain. Lors de l'exposition à des températures externes basses, les mécanismes de thermorégulation visent à diminuer les pertes de chaleur.

Les sujets exerçant une activité physique au froid maintiennent par ailleurs leur température centrale en raison de la production de chaleur importante associée au travail musculaire.

Chez le sujet au repos, et dans le cas où les mécanismes de thermorégulation s'avèrent insuffisants, une baisse de la température entraîne le frisson. Ce processus élève de manière importante les dépenses énergétiques.

La plupart des personnes sont protégées du froid par l'habillement et le chauffage des habitations. Chez ces personnes, les variations de température auront donc un rôle négligeable dans les dépenses énergétiques globales. (7)

## 4. L'activité physique

L'activité physique est le second facteur de variation de la dépense énergétique et des besoins énergétiques des individus, après le poids et la composition corporelle.

Les dépenses énergétiques correspondant à divers types d'activités ont été déterminées par calorimétrie indirecte dans des conditions habituelles de vie à l'aide d'un masque facial et de matériel portatif ou dans des conditions contrôlées en chambre calorimétrique. Ces dépenses ont été exprimées en kJ (kcal) par minute et par kg de poids corporel. Par souci de simplification et d'utilisation en pratique, ces dépenses sont exprimées en multiple du métabolisme de base.(7)

## B. Calcul des apports énergétiques conseillés

### 1. Mesure du métabolisme de base

La méthode de calorimétrie directe considère qu'il y a égalité entre la production de chaleur et la dépense énergétique. Pour cela on utilise une enceinte hermétique de taille réduite où les conditions thermiques sont contrôlées. On va ainsi quantifier la perte de chaleur de l'individu.

Les mesures obtenues sont précises à plus ou moins 1 W près mais peu d'institutions possèdent ce dispositif. (7)

La calorimétrie indirecte considère que l'énergie utilisée est produite par l'oxydation des nutriments. On utilise la consommation d'oxygène qui reflète l'oxydation mitochondriale et donc la dépense énergétique. On réalise cette mesure en chambre calorimétrique ou sous casque ventilé. (7)

La méthode de l'eau doublement marquée seule permet de déterminer la dépense énergétique moyenne d'un sujet sur une période de deux semaines dans les conditions de vie habituelle. (15)

Elle consiste à faire ingérer au sujet un mélange d'eau marquée sur l'oxygène ( $^{18}\text{O}$ ) et sur l'hydrogène ( $^2\text{H}$ ). Le deutérium est éliminé sous forme d'eau dans les urines, les selles, la sueur et sous forme de vapeur d'eau par voie pulmonaire et cutanée. L'oxygène est aussi éliminé sous forme d'eau mais également libéré dans les gaz expirés sous forme de  $\text{CO}_2$ . La mesure de la différence de pente d'élimination du deutérium et de l'oxygène 18 permet le calcul de la production de  $\text{CO}_2$  et de la dépense énergétique.

La méthode d'enregistrement de la fréquence cardiaque est basée sur la relation linéaire étroite entre la fréquence cardiaque et la dépense énergétique pour des activités physiques d'intensité croissante. Elle permet d'évaluer la dépense énergétique moyenne d'un groupe d'individus. (7)

La méthode des accéléromètres permet de quantifier et d'enregistrer l'intensité de mouvement selon un ou trois axes au cours d'une activité physique. (7)

La méthode factorielle permet d'évaluer les dépenses énergétiques journalières et fragmentaires d'un individu à partir de l'enregistrement du type et de la durée des activités pratiquées au cours de la journée et du coût énergétique unitaire de chaque activité. Ce dernier peut être exprimé en multiple du métabolisme de base pour uniformiser les données entre les individus. Le coefficient de variation est en moyenne de 10 %. (11) (12)

## 2. Estimation du métabolisme de base (MB)

Plusieurs équations de prédiction du métabolisme de base ont été proposées au cours du XX<sup>e</sup> siècle en fonction de la composition corporelle. Malgré des études reposant sur de larges bases de données, les contrôles de validité montrent actuellement qu'il n'est pas possible de proposer des équations fiables en fonction de la composition corporelle du fait de la difficulté à la définir.

On peut cependant utiliser comme critère le poids corporel, la taille, l'âge et le sexe pour définir le métabolisme de base.

La validité de plusieurs relations de prédiction du métabolisme de base a été étudiée. Ces relations ont été établies à partir d'effectifs de volontaires très variables, avec des mesures

faites dans un même laboratoire ou dans plusieurs laboratoires et prennent en compte les critères suivants :

Tableau 1 : Nombre de données (N) et critères dans diverses relations de prédiction du métabolisme de base

Références	N	Sexe	Poids	Taille	Âge
Harris et Benedict (1919) (16)	> 200	+	+	+	+
Schofield <i>et al.</i> (1985) (17)	> 7000	+	+	-	Tranches
FAO/OMS/UNU (1986) (18)		+	+	-	Tranches
Owen <i>et al.</i> (1987) (19)	104	+	+	-	-
Black <i>et al.</i> (1996) (10)	574	+	+	+	+
Klausen <i>et al.</i> (1997) (20)	313	+	+	+	+

Les équations de Black *et al.* (1996) (10) sont les plus précises pour un calcul du métabolisme de base en fonctions des données anthropométriques de la personne, en particulier chez les personnes en excès de poids et chez les personnes de plus de 60 ans toujours actives.

$$\text{Femmes : métabolisme de base} = 0,963 \times \text{poids}^{0,48} \times \text{taille}^{0,50} \times \text{âge}^{-0,13}$$

$$\text{Hommes : métabolisme de base} = 1,083 \times \text{poids}^{0,48} \times \text{taille}^{0,50} \times \text{âge}^{-0,13}$$

Unités utilisées :

- Poids en kg
- Taille en m
- Age en années
- Métabolisme de base en MJ.j<sup>-1</sup>

Ces formules restent néanmoins approximatives. Une étude a permis de déterminer si les équations de prédictions élaborées au cours du siècle dernier et la valeur attribuée à la consommation d'oxygène au repos sont encore valables de nos jours.

Pour cela, 10 hommes âgés de 23,9 ± 2,13 ans et 10 femmes âgées de 23,2 ± 1,61 ans ont subi une mesure de leur métabolisme de base par calorimétrie indirecte.

Cette étude conclut que la formule de Black *et al.* surestime dans 80 % des cas le métabolisme de base par rapport à la mesure directe de la consommation d'oxygène par minute. (7)

Les outils de mesure du métabolisme de base seront plus précis mais pour une question technique et pratique en application à l'officine nous utiliserons l'estimation grâce à l'équation de Black et al. (7)

### 3. Estimation des dépenses énergétiques journalières

La dépense énergétique journalière comprend la dépense énergétique de repos (métabolisme de base) et la dépense énergétique liée à l'activité physique.

Pour calculer la dépense énergétique journalière on va utiliser le métabolisme de base et le niveau d'activité physique (NAP).

Cette dépense énergétique journalière doit être évaluée avec une grande précision pour toutes les catégories de population car toute erreur se traduirait par une sous-estimation ou une surestimation des apports nutritionnels conseillés en énergie, et par conséquent une perte de poids ou un gain de masse grasse. Un excès d'apport énergétique par rapport aux dépenses est transformé essentiellement en lipides corporels avec une grande efficacité. (7)

Le niveau d'activité physique est un coefficient multiplicateur compris entre 1,2 et 2,4 pour la population française. (21)

Le niveau d'activité physique à l'échelle d'une semaine dépendra plus de la durée et de la nature de l'activité habituelle que de l'activité sportive. Par exemple 4h par semaine de sport intense avec un niveau d'activité physique égale à 6 augmentera le niveau d'activité physique évalué sur une semaine de 0,1 point.

La validation de la méthode factorielle d'évaluation des dépenses énergétiques journalières a été effectuée par rapports aux résultats d'études sur les dépenses énergétiques de volontaires mesurées dans les conditions habituelles de vie par la méthode de l'eau doublement marquée. (21)

Tableau 2 : Exemples de niveaux d'activités physique correspondants à différents modes de vie

Activité habituelle	NAP
Personne impotente au lit ou dans un fauteuil	1,2
Personne ayant un travail assis, sans déplacement et peu d'activités de loisirs	1,4 à 1,5
Personne ayant un travail assis avec petits déplacements, et peu ou pas d'activité de loisirs fatigants	1,6 à 1,7
Personne ayant un travail debout (vendeur)	1,8 à 1,9
Personne ayant un travail physique intense ou activités de loisirs intenses	2,0 à 2,4

(7) (10)

Les apports nutritionnels conseillés correspondent aux dépenses énergétiques moyennes calculées par la méthode factorielle décrite précédemment.

Une évaluation individuelle des apports énergétiques conseillés doit prendre en compte de façon rigoureuse les caractéristiques anthropométriques et l'activité physique du sujet.

Cependant pour faciliter la tâche, des valeurs repères des apports conseillés en énergie sont proposées dans le tableau suivant. Ces valeurs arrondies sont issues de moyennes calculées à partir de niveaux d'activité physique correspondants à : 1,4 pour inactifs ; 1,6 pour activités habituelles de la majorité de la population ; 1,8 pour activité physique importante ; 2,0 pour activité physique très importante chez l'homme et 1,9 pour activité physique très importante chez la femme.

Elles correspondent à des moyennes et ne sont valables que pour une collectivité d'individus. Par conséquent, elles ne doivent pas être appliquées à l'échelle individuelle, mais donner un ordre d'idée.



Tableau 3 : Apports conseillés en énergie en MJ et kcal, valeurs repères pour des groupes de sujets

Sexe	Poids	Age	Activité	MJ	kcal
Hommes	70 kg	20 – 40 ans	Inactifs	10,0	2 400
			Activités habituelles de la majorité de la population	11,4	2 700
			Activité physique importante	12,9	3 080
			Activité physique très importante	14,3	3 400
		41 – 60 ans	Inactifs	9,4	2 250
			Activités habituelles de la majorité de la population	10,7	2 500
			Activité physique importante	12,0	2 900
			Activité physique très importante	14,3	3 400
Femmes	60 kg	20 – 40 ans	Inactifs	8,0	1 900
			Activités habituelles de la majorité de la population	9,1	2 200
			Activité physique importante	10,2	2 400
			Activité physique très importante	10,8	2 600
		41 – 60 ans	Inactifs	7,4	1 800
			Activités habituelles de la majorité de la population	8,4	2 000
			Activité physique importante	9,6	2 300
			Activité physique très importante	10,1	2 400

(7)

#### 4. Exemples

- Femme de 27 ans, mesurant 1,62 m et pesant 49 kg

Elle fait du sport 4 à 5 fois par semaine et exerce le métier de pharmacien (principalement au comptoir).

Niveau d'activité physique =  $1,8 + 0,1 = 1,9$

$$\text{Métabolisme de base} = 0,963 \times \text{poids}^{0,48} \times \text{taille}^{0,50} \times \text{âge}^{-0,13}$$

$$\text{MB} = 0,963 \times 49^{0,48} \times 1,62^{0,50} \times 27^{-0,13} = 5,17 \text{ MJ.j}^{-1}$$

$$\text{DEJ} = \text{MB} \times \text{NAP} = 5,17 \times 1,9 = 9,82 \text{ MJ.j}^{-1}$$

La dépense énergétique journalière est estimée à 9,82 MJ.j<sup>-1</sup> soit environ 2 349 kcal.j<sup>-1</sup>.

- Homme de 36 ans, mesurant 1,80 m et pesant 72 kg

Il travaille assis la moitié de son temps de travail et le reste debout. Il fait 1h de sport intensif par semaine, nous avons vu précédemment que pour augmenter le niveau d'activité physique de 0,1 il faut sur la semaine 4 h de sport intensif. Par conséquent nous ne le prendrons pas en compte.

Niveau d'activité physique = 1,7

$$\text{Métabolisme de base} = 1,083 \times \text{poids}^{0,48} \times \text{taille}^{0,50} \times \text{âge}^{-0,13}$$

$$\text{MB} = 1,083 \times 72^{0,48} \times 1,80^{0,50} \times 36^{-0,13} = 7,10 \text{ MJ.j}^{-1}$$

$$\text{DEJ} = \text{MB} \times \text{NAP} = 7,10 \times 1,7 = 12,07 \text{ MJ.j}^{-1}$$

La dépense énergétique journalière est estimée à 12,07 MJ.j<sup>-1</sup> soit environ 2 888 kcal.j<sup>-1</sup>.

1 calorie ≈ 4,18 joules

## 5. Les nouveaux outils de mesure

### a) Montres connectées

Elles peuvent avoir comme fonctions nous intéressant :

- Mesure de la fréquence cardiaque
- Suivi des activités et des exercices
- Traceur GPS
- Calcul du nombre de pas
- Enregistrement des données d'un sujet
- Connection avec des machines de sport (vélo, tapis de course, rameur, machine de musculation...)

Grace à toutes ces données, la montre va estimer les dépenses énergétiques. Ses calculs seront basés sur la méthode d'enregistrement de la fréquence cardiaque et sur la méthode factorielle qui cumule les coûts énergétiques de chaque activité enregistrée en fonction des paramètres personnels entrés dans la base de données.

### *b) Applications*

Les applications sont multiples. Elles sont principalement basées sur la méthode factorielle avec l'enregistrement des activités. On peut parfois les connecter à des appareils de sport (vélo, tapis de course, rameur, machine de musculation...) ce qui permet l'enregistrement automatique des activités effectuées.

Les données personnelles tel que l'âge, le poids, la taille sont enregistrées. On peut ensuite ajouter les activités effectuées au cours de la journée afin d'avoir une estimation des dépenses énergétiques journalières.

Certaines permettent également d'entrer les prises alimentaires et d'estimer si les dépenses et les entrées énergétiques sont équivalentes. Des objectifs en termes d'activités ou de consommations alimentaires pourront alors être définis.

Ces applications peuvent parfois se connecter à des appareils de mesure de la fréquence cardiaque, c'est alors une méthode par enregistrement de la fréquence cardiaque, comme les montres, qui permettra d'estimer les dépenses énergétiques journalières.

### *c) Appareils de musculation et cardio*

Ces appareils permettent uniquement la mesure des dépenses liées à l'activité effectuée en fonction de l'intensité et de la durée. Il est souvent possible d'entrer les données personnelles (âge, poids et taille) afin que les calculs s'approchent le plus possible de la valeur réelle individuelle.

C'est la méthode factorielle.

Elles peuvent être en lien avec des applications ou des montres comme vu précédemment.

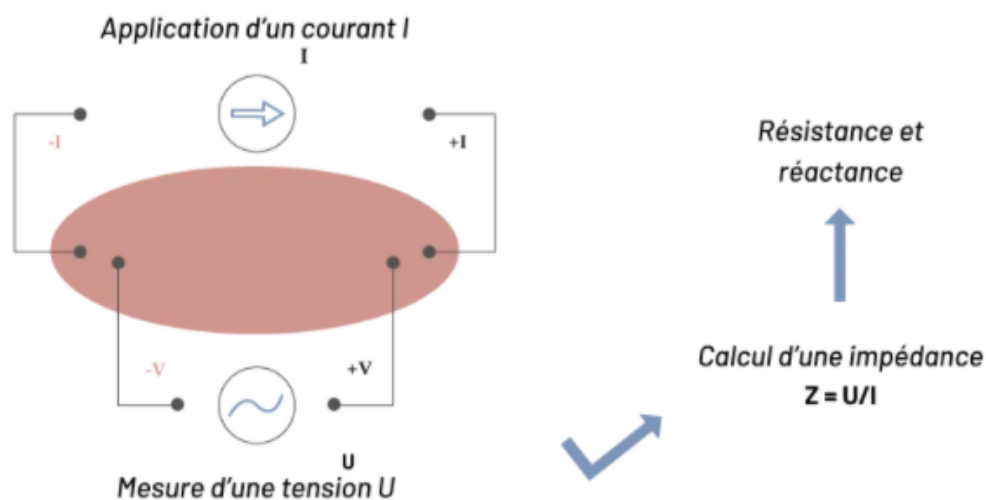
#### d) Balances impédancemètres

Avec les balances impédancemètres on aura une estimation de la composition corporelle. C'est une technique centrée sur les propriétés électriques d'un milieu biologique, permettant une mesure simple, rapide et continue.

Un courant alternatif de faible intensité (de l'ordre de  $70 \mu\text{A}$ ) est appliqué au corps par le biais d'électrodes dites sources ou injectrices. Le courant va passer par les compartiments les plus conducteurs (eau, électrolytes, muscles) et éviter les plus isolants à basse fréquence (membranes cellulaires, masse grasse, peau).

Aux électrodes réceptrices, une tension va être relevée et correspondra à l'opposition des tissus au passage du courant. Ce signal est interprété sous forme de deux données : la résistance  $R$  qui correspond aux éléments non conducteurs et à la réactance  $X$  qui représente l'effet captif des membranes. La combinaison de ces deux données forme l'impédance.

Figure 2 : Schéma du principe de l'impédancemétrie

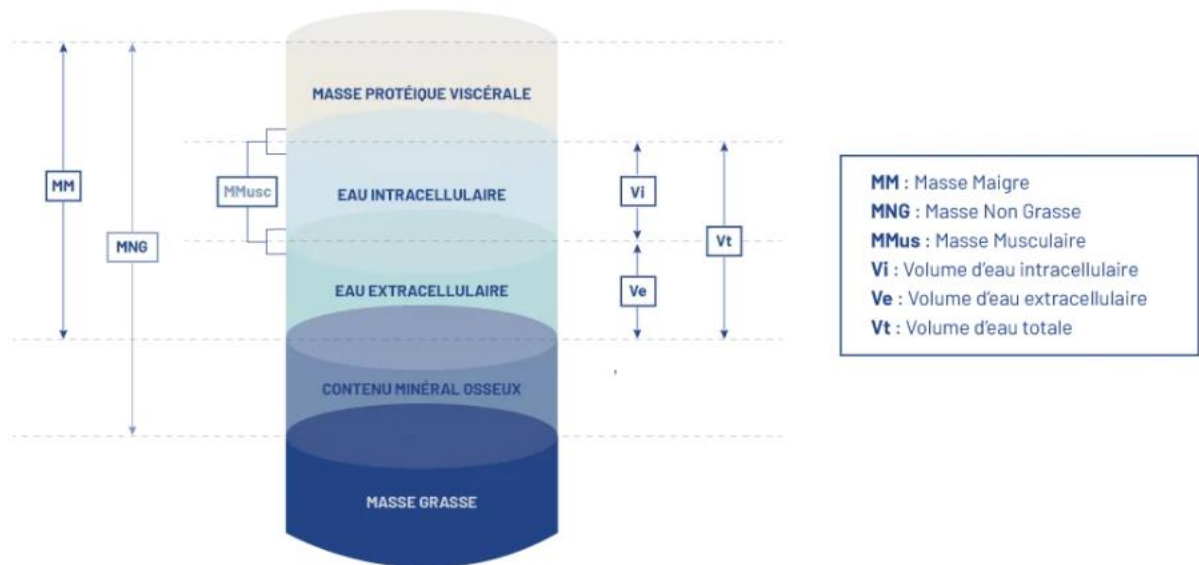


(22)

Les données électriques mesurées, combinées aux données du patient, permettront de calculer les différents indices de composition corporelle :

- Masse maigre (muscle)
- Masse grasse
- Eau
- Squelette

Figure 3 : Indices de composition corporelle



(23)

Ce système à ses limites. Le courant effectuant le trajet le plus court, il passera uniquement par le bas du corps car les électrodes sont situées sous les pieds.

## C. Répartition des nutriments et micronutriments devant être apportés

### 1. Glucides

Les glucides ont une part majoritaire dans la couverture des besoins énergétiques quotidiens à raison de 50 à 55 % de celle-ci. Cependant, une alimentation plus faible en glucides ne provoquera aucune carence spécifique car aucun constituant indispensable à la croissance et à l'entretien de l'organisme n'a été identifié parmi eux. (24)

Cette proportion importante des glucides dans l'apport énergétique recommandé résulte des proportions et quantités nécessaires des autres nutriments. Les apports lipidiques ne doivent pas excéder 30 à 35 % des apports énergétiques totaux et une alimentation plus riche en protéine n'est pas nécessaire au bon fonctionnement de l'organisme.

Les apports nutritionnels conseillés sont d'au moins 4 à 5  $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$  et au plus de 10 à 12  $\text{g}\cdot\text{j}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ .

Les glucides ont une densité énergétique d'environ 17 kJ/g.

Les glucides sont la source de glucose pour l'organisme. Ils ne sont pas tous égaux quant à leur pouvoir hyperglycémiant. On parle alors d'index glycémique (IG). (25)

L'index glycémique correspond au rapport de l'aire sous la courbe de la glycémie pour l'aliment en question sur celle obtenue avec le glucide de référence. Le glucide de référence est le glucose en solution aqueuse ou l'amidon du pain blanc. L'aire sous la courbe sera calculée en utilisant comme ligne de base la valeur de la glycémie à jeun. (26)

$$IG_{\text{pain}} = IG_{\text{glucose}} \times 1,42$$

$$IG_{\text{glucose}} = IG_{\text{pain}} \times 0,70$$

L'index glycémique d'un aliment dépend de :

- La composition en glucides simples et complexes (glucose, fructose, saccharose) (27) (26) (28)
- La proportion en amylopectine et amylose fonction de l'origine botanique (plus la teneur en amylose est élevée plus l'index glycémique est bas)
- La présence de lipides (réduit l'index glycémique)
- La présence de fibres alimentaires visqueuses (diminue l'effet hyperglycémiant en diminuant l'action enzymatique lors de la digestion)
- La modification de la forme de l'aliment (modifie la biodisponibilité)
- Le traitement hydrothermique (rend l'amidon plus facilement hydrolysable)
- La méthode de cuisson-extrusion (augmente l'index glycémique)
- La panification (diminue l'index glycémique)
- La mixité du repas glucido-lipido-protéique (limite le pic hyperglycémique post-prandial)
- La vitesse de la vidange gastrique (nature solide ou liquide du repas et la taille des particules alimentaires, fréquence des repas, richesse énergétique et composition en macronutriments) (7)

Tableau 4 : Index glycémique de quelques aliments

Groupe d'aliments	IG bas (< 50)	IG moyen (50 - 74)	IG élevé (> 75)
Sucres	Fructose 23 ± 1	Saccharose 65 ± 4	Miel 73 ± 15
	Lactose 46 ± 3		Glucose 100
			Maltose 105 ± 12
Fruits	Cerise 22	Kiwi 52 ± 6	Pastèque 72 ± 13
	Pamplemousse 25	Banane 53 ± 6	
	Pêche 28	Mangue 55 ± 5	
	Abricots sec 31 ± 1	Ananas 66 ± 7	
	Pomme 36 ± 2		
	Poire 36 ± 3		
	Orange 43 ± 4		
Boissons	Jus de pomme 41 ± 1	Jus d'orange 57 ± 3	
		Fanta 68 ± 6	
Pains	Pain au son d'avoine 44	Pain noir (seigle) 50	Baguette française 95 ± 15
	Pain aux céréales 45	Pain blanc 70	Pain complet 77
Céréales / pâtes	Pâtes aux œuf 32	Riz blanc 57 ± 2	Riz calrose (pauvre en amylose) 83 ± 13
	Vermicelle 35 ± 7	Riz basmati 59 ± 3	Riz rapide 91 ± 4
	Ravioli à la viande 39 ± 1	Riz brun 55 ± 5	
	Spaghetti 41 ± 3	Couscous 65 ± 6	
	Nouille 47		
Légumes	Pois chiche 33 ± 1	Patate douce 54 ± 8	Rutabagas 72 ± 8
	Petit pois 48 ± 5	Pomme de terre Pontiac 56	Pomme de terre frite 75
	Igname 51	Pomme de terre nouvelle 62 ± 7	Pomme de terre flocon 83 ± 1
		Betterave 64 ± 16	Pomme de terre cuisinée 85 ± 12
		Carotte 71 ± 22	
Collation, en-cas, confiseries	Cacahuètes 14 ± 8	Chips 54 ± 3	
	Chocolat 49 ± 6	Popcorn 55 ± 7	
		Pizza au fromage 60	
		Chips de maïs 73 ± 1	
Gâteaux	Muffin aux pommes 44 ± 6	Rich Tea 55 ± 4	Gaufre 76
	Muffin à la banane 47 ± 8	Croissant 67	
	Gâteau de Savoie 46	Pâtisserie 59 ± 6	
Légumineuses	Soja 18 ± 3		Fève 79 ± 16
	Haricots secs 27 ± 5		
	Lentilles 29 ± 1		
	Haricots blanc 38 ± 6		
Produits laitiers	Yaourt édulcoré 14 ± 4	Crème glacée allégée 50 ± 8	
	Lait entier 27 ± 7	Crème glacée 61 ± 7	
	Lait écrémé 32 ± 5		
	Yaourt parfumé maigre 33 ± 7		
	Lait parfum chocolat 34 ± 4		
	Crème anglaise 43 ± 10		

(7)

On admet habituellement que le mélange utilisé par les muscles passe par une prédominance des graisses en situation de repos à une prépondérance de glucides en cours d'activité (29) (30). L'essentiel des glucides utilisés provient du glycogène musculaire. C'est dû au fait qu'il peut être dégradé rapidement tant par des mécanismes aérobie qu'anaérobie. Les lipides ne permettent pas de délivrer l'ATP suffisamment vite et n'apportent pas autant d'ATP par unité de temps que les glucides (31).

L'idée prédominante à la fin du XXe siècle était qu'il fallait impérativement proposer aux sportifs un apport glucidique largement supérieur à celui de la population générale (50 à 55 % des apports énergétiques totaux), aussi bien quand on résonne en apport calorique en g/kg que lorsqu'on parle du pourcentage de l'apport calorique total.

Le rôle énergétique majeur des glucides n'a pas été remis en cause mais des données récentes viennent pondérer l'avantage que confère une ration hyperglucidique. Cette remise en cause partielle porte sur sept points :

- La première remise en cause concerne la restauration du stock de glycogène musculaire comme étant la clef de voûte. Ce serait considérer que la restauration des réserves énergétiques serait la priorité absolue et amener à négliger les autres perturbations physiologiques liées à l'activité sportive.

Or, après un effort intense, les multiples modifications survenues au niveau de nos tissus vont au-delà de l'épuisement des réserves énergétiques, comme par exemple les ondes de chocs lors de la course à pieds.

- La deuxième remise en cause porte sur l'idée selon laquelle les glucides constituent majoritairement le carburant utilisé par les muscles pour des efforts modérés à intenses (32).

La participation des lipides à la fourniture d'énergie ne se situe plus à une intensité relative d'effort proche de 60 % de  $VO_2$  max mais à un niveau plus élevé, correspondant à un seuil d'accumulation des lactates dans le sang (33) (34).

Les travaux de Knechtle ont permis une validation directe de cette hypothèse par des mesures.

Noakes s'appuie quant à lui sur des données physiologiques qui contredisent complètement l'hypothèse selon laquelle les graisses ne contribuent pas de façon significative à la fourniture d'effort lors d'une épreuve de triathlon type Ironman.

- La troisième remise en cause porte sur la variation du « quotient respiratoire » avec la nature de la ration. Le quotient respiratoire correspond au ratio de  $O_2$  inspiré /  $CO_2$



expiré. Les glucides et les lipides possèdent un quotient respiratoire distinct, 0,7 pour les lipides et 1 pour les glucides.

Lorsqu'on mesure ce quotient il nous renseigne sur la part de glucides et de lipides constituant le carburant pour les muscles (35).

Lorsqu'on augmente la part des glucides dans la ration on note une élévation du quotient respiratoire, au repos et lors d'efforts d'intensité modérée.

A l'inverse, une augmentation de la part lipidique va entraîner une diminution du quotient respiratoire car cela augmente leur oxydation au repos et lors d'efforts faibles voire modérés.

- La quatrième remise en cause parle de l'importance de l'adaptation métabolique. Les glucides et les lipides sont plus ou moins interchangeables lors d'efforts modérés. Ceci peut s'interpréter comme la preuve d'un ajustement relatif du métabolisme, qui ne peut toutefois pas se mettre en place lors d'efforts intenses dès lors que la glycolyse fonctionne à haut débit et qu'une partie du glucose est utilisée en anaérobie.

Si on choisit de suivre une ration plus équilibrée et qu'on développe l'aptitude à utiliser au mieux les acides gras, le glycogène sera préservé pour servir plus particulièrement dans les efforts les plus intenses (36).

- La cinquième remise en cause concerne la chronologie enzymatique. Il existe une fluctuation de l'activité enzymatique en fonction du moment de la journée. La resynthèse du glycogène est maximale durant les 6 à 8 heures faisant suite à une activité ayant abaissé de façon considérable les réserves (37). L'avidité transitoire des muscles pour les glucides va augmenter les concentrations d'insuline ce qui permet de prolonger la période durant laquelle les Glu-T4 restent opérationnels à la surface des membranes des cellules musculaires. Il s'en suit une entrée plus importante de glucose dans les cellules musculaires. Les enzymes voient ensuite leur activité décroître pour revenir à la normale. C'est ce qu'on appelle la « fenêtre métabolique » (38).

Un excès de glucide ne tenant pas compte du phénomène de fenêtre métabolique sature l'organisme inutilement à certains moments de la journée où les capacités à mettre en réserve ne sont pas optimales.

- La sixième remise en cause porte sur l'index glycémique. Cette notion est à considérer sous un angle différent chez un sportif et chez un sédentaire. En pensant que l'ingestion d'aliments à indice glycémique élevé, à des moments précis de la journée, est plutôt bénéfique chez le sportif, on ne prend pas en compte les

conséquences défavorables portant sur le pic insulinaire, d'autant plus que la prise de poids est limitée chez ces individus.

Cependant, avec la sollicitation importante de son pancréas, le sportif développe dans certains cas une forme de résistance qui peut décompenser à l'occasion de l'arrêt définitif ou non de son activité (39).

C'est ici qu'on intègre la notion de charge glucidique. Elle correspond au produit de l'index glycémique de l'aliment par sa teneur en glucides pour 100 g. Une charge glucidique faible va induire une faible libération d'insuline. Une charge glycémique trop élevée, même chez un sportif, ne pourra pas être utilisée convenablement à l'effort.

- La septième remise en cause cible l'arrêt de l'exercice à l'épuisement du glycogène (34).

Noake conteste l'idée suivante : la déplétion d'un substrat énergétique particulier (ici le glycogène musculaire) constitue la cause principale de l'épuisement au cours d'un effort modérément intense de longue durée. Conjointement à l'épuisement du glycogène, l'hypoglycémie, l'élévation de la température corporelle ou une altération du cycle étirement contraction, seraient susceptibles d'expliquer cette fatigue (36). Selon lui, la chute du glycogène musculaire pourrait activer un système assurant le contrôle de la disponibilité en glucose des tissus, ce qu'il nomme le « glucostat ». L'information est alors intégrée pour donner lieu à une diminution du recrutement des fibres musculaires, destinée à économiser le glycogène musculaire. (34)

Noake considère que le régime hyperglucidique pourrait exercer un effet physiologique qui va au-delà du simple aspect de réserve énergétique, par exemple via l'effet placebo. Ceci fut démontré dans les études de Burke AP, Fab A & Coll (40) et Hawley JA, Palmer GS & Coll (41).

Il est également ressorti de ces travaux que malgré une reconstitution optimale des réserves de glycogène entre deux séances consécutives, les signes de surentrainement et de fatigue se mettaient quand même en place.

Ces différentes informations nous amènent à recommander une gamme d'apport autour de 6 g.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup> à nuancer selon le niveau d'activité et les caractéristiques individuelles.

## 2. Lipides

Les lipides sont présents dans l'alimentation sous deux formes principales : les phospholipides et les triglycérides. Ceux-ci sont constitués d'acides gras représentant une source énergétique mais c'est également un constituant de certaines structures comme les membranes des cellules

ou encore le précurseur des molécules régulant les fonctions cellulaires (prostaglandines, leucotriènes).

Les apports lipidiques recommandés sont de 30 à 35 % des apports énergétiques totaux. En dessous de cette limite il serait difficile d'avoir un équilibre des acides gras, notamment des acides gras polyinsaturés. Cependant, il ne faut pas en apporter en excès du fait de son rôle dans l'obésité (7).

Les lipides ont en moyenne une densité énergétique de 38 kJ/g.

### a) Acides gras polyinsaturés essentiels

Il existe deux familles d'acides gras polyinsaturés essentiels : n-6 et n-3, sans transformation métabolique de l'une à l'autre, et sans substitution fonctionnelle possible de l'une à l'autre.

L'acide linoléique et l'acide  $\alpha$ -linoléique sont les deux précurseurs des autres acides gras polyinsaturés essentiels. (7)

On retrouve ces deux acides gras dans les huiles végétales :

- Acide linoléique : huile de tournesol et huile de maïs principalement
- Acide  $\alpha$ -linoléique : huile de colza et huile de soja principalement

### b) Acides gras monoinsaturés

L'organisme peut les synthétiser. Ils sont utilisés comme source d'énergie ou sont estérifiés dans tous les types de lipides, comme par exemple dans les triglycérides constituant le tissu adipeux.

L'acide oléique représente l'élément majeur des AG monoinsaturés. Ils sont importants au niveau cérébral pour la constitution des gaines de myéline. Il fait également partie de la composition membranaire des cellules. (42)

L'acide oléique module l'activité enzymatique des transporteurs et des récepteurs. (43) (44) (45)

Il peut moduler l'effet des toxines sur les neuroblastomes et l'expression de certains gènes. (46)

### c) Acides gras saturés

Ils sont synthétisés par l'organisme humain, dans le foie, le cerveau et les tissus adipeux principalement. Associés à ceux de l'alimentation ils constituent des phospholipides, des

sphingolipides et des triglycérides de réserve. C'est une part importante de la dépense énergétique. Ils sont convertis par désaturation des acides gras monoinsaturés.

Certains sont aussi présents dans la structure des membranes notamment au niveau de la gaine de myéline. (47)

Leur absorption est plus rapide et plus directe que celle des autres acides gras (7).

#### d) Acides gras trans et acides gras conjugués

Ces acides gras n'ont pas de rôle physiologique connu. Ils sont peu présents dans les matières grasses naturelles.

Les acides gras trans sont présents dans l'alimentation à cause des transformations industrielles. Plusieurs études ont montré que les acides gras trans augmentent le taux plasmatique en LDL-cholestérol et en lipoprotéine a, et par conséquent augmentent le risque cardiovasculaire. (48)

Les acides gras conjugués sont retrouvés dans les produits laitiers et dans certaines viandes car présents principalement dans le rumen.

Tableau 5 : Synthèse des apports conseillés en acides gras chez l'adulte

		AGS	AGMI	18:2 n-6	18:3 n-3	AGPI-LC	Dont DHA	Total
	% AET	8	20	4	0,8	0,2	0,05	33
<b>Homme adulte</b> <b>2200 kcal.j<sup>-1</sup></b>	g.j <sup>-1</sup>	19,5	49	10	2	0,5	0,12	91
<b>Femme adulte</b> <b>1800 kcal.j<sup>-1</sup></b>	g.j <sup>-1</sup>	16	40	8	1,6	0,4	0,1	66

(7)

On considère habituellement que la part des lipides consommée dans le mélange utilisé par les fibres musculaires atteint son niveau le plus important pour un niveau d'effort équivalent à 60 % de VO<sub>2</sub> max.

Les lipides constituent l'un des deux carburants prédominants qu'utilise le muscle lors de l'effort physique. Leur contribution dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice, de

l'alimentation et de la génétique. L'un des enjeux du sportif consiste à parvenir à utiliser au maximum les lipides afin de prolonger l'autonomie du glycogène musculaire.

Il existe deux sources de lipides dont les muscles peuvent se servir :

- Les acides gras libérés à partir des triglycérides du tissu adipeux puis captés à partir du sang
- Les triglycérides musculaires formés à partir des graisses alimentaires et des glucides par suite d'une élévation de l'insuline.

L'entraînement développe des processus physiologiques, en particulier enzymatiques, permettant d'utiliser davantage les lipides comme source énergétique. (49) (50) (51) (52) (53)

Finalement, il se développe une aptitude accrue à fabriquer des graisses de réserve ainsi qu'à les mobiliser et à les oxyder (54). L'enzyme principalement augmentée est la lipoprotéine lipase.

Des travaux faisant appel à la spectroscopie soulignent que la reconstitution des réserves de triglycérides musculaires mobilisés par un exercice s'avère plus difficile si l'apport lipidique est insuffisant.

Le choix de rations maigres pourrait, à terme, affecter le niveau de performance sur des efforts de longue durée.

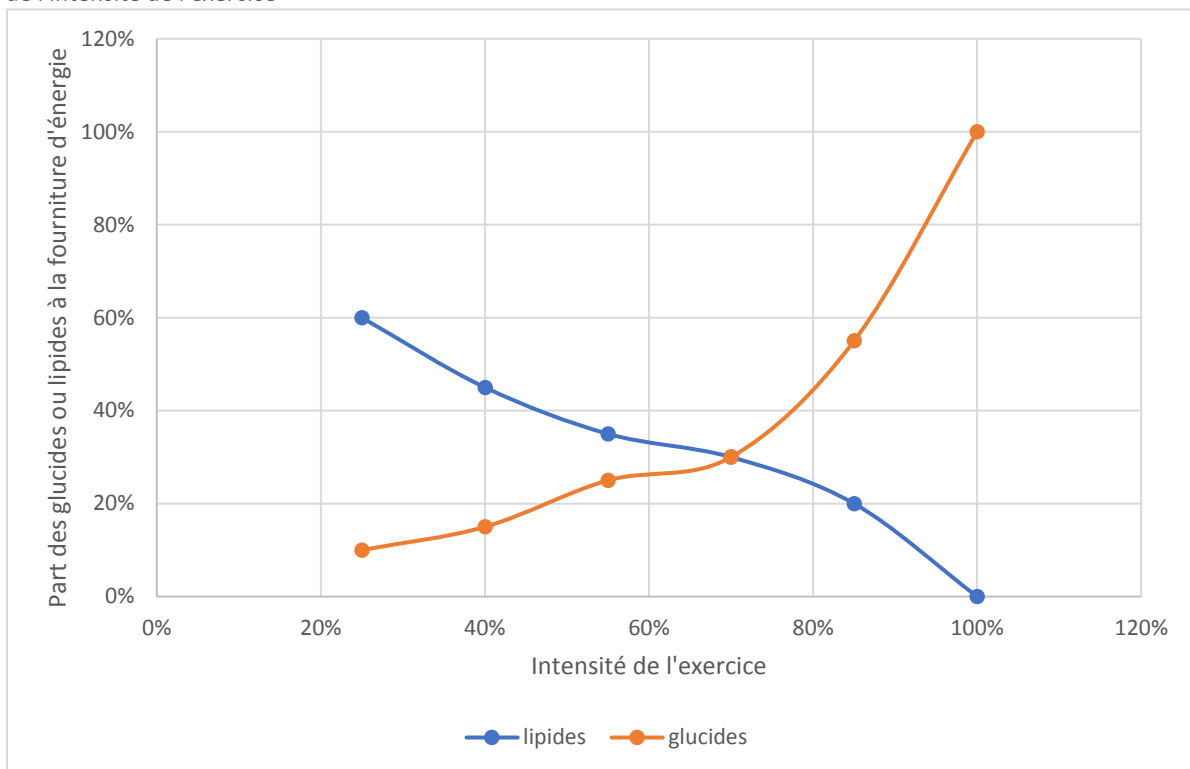
Inversement, la majoration des apports lipidiques durant au moins deux semaines avant une compétition de longue durée semble prolonger le « temps de soutien » sans fournir la possibilité de supporter une intensité d'exercice très élevée. (55)

Dans ce contexte les effets de la ration et des adaptations liées à l'entraînement s'ajoutent.

Pour des exercices d'intensité modérée à moyenne, les graisses contribuent davantage à la dépense d'énergie. Leur participation décroît au fur et à mesure que l'intensité relative de l'exercice s'élève.

Ces contributions ont amené certains auteurs à évoquer le concept de cross-over. (1)

Figure 4 : Augmentation relative de la participation des lipides ou des glucides à la fourniture d'énergie en fonction de l'intensité de l'exercice



(35)

Ces deux courbes représentent les contributions respectives des glucides et des lipides à la couverture des dépenses énergétiques supplémentaires occasionnées par l'activité. Le niveau d'intensité pour lequel les deux courbes se croisent n'est pas le même chez tout le monde. Il dépend du niveau d'entraînement et des adaptations qui s'en suivent.

Les apports quantitatifs lipidiques sont en moyenne de 30 % de l'apport énergétique total. (56)

Un moyen plus physiologique de rendre compte du niveau d'apport est de l'exprimer en  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ . Ainsi, cet apport lipidique moyen est de  $1,5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ , ce qui correspond à une valeur bien supérieure à celle trouvée dans la littérature habituellement. (57) (58) (59)

Cependant, malgré une alimentation très grasse (jusqu'à  $1,8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$ ), le statut biologique en acide gras est déséquilibré (oméga 3 et oméga 6).

Il est donc recommandé pour un sportif d'avoir un apport d'au moins  $1,2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$  de lipide selon un modèle crétois (beaucoup d'huile végétales variées). (60)

### 3. Protéines et acides aminés

Les acides aminés sont des molécules constituées d'un squelette hydrocarboné. En position  $\alpha$  se trouve une fonction carboxylique et une fonction amine. Il en existe un très grand nombre mais seulement vingt sous la forme d'isomère optique L sont utilisés pour la synthèse des protéines.

Les acides aminés ont de nombreuses fonctions mais les principales sont la synthèse des protéines et la production d'énergie.

Leur densité énergétique est comparable à celle des glucides, c'est-à-dire environ 17 kJ/g.

Les protéines sont des macromolécules composées de ces vingt acides aminés ayant une longueur variable. Leur masse varie de 5500 daltons à plusieurs millions de daltons. La chaîne est définie selon le code génétique, ce sont des liaisons peptidiques qui relient les acides aminés entre eux.

Si la chaîne renferme moins de 80 acides aminés elle porte le nom de peptide.

La structure d'une protéine peut comprendre 4 niveaux qui correspondent successivement à :

- La séquence des acides aminés au sein de la chaîne polypeptidique
- Sa configuration spatiale
  - o Enroulement sur elle-même
  - o Repliement sur elle-même grâce à des ponts ioniques
- A l'association de plusieurs chaînes polypeptidiques distinctes.

Les fonctions des protéines sont nombreuses et diverses, on compte parmi elles :

- Les protéines de structure
- Les protéines de reconnaissance et d'interaction avec d'autres molécules
- Les protéines enzymatiques
- Les protéines servant à la motricité
- Les protéines de transport
- Les protéines de l'immunité
- Les protéines hormonales
- Les protéines chaperonnes
- Les protéines de régulation de l'expression du génome
- Etc. (7)

La protéine de l'aliment n'entre pas les tissus telle quelle. Elle est au préalable digérée, c'est-à-dire qu'elle subit des scissions en acides aminés ou dipeptides pour ensuite être assimilée. Les

acides aminés issus de la dégradation des protéines corporelles sont indissociables des acides aminés issus de l'alimentation. L'organisme puise ensuite dans ces acides aminés pour élaborer ses propres protéines. (35)

Les besoins en protéines ont été déterminés, par le Comité de la FAO/OMS/UNU selon une moyenne obtenue à partir de plusieurs études, à  $0,6 \text{ g.kg}^{-1}\text{j}^{-1}$  avec un coefficient de variation de 12,5 % pour assurer l'équilibre du bilan azoté. Au niveau de l'apport énergétique total cela représente entre 8 et 10 % de cet apport.

Ce mode d'expression des apports protéiques conseillés n'est pas toujours adapté étant donné que les besoins protéiques sont fonction de la masse maigre et de l'activité physique de l'individu.

La quantification des besoins en acides aminés est plus complexe car elle doit prendre en compte les besoins journaliers mais également l'équilibre entre les apports des différents acides aminés indispensables et l'équilibre entre l'ensemble des acides aminés indispensables et l'apport protéique total.

Un apport en protéine moyen de  $0,6 \text{ g.kg}^{-1}\text{j}^{-1}$  permet de couvrir les besoins en acide aminés. (7)

Les acides aminés essentiels sont :

- Histidine
- Isoleucine
- Leucine
- Lysine
- Méthionine
- Phénylalanine
- Thréonine
- Tryptophane
- Valine

Ces acides aminés essentiels ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme, ils doivent être apportés par l'alimentation.

Les acides aminés non-essentiels utilisés par le corps humain peuvent être synthétisés par l'organisme. Ce sont les suivants :

- Acide aspartique
- Acide glutamine
- Alanine
- Arginine
- Asparagine



- Cystéine
- Glutamine
- Glycine
- Proline
- Sérine
- Tyrosine

L'alanine et la glutamine sont en proportions plus élevées au niveau des muscles. Cette abondance est due aux mécanismes de conversions enzymatiques entre acides aminés voisins. C'est une partie des mécanismes physiologiques complexes par lesquels la synthèse de glucose hépatique et la fourniture d'énergie à différents autres tissus vont pouvoir être maintenues durant l'effort. (61) (62) (63)

Les apports en protéines dans la population générale en France sont au-delà des apports conseillés sans qu'il y ait d'incompatibilité avec un bon état de santé. Les carences sont en revanche plus à craindre.

#### Les protéines d'origine animale

Elles sont très digestibles et ont des teneurs élevées en acides aminés indispensables. Elles sont donc efficaces pour satisfaire les besoins protéiques et sont adaptées aux situations nécessitant un apport protéique plus abondant (croissance, grossesse, exercice...). Ces protéines sont souvent accompagnées de matière grasse.

C'est aussi un apport important en divers nutriments comme le calcium, le fer et le zinc.

#### Les protéines d'origine végétale

C'est l'autre source majeur d'apport en protéines alimentaires. Elles proviennent essentiellement des céréales et des légumes secs.

Leur digestibilité est en général légèrement inférieure à celle des protéines d'origine animale mais leurs caractéristiques nutritionnelles sont plus diverses. Le traitement thermique et la source végétale modifient la digestibilité. La teneur en acides aminés essentiels est moins élevée et le profil plus éloigné de celui de l'Homme.

Ces sources végétales de protéines contiennent d'autres composés comme des fibres, des vitamines, des oligo-éléments et des facteurs protecteurs contre le stress oxydatif. Elles sont donc complémentaires des protéines d'origine animale (7).

Un apport protéique va permettre de :

- Synthétiser des nouvelles protéines corporelles
- Remplacer les protéines détruites
- Participer à des réactions où les acides aminés interviennent comme précurseurs

- Participer aux réactions énergétiques comme les glucides et les lipides
- Agir sur certains gènes afin d'augmenter la synthèse des protéines (35).

Les acides aminés n'ont pas comme fonction première d'assurer le rôle de carburant, mais c'est néanmoins une source annexe. Lors d'efforts prolongés les protéines pourraient servir, de façon non négligeable, à la dépense d'énergie. (64) (65) (66) (67)

La balance azotée est la différence entre les entrées (protéines des aliments) et les sorties (excrétions urinaires, fécales et sudorales) en dérivés azotés. Une balance azotée positive est nécessaire pour assurer un niveau de synthèse protéique adéquate.

Chez le sportif, les besoins liés à ce renouvellement sont accrus en raison du catabolisme des protéines touchant les éléments contractiles du muscle. (68) (69) (70)

Chez les sportifs, les besoins en protéines seront exprimés en g/kg de poids par jour.

Pour un sportif d'endurance ses besoins vont s'élever à 1,2 à 1,5 g.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. Ces valeurs comprennent à la fois la dépense d'énergie produite par les acides aminés et les besoins plastiques liés au remplacement des éléments moléculaires endommagés. (71) (65)

Pour un sportif de force, les besoins en protéines s'envisagent différemment. La pratique régulière entraîne une augmentation de la masse et des performances du muscle. La gestion protéique est directement liée à l'hypertrophie du tissu et donc principalement liée à une augmentation de la synthèse de protéines.(72)

Actuellement, les recommandations d'apport en protéines pour ces sportifs de force sont comprises entre 1,6 et 2 g.kg<sup>-1</sup>.j<sup>-1</sup>. (72) (73) (74) (75)

## 4. Vitamines

### a) Vitamines hydrosolubles

#### Vitamines B1 ou thiamine

C'est une base faible sensible à l'oxydation, elle peut exister sous forme de sel : chlorhydrate de thiamine.

Sa fonction alcool primaire est estérifiée au niveau du foie principalement pour former du pyrophosphate de thiamine, forme active de la vitamine B1.

Ce pyrophosphate de thiamine est le coenzyme de nombreux systèmes enzymatiques intervenant dans les réactions de transcétolisation et la décarboxylation oxydative du pyruvate et autres acides  $\alpha$ -cétoniques.

Son rôle dans le métabolisme des glucides et de l'alcool est essentiel. Il aurait également un rôle au niveau des neurotransmetteurs. (76)

Les carences en vitamines B1 sont peu fréquentes, on en trouve essentiellement dans les pays où la malnutrition et la dénutrition sévissent. Les malades alcooliques graves peuvent aussi être carencés en vitamine B1.

Au niveau clinique, une carence en vitamine B1 se traduit premièrement par une anorexie, ce qui aggrave la dénutrition. A ceci s'ajoute une perte de poids, une asthénie, une anomalie des muqueuses et une insuffisance cardiaque.

Ensuite apparaissent les signes neurologiques : polynévrite et parésie. Ils sont liés aux perturbations métaboliques des neurones. On retrouve également des troubles psychiques puis psychiatriques.

Certains aliments, contenant des thiaminases, vont diminuer la biodisponibilité de la vitamine B1 : c'est le cas des crucifères, du thé, des crustacés et des bactéries véhiculées par certains poissons consommés crus.

Les besoins en thiamine sont également dépendant de l'apport glucidique du fait de son rôle dans son métabolisme.

Ainsi, chez un sportif ayant un apport glucidique plus élevé il faudra apporter davantage de la vitamine B1. Si les apports sont réalisés sous forme de glucides complexes, la quantité en vitamine B1 est généralement suffisante car elle est naturellement présente dans les aliments riches en glucides complexes. (7)

Les besoins en vitamine B1 sont donc liés à l'apport énergétique : un apport satisfaisant a été fixé à  $0,14 \text{ mg.MJ}^{-1}.\text{j}^{-1}$  soit environ : 1,5 mg par jour pour un homme adulte et pour une femme 1,2 mg par jour. (77)

### [Vitamine B2 ou riboflavine](#)

La vitamine B2 intervient sous forme de deux co-enzymes : flavine mononucléotide et flavine adénine dinucléotide. Elles interviennent dans des flavoprotéines (NADPH cytochrome P450 réductase, NADPH méthéoglobine réductase, acyl-CoA deshydrogénase, glutathion réductase, amines oxydases, xanthine oxydase) catalysant le transfert d'électrons dans la chaîne respiratoire principalement ou dans des réactions de déshydrogénations.

Cette vitamine a donc un rôle :

- Dans le catabolisme des acides gras, certains acides aminés et certaines bases puriques
- Dans la transformation du succinate en fumarate dans le cycle de Krebs, dans la chaîne respiratoire.

Les carences en vitamine B2 ne s'observent qu'en cas d'apport très faible. De plus les signes cliniques sont frustrés et aspécifiques (signes cutané-muqueux et oculaires, anémie normochrome normocytaire, neuropathie périphérique).

La principale source alimentaire en vitamine B2 est représentée par les produits laitiers (35 % des apports en proviennent) car sa consommation est quotidienne. On en retrouve en concentration plus importantes dans le foie de veau et de porc (> 1 mg par 100 g) mais c'est un aliment consommé de façon bien moins fréquente.

Les autres sources en vitamines B2 seront la viande, le poisson et les œufs représentant également 35 % des apports, les fruits et les légumes avec 17 % des apports, puis le pain, les pommes de terre et les céréales pour 9 % des apports. (7)

L'apport en riboflavine est lui aussi dépendant des apports énergétiques. Un apport satisfaisant égale à  $0,17 \text{ mg} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$  a été retenu. Il correspond à 1,8 mg par jour pour un homme et 1,5 mg pour une femme. (77)

Une alimentation équilibrée permettra de couvrir correctement les besoins en riboflavine.

### Vitamine B3 ou niacine

La niacine n'est pas une vitamine au sens strict, il n'y a pas de besoin absolu d'un apport alimentaire. Il existe une synthèse endogène à partir du tryptophane. L'acide nicotinique et le nicotinamide sont des substances apparentées possédant l'activité biologique de la niacine.

Le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) et le nicotinamide adénine dinucléotide phosphate (NADP) sont deux co-enzymes intégrant le nicotinamide. On le retrouve donc en quantité importante dans les produits carnés sous cette forme.

Une carence en niacine entraîne la pellagre responsable de dermatite, diarrhées et dans les cas les plus graves de démence. (7)

Les apports nutritionnels journaliers conseillés sont de 14,4 mg pour les hommes et 11,4 mg pour les femmes. (77)

## Vitamine B5 ou acide pantothénique

C'est un des constituants du coenzyme A, c'est un élément structural nécessaire à son fonctionnement.

La carence est exceptionnelle car c'est une vitamine présente dans la plupart des aliments. Le syndrome des « pieds brûlants » avait été observé chez les prisonniers durant la seconde guerre mondiale, les symptômes n'étaient améliorés que par l'administration d'acide pantothénique. Autrement, on observe des désordres neuromoteurs, une asthénie, une exagération des réflexes tendineux, une faiblesse musculaire, des douleurs gastro-intestinales, des anomalies du métabolisme lipidique, et enfin, les fameuses douleurs et sensations de brûlures aux extrémités. (78)

L'apport satisfaisant a été fixé à 5,8 mg par jour pour un homme adulte et 4,7 pour une femme. (77)

## Vitamine B6

La vitamine B6 regroupe :

- Le pyridoxal (PL)
- La pyridoxine (PN)
- La pyridoxamine (PM)
- Le pyridoxal 5'-phosphate (PLP)
- La pyridoxine 5'-phosphate (PNP)
- La pyridoxamine 5'-phosphate (PMP)

Les formes phosphorylées et non phosphorylées sont inter-convertibles. On retrouve dans les produits animaux principalement la forme PLP et PMP et dans les produits végétaux la forme PN.

À la suite de réactions que subissent ces différentes formes, majoritairement au niveau du foie, c'est la PLP qui sera le coenzyme d'une centaine d'enzymes utiles au métabolisme des acides aminés.

C'est également le cofacteur de la  $\delta$ -aminolévulinate synthétase qui catalyse la première étape de la synthèse de l'hème, de deux enzymes régulant la trans-sulfuration de l'homocystéine et cystéine, et de deux enzymes participant à la synthèse de niacine à partir du tryptophane.

Des carences peuvent s'observer mais les signes sont aspécifiques.

Les besoins en vitamine B6 varient en fonction de l'apport en protéine au vu de ses fonctions de coenzyme dans le métabolisme des acides aminés. (7)

Un apport journalier satisfaisant en vitamine B6 pour un homme est de 1,8 mg et pour une femme de 1,5 mg. (77)

Des effets toxiques comme des désordres neurologiques ou encore des perturbations mnésiques apparaissent lors d'une surcharge importante et prolongée. Une limite a donc été fixé à 5 mg/j au-dessus de la consommation habituelle.

#### Vitamine B8 ou biotine

Elle est largement répandue dans la nature mais sa concentration est variable d'un aliment à l'autre et donc mal connue. Elle est de l'ordre de 1 µg pour 100 g dans les fruits et la viande.

La biotine joue un rôle de coenzyme de quatre carboxylases dans le métabolisme intermédiaire.

La carence est rare mais peut être observée en cas de nutrition uniquement parentérale sans apport vitaminique ou dans les cas de chélation par l'avidine lors de consommation excessive d'œufs crus. (79)

L'apport nutritionnel conseillé par jour pour les hommes comme pour les femmes est fixé à 50 µg. (7)

#### Vitamine B9 ou acide folique

Elle participe au métabolisme des acides aminés et des acides nucléiques par sa fonction de donneur d'unités monocarbonées.

Les folates sont en grande partie apportés par les légumes verts et les fruits, on en retrouve également dans les fromages, les œufs, le foie et les graines.

Des aliments peu riches en folates comme le pain, les pommes ou encore les pommes de terre peuvent être intéressants car ils sont consommés régulièrement.

En raison de son rôle dans la synthèse de l'ADN et de l'ARN, sa carence va provoquer un ralentissement des mitoses dans les systèmes à multiplication rapide. On observera des troubles de la lignée rouge, de l'immunité et de l'absorption intestinale. (7)

Les besoins nutritionnels moyens s'élèvent entre 330 et 440 µg par jour. (80)

Une augmentation des apports est recommandée chez les personnes ayant une forte consommation de viande.

### Vitamine B12 ou cobalamine

Il existe plusieurs vitamères :

- Hydroxycobalamine
- Cyanocobalamine
- Méthylcobalamine
- 5-déoxyadénosyl-cobalamine

La méthylcobalamine et la 5-déoxyadénosyl-cobalamine sont impliquées dans des réactions de transfert. La méthylcobalamine est un donneur de groupement méthyle, elle permet la synthèse de méthionine à partir d'homocystéine. La 5-déoxyadénosyl-cobalamine est impliquée dans le métabolisme du propionate dans la mitochondrie.

La vitamine B12 est exclusivement synthétisée par des bactéries et est présente dans les aliments d'origine animale, liée à des protéines. Les sources végétales alimentaires sont naturellement dépourvues de vitamine B12 biodisponible. Certains produits végétaux ayant subi une fermentation bactérienne, tels que la bière, peuvent contenir de la cobalamine, mais en quantité très faible.

Un apport satisfaisant doit atteindre 4 µg par jour. (77)

Il n'existe pas de dose limite supérieure de sécurité, seules des formes injectables pourraient présenter un risque.

### Vitamine C ou acide ascorbique

Elle intervient dans les réactions d'hydroxylation et dans les réactions d'oxydoréduction. Elle piège également les radicaux libres lors de réactions radicalaires ou au contraire, elle peut produire des radicaux hydroxyles en présence de fer dans les réactions inflammatoires.

La vitamine C est un activateur puissant de l'absorption intestinale du fer non hémérique.

La carence en vitamine C totale et durable sur plusieurs mois est responsable du scorbut et entraîne la mort.

Les principales sources alimentaires sont les fruits et les légumes.

Les besoins nutritionnels moyens s'élèvent à 90 mg par jour aussi bien pour les hommes que pour les femmes. (77)

### *b) Vitamines liposolubles*

#### Vitamine A et caroténoïdes provitaminiques

Elle existe sous forme de rétinol et de ses esters dans les produits animaux et sous forme de caroténoïdes provitaminiques dans les végétaux.

On appelle vitamine A l'ensemble des composés naturels présentant une activité biologique qualitativement comparable à celle du rétinol.

Le rétinaldéhyde est impliqué dans la chimie de la phototransduction, la vitamine A a donc un rôle dans la vision.

Elle est également indispensable au niveau de la régulation du génome. C'est sous la forme d'acide tout-*trans* rétinoïque ou de son isomère 9-*cis* qu'elle va se fixer sur des récepteurs nucléaires permettant d'activer ou d'inhiber l'expression de certains gènes.

Elle intervient dans la différenciation cellulaire et dans l'embryogénèse, la croissance et le renouvellement cellulaire.

Les carences en vitamine A se traduisent premièrement par des atteintes oculaires, puis par la baisse du système immunitaire. (81) Les foies animaux et les huiles de foie de poissons sont des aliments riches en vitamine A. Ce sont cependant des produits peu consommés, on en trouvera



en quantité moindre mais consommée de façon plus régulière dans les produits laitiers gras et le beurre. Les végétaux peuvent également en contenir comme les carottes et les abricots.

Les besoins nutritionnels moyens sont estimés à 570 µg d'équivalent à l'activité rétinoïque par jour pour les hommes et seulement 490 µg pour les femmes. (77)

Les hypervitaminoses aiguës se traduisent par une augmentation de la pression intracrânienne, des nausées et vomissements et des douleurs osseuses. Une limite de sécurité a donc été fixé à 1000 équivalents rétinoïques par jour au-delà des apports conseillés.

### Vitamine D ou cholécalciférol

Dans les végétaux on la trouve sous la forme de vitamine D2 ou ergocalciférol et sous la forme de vitamine D3 ou cholécalciférol dans les produits d'origine animale. C'est la 1,25-dihydroxycholécalciférol qui est la forme active de la vitamine D dans le corps humain.

- Elle assure la minéralisation des tissus pendant et après la croissance, et avec la parathormone maintient l'homéostasie calcique.
- Elle permet l'absorption optimale du calcium et du phosphore au niveau intestinal.
- Elle a une action sur la réabsorption du calcium et du phosphate au niveau rénal.
- Elle a une action sur la différenciation des myocytes.
- Elle participe au transport de phosphate dans le muscle.
- Elle inhibe la synthèse et la sécrétion de l'hormone parathyroïdienne.
- Elle stimule la fusion et la différenciation des ostéoclastes.
- Elle contrôle la différenciation et certaines activités des ostéoblastes, des chondrocytes, des odontoblastes et des améloblastes.
- Elle est également impliquée dans certaines sécrétions hormonales.
- Elle a un effet immunomodulateur.
- Elle joue un rôle au niveau de l'épiderme.

(82) (83)

Il existe une synthèse endogène de vitamine D au niveau des cellules des couches profondes de l'épiderme. (84) (85) (86) (87)

Cette synthèse se fait grâce aux rayonnements ultraviolets ayant une longueur d'onde comprise entre 290 et 315 nm. (88)

L'apport exogène se fait grâce à l'alimentation : poissons de mer gras, saumon, hareng, sardines, truites arc-en-ciel, anchois en sont riche. Certaines viandes, les abats, les œufs et les champignons en contiennent également mais en quantité moindre.

Les besoins nutritionnels moyens quotidiens retenus sont de 10 µg. (77)

### Vitamine E

Il existe 8 composés vitaminiques E dans les végétaux.

La vitamine E a pour principale fonction de piéger et empêcher la propagation des radicaux libres peroxydes formés par l'action de l'oxygène sur les acides gras polyinsaturés. Elle agit principalement au niveau des membranes biologiques.

Elle a également un rôle important dans la cascade de l'acide arachidonique et inhibe la formation de prostaglandines et de thromboxanes.

Elle a aussi des effets cellulaires non liés directement à ses propriétés antioxydantes comme la production de substances vasodilatatrices, l'inhibition de la prolifération des cellules musculaires lisses vasculaires, l'adhésion des monocytes et la diminution de la flambée respiratoire des phagocytes.

Les carences en vitamine E sont rares chez l'adulte, ce sont le plus souvent des troubles sévères et prolongés de l'absorption et du métabolisme des lipides qui provoque cette carence.

Les huiles végétales et leurs dérivés sont des aliments très riches en vitamine E et sont la principale source alimentaire. Les fruits et les légumes sont la deuxième source malgré leur faible teneur, les produits animaux la troisième. (7)

Une alimentation équilibrée apporte entre 15 et 18 mg de vitamine E sachant qu'un apport satisfaisant a été fixé à 9,9 mg par jour pour les femmes et 10,5 mg par jour pour les hommes. (77)

### Vitamine K

Les deux formes les plus importantes sont la vitamine K1 (phylloquinone) d'origine végétale et la vitamine K2 (ménaquinone) d'origine bactérienne.

Elle regroupe l'ensemble des cofacteurs nécessaires à l'activation de protéines dont les plus connus ont un rôle important dans la coagulation sanguine. (89)

C'est un cofacteur indispensable à la carboxylation enzymatique de résidus d'acides glutamiques en acide  $\gamma$ -carboxyglutamique au sein de la chaîne des protéines vitamines K-dépendantes.

La vitamine K permet également de faciliter l'activation de l'ostéocalcine permettant la fixation des ions  $Ca^{2+}$  sur celle-ci, ce qui lui confère une forte affinité pour l'hydroxyapatite. (90)

Les carences d'apport sont rares car les besoins quotidiens sont faibles. Ils sont estimés à 45  $\mu g$  par jour. Un repas normal et équilibré peut apporter entre 300 et 400  $\mu g$  de vitamine K. (7)

Tableau 6 : Sources alimentaires en vitamine K en  $\mu g$  de phylloquinone pour 100 g d'aliment

100 – 1000	10 - 100	1 - 10	0,1 - 1
Brocoli	Haricot vert	Pomme	Avocat
Chou	Concombre	Aubergine	Maïs
Laitue	Poireau	Bœuf	Poisson
Cresson	Pois	Huile de maïs	Ananas
Epinard	Huile d'olive	Huile de tournesol	Orange
Huile de colza		Foie (mouton ou bœuf)	Yaourt
Huile de soja		Prune	Banane

(7)

## 5. Minéraux et oligo-éléments

Il existe deux catégories de minéraux indispensables :

- Les éléments minéraux majeurs, macroéléments :
  - o Electrolytes : sodium, potassium, chlore
  - o Calcium, phosphore, magnésium
- Les oligoéléments, éléments en trace : fer, zinc, cuivre, manganèse, iode, sélénium, chrome, molybdène, fluor, cobalt, silicium, vanadium, nickel, bore, arsenic.

Certains sont toxiques à dose relativement faible, et d'autres ont un intérêt limité à être apporté dans l'alimentation. Nous n'aborderons pas le cas du fluor, cobalt, vanadium, nickel, bore et arsenic car ils présentent peut d'intérêt dans ce sujet.

#### a) Sodium

Le sodium est la plupart du temps associé au chlore. Il est nécessaire à la transmission des influx au niveau des tissus nerveux et musculaire. Il est aussi en partie responsable de l'équilibre hydro-électrolytique dans les liquides extracellulaires. (91)

La concentration extracellulaire en sodium est comprise entre 135 et 145 mmol.L<sup>-1</sup> contre 15 mmol.L<sup>-1</sup> dans le compartiment cellulaire.

Une carence en sodium, sévère et prolongée, peut conduire à une altération des fonctions du système nerveux, déshydratation, faiblesse musculaire, hypotension, inappétence. (92) (93)

Le sodium est absorbé au niveau du tube digestif, intestin grêle principalement, et éliminé par voie rénale. Une fois dans l'organisme il y a une diffusion rapide et des échanges avec le sodium intracellulaire.

La quasi-totalité du sodium ingéré sera absorbé car la quantité de sodium retrouvé dans les selles est négligeable. Il sera ensuite éliminé en majorité dans les urines en quantité presque équivalente à la quantité ingérée.

Il faut aussi prendre en compte la sueur comme voie d'élimination. Si la sudation augmente, par exemple lors de l'exercice physique ou par fortes chaleurs, la perte de sodium par cette voie sera augmentée et sera diminuée par voie rénale pour compenser.

Il est recommandé d'apporter au minimum 1 à 2 g de chlorure de sodium sans excéder 6 à 8 g par jour. (7)

Chez le sportif les apports en sel doivent être augmentés par les boissons afin de compenser les pertes sudorales importantes. La concentration en sodium doit être d'environ 1,2 g.L<sup>-1</sup> pour que la réhydratation et l'apport en sodium soient efficaces et acceptés. Un apport avec une concentration trop importante pourrait entraîner un désordre gastrique et intestinal, et aggraver une déshydratation.

## b) Chlore

Le chlore n'existe pas seul dans la nature, il est sous forme de sel, on parle d'ion chlorure. A l'état physiologique il est associé au sodium. On le retrouve à une concentration de  $105 \text{ mmol.L}^{-1}$  au niveau extracellulaire et entre 5 et  $15 \text{ mmol.L}^{-1}$  en intracellulaire.

Il est important dans la régulation des pressions osmotiques des deux compartiments.

Il est apporté par l'alimentation sous forme de chlorure de sodium principalement, absorbé au niveau du tube digestif et éliminé dans les urines.

Les carences en ions chlorure s'observent lors de vomissements prolongés. Ils vont provoquer une alcalose par la perte massive d'acide chlorhydrique. On observera des crampes musculaires et une apathie.

Etant associé au sodium, les apports conseillés sont donc les mêmes que cités précédemment pour le chlorure de sodium, 1 à 2 g au minimum et jusqu'à 6 à 8 g par jour.

Il en va de même pour les apports chez le sportif. (7)

## c) Potassium

Le potassium est essentiellement intracellulaire avec une concentration de l'ordre de  $140 \text{ mmol.L}^{-1}$  dans le cytoplasme contre une valeur comprise entre 3,5 et  $5,5 \text{ mmol.L}^{-1}$  dans le plasma.

Il est impliqué dans le bon fonctionnement des enzymes intracellulaires, dans le maintien du volume du cytoplasme et dans le métabolisme cellulaire. Il est impliqué lui aussi dans la transmission de l'influx en permettant le maintien du potentiel de repos membranaire.

Les carences en potassium peuvent avoir des conséquences graves comme une faiblesse musculaire pouvant aller jusqu'à la paralysie, une apathie, ou encore une arythmie cardiaque, du fait de son importance au niveau des cellules neuro-musculaires.

Tout comme le sodium, le potassium apporté par l'alimentation est entièrement assimilé par le tube digestif. Il y a ensuite un échange entre les compartiments extra et intracellulaires. Il est éliminé majoritairement par voie urinaire. Les voies digestive et cutanée sont minimales même en cas d'hypersudation pour la voie cutanée.

Les besoins minimums en potassium sont estimés entre 390 et 585 mg.j<sup>-1</sup>. Un adulte jeune et en bonne santé peut faire face à de très grandes variations des apports en potassium sans la moindre conséquence clinique. Dans notre société occidentale les apports se situent entre 2340 et 5850 mg.j<sup>-1</sup>. (7)

Le potassium se retrouve naturellement dans les aliments à des teneurs variables.

Tableau 7 : Apports alimentaires en potassium

200 g d'épinards cuits	200-800 mg
½ avocat (100 g)	600 mg
4 à 5 pruneaux (45 à 60 g)	500 mg
200 g de pomme de terre cuites	500 mg
5 tranches de pain complet (100 g)	300-400 mg
1 banane (100 g)	300-400 mg
150 à 200 g de raisin	300-400 mg
200 g de légumes secs cuits	300-400 mg
1 tranche de jambon fumé (80 g)	300-400 mg
1 kiwi	200-300 mg
1 part de melon	200-300 mg
3 abricots (100 g)	200-300 mg
2 cuillères à café de cacao, chicorée ou café soluble	100-200 mg
½ litre de lait	800 mg

(94)

Chez le sportif il ne sera pas forcément nécessaire d'apporter systématiquement du potassium en supplément dans la boisson de réhydratation.

#### d) Calcium

C'est un métal alcalinoterreux chimiquement apparenté au magnésium.

Le corps humain contient 1000 à 1200 g de calcium, dont 99 % dans les os sous forme d'hydroxyapatite cristallisée et de phosphate calcique assurant la rigidité du squelette et des dents. L'os est en perpétuel renouvellement, il assure une fonction de réserve.

Le pourcentage restant de calcium présent dans l'organisme intervient dans l'excitabilité neuronale, la conduction nerveuse, la contraction musculaire, la coagulation sanguine, la perméabilité membranaire, la libération d'hormones, l'activation d'enzymes...

Les taux de calcium sanguin sont compris entre 2,2 et 2,6 mmol.L<sup>-1</sup>. La constance de la calcémie est assurée au dépens de la réserve osseuse.

Les carences à moyen et long terme en calcium sont donc des troubles osseux avec une minéralisation insuffisante.

L'absorption du calcium se fait par transport actif transcellulaire (hormono-dépendant) au niveau du duodénum et par diffusion passive (suivant le gradient de concentration) dans l'iléon.

Pour être absorbé, le calcium doit être soluble dans le milieu gastrique acide.

Pour un adulte les besoins en calcium correspondent à l'entretien de la minéralisation du squelette. Il faut pour cela un minimum de 260 mg de calcium assimilé par jour ce qui correspond à l'ingestion de 690 mg de calcium, le calcium n'étant pas totalement absorbé contrairement au sodium ou au potassium.

Les besoins nutritionnels moyens en calcium sont de 750 mg par jour. (77)

Il ne faudra pas dépasser la limite de 2000 mg de calcium par jour, car l'excès pourrait inhiber l'absorption intestinale d'autres minéraux comme le magnésium, le zinc ou le fer.

Plus de 2/3 du calcium provient des produits laitiers. Un régime sans produits laitiers n'apportera pas plus de 400 à 500 mg de calcium, ce qui est insuffisant. (7)

#### e) Phosphore

Le phosphore n'existe pas à l'état élémentaire dans l'organisme, il est sous forme de phosphate de calcium, de potassium, de sodium ou sous forme de composés organiques divers. Le corps

est environ composé de 700 g de phosphore à l'âge adulte, dont 85 % associé au calcium dans le squelette et les dents.

La carence grave en phosphore se traduit par une hypophosphatémie associée à des troubles cellulaires, une anorexie, une faiblesse musculaire, des troubles osseux...

La phosphorémie normale est comprise entre 1,0 et 1,2 mmol.L<sup>-1</sup>.

Comme le calcium, l'absorption intestinale du phosphore est incomplète par rapport aux ingestas (50 à 80 %). Les pertes sont principalement urinaires. Les pertes fécales correspondent aux cellules intestinales desquamées et aux sécrétions digestives. Il existe aussi une perte sudorale. (7)

Pour un adulte, il faut apporter par jour un minimum de 360 mg de phosphore soit un ingesta minimum d'environ 550 mg.

L'apport satisfaisant en phosphore s'élève à 700 mg par jour. (77)

La dose à ne pas dépasser est de 5000 mg par jour environ.

#### f) Magnésium

Le magnésium est le cofacteur de plus de 300 systèmes enzymatiques (formation de substrats et activation enzymatique). Il est aussi impliqué dans les phosphorylations oxydatives, la glycolyse, la transcription de l'ADN et la synthèse de protéines. Il permet aussi les courants ioniques et la stabilité membranaire. Le corps humain adulte en contient environ 25 g dont 50 à 60 % dans les os.

La concentration plasmatique en magnésium est comprise entre 0,8 et 0,9 mmol.L<sup>-1</sup>.

Les carences importantes en magnésium peuvent provoquer des troubles cardiovasculaires, neuromusculaires, rénaux, osseux, immunitaires, des problèmes gravidiques maternels et fœtaux et des dommages radicalaires.

Son absorption s'effectue tout au long du tube digestif, de façon plus importante au niveau distal du duodénum et dans l'iléon. Seulement 30 à 50 % du magnésium ingéré est assimilé. Son absorption se fait majoritairement par voie passive.



Pour un homme, un apport de 420 mg de magnésium par jour sera satisfaisant contre 360 mg pour une femme. (77)

Les céréales et les produits végétaux ont une densité en magnésium plus importante que les autres produits. Plus le produit est raffiné moins sa concentration en magnésium est élevée.

Une activité physique intense peut justifier un apport en magnésium supérieur aux recommandations.

### g) Fer

Dans l'organisme il existe sous deux formes :

- Le fer héminique à 70 % : intervient dans la constitution de l'hémoglobine, de la myoglobine, et des enzymes hémoprotéiques
- Le fer non héminique à 30 % : est présent dans certaines enzymes correspondant à la forme de transport (transferrine) ou à la forme de réserve (ferritine). (95)

Le corps humain en contient environ 4 g pour un homme et 2,5 g pour une femme.

Les carences en fer sont responsables d'anémie, de réduction de la capacité physique à l'effort, de diminution des performances intellectuelles, d'une résistance moins importante aux infections, d'anomalies de la thermogénèse...

L'absorption du fer se fait dans la partie haute de l'intestin grêle, une faible quantité est absorbée par rapport à la quantité de fer ingérée.

Le métabolisme du fer s'effectue pour beaucoup en circuit fermé car le fer des globules rouges détruits est réutilisé. La quantité de fer éliminée par jour est d'environ 1 à 2 mg.

Les aliments les plus riches en fer sont les abas, les légumes secs, les viandes, mais c'est la qualité du fer qui va déterminer sa biodisponibilité.

Le fer héminique, présent dans les produits carnés, est le plus biodisponible (25 %).

Le fer non héminique est retrouvé dans les céréales, les légumes secs, les fruits et légumes, les produits laitiers. Sa biodisponibilité est inférieure à 10 %.

Le thé, le café, le jaune d'œuf et le son diminuent l'absorption du fer. En revanche, elle est augmentée par différents acides organiques, notamment par l'acide ascorbique (vitamine C).

Les besoins nutritionnels moyens en fer sont de  $6 \text{ mg.j}^{-1}$  pour un homme et de  $7 \text{ mg.j}^{-1}$  pour une femme. (77)

La dose journalière à ne pas dépasser est de 28 mg. Au-delà, surtout en présence de vitamine C, l'excès de fer entraîne une augmentation du stress oxydatif et la propagation de radicaux libres.

#### h) Zinc

Il participe au bon fonctionnement de plus de 200 enzymes. (96)

Il active les ADN et ARN polymérase, aide à la régulation des histones et permet le déclenchement de la lecture du génome. Il est impliqué dans le métabolisme des acides gras polyinsaturés, dans la synthèse des prostaglandines et stabilise la structure de certaines hormones peptidiques. Il est anti-oxydant. (97)

Le déficit en zinc entraîne trouble de l'immunité, oligospermie, lésions cutanées, chute de cheveux, retard de cicatrisation, diarrhées et troubles de la vision, du goût et de l'odorat pouvant aller jusqu'à l'anorexie.

Son absorption est fonction de l'état des entérocytes et de l'état physiologique de la personne. Elle se passe au niveau intestinal. Son élimination est urinaire et cutanée.

Le raffinage et la conservation entraînent une diminution de la concentration en zinc mais augmentent sa biodisponibilité.

Les huîtres et la viande de bœuf sont de bonnes sources de zinc. On en trouve également dans les œufs, les céréales et les produits laitiers.

Les besoins nutritionnels moyens en zinc sont compris entre  $6,2$  et  $8,9 \text{ mg.j}^{-1}$  pour la femme et entre  $7,5$  et  $11 \text{ mg.j}^{-1}$  pour l'homme à condition d'avoir une alimentation variée. (77)

Dans le cas d'une alimentation à base de produits d'origine animale ces valeurs seront diminuées, et dans le cas contraire si l'alimentation est très riche en végétaux elles seront augmentées. (98)

Au-delà de  $50 \text{ mg.j}^{-1}$  le zinc entraîne un risque accru de pathologies oxydatives.

### i) Cuivre

Le corps adulte en contient environ 100 mg. Il entre dans la composition de métalloenzymes, fait partie de la composition des cartilages et de l'os. Il intervient dans la régulation des neurotransmetteurs, de l'immunité et du métabolisme du fer. Il joue également un rôle dans le métabolisme oxydatif du glucose. Il permet l'élimination des radicaux libres, mais sous forme libre il peut en générer. (99) (100)

Les carences en cuivre sont rares, elles sont accompagnées d'anémie ferriprive et d'ostéoporose. (101)

Son absorption est intestinale et représente environ 30 % du cuivre ingéré. Elle est régulée en fonction des besoins. Son élimination se fait majoritairement par les excrétions biliaires (plus de 90 %). Le reste est éliminé par voie urinaire, sudorale et capillaire.

Les aliments riches en cuivre sont les féculents, les légumes secs, le foie et ses dérivés. (102)

Le besoin nutritionnel moyen en cuivre pour un homme est de  $1 \text{ mg.j}^{-1}$  et pour une femme de  $0,8 \text{ mg.j}^{-1}$ . (77)

Avec une consommation de cuivre supérieure à  $35 \text{ mg.j}^{-1}$  il y a un effet délétère provoquant hépatite et ictère hémolytique grave.

### j) Iode

La seule fonction biologique de l'iode dans l'organisme se trouve au niveau thyroïdien. Il fait partie de la structure des hormones thyroïdiennes.

Une carence en iode provoque diverses anomalies fonctionnelles comme une hypertrophie glandulaire (goitre). Lorsqu'il y a une grossesse associée à une insuffisance en hormones thyroïdiennes, l'enfant aura un retard mental.

L'absorption de l'iode est gastroduodénale. On aura de très faibles pertes fécales quant à l'assimilation de l'iode inorganique. Les composés iodés organiques pourront être assimilés tels quels mais avec une moins bonne biodisponibilité.

On en trouve principalement dans les aliments marins. On en trouve aussi dans le sel de table où sont ajoutés des sels d'iodure de potassium.

Les apports nutritionnels conseillés pour un adulte sont de  $150 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ . (77)

### k) Sélénium

C'est un métalloïde dont les propriétés sont proches de celles du soufre, il peut donc se substituer à celui-ci dans certains acides aminés soufrés. On le retrouve dans le glutathion peroxydase, les désiodases de type I et II, la sélénoprotéine P et la thiorédoxine réductase. Il participe aussi à la détoxification des xénobiotiques et de certains métaux lourds. Il a un rôle essentiel de modulateur de la réponse inflammatoire et immunitaire. (7)

Les carences en sélénium entraînent une baisse de la concentration sanguine en sélénium, une baisse de la glutathion peroxydase érythrocytaire ou plaquettaire, une incapacité à métaboliser les peroxydes, une macrocytose, une hémolyse, des modifications d'activités enzymatiques...

Ceci se traduit par une dystrophie des muscles squelettiques, la dépigmentation des phanères, une moins bonne résistance aux infections, une anémie ou encore de l'arythmie cardiaque.

Le sélénium est absorbé par diffusion simple et elle n'est pas totale (50 à 95 %). Son élimination se fait sous forme méthylée principalement par les reins.

Les aliments protéiques sont les plus riches en sélénium mais leur assimilation varie en fonction des produits. On en trouve beaucoup dans les poissons, les œufs, la viande, le fromage, les céréales et la levure de bière. Le raffinage entraîne une perte de sélénium.

Un apport satisfaisant a été fixé à  $70 \mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$ .

$5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$  est la valeur maximale définie n'induisant aucun effet délétère toute une vie durant. (77)

### l) Chrome

Le chrome est essentiel au métabolisme lipidique et glucidique. (103)

Il a un effet potentialisateur de l'insuline en augmentant le nombre de récepteurs à l'insuline, en modifiant la liaison inuline-récepteur, et en augmentant l'internalisation de l'insuline. (104)

Le déficit en chrome entraîne une modification du métabolisme du cholestérol en diminuant le HDL-cholestérol et en provoquant une hypertriglycéridémie. Il est aussi impliqué dans le métabolisme des acides nucléiques et l'expression des gènes. On retrouve aussi une diminution de la tolérance au glucose avec une augmentation de l'insuline circulante, une augmentation de la glycémie à jeun, une glycosurie et une hypoglycémie réactive.

L'absorption du chrome est modulée par les besoins et par la quantité de chrome ingérée. L'élimination se fait principalement par voie urinaire, et reflète l'apport nutritionnel.

Les aliments riches en chrome sont les levures, le foie, le jaune d'œuf et les épices. Comme le sélénium, le raffinage diminue la quantité de chrome dans les aliments.

Il est conseillé d'apporter entre 50 et 70  $\mu\text{g}\cdot\text{j}^{-1}$  de chrome. Ces valeurs sont difficiles à atteindre avec une alimentation normo-calorique française. (7)

L'entraînement régulier peut s'accompagner d'une majoration de la perte de chrome, principalement dû à une augmentation de l'élimination urinaire. Le recours à une supplémentation peut alors être intéressant chez le sportif. (105)

### *m) Manganèse*

Il est impliqué dans le métabolisme glucidique et lipidique, dans la détoxification des radicaux libres de l'oxygène et peut remplacer le magnésium dans plusieurs enzymes.

Le corps en contient entre 12 et 20 mg, près d'un tiers est renouvelé tous les jours.

Les carences en manganèse entraînent une diminution de la cholestérolémie et des troubles osseux. (106)

Son absorption intestinale est faible, et sera réduite par le fer, le calcium, les phosphates, les phénols et les fibres. C'est le manganèse de l'eau qui aura la plus forte biodisponibilité.

Les aliments d'origine végétale sont riches en manganèse. On le trouve en quantité importante dans le thé. (7)

Les apports satisfaisants sont estimés à 2,8  $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$  pour un homme et 2,5  $\text{mg}\cdot\text{j}^{-1}$  pour une femme. (77)

Les eaux riches en manganèse ( $2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) peuvent avoir des effets délétères sur le système nerveux centrale. La limite maximale est fixée entre 4,2 et  $10 \text{ mg.j}^{-1}$ . (107)

#### n) Molybdène

Il intervient dans le métabolisme des acides aminés soufrés et des purines. (96) (108)

Son absorption est excellente, proche des 90 %, et son excrétion est urinaire en fonction des apports. (108)

Les légumes, la viande, les céréales et les produits laitiers ont des sources de molybdène, avec une teneur variable en fonction des sols. (106)

Les apports nutritionnels journaliers conseillés sont compris entre 30 et  $50 \mu\text{g}$ . (7)

#### o) Silicium

Il intervient dans la synthèse du collagène et des protéoglycanes, et dans la formation de l'os. (96) (109)

L'absorption intestinale du silicium en solution est élevée et rapide. Il est éliminé assez rapidement par voie urinaire. (96)

Aucune carence en silicium n'est observée chez l'Homme.

La quantité nécessaire pour couvrir les besoins journaliers est proche de 5 mg. (109)

Sa toxicité orale est faible, contrairement à la voie pulmonaire.

## 6. Fibres alimentaires

Les fibres sont l'ensemble des composants de l'alimentation non digérés par le tube digestif. Ces fibres peuvent être fermentées par les bactéries du colon.

Les fibres sont essentiellement des constituants végétaux : cellulose, hémicellulose, pectine, lignine, gomme, alginates, carraghénanes, amidon résistant.

Les fibres qui ne proviennent pas des végétaux peuvent être des oligosides, des produits microbiens comme les xanthanes, ou encore des constituants de la carapace des crustacés.

Il existe des fibres solubles et des fibres insolubles, qui auront des effets physiologiques et métaboliques différents. (110)

- Fibres solubles : forment dans l'eau des solutions de viscosités plus ou moins importante, ou des gels.
- Fibres insolubles : restent en suspension et gonflent.

Les fibres alimentaires sont des polysaccharides, à l'exception de la lignine (polymère complexe de grande taille).

Tableau 8 : Sources importantes de fibres, en g pour 100 g de matière fraîche

	Fibres totales	Fibres solubles
Son de blé	40 – 45	2
Son d'avoine	17 – 25	8
Figues sèches	10	1,4
Pain complet	7,5	1
Graines oléagineuses	5 – 13	0,2 – 1
Flocons d'avoine	8,3	3,2
Pruneaux	6 – 7	2,6
Pain bis	5	0,3
Dattes	8,7	1,2
Artichauts	5,2	1,9
Pois chiche cuits	4	0,3
Petit pois cuits	4,4	1,4
Lentilles cuites	4 – 5	2,3
Pain blanc	2 – 3	0,2
Haricots blancs cuits	6,3	1,3
Riz complet cuit	1,8	0,5
Légumes	1 – 4	0,2 – 0,7
Fruits frais	1 – 2,5	0,1 – 0,5

(7)

Les céréales sont les principales sources de fibres alimentaires. Les céréales complètes en contiennent 7 à 15 % dont la majorité sont des hémicelluloses insolubles. La majorité de ces fibres est contenue dans l'enveloppe du grain et dans le germe. Plus les céréales sont raffinées moins la teneur en fibre est importante.



Dans le cas des fruits et légumes, les teneurs en fibres seront importantes à l'état sec mais lorsqu'ils sont frais elles sont nettement abaissées du fait de l'hydratation.

Pour obtenir une sensation de satiété avec une alimentation pauvre en fibres il faut ingérer une quantité importante d'aliments à forte densité énergétique, ce qui favorise la prise de poids.

L'ingestion d'un repas riche en fibres va entraîner une réduction de la prise énergétique la journée suivant ce repas, et donc peut aider à la perte de poids. (111)

De plus l'ingestion de fibres solubles tend à réduire l'hyperglycémie et l'hyperinsulinémie post prandiale. (112) Ceci est expliqué par un ralentissement de la vidange gastrique qui retarde l'hydrolyse de l'amidon au niveau de l'intestin grêle.

On observe également une augmentation de la sensibilité à l'insuline.

On aura aussi une diminution des taux de cholestérol et de triglycérides transportés par les chylomicrons d'origine intestinale et une diminution de la cholestérolémie post prandiale. Ce phénomène est dû à une interaction des fibres lors du processus d'émulsification des lipides permettant leur assimilation. (113) (114) (115)

Une alimentation riche en fibres est donc une alimentation adaptée et recommandée pour notre physiologie. Il est préconisé d'avoir un apport en fibre supérieur à  $25 \text{ g.j}^{-1}$  au minimum et si possible d'atteindre les  $30 \text{ g.j}^{-1}$ . (7)

## 7. Boissons

L'eau représente 60 % de la masse corporelle totale, répartie en deux compartiments :

- L'eau extracellulaire représente 20 % de la masse corporelle
  - o Liquides interstitiels : 16 %
  - o Fraction non cellulaire du sang : 4 %
- L'eau intracellulaire représente 40 % de la masse corporelle

A l'état physiologique chez l'adulte le bilan des entrées et des sorties de l'eau est nul (2600 mL.24h<sup>-1</sup>). Son volume total reste donc constant.

Il y a trois sources d'entrée pour l'eau :

- 1000 mL correspondent à l'eau présente dans les aliments (eau exogène)
- 1300 mL pour l'eau de boisson (eau exogène)
- 300 mL eau liée au glycogène, obtenue par les réactions d'oxydation au cours du métabolisme des nutriments (eau endogène)

L'eau exogène est contrôlée par la sensation de soif, l'eau endogène peut être augmentée de façon importante lors de l'exercice musculaire.

Il est néanmoins nécessaire de s'hydrater avant d'avoir la sensation de soif car celle-ci est tardive, elle n'est présente que lorsqu'il y a une augmentation de l'osmolarité plasmatique et donc une déshydratation.

Lors de l'exercice physique il faudra boire d'avantage car l'énergie est dissipée sous forme de chaleur en majeure partie (75 à 80 %), 1 g d'eau va permettre d'évacuer 2,5 kJ.

Il faut s'hydrater dès le début de l'entraînement avec des petites quantités d'eau régulières afin de maintenir une perfusion et un bon fonctionnement intestinal. (116) (117) (118) (119)

Si l'entraînement s'avère intensif ou de longue durée, il peut être intéressant d'utiliser des solutions énergétiques hypotoniques ou isotoniques au plasma. (35)

En cas de forte chaleur, il faut diluer davantage les boissons du fait d'une diminution de l'irrigation intestinale.

L'eau est la seule boisson indispensable à notre organisme. De plus, elle est une source non négligeable d'apport de minéraux. (7)

### III. Deuxième partie : Musculation et nutrition, un objectif différent en fonction de la morphologie

Trois types corporels, somatotypes, ont été décrit par William Sheldon, psychologue Américain, en 1940. Ces trois types sont basés sur l'embryologie avec les trois couches de tissu : endoderme, mésoderme et ectoderme.

Grâce à cette approche on retiendra :

- L'ectomorphe correspondant à un grand développement du système nerveux et du cerveau (ectoderme) et à une tendance à être mince, élancé.

Il est corrélé au tempérament cérébro-tonique, sensible, timide, introverti, qui a des goûts artistiques développés. Il préfère l'intimité à la foule, se montre souvent inhibé.

- Le mésomorphe correspondant à un grand développement de la musculature et du système circulatoire (mésoderme).

Il correspond au tempérament somato-tonique, courageux, énergique, actif, dynamique, autoritaire, agressif.

- L'endomorphe correspondant à un grand développement du système digestif, en particulier l'estomac (endoderme). Ces sujets ont une certaine tendance à la corpulence, avec un corps mou et des muscles peu développés.

Cela correspond au tempérament viscéro-tonique, qui cherche le confort et le luxe, aime manger, tolérant, sociable, jovial, de bonne humeur, de type extraverti.

Notre profil ne correspond toutefois jamais à 100 % à un seul morphotype, il est souvent le fruit d'un mélange entre les types endomorphe, ectomorphe et mésomorphe. Les proportions sont variables, mais la plupart du temps nous arrivons à déterminer un morphotype qui se rapproche le plus de notre silhouette.

Quel que soit le morphotype et le niveau de pratique de la musculation, un échauffement sera impératif avant tout entraînement. Il permettra d'éviter les blessures et d'améliorer les performances.

Le corps sera bien chaud lorsqu'il est sur le point de transpirer.

Avant de débuter chaque nouvel exercice il faut utiliser des poids légers permettant d'atteindre sans difficulté 20 à 25 répétitions, puis une deuxième série de 12 à 15. Une troisième série peut être effectuée si nécessaire.

Les étirements permettent aussi d'échauffer les muscles et les tendons, ils doivent rester doux et progressifs. (120)

## A. Ectomorphe

Sa spécificité principale est la minceur. En effet, les personnes de type ectomorphe sont dotées d'une ossature fine, d'une faible masse musculaire et d'un faible taux de masse grasse (vous pouvez déterminer ces valeurs grâce à une balance impédancemètre).

La carrure est étroite, avec une faible largeur d'épaule et de bassin. Les membres sont longs et le visage triangulaire.

Par ailleurs, ils sont dotés d'un métabolisme rapide et d'une activité nerveuse élevée. Ces individus auront beaucoup de difficultés à prendre du poids, aussi bien de la masse grasse que de la masse musculaire. (121)

Côté sport, ils auront plus de facilités dans les activités d'endurance que dans les sports de force.

Pour prendre de la masse musculaire, il faudra multiplier les repas et augmenter ses apports caloriques (sans négliger la qualité nutritionnelle), tout en suivant un programme de musculation adapté, et en limitant les activités d'endurance.

L'augmentation des apports n'est pas synonyme de prise de masse grasse pour pouvoir prendre du muscle et de la force. Le but restant d'apporter les éléments nécessaires aux muscles pour se développer et non pour stocker des graisses.

### 1. Types d'exercices

Un bon entraînement musculaire va prendre en compte plusieurs paramètres.

Il faut définir ses priorités afin de bien planifier son planning d'entraînements. Par exemple, le bas du corps est plus long en termes de résultats esthétiques visibles. Le haut du corps sera donc à privilégier.

Quant aux abdominaux, s'ils sont la priorité il faudra les travailler à chaque début de séance. Si ce n'est pas le cas ils pourront être travaillés en fin de séance, fonction de l'énergie et du temps restant.

Il est également important de définir ses points faibles car ils devront faire partie des priorités. Les muscles à entraîner en premier lieu seront ceux qui progressent le moins vite.

Le principe de rotation aide à solutionner les problèmes de priorité lorsqu'on débute en musculation. C'est le fait d'alterner constamment les groupes musculaires qu'on travaille en premier à chaque entraînement. L'avantage de la rotation est aussi d'éviter une routine qui pourrait devenir lassante. On peut aussi organiser une rotation en ce qui concerne les muscles auxquels on accorde temporairement la priorité.

Il faut utiliser des charges lourdes pour augmenter le gain musculaire. Cette pratique abîme les fibres musculaires pour ensuite les reconstruire lors du repos. Il est donc important d'avoir des jours de repos permettant cette reconstruction.

De même, lors des entraînements, les temps de pause entre chaque répétitions devront être plus importants que lorsqu'on veut prendre de la masse. Ils seront de l'ordre de 90 à 120 secondes entre 2 répétitions selon le type d'exercice, contre 30 à 60 secondes pour une perte de poids. (120)

## 2. Besoins nutritionnels

La prise de masse chez un ectomorphe va généralement s'avérer longue à cause de son métabolisme rapide. Ce sont des personnes qui brûlent facilement des calories et donc, qui vont devoir manger plus pour atteindre un apport minimal nécessaire à la prise de muscle.

Il faudra donc consommer plus de calories que celles dépensées, avec un excédent allant de 500 à 1000 kcal par jour. Il est important de bien calculer son métabolisme de base et les dépenses liées son quotidien. La régularité est également un point essentiel, l'excédent de calories doit être pris tous les jours et non pas 3-4 jours par semaine.

Pour pouvoir ingérer plus de calories sur la journée on pourra augmenter le nombre de prises alimentaires en ajoutant aux trois repas principaux une collation dans la matinée et un en-cas post-training.

Les aliments consommés devront être caloriques sans pour autant créer un déséquilibre entre les lipides, les glucides et les protéines. En effet, si les glucides et les lipides vont permettre d'augmenter plus facilement la quantité de calories sur la journée, les protéines restent tout aussi importantes pour la construction du muscle. Il faudra atteindre un apport de 2 g par kilogramme de masse corporelle. Ces apports seront donc à réévaluer au cours du programme en fonction de l'évolution du poids.

Si l'appétit reste insuffisant pour ingérer la quantité de calories nécessaires, on peut opter pour des aliments sous forme liquide qui seront plus digestes.

### 3. La récupération

Normalement, dans un plan d'entraînement bien construit, il s'écoule en générale plusieurs jours entre deux sollicitations véritablement significatives. C'est ce qui permet de restaurer le glycogène sans nécessairement avaler d'astronomiques portions de glucides.

En revanche, entre deux groupes musculaires travaillés pendant la même séance il n'est pas nécessaire de prendre du repos. Le délai pris entre deux séries sera suffisant pour reprendre son souffle tout en restant chaud.

### 4. Exemples d'entraînements et alimentation sur une semaine

#### a) Lundi

##### Petit Déjeuner

- 2 pancakes au chocolat
- 1 verre de lait
- Thé ou café
- Fruit frais

(Pour 4-5 pancakes : 25 g de farine complète + 100 g de farine blanche + 150 g de lait entier + 2 œufs + 70 g de chocolat + 1 cuillère à soupe de caramel + 1 sachet de levure chimique + 1 cuillère à café d'arôme vanille)

## Déjeuner

- Tagliatelles de courgettes crues + ¼ de citron pressé + 100 g d'allumettes de bacon grillé + 2 carrés frais + filet d'huile d'olive
- 1 tranche de pain complet
- Compote

## Dîner

- Burritos
- Haricots verts à volonté
- 150 g de fromage blanc avec un fruit de saison

(Pour 5 Burritos : 5 galettes de wraps + 350 g de viande hachée + 1 oignon + 80 g de haricots rouges + 60 g de maïs + 150 g de gruyère + 200 g de sauce tomate + ½ œufs + épices)

## Entraînement

Epaules : élévation latérale (8 répétitions) – presse assise (8 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Pectoraux : développé-couché (6 répétitions) – écarté couché (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Dos : tractions (6 répétitions) – pull over bras pliés (8 répétitions) – repos (120s)

➔ X 4

Triceps :

- Extension des triceps allongé 2 haltères (12 répétitions) – repos (90 s)
- Extension des triceps allongé 2 haltères (8 répétitions) – repos (90 s)
- Extension des triceps allongé 1 haltère (12 répétitions) – repos (90 s)
- Extension des triceps allongé 1 haltère (8 répétitions) – repos (90 s)

Biceps :

- Curls en pronation (8 répétitions) – hammer curls 2 haltères (10 répétitions) – repos (120 s)
- Curls en pronation (8 répétitions) – hammer curls 2 haltères (6 répétitions) – repos (120 s)
- Curls en pronation (8 répétitions) – hammer curls 1 haltère (10 répétitions) – repos (120 s)
- Curls en pronation (8 répétitions) – hammer curls 1 haltères (6 répétitions) – repos (120 s)

(120)

## b) Mardi

### Petit Déjeuner

- 1 croissant
- 1 verre de lait
- Thé ou café
- Fruit frais

(Pour 1 croissant : 150 g de farine blanche + 60 g de lait écrémé + 25 g de beurre + 1 sachet de levure boulangère + 50 g de sucre roux en poudre + 1 pincé de sel + 1 jaune d'œuf)

### Déjeuner

- Pizza au saumon
- Salade verte
- Compote

(Pour 1 pâte à pizza : 80 g de farine + 1 cuillère à café d'huile de coco + 50 g d'eau + 1 cuillère à soupe de levure boulangère)

Pour la garniture : 2 cuillères à soupe de crème fraîche épaisse + 60 g de saumon fumé + 50 g de mozzarella + aneth + citron)

### Dîner

- 2 soufflés au fromage
- Tomates à volonté avec vinaigre balsamique
- Compote

(Pour 6 soufflés au fromage : 5 œufs + 20 g d'avoine + 1 cuillère à soupe de maïzena + 80 g de fromage râpé + 200 g de dés de jambon + 200 mL de lait)

Entrainement : repos

## c) Mercredi

### Petit Déjeuner

- 60 g de muesli
- 150 g de fromage blanc
- Un fruit frais
- Thé ou café



## Déjeuner

- Croquants au poulet et fromage
- Haricots verts à volonté
- Compote

(Pour 12 croquants : 300 g de blanc de poulet + 150 g de camembert + 1 œuf + 70 g de farine complète + 1 cuillère à café de curcuma + 10 g d'huile d'olive pour la cuisson)

Mixer le poulet, l'œuf et le fromage puis le rouler dans la farine au curcuma avant cuisson à la poêle dans l'huile d'olive) (122)

## Dîner

- 1 courgette farcie au poulet
- 1 fromage blanc avec des fruits rouges

(Pour 2 courgettes : 2 courgettes + 300 g d'allumettes de poulet + oignon + 150 g de fromage frais + fromage râpé)

## Entraînement

Avant des cuisses : leg extension (10 répétitions) – squats (10 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Arrière des cuisses : leg curls allongé (6 répétitions) – soulevé de terre jambes pliées (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Mollets : extensions debout (15 répétitions) – repos (90 s)

➔ X 4

Abdominaux :

- Relevés de jambes suspendu à une barre fixe (10 répétitions) – repos (90 s)

➔ X 4

- Crunchs (20 répétitions) – repos (90 s)

➔ X 4

- Crunchs latéraux (20 répétitions) – repos (90 s)

➔ X 4

- Rotations latérales (20 répétitions) – repos (90 s) (120)

d) Jeudi

Petit Déjeuner

- 3 œufs durs
- Salade de fruits
- Thé ou café

Déjeuner

- Pomme de terre chèvre et lardons
- 1 fruit frais

(Pour 1 personne : 500 g de pommes de terre + 100 g de chèvre liquide + 1 carré frais + 50 g de chèvre frais + 40 g de lardons + 1 cuillère à café de ciboulette + sel, poivre)

Dîner

- Salade de riz
- Compote

(Salade de riz : 70 g de riz basmati pesé cuit + dés de tomates + maïs + cornichons + 120 g de thon + 1 cuillère à café d'huile d'olive)

Entrainement : repos

e) Vendredi

Petit Déjeuner

- Smoothie abricot
- Thé ou café

(Smoothie : 2 abricots + 200 mL de lait entier + 15 g de flocons d'avoine + 1 cuillère à café de miel)

Déjeuner

- Salade verte + 150 g de thon + olives noires + vinaigrette
- 1 tranche de pain complet
- Yaourt nature

## Dîner

- Brochettes : 120 g de dinde + moutarde + poivrons
- 70 g de riz basmati pesé cuit
- Salade verte + 1 cuillère à café d'huile d'olive
- Fromage blanc + fruits de saison

## Entraînement

Pectoraux : pompes (6 répétitions) – écarté couché (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 5

Dos : rowing penché (6 répétitions) – élévations latérales penchées (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Epaules : rowing debout (6 répétitions) – élévations latérales (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Biceps : tirage prise serrée (10 répétitions) – curls (10 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 4

Triceps : extensions (6 répétitions) – kickback (6 répétitions) – repo (120 s)

➔ X 4

(120)

## *f) Samedi*

### Petit Déjeuner

- Omelette sucrée
- Thé ou café

(Pour une omelette : 4 œufs + 1 cuillères à soupe de miel + 1 cuillère à soupe d'arôme vanille + 30 g de chocolat noir en copeaux + 40 g de banane coupé en rondelle + 15 g de beurre de cacahuète + noix de coco râpée + baies de goji)

### Déjeuner

- Salade de haricots verts à volonté + 2 œufs durs + 2 carrés frais + 1 cuillère à café d'huile d'olive
- 1 tranche de pain aux céréales

- 150 g de fromage blanc
- Fruit frais

### Dîner

- 1 burger
- Salade verte
- 1 yaourt

(Pour le pain : 30 g de farine complète + 30 g de farine blanche + 25 g de crème d'amande + 1 blanc d'œuf + 1 cuillère à soupe de levure boulangère + 1 pincé de sel + 1 jaune d'œuf + 1 cuillère à soupe de graines de sésame

Pour la viande : 70 g de blanc de poulet + 1 cuillère à soupe de farine complète + ½ œuf + 1 cuillère à café de paprika + 1 cuillère à café d'ail en poudre + 1 cuillère à café d'oignon en poudre + 1 cuillère à café de curcuma + sel, poivre + huile de coco pour la cuisson

Pour la garniture : bacon + laitue + 1 tranche de cheddar

Pour la sauce : 1 carré frais + 1 cuillère à soupe de moutarde jaune + morceaux d'oignons + paprika + ail en poudre)

### Entraînement

Abdominaux :

- Relevé de jambes suspendu à une barre fixe (10 répétitions) – repos (90 s)  
➔ X 3
- Crunchs (20 répétitions) – repos (90 s)  
➔ X 3
- Crunchs latéraux (20 répétitions) – repos (90 s)  
➔ X 3
- Rotations latérales (20 répétitions) – repos (90 s)  
➔ X 2

Arrière des cuisses : leg curls assis (6 répétitions) – soulevé de terre jambes tendues (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 3

Avant des cuisses : legs extensions (6 répétitions) – sissy squats (6 répétitions) – repos (120 s)

➔ X 3

Mollets : extension debout (20 répétitions) – repos (90 s)

➔ X 3

### g) Dimanche

C'est une journée de repos, où il n'y a pas de plan de nutrition particulier. C'est le moment de se faire plaisir pour maintenir sa régularité par la suite.

(120) (122)

## B. Mésomorphe

Le mésomorphe est naturellement doté d'une ossature large, d'une bonne masse musculaire et d'une masse grasse relativement faible.

Les épaules larges, plus que le bassin chez les hommes, autant chez les femmes, des membres longs, et un visage carré ou rectangulaire le caractérisent physiquement.

C'est le morphotype le plus adapté pour prendre de la masse musculaire.

Avec une alimentation équilibrée et une pratique régulière du sport, ces personnes ont autant de facilités à prendre de la masse musculaire qu'à perdre du gras du fait qu'ils stockent modérément les graisses.

Il peut pratiquer des activités sportives variées pour conserver une silhouette harmonieuse. Ils ont la capacité de développer leur physique assez facilement.

### 1. Types d'exercices

Ce morphotype aura le choix entre plusieurs types de séances en fonction de ses objectifs, perte de gras ou prise de masse.

Les mésomorphes vont pouvoir utiliser des charges lourdes sans pour autant risquer les blessures, après un bon échauffement bien entendu.

S'il est dans un but de perte de masse grasse il devra faire des entraînements assez cardio, sans utiliser des charges très lourdes. Le but étant d'enchaîner les répétitions et de travailler l'ensemble du corps.

Pour une prise de masse, le travail sera plus ciblé sur certains groupes musculaires. Ils seront travaillés à tour de rôle au fil de la semaine. Les charges seront lourdes et les séries plus espacées. (120)

Un programme doit se suivre sur un minimum de trois semaines pour être efficace.

## 2. Besoins nutritionnels

En termes d'alimentation ses repas devront varier selon ce qu'il recherche avec ses entraînements.

Lorsqu'il sera en « sèche », c'est-à-dire en phase de perte de masse grasse, les glucides devront plutôt être apportés en post-training afin de reconstituer le stock de glycogène intramusculaire. (123) Le reste du temps il faudra les limiter.

Tant dis qu'en période de prise de masse, les apports nutritionnels devront être augmentés tout en gardant un équilibre entre les macronutriments. L'apport en protéine devra atteindre  $2 \text{ g.kg}^{-1}$  de masse corporelle par jour.

## 3. La récupération

La récupération au sein d'un entraînement va varier selon le but recherché.

Pour des entraînements en prise de force et de volume musculaire il faudra faire des pauses plus longues entre deux séries. Cela va permettre au muscle de bien récupérer sa force. Plus on travaille avec des charges lourdes et plus les temps de pause devront être long, jusqu'à deux minutes si besoin.

Pour une perte de masse grasse, les entraînements étant un peu plus « cardio », les charges utilisées seront plus légères et les temps de pause plus courts. Ceci permet un bon maintien de la masse musculaire tout un perdant de la masse grasse. (120)

## 4. Exemples d'entraînements et alimentation sur une semaine

### a) Lundi

#### Petit déjeuner

- 3 muffins
- Lait écrémé
- Thé ou café

- 1 fruit frais

(Pour 15 muffins : 180 g de farine blanche + 2 cuillères à soupe de farine complète + 1 œuf + 100 g de skyr + 150 mL de lait + 2 cuillères à soupe de caramel d'avoine + 1 cuillère à café d'arôme vanille + 1 sachet de levure chimique + pâte à tartiner) (122)

### Déjeuner

- Salade de pâte : 70 g de pâtes pesées cuites + tomates cerises + maïs + cornichons + 100 g de dés de jambon + 1 cuillère à café d'huile d'olive
- 1 compote

### Dîner

- Tomates à volonté
- 30 g de mozzarella + vinaigre balsamique
- 1 tranche de pain de mie complet
- 150 g de cabillaud cuit à la poêle + épices
- 150 g de fromage blanc avec un fruit frais

### Entraînement

Butterfly : 20 répétitions – Repos (60 s) – 15 répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 20 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Développé incliné haltères : 10 répétitions – Repos (60 s) – 12 répétitions – Repos (60 s) – 8 répétitions – Repos (60 s) – 12 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Tractions : 10 répétitions – Repos (60 s) – 12 répétitions – Repos (60 s) – 8 répétitions – Repos (60 s) – 12 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Extension triceps corde : 15 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Russian twist (30 à 60 s) – Burpees (30 à 60 s) – Gainage latéral droit (30 à 60 s) – Burpees (30 à 60 s) – gainage latéral gauche (30 à 60 s)

## b) Mardi

### Petit Déjeuner

- 60 g de muesli + lait écrémé
- Thé ou café
- Fruits de saison

### Déjeuner

- Sandwich : 2 tranches de pain complet ° 2 tranches de blanc de poulet + 1 cuillère à café de moutarde
- Crudités à volonté
- Compote

### Dîner

- 1 part de quiche à la tomate
- Salade verte à volonté + filet d'huile d'olive
- 1 fruit frais

(Pour 1 quiche : 1 pâte brisée + 3-4 tomates + 4 œufs + 100 g de skyr + 70 g de viande grison + 130 g de mozzarella + 2 cuillères à café de moutarde + basilic) (122)

### Entrainement

Leg extension : 20 répétitions – Repos (60 s) – 15 Répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 20 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Front squat : 15 répétitions – Repos (90 s) – 12 Répétitions – Repos (90 s) – 10 répétitions – Repos (90 s) – 15 répétitions – Repos (00 s)

➔ X 4

Thruster : 15 répétitions – Repos (90 s) – 12 Répétitions – Repos (90 s) – 10 répétitions – Repos (90 s) – 15 répétitions – Repos (90 s)

➔ X 4

Arrière d'épaule machine : 20 répétitions – Repos (60 s) – 15 Répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 20 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4



Gainage coude (30 à 60 s) – Gainage latéral gauche (30 à 60 s) – Gainage latéral droite (30 à 60 s) – Gainage position pompe (30 à 60 s) – gainage parachute (30 à 60 s)

### c) Mercredi

#### Petit déjeuner

- 2 tranches de pain complet avec du miel
- Lait écrémé
- 1 fruit frais
- Thé ou café

#### Déjeuner

- 2 parts de quiche à la tomate de la veille
- Haricots verts à volonté
- Yaourt 0 % de matière grasse

#### Dîner

- Omelette : 4 œufs + 70 g d'allumettes de bacon + 20 g de fromage râpé + sel, poivre + herbes de Provence
- Salade verte à volonté
- 1 compote

#### Entraînement

Tirage vertical : 10 répétitions – Repos (60 s) – 12 Répétitions – Repos (60 s) – 8 répétitions – Repos (60 s) – 12 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Tirage buste penché : 10 répétitions – Repos (60 s) – 12 Répétitions – Repos (60 s) – 8 répétitions – Repos (60 s) – 12 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Ecarté haltères : 15 répétitions – Repos (60 s) – 12 Répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 15 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Curl biceps barre : 15 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Pider climber (30 à 60 s) – Abdos roulette (30 à 60 s) – Crunch inversés (30 à 60 s) – Mountain climber (30 à 60 s) – Gainage parachute (30 à 60 s)

d) Jeudi

Petit déjeuner

- 60 g de muesli+ + lait écrémé
- Thé ou café
- Fruits de saison

Déjeuner

- Salade d'endive : endives crues à volonté + vinaigrette + 100 g de dés de jambon
- Yaourt 0 % de matière grasse

Dîner

- Aubergines grillées au barbecue ou à la poêle à volonté
- 120 g de poulet grillé
- 2 tranches de pain complet
- 1 compote

Entrainement : repos

e) Vendredi

Petit déjeuner

- 3 œufs brouillés + sel, poivre
- Salade de fruits frais
- Thé ou café

Déjeuner

- 70 g de riz basmati (pesé cuit) + 70 g de lentilles (pesées cuites) + 100 g d'aiguillettes de poulet grillé
- 1 compote

## Dîner

- 1 cordon bleu maison
- Haricots verts à volonté
- 1 yaourt 0 % de matières grasses

(Pour 2 cordons bleus : 2 filets de poulet + 2 tranches de cheddar + bacon maigre + farine, paprika, sel, poivre, basilic en poudre, ail en poudre, œuf et flocon d'avoine pour la panure)

## Entraînement

Curl ischios : 20 répétitions – Repos (60 s) – 15 Répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 20 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Back squat : 15 répétitions – Repos (90 s) – 12 Répétitions – Repos (90 s) – 10 répétitions – Repos (90 s) – 15 répétitions – Repos (90 s)

➔ X 4

Elévations latérales : 20 répétitions – Repos (60 s) – 15 Répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 20 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Développé militaire : 15 répétitions – Repos (60 s) – 12 Répétitions – Repos (60 s) – 10 répétitions – Repos (60 s) – 15 répétitions – Repos (60 s)

➔ X 4

Gainage coude (30 à 60 s) – Gainage latéral gauche (30 à 60 s) – Gainage position pompe (30 à 60 s) – Gainage latéral droite (30 à 60 s) – Gainage parachute (30 à 60 s)

## *f) Samedi*

### Petit déjeuner

- 60 g de muesli
- 150 g de fromage blanc
- Fruits de saison
- Thé ou café

### Déjeuner

- Courgettes et crevettes au curry
- 1 compote

(Pour 1 personne : ½ oignon + 2 cuillères à café d'huile de coco + ½ poivron vert + ½ poivron rouge + 1 ou 2 courgettes + ½ gousse d'ail + 2 cuillères à café de curry en poudre + 150 g de crevettes + 1 pincé de piment + coriandre ou persil) (123)

### Dîner

- 1 crêpe au chèvre
- Salade verte à volonté
- 120 g de fromage blanc
- 1 fruit de saison

(Pour 1 crêpe : 115 g de farine de sarrasin + 1 blanc d'œuf + 200 mL d'eau + 100 g de poulet + moutarde + curcuma + 1 œuf + 30 g de fromage de chèvre)

### Entrainement (cardio)

Sur tapis de course :

5 km/h pente à 15 % (30 s) – Récupération passive (30 s)

➔ X 8

3,5 km/h pente à 15 % (3 min)

5 km/h pente à 15 % (30 s) – Récupération passive (30 s)

➔ X 8

3,5 km/h pente à 15 % (5 min)

### *g) Dimanche*

C'est une journée de repos, où il n'y a pas de plan de nutrition particulier. C'est le moment de se faire plaisir pour maintenir sa régularité par la suite. Ce n'est pas pour autant une raison de manger tout et n'importe quoi.

(122)

## C. Endomorphe

Les personnes endomorphes sont rondes par nature. Leur ossature est plutôt fine, leur masse musculaire moyennement développée avec un taux de masse grasse plus élevé que la moyenne.

Ce morphotype se caractérise par un visage rond, des épaules étroites et tombantes, de membres courts. Les femmes auront un bassin plutôt large et des seins développés.

Leur métabolisme est lent, ils auront donc une tendance à prendre facilement du poids. Côté alimentation ils doivent être rigoureux afin de limiter la prise de masse grasse.

En revanche, ils peuvent prendre facilement de la masse musculaire en suivant un programme de musculation adapté.

Les femmes au profil endomorphe qui souhaitent s'affiner devront privilégier des volumes d'entraînement important et éviter les exercices de musculation avec charges lourdes ou les sports de type "explosif".

### 1. Types d'exercices

Pour faire une prise de masse, il n'y a généralement pas de problème, tout comme pour prendre de la force. Son physique lui permet de stocker facilement les divers nutriments, il a un métabolisme lent.

En revanche la perte de poids va s'avérer plus compliquée. Les entraînements devront être réguliers et l'alimentation surveillée. Les entraînements seront basés sur des exercices au poids du corps ou avec des charges faibles.

Les temps de pause entre les séries ne devront pas excéder 60 secondes. Il faudra ensuite, au fil des séances, réduire ces temps de pause pour arriver à des entraînements de type circuit.

La part des lipides utilisée pour la fourniture d'énergie sera plus importante si l'entraînement comprend des exercices d'intensité modérée ou faible répétés de nombreuses fois.

Les exercices poly-articulaires sollicitent plusieurs muscles à la fois. Cela va permettre d'augmenter la dépense énergétique tout en développant la masse musculaire et sa définition.

## 2. Besoins nutritionnels

La première des choses à éviter sera les sucres rapides. Les repas devront varier selon les entraînements.

Lorsqu'il n'y a pas d'entraînement il faudra privilégier les repas faibles en glucides. (123)

Les glucides doivent être consommés dans les 4 heures et jusqu'à 8h suivant les entraînements afin de recharger les stocks de glycogène. (35) Ce n'est pas pour autant une raison d'en consommer de manière excessive.

De plus, il faudra choisir des aliments ayant un indice glycémique peu élevé pour ne pas trop faire monter la glycémie. Parmi eux on retrouvera les légumes, le riz, le sarrasin, les patates douces, les fruits entiers, les pâtes aux œufs et le pain aux céréales. (123) (7)

Les lipides ne sont pas à écarter contrairement aux idées reçues. Cependant ils devront être apportés en priorité par les poissons gras, les huiles végétales, notamment l'huile d'olive et l'huile de lin, l'avocat, les noix et les amandes, les œufs et le chocolat noir.

Quant aux protéines, c'est le nutriment essentiel pour la perte de poids et pour dessiner la silhouette. Il faut en prendre à chaque repas car ils apportent les acides aminés essentiels. Ce seront les œufs, les poissons, les viandes blanches de préférence, le soja, les oléagineux et les graines. (123)

## 3. La récupération

Les jours de repos sont essentiels à la récupération aussi bien musculaire qu'articulaire.

Il est cependant possible d'effectuer des activités à intensité modérée comme la randonnée, la piscine, les balades à vélo. C'est également le moment de faire des étirements et des automassages des muscles ayant travaillé.

## 4. Exemples d'entraînements et alimentation sur une semaine

### a) Lundi

#### Petit déjeuner

- 1 brownie maison
- Thé ou café
- 1 fruit frais

(Pour 4 brownies : 80 g de chocolat + 2 œufs + 50 g de beurre allégé + 20 g de noix + 2 cuillères à soupe de sirop d'agave + 2 cuillères à soupe de farine complète + 1 cuillère à café d'arôme vanille + 1 cuillère à soupe de fromage blanc) (122)

#### Déjeuner

- Tomates à volonté avec un filet de vinaigre balsamique
- 80 g de thon écrasé
- 2 carrés frais 0 % matière grasse
- 1 compote

#### Dîner

- 70 g de pâtes complètes (pesées cuites)
- Steak 5 % de matière grasse
- Haricots verts à volonté
- 1 fruit

#### Entraînement

Butterfly (45 s) – Repos (45 s) – Tirage vertical (45 s) – Repos (45 s) – Gobelet squat haltère (45 s) – Repos (45 s) – Tirage menton (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Tirage buste penché (45 s) – Repos (45 s) – développé couché machine (45 s) – Repos (45 s) – Squats smith machine (45 s) – Repos (45 s) – Elévations latérales – Repos (60 s)

➔ X 4

Squat jump (45 s) – Repos (45 s) – Développé militaire (45 s) – Repos (45 s) – Ecarté (45 s) – Repos (45 s) – Pull over (60 s)

➔ X 4

Tirage arrière d'épaules (45 s) – Repos (45 s) – Dips (45 s) – Repos (45 s) – Elévations frontales (45 s) – Repos (45 s) – Fentes plio (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Russian twist (30 à 60 s) – Burpees (30 à 60 s) – Gainage latérale droit (30 à 60 s) – Burpees (30 à 60 s) – Gainage latéral gauche (30 à 60 s)

## b) Mardi

### Petit déjeuner

- 60 g de muesli avec di lait écrémé
- Thé ou café
- 1 fruit frais

### Déjeuner

- Salade à volonté
- 150 g d'aiguillettes de poulet grillé + quelques olives noires + vinaigrette légère maison
- 1 yaourt 0 % de matière grasse

(Vinaigrette légère maison : 2 carrés frais 0 % de matière grasse + vinaigre balsamique + 1 cuillère à café de moutarde + sel + poivre) (122)

### Dîner

- 1 Cordon bleu maison
- Courgettes poêlées à volonté
- 1 compote

(Pour 2 cordons bleus : 2 filets de poulet + 2 tranches de cheddar + bacon maigre + farine, paprika, sel, poivre, basilic en poudre, ail en poudre, œuf et flocon d'avoine pour la panure) (122)

### Entraînement

Fentes en marchant (45 s) – Repos (45 s) – Tirage menton (45 s) – Repos (45 s) – Tirage buste penché (45 s) – Repos (45 s) – Burpees (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4



Press (45 s) – Repos (45 s) – Ecarté (45 s) – Repos (45 s) – Tractions (45 s) – Repos (45 s) – Développé couché (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Tirage vertical (45 s) – Repos (45 s) – Butterfly (45 s) – Repos (45 s) – Fente plio (45 s) – Repos (45 s) – Elévations latérales (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Développé militaire (45 s) – Repos (45 s) – Dips triceps (45 s) – Repos (45 s) – Curl biceps barre (45 s) – Repos (45 s) – front squat (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Gainage coudes (30 à 60 s) – Gainage latéral gauche (30 à 60 s) – Gainage latéral droite (30 à 60 s) – Gainage position pompes (30 à 60 s) – Gainage parachute (30 à 60 s)

### c) Mercredi

#### Petit déjeuner

- Smoothie : 250 mL de lait écrémé + 1 poignet de framboises + 1 cuillère à café de jus de citron + 1 cuillère à café de miel + 15 g de flocons d'avoine
- Thé ou café

#### Déjeuner

- Poke Bowl
- 1 yaourt 0 % de matière grasse

(Pour un Poke Bowl : 1 pavé de saumon + 1 cuillère à café de graines de chia + 1 cuillère à café de graines de sésame + salade verte + ½ avocat + 50 g de carottes crues + 50 g de chou rouge cru + ciboulette fraîche)

Pour la vinaigrette : 1 cuillère à soupe d'huile d'olive + 1 cuillère à café de vinaigre balsamique + jus de citron + 1 cuillère à café de sauce soja + 1 cuillère à café de gingembre en poudre)

#### Dîner

- Croque-monsieur maison
- Courgettes poêlées à volonté
- 150 g de fromage blanc allégé

(Pour 1 croque-monsieur : 2 tranches de pain complet + 1 tranche de jambon + 1 tranche de fromage allégé + 1 œuf + lait + huile de coco)

## Entrainement

Press (45 s) – Repos (45 s) – Tirage horizontal pronation (45 s) – Repos (45 s) – Développé couché incliné haltères (45 s) – Repos (45 s) – Thruster (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Tractions (45 s) – Repos (45 s) – Développé militaire (45 s) – Repos (45 s) – Squat (45 s) – Repos (45 s) – Pompes claquées (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Tirage menton (45 s) – Repos (45 s) – Fentes en marchant (45 s) – Repos (45 s) – Elévations latérales (45 s) – Repos (45 s) – Rétropulsion dos (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Fentes plio (45 s) – Repos (45 s) – Elévations frontales (45 s) – Repos (45 s) – Curls biceps haltères alternés (45 s) – Repos (45 s) – Dips triceps (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Spider climber (30 à 60 s) – Abdos roulette (30 à 60 s) – Crunch inversés (30 à 60 s) – Mountain climber (30 à 60 s) – Gainage parachute (30 à 60 s)

## *d) Jeudi*

### Petit déjeuner

- 60 g de muesli avec du lait écrémé
- Thé ou café
- Fruits frais

### Déjeuner

- Salade à volonté
- 3 tranches de dindes + quelques olives noires + vinaigrette diététique
- 1 yaourt 0 % de matière grasse

### Dîner

- Œufs brouillés : 4 œufs + dés de tomates + 20 g de fromage râpé + 100 g de bacon maigre + fines herbes
- Salade verte
- 1 yaourt

## Entrainement : repos

### e) Vendredi

#### Petit déjeuner

- Bowl banane myrtille
- Thé ou café

(Pour un bowl : 40 g de flocons d'avoine + 150 à 200 g de fromage blanc 0 % de matière grasse + arôme vanille + 1 banane + 15 g de myrtilles + 5 g de pépites de chocolat noir + poudre de noix de coco) (123)

#### Déjeuner

- Salade de haricots verts à volonté
- 2 œufs durs
- 1 cuillère à soupe d'huile d'olive + 2 carrés frais 0 % de matière grasse

#### Dîner

- Tacos maison
- Salade verte
- 1 yaourt 0 % de matière grasse

(Pour 1 tacos : 2 wraps + quelques cuillères de poulet en morceaux + paprika, thym, poivre noir, ail, oignon, sel + quelques cuillères de viande hachée 5 % + quelques cuillères de bacon maigre + 10 à 15 g de fromage râpé allégé)

Pour la sauce : ½ tranche de cheddar + 1 cuillère à soupe de lait) (122)

#### Entrainement

Développé couché haltères incliné (45 s) – Repos (45 s) – Tractions (45 s) – Repos (45 s) – Deadfit jambes tendues (45 s) – Repos (45 s) – Tirage menton (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Pompes claquées (45 s) – Repos (45 s) – Front squat (45 s) – Repos (45 s) – Développé militaire (45 s) – Repos (45 s) – Ecarté (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Press (45 s) – Repos (45 s) – Oiseau haltères (45 s) – Repos (45 s) – Pompes claquées (45 s) – Repos (45 s) – Tirage vertical (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Curl biceps alterné (45 s) – Repos (45 s) – Curl biceps corde (45 s) – Repos (45 s) – Elévations latérales (45 s) – Repos (45 s) – Thruster (45 s) – Repos (60 s)

➔ X 4

Gainage coudes (30 à 60 s) – Gainage latéral gauche (30 à 60 s) – Gainage latéral droite (30 à 60 s) – Gainage position pompe (30 à 60 s) – Gainage parachute (30 à 60 s)

## f) Samedi

### Petit déjeuner

- 60 g de muesli
- 150 g de fromage blanc
- 1 fruit
- Thé ou café

### Déjeuner

- Omelette à la tomate : 4 œufs + quelques morceaux de tomates + 30 g de mozzarella + sel, poivre
- 1 compote
- 1 thé

### Dîner

- Salade de pâtes complètes (70 g pesées cuites) + morceaux de tomates + 20 g de maïs + cornichons + 120 g de poulet grillé
- 1 fruit

### Entraînement (Cardio)

5 km/h pente à 15 % (30 s) – Récupération passive (30 s)

➔ X 8

3,5 km/h pente à 15 % (3 min)

5 km/h pente à 15 % (30 s) – Récupération passive (30 s)

➔ X 8

3,5 km/h pente à 15 % (5 min)

g) Dimanche

C'est une journée de repos, où il n'y a pas de plan de nutrition particulier. C'est le moment de se faire plaisir pour maintenir sa régularité par la suite. Ce n'est pas pour autant une raison de manger tout et n'importe quoi.

Des étirements doux peuvent être pratiqués.

(122)

## IV. Troisième partie : Compléments nutritionnels et compléments alimentaires disponibles en pharmacie

### A. Compléments nutritionnels

Les compléments nutritionnels destinés à la pratique sportive seront principalement composés de protéines. A ces protéines s'ajouteront en quantité variable des lipides et des glucides en fonction des objectifs du sportif.

Les protéines sont le plus couramment présentées sous forme de poudre à disperser dans de l'eau, qui pourront aussi être utilisées dans des préparations culinaires (confection de pâtisseries ou de smoothies par exemple). On en retrouvera également sous forme de comprimés, de barres chocolatées ou fruitées, de barres de céréales, de préparations pour dessert (type desserts lactés ou pâtisseries).

Parmi les compléments nutritionnels, nous retrouverons aussi tout ce qui est énergisant, à prendre avant ou pendant un entraînement ou une compétition.

Généralement sous forme de barres énergétiques, ils seront riches en glucides et souvent associés à de la guarana ou de la caféine pour une action booster immédiat.

Des travaux ont établi que la combinaison d'un entraînement de force et d'un aliment liquide associant des glucides et des protéines, selon un ratio de l'ordre de 3 g de glucides pour 1 g de protéines favoriseraient l'anabolisme. (124) (125)

Ainsi, pour la prise de masse, il existe des protéines en poudre associant 43 g de glucides, 10 g de protéines et 0,4 g de lipides par portion. Ces produits seront orientés vers les sportifs au physique plutôt ectomorphe.

Pour une perte de masse grasse, tout en conservant la masse musculaire, il faudra partir sur des produits où les glucides sont en quantité moindre, de l'ordre de 0,9 à 1,8 g de glucides pour 21 à 26 g de protéines et 0,3 à 1,3 g de lipides par portion. Cette composition sera la plus adaptée pour les sportifs de type endomorphe.

Enfin, les protéines en poudre visant la croissance musculaire vont plutôt s'adresser à des personnes pratiquant déjà la musculation et ayant déjà un physique musclé, et/ou ayant atteint un plateau de croissance, principalement les personnes dont le morphotype est plutôt mésomorphe. Leurs compositions seront de l'ordre de 0,5 à 2,1 g de lipides, 1,4 à 4,2 g de glucides et 21 à 43 g de protéines par portion.

Quel que soit le type de composition il est recommandé de prendre 1 à 2 portions par jour. Une seule prise en guise de collation lorsqu'on est sur une journée de repos et on peut monter à 2 prises par jour si c'est une journée avec entraînement. Une des deux prises sera plutôt conseillée après l'entraînement afin d'apporter les éléments nécessaires à la reconstruction musculaire.

## B. Compléments alimentaires

Parmi les compléments alimentaires on retrouve des préparations à base de vitamines, de minéraux, d'acides aminés et de plantes.

On trouve ces éléments soit sous forme de compléments alimentaires en comprimés, en gélules, en poudre ou encore en solution, soit dans les compléments hyper-protéinés vus précédemment.

Les compléments alimentaires ont différents buts :

- Compenser les pertes : Les vitamines et les minéraux sont ajoutés à l'alimentation dans le but de compenser les pertes engendrées par une activité sportive intense afin de maintenir le bon fonctionnement de l'organisme.
- Booster l'organisme : Les boosters sont des compléments alimentaires à base de plantes énergisantes, d'acides aminés, de vitamines et de minéraux. Ils n'apporteront pas forcément de macronutriments.

Les plantes :

- Ginseng : augmente les performances et stimule la vitalité
- Tribulus : agit sur le taux de testostérone
- Eleuthérocoque : stimule l'appétit et les défenses immunitaires, favorise le bien-être et améliore les performances physiques (126)
- Gingembre : c'est un tonique, il a aussi la propriété de stimuler la sécrétion de salive, de sucs gastriques et de bile. (127)

- Café : son effet est très variable selon les individus, hormis le sucre ajouté il n'aura pas de réel apport énergétique. Son effet est indirect, par fixation compétitive de la caféine aux récepteurs de l'adénosine des différents tissus.
- Guarana : stimulante par sa concentration en caféine
- Thé vert : stimulant, antioxydant (128)

#### Les vitamines et minéraux :

- Zinc : contribue à la synthèse protéique, maintien le taux de testostérone normal dans le sang
- Vitamines C, B3, B5, B9 et B12 : aide à réduire la fatigue
- Magnésium : diminue la fatigue, réduit les crampes musculaires.

#### Les acides aminés :

- Taurine : aide à assimiler le magnésium, réduit l'effet des toxines.
- L-Carnitine : transporte les acides gras à longue chaîne dans les mitochondries pour permettre la production d'énergie.
- L-Citrulline : améliore l'afflux sanguin et réduit la fatigue durant un entraînement intense.
- Ornithine : participe au cycle de l'urée, aide au développement de la masse musculaire et réduit la fatigue lors de l'effort physique.
- BCAA (Brain Chain Amino Acid) : la valine, la leucine et l'isoleucine sont des acides aminés à chaîne ramifiée majoritaire dans le tissu musculaire. Ils sont essentiels car l'organisme ne peut pas les synthétiser et doivent être apportés par l'alimentation. Le ratio 4 leucine / 1 isoleucine / 1 valine est le rapport réel du métabolisme des BCAA lors de l'entraînement. Ils constituent 35 % des acides aminés essentiels du muscle. Associés à de la vitamine B6 ils vont aider au métabolisme énergétique et à réduire la fatigue. (129)
- L-Glutamine : c'est l'acide aminé le plus abondant de l'organisme, il peut être conditionnellement essentiel lors d'une situation de stress, comme par exemple lors d'un entraînement intensif. Elle peut être associée aux protéines lors d'une collation post-training. (130)
- Créatine : c'est une association de trois acides aminés. Elle permet la synthèse de l'adénosine triphosphate. Elle augmente de stock d'énergie explosive permettant de repousser les limites de force et de répétitions. (131)
- L-Arginine : c'est un acide aminé semi-essentiel dont les besoins peuvent être augmentés chez les sportifs.
- Les complexes d'acides aminés : on peut les retrouver en association à des vitamines et minéraux dans le but de garantir la prise de masse tout en réduisant la fatigue. Les acides aminés utilisés dans ces complexes sont : alanine, arginine, acide aspartique, cystine, acide glutamique, glycine, histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine,



phénylalanine, proline, thréonine, tryptophane, tyrosine, valine, sérine. La prise de ce type de complexe complète ou remplace les autres compléments en protéines, ne pouvant pas excéder 2 g de protéines par kg de poids corporel. (132)

## C. Hydratation

Le statut hydrique idéal doit être assuré car les hormones anabolisantes exercent leur action dans un contexte d'hydratation cellulaire optimale. Lorsque la cellule renferme moins d'eau, les signaux cellulaires déclenchent des processus cataboliques. (133)

Compte tenu de l'entrée plus rapide de l'eau dans les cellules en présence de glucose, la prise de boissons énergisantes contenant des glucides au cours des séances est recommandée.

De plus, elles vont généralement contenir des minéraux essentiels au bon fonctionnement des cellules.

En effet, l'ensemble des enzymes impliquées dans la contraction musculaire dépend de cofacteurs comme le magnésium et le zinc. Un déficit en ces deux éléments principaux peut être associé à une baisse de la force. (134) (135)

Dans un contexte où les apports protéiques sont majorés, une optimisation des apports en vitamine B6 doit être assurée. La législation des produits de l'effort s'inscrit d'ailleurs dans cette logique. En effet, la vitamine B6 participe au métabolisme azoté, aussi bien dans un contexte d'anabolisme que de catabolisme. (38)

Le chrome est également un cofacteur clef de l'insuline, son rôle étant d'orienter le métabolisme et la réponse métabolique au travail de force. Son déficit serait assez fréquent chez les sportifs, cependant la supplémentation systématique chez la population sportive ne donne pas de résultats tangibles. (136)

Il existe des boissons prêtes à l'emploi, des solutions à diluer ou encore des poudres pour préparation de boissons de réhydratation contenant tous ces éléments.

On en distinguera deux catégories principales. Les boissons à prendre pendant l'effort et les boissons à prendre après l'effort pour une meilleure récupération.

## 1. Pendant l'effort

Ce sont des boissons pouvant être enrichies en :

- Glucides
- Sel
- Vitamine C
- Vitamine B1
- Vitamine B2
- Vitamine B3
- Vitamine B5
- Vitamine B6
- Vitamine B12
- Sodium
- Magnésium
- Sélénium
- Calcium
- Phosphore
- Acides aminés : L-glutamine, L-thréonine, L-Carnitine
- Coenzymes Q10

Ces éléments vont permettre de rester dans un contexte énergétique favorable et anabolique, tout en préservant l'osmolarité nécessaire à l'hydratation optimale des cellules.

On assure ainsi un accroissement de l'absorption d'eau au niveau des cellules permettant le maintien des performances au cours de l'effort.

Comme vu précédemment, ces boissons seront hypotoniques ou isotoniques au plasma, afin d'assurer une captation maximale au niveau intestinal.

## 2. Après l'effort

Après l'effort, les boissons seront plus ciblées sur la récupération. Elles vont contribuer à réduire la fatigue, à lutter contre le stress oxydatif et réhydrater les cellules. Elles vont fournir les glucides et les protéines nécessaires à la récupération, mais aussi des vitamines, des minéraux et des anti-oxydants.

On peut retrouver les éléments suivants :

- Lipides
- Glucides
- Protéines
- Sel
- Vitamine A
- Vitamine E
- Vitamine C
- Vitamine B1
- Vitamine B2
- Vitamine B3
- Vitamine B5
- Vitamine B6
- Vitamine B9
- Vitamine B12
- Calcium
- Potassium
- Sodium
- Magnésium
- Zinc
- Cuivre
- Manganèse
- Sélénium

## V. Conclusion

Notre objectif était de définir quel était le plan de nutrition le plus adapté à la pratique de la musculation. Nous avons pu constater qu'il n'existe pas un plan type mais plusieurs, car celui-ci varie en fonction des morphologies d'une part, et du type d'entraînement d'autre part.

En effet, il existe trois grandes classes de morphologie : endomorphe, ectomorphe et mésomorphe. L'appartenance à une classe plus qu'à une autre va engendrer des entraînements différents et donc une alimentation associée.

Globalement les recommandations sont les mêmes que la population en générale mais avec quelques variantes.

Les ectomorphes, avec la particularité d'être minces, devront privilégier les repas énergétiques, sans pour autant mettre de côté les fruits et les légumes essentiels à l'apport vitaminique et minéral. L'équilibre entre les protéines, les glucides et les lipides est très important pour être en situation favorable à l'anabolisme. Les apports devront excéder de 500 à 1000 kcal les besoins nutritionnels pour augmenter la masse musculaire.

Les mésomorphes, morphotype le plus adapté à la musculation, auront deux orientations possibles :

- Pour la perte de masse grasse ils devront limiter les glucides, et n'en apporter qu'après les entraînements.
- Pour la prise de masse musculaire il faudra augmenter les apports caloriques en atteignant les 2 g de protéines par jour par kilogramme de poids corporel.

Les endomorphes, sont quant à eux sujets à la prise de poids, et devront écarter les glucides et n'en apporter qu'à la suite des entraînements, comme les mésomorphes en période de sèche. L'apport en protéines reste tout aussi important que pour les ectomorphes.

Nous avons donc pu définir les grandes lignes à suivre concernant les entraînements de musculation, la conduite à tenir pour l'alimentation, et les produits disponibles en pharmacie aidant à améliorer cet équilibre.

L'appartenance à un morphotype peut-il nous orienter vers des programmes individualisés ?

## Bibliographie

1. Brooks GA, Mercier J. Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the « crossover » concept. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. juin 1994;76(6):2253-61.
2. Goldberg GR, Prentice AM, Davies HL, Murgatroyd PR. Overnight and basal metabolic rates in men and women. *Eur J Clin Nutr.* févr 1988;42(2):137-44.
3. Holliday MA. Metabolic rate and organ size during growth from infancy to maturity and during late gestation and early infancy. *Pediatrics.* janv 1971;47(1):Suppl 2:169+.
4. Kinney JM, Tucker HH. *Energy Metabolism: Tissue Determinants and Cellular Corollaries.*
5. Garby L, Lammert O, Kock KF, Thobo-Carlsen B. Weights of brain, heart, liver, kidneys, and spleen in healthy and apparently healthy adult Danish subjects. *Am J Hum Biol Off J Hum Biol Counc.* 1993;5(3):291-6.
6. Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX, et al. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol.* 1998;275(2):E249-258.
7. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3ème édition. 3e éd. Tec et Doc Lavoisier; 2000. 605 p.*
8. Ravussin E, Lillioja S, Anderson TE, Christin L, Bogardus C. Determinants of 24-hour energy expenditure in man. Methods and results using a respiratory chamber. *J Clin Invest.* déc 1986;78(6):1568-78.
9. Ferraro R, Lillioja S, Fontvieille AM, Rising R, Bogardus C, Ravussin E. Lower sedentary metabolic rate in women compared with men. *J Clin Invest.* sept 1992;90(3):780-4.
10. Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr.* févr 1996;50(2):72-92.
11. Morio B, Beaufrère B, Montaurier C, Verdier E, Ritz P, Fellmann N, et al. Gender differences in energy expended during activities and in daily energy expenditure of elderly people. *Am J Physiol.* août 1997;273(2 Pt 1):E321-327.
12. Morio B, Ritz P, Verdier E, Montaurier C, Beaufrere B, Vermorel M. Critical evaluation of the factorial and heart-rate recording methods for the determination of energy expenditure of free-living elderly people. *Br J Nutr.* nov 1997;78(5):709-22.
13. D'Alessio DA, Kavle EC, Mozzoli MA, Smalley KJ, Polansky M, Kendrick ZV, et al. Thermic effect of food in lean and obese men. *J Clin Invest.* juin 1988;81(6):1781-9.

14. Bray GA, éditeur. Recent Advances in Obesity Research: International Congress Proceedings: 2nd. 1978.
15. P R, Wa C. Doubly labelled water measurement of total energy expenditure. *Diabete Metab.* 1 oct 1995;21(4):241-51.
16. Harris JA, Benedict FG. A Biometric Study of Basal Metabolism in Man.
17. Schofield WN. Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. *Hum Nutr Clin Nutr.* 1985;39 Suppl 1:5-41.
18. Rome) C conjointe d'experts F sur les besoins énergétiques et les besoins en protéines (1981.; Nations F and AO of the U, Organization WH, University UN. Besoins énergétiques et besoins en protéines : rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU [s'est réunie à Rome du 5 au 17 octobre 1981]. Energy and protein requirements : report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation [held in Rome from 5 to 17 October 1981] [Internet]. 1986; Disponible sur: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/62734>
19. Passmore R, Durnin JVGA. Human Energy Expenditure. *Physiol Rev.* 1 oct 1955;35(4):801-40.
20. Klausen B, Toubro S, Astrup A. Age and sex effects on energy expenditure. *Am J Clin Nutr.* avr 1997;65(4):895-907.
21. Black AE. Physical activity levels from a meta-analysis of doubly labeled water studies for validating energy intake as measured by dietary assessment. *Nutr Rev.* juin 1996;54(6):170-4.
22. L'impédancemétrie : que mesure-t-on ? [Internet]. Bioparhom. Disponible sur: <https://www.bioparhom.com/impedancemetrie/>
23. La modélisation corporelle à cinq compartiments [Internet]. Bioparhom. Disponible sur: <https://www.bioparhom.com/la-modelisation-corporelle/>
24. Ziegler EE, Jr Filer LJ, Filer LJ, Foundation ILSI-N. Present Knowledge in Nutrition. 1996.
25. Jenkins RR, Friedland R, Howald H. The relationship of oxygen uptake to superoxide dismutase and catalase activity in human skeletal muscle. *Int J Sports Med.* févr 1984;5(1):11-4.
26. Atkinson FS, Foster-Powell K, Brand-Miller JC. International Tables of Glycemic Index and Glycemic Load Values: 2008. *Diabetes Care.* déc 2008;31(12):2281-3.
27. Bornet FR, Cloarec D, Barry JL, Colonna P, Gouilloud S, Laval JD, et al. Pasta cooking time: influence on starch digestion and plasma glucose and insulin responses in healthy subjects. *Am J Clin Nutr.* mars 1990;51(3):421-7.
28. Brand-Miller J, Slama G. L INDEX GLYCEMIQUE. 1997.

29. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am J Physiol.* sept 1993;265(3 Pt 1):E380-391.
30. van Loon LJ, Greenhaff PL, Constantin-Teodosiu D, Saris WH, Wagenmakers AJ. The effects of increasing exercise intensity on muscle fuel utilisation in humans. *J Physiol.* 1 oct 2001;536(Pt 1):295-304.
31. Fallowfield JL, Williams C. Carbohydrate intake and recovery from prolonged exercise. *Int J Sport Nutr.* juin 1993;3(2):150-64.
32. Coyle EF. Timing and method of increased carbohydrate intake to cope with heavy training, competition and recovery. *J Sports Sci.* 1991;9 Spec No:29-51; discussion 51-52.
33. Knechtle B, Müller G, Willmann F, Kotteck K, Eser P, Knecht H. Fat oxidation in men and women endurance athletes in running and cycling. *Int J Sports Med.* janv 2004;25(1):38-44.
34. Noakes T. *Lore of Running.* Fourth. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 2002. 944 p.
35. *Micronutrition, santé et performance : Comprendre ce qu'est vraiment la micronutrition.* De Boeck; 2015. 372 p.
36. Jentjens R, Jeukendrup AE. Determinants of Post-Exercise Glycogen Synthesis During Short-Term Recovery. *Sports Med.* 1 févr 2003;33(2):117-44.
37. Piehl K. Time course for refilling of glycogen stores in human muscle fibres following exercise-induced glycogen depletion. *Acta Physiol Scand.* févr 1974;90(2):297-302.
38. Riché D. *Guide nutritionnel des sports d'endurance, 2e édition.* 2e éd. Paris: Vigot; 1998. 368 p.
39. Goodpaster BH, He J, Watkins S, Kelley DE. Skeletal muscle lipid content and insulin resistance: evidence for a paradox in endurance-trained athletes. *J Clin Endocrinol Metab.* déc 2001;86(12):5755-61.
40. Burke AP, Farb A, Malcom GT, Liang Y, Smialek JE, Virmani R. Plaque rupture and sudden death related to exertion in men with coronary artery disease. *JAMA.* 10 mars 1999;281(10):921-6.
41. Hawley JA, Palmer GS, Noakes TD. Effects of 3 days of carbohydrate supplementation on muscle glycogen content and utilisation during a 1-h cycling performance. *Eur J Appl Physiol.* 1997;75(5):407-12.
42. Bourre JM, Francois M, Youyou A, Dumont O, Piciotti M, Pascal G, et al. The effects of dietary alpha-linolenic acid on the composition of nerve membranes, enzymatic activity, amplitude of electrophysiological parameters, resistance to poisons and performance of learning tasks in rats. *J Nutr.* déc 1989;119(12):1880-92.

43. Viscardi RM, Max SR. Unsaturated fatty acid modulation of glucocorticoid receptor binding in L2 cells. *Steroids*. 1 août 1993;58(8):357-61.
44. Witt M-R, Nielsen M. Characterization of the Influence of Unsaturated Free Fatty Acids on Brain GABA/Benzodiazepine Receptor Binding In Vitro. *J Neurochem*. 1994;62(4):1432-9.
45. Chen SG, Murakami K. Effects of cis-fatty acid on protein kinase C activation and protein phosphorylation in the hippocampus. *J Pharm Sci Technol Off J PDA*. avr 1994;48(2):71-5.
46. Jourdon P, Berwald-Netter Y, Houzet E, Couraud F, Dubois JM. Effects of toxin II from the scorpion *Androctonus australis Hector* on sodium current in neuroblastoma cells and their modulation by oleic acid. *Eur Biophys J*. 1 févr 1989;16(6):351-6.
47. Bourre J-M, Daudu O, Baumann N. Ontogenèse des trois systèmes de biosynthèse des acides gras dans les microsomes cérébraux: Relation avec la myélinisation. *Biochimie*. 20 déc 1976;58(10):1277-9.
48. Position paper on trans fatty acids. ASCN/AIN Task Force on Trans Fatty Acids. American Society for Clinical Nutrition and American Institute of Nutrition. *Am J Clin Nutr*. mai 1996;63(5):663-70.
49. Costill DL, Fink WJ, Getchell LH, Ivy JL, Witzmann FA. Lipid metabolism in skeletal muscle of endurance-trained males and females. *J Appl Physiol*. oct 1979;47(4):787-91.
50. Jansson E, Kaijser L. Effect of diet on the utilization of blood-borne and intramuscular substrates during exercise in man. *Acta Physiol Scand*. mai 1982;115(1):19-30.
51. Larson-Meyer DE, Newcomer BR, Hunter GR. Influence of endurance running and recovery diet on intramyocellular lipid content in women: a <sup>1</sup>H NMR study. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. janv 2002;282(1):E95-106.
52. Oscai LB, Essig DA, Palmer WK. Lipase regulation of muscle triglyceride hydrolysis. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. nov 1990;69(5):1571-7.
53. Savard R, Després JP, Deshaies Y, Marcotte M, Bouchard C. Adipose tissue lipid accumulation pathways in marathon runners. *Int J Sports Med*. oct 1985;6(5):287-91.
54. Hodgetts V, Coppack SW, Frayn KN, Hockaday TD. Factors controlling fat mobilization from human subcutaneous adipose tissue during exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. août 1991;71(2):445-51.
55. Watt MJ, Heigenhauser GJF, O'Neill M, Spriet LL. Hormone-sensitive lipase activity and fatty acyl-CoA content in human skeletal muscle during prolonged exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. juill 2003;95(1):314-21.
56. Chos D, Riche D. Apports de sécurité en lipides chez le sportif à haut niveau d'entraînement. *Sci Sports*. 1 avr 2005;20(2):74-82.



57. Holloszy JO, Booth FW. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annu Rev Physiol.* 1976;38:273-91.
58. Nakamura M, Brown J, Miller WC. Glycogen depletion patterns in trained rats adapted to a high-fat or high-carbohydrate diet. *Int J Sports Med.* août 1998;19(6):419-24.
59. Vallières F, Tremblay A, St-Jean L. Study of the energy balance and the nutritional status of highly trained female swimmers. *Nutr Res.* 1 juill 1989;9(7):699-708.
60. Riché D, Chos D. *Diététique et micronutrition du sportif.* Paris: Vigot Maloine; 2001. 210 p.
61. Frayn KN, Khan K, Coppack SW, Elia M. Amino acid metabolism in human subcutaneous adipose tissue in vivo. *Clin Sci Lond Engl* 1979. mai 1991;80(5):471-4.
62. Ruderman NB. Muscle amino acid metabolism and gluconeogenesis. *Annu Rev Med.* 1975;26:245-58.
63. Garber AJ, Karl IE, Kipnis DM. Alanine and glutamine synthesis and release from skeletal muscle. I. Glycolysis and amino acid release. *J Biol Chem.* 10 févr 1976;251(3):826-35.
64. Haralambie G, Berg A. Serum urea and amino nitrogen changes with exercise duration. *Eur J Appl Physiol.* 1 mars 1976;36(1):39-48.
65. Lemon PW, Mullin JP. Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol.* avr 1980;48(4):624-9.
66. Refsum HE, Strømme SB. Urea and creatinine production and excretion in urine during and after prolonged heavy exercise. *Scand J Clin Lab Invest.* mai 1974;33(3):247-54.
67. Rougier G, Babin JP. A blood and urine study of heavy muscular work on ureic and uric metabolism in man. *J Sports Med Phys Fitness.* sept 1975;15(3):212-22.
68. Meredith CN, Zackin MJ, Frontera WR, Evans WJ. Dietary protein requirements and body protein metabolism in endurance-trained men. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. juin 1989;66(6):2850-6.
69. Sugden PH, Fuller SJ. Regulation of protein turnover in skeletal and cardiac muscle. *Biochem J.* 1 janv 1991;273(Pt 1):21-37.
70. Viru A. Mobilisation of structural proteins during exercise. *Sports Med Auckl NZ.* avr 1987;4(2):95-128.
71. Friedman JE, Lemon PW. Effect of chronic endurance exercise on retention of dietary protein. *Int J Sports Med.* avr 1989;10(2):118-23.
72. Bigard A. Apport en protéines et masse musculaire. *Sci Sports.* 1 janv 1996;11(4):195-204.
73. Lemon PW, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Atkinson SA. Protein requirements and muscle mass/strength changes during intensive training in novice bodybuilders. *J Appl Physiol.* 1 août 1992;73(2):767-75.

74. Lemon PW. Is increased dietary protein necessary or beneficial for individuals with a physically active lifestyle? *Nutr Rev.* avr 1996;54(4 Pt 2):S169-175.
75. WALBERG JL, LEIDY MK, STURGILL DJ, HINKLE DE, RITCHEY SJ, SEBOLT DR. Macronutrient content of a hypoenergy diet affects nitrogen retention and muscle function in weight lifters. *Macronutr Content Hypoenergy Diet Affects Nitrogen Retent Muscle Funct Weight Lifters.* 1988;9(4):261-6.
76. Brin M, Shohet SS, Davidson CS. The effect of thiamine deficiency on the glucose oxidative pathway of rat erythrocytes. *J Biol Chem.* 1958;230:319-26.
77. NUT2012SA0103Ra-2.pdf [Internet]. [cité 25 avr 2020]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf>
78. Fry PC, Fox HM, Tao HG. Metabolic response to a pantothenic acid deficient diet in humans. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 1976;22(4):339-46.
79. Baugh CM, Malone JH, Butterworth CE. Human biotin deficiency. A case history of biotin deficiency induced by raw egg consumption in a cirrhotic patient. *Am J Clin Nutr.* févr 1968;21(2):173-82.
80. Vitamine B9 ou acide folique | Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail [Internet]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/content/vitamine-b9-ou-acide-folique>
81. Humphrey JH, West KP, Sommer A. Vitamin A deficiency and attributable mortality among under-5-year-olds. *Bull World Health Organ.* 1992;70(2):225-32.
82. Bouillon R, Okamura WH, Norman AW. Structure-function relationships in the vitamin D endocrine system. *Endocr Rev.* avr 1995;16(2):200-57.
83. Garg A, Bonanome A, Grundy SM, Zhang Z-J, Unger RH. Comparison of a High-Carbohydrate Diet with a High-Monounsaturated-Fat Diet in Patients with Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *N Engl J Med.* 29 sept 1988;319(13):829-34.
84. Stamp TC, Haddad JG, Twigg CA. Comparison of oral 25-hydroxycholecalciferol, vitamin D, and ultraviolet light as determinants of circulating 25-hydroxyvitamin D. *Lancet Lond Engl.* 25 juin 1977;1(8026):1341-3.
85. Mj M. Differences in vitamin D status between countries in young adults and the elderly. *Am J Med.* 1 juill 1992;93(1):69-77.
86. Holick MF. McCollum Award Lecture, 1994: Vitamin D—new horizons for the 21st century. *Am J Clin Nutr.* 1 oct 1994;60(4):619-30.
87. Holick MF. Environmental factors that influence the cutaneous production of vitamin D. *Am J Clin Nutr.* 1995;61(3 Suppl):638S-645S.

88. Garabédian M, Menn S, Nguyen TM, Ruiz JC, Callens A, Uhlich J. Prévention de la carence en vitamine D chez l'enfant et l'adolescent I. Proposition et argumentaire pour l'utilisation d'un abaque décisionnel. Arch Pédiatrie. 1 août 1999;6(9):990-1000.
89. Suttie JW. The Importance of Menaquinones in Human Nutrition. Annu Rev Nutr. 1995;15(1):399-417.
90. Saupe J, Shearer MJ, Kohlmeier M. Phylloquinone transport and its influence on gamma-carboxyglutamate residues of osteocalcin in patients on maintenance hemodialysis. Am J Clin Nutr. août 1993;58(2):204-8.
91. Néphrologie Tome 1. Physiologie rénale et désordres hydroélectrolytiques - Michel Paillard [Internet]. Disponible sur: <https://www.decitre.fr/livres/nephrologie-tome-1-physiologie-renale-et-desordres-hydroelectrolytiques-9782705661885.html>
92. Hervé E, Berthaux P, Apfelbaum M, Guy-Grand B. L'Alimentation des Personnes Agees au-delà des apports recommandés.
93. Muntzel M, Drüeke T. A comprehensive review of the salt and blood pressure relationship. Am J Hypertens. avr 1992;5(4 Pt 1):1S-42S.
94. LALAU (J.D.), LALAU (J.D.), PAWLAK (S.), VILFROY (M.). Sources alimentaires, rôle physiologique et besoins en minéraux. I - Sodium, potassium, calcium, magnésium. Sources Aliment Rôl Physiol Besoins En Minér - Sodium Potassium Calcium Magnésium. 1996;
95. Sadler MJ, Strain JJ, Caballero B. Encyclopedia of Human Nutrition.
96. Chappuis. Les oligoéléments en médecine et biologie.
97. Bray TM, Bettger WJ. The physiological role of zinc as an antioxidant. Free Radic Biol Med. 1990;8(3):281-91.
98. Sandström B. Consideration in estimates of requirements and critical intake of zinc. Adaption, availability and interactions. The Analyst. mars 1995;120(3):913-5.
99. Klurfeld DM, éditeur. Nutrition and Immunology.
100. Uauy R, Olivares M, Gonzalez M. Essentiality of copper in humans. Am J Clin Nutr. 1998;67(5 Suppl):952S-959S.
101. Danks DM. Copper Deficiency in Humans. Annu Rev Nutr. 1988;8(1):235-57.
102. Lamand M, Tressol J-C, Ireland-Ripert J, Favier J-C, Feinberg M. Répertoire général des aliments, tome 4 : Table de composition minérale.
103. Anderson RA. Nutritional factors influencing the glucose/insulin system: chromium. J Am Coll Nutr. 1 oct 1997;16(5):404-10.
104. Mertz W. Chromium Research from a Distance: From 1959 to 1980. J Am Coll Nutr. 1 déc 1998;17(6):544-7.

105. Riché D. Pratique sportive et oligoéléments: conséquences nutritionnelles. *Sci Sports*. 1 janv 1996;11(4):211-22.
106. Freeland-Graves JH, Turnlund JR. Deliberations and evaluations of the approaches, endpoints and paradigms for manganese and molybdenum dietary recommendations. *J Nutr*. 1996;126(9 Suppl):2435S-2440S.
107. Greger JL. Dietary standards for manganese: overlap between nutritional and toxicological studies. *J Nutr*. 1998;128(2 Suppl):368S-371S.
108. Turnlund JR, Keyes WR, Peiffer GL, Chiang G. Molybdenum absorption, excretion, and retention studied with stable isotopes in young men during depletion and repletion. *Am J Clin Nutr*. mai 1995;61(5):1102-9.
109. Uthus EO, Seaborn CD. Deliberations and evaluations of the approaches, endpoints and paradigms for dietary recommendations of the other trace elements. *J Nutr*. 1996;126(9 Suppl):2452S-2459S.
110. Cummings JH, Roberfroid MB, Andersson H, Barth C, Ferro-Luzzi A, Ghos Y, et al. A new look at dietary carbohydrate: chemistry, physiology and health. Paris Carbohydrate Group. *Eur J Clin Nutr*. juill 1997;51(7):417-23.
111. Kritchevsky D, Bonfield CT. *Dietary Fiber in Health and Disease*.
112. Spiller GA. *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition, Third Edition*.
113. Lairon D. Dietary fibres: effects on lipid metabolism and mechanisms of action. *Eur J Clin Nutr*. mars 1996;50(3):125-33.
114. Kromhout D, Menotti A, Bloemberg B, Aravanis C, Blackburn H, Buzina R, et al. Dietary saturated and trans fatty acids and cholesterol and 25-year mortality from coronary heart disease: the Seven Countries Study. *Prev Med*. mai 1995;24(3):308-15.
115. Rimm EB, Ascherio A, Giovannucci E, Spiegelman D, Stampfer MJ, Willett WC. Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *JAMA*. 14 févr 1996;275(6):447-51.
116. Rehrer NJ, van Kemenade M, Meester W, Brouns F, Saris WH. Gastrointestinal complaints in relation to dietary intake in triathletes. *Int J Sport Nutr*. mars 1992;2(1):48-59.
117. Rehrer NJ, Smets A, Reynaert H, Goes E, De Meirleir K. Effect of exercise on portal vein blood flow in man. *Med Sci Sports Exerc*. sept 2001;33(9):1533-7.
118. Bertrand G, Riché D, Collectif. *Guide pratique du trail*. Millau: VO2 Diffusion; 2006. 223 p.
119. Brouns F, Beckers E. Is the gut an athletic organ? Digestion, absorption and exercise. *Sports Med Auckl NZ*. avr 1993;15(4):242-57.
120. Delavier F, Gundill M. *La Methode Delavier de musculation chez soi*. Vigot; 2009. 256 p.

121. La prise de masse chez les ectomorphes [Internet]. Le Guerrier Ectomorphe. 2019. Disponible sur: <https://leguerrierectomorphe.com/prise-masse-ectomorphe/>
122. Les recettes cultes de Big Will. Solar; 2019. 224 p.
123. Mes recettes healthy: BIM ! Prends toi en main avec mes recettes fitfightforever. Vanves: Marabout; 2018. 176 p.
124. Fahey TD, Hoffman K, Colvin W, Lauten G. The effects of intermittent liquid meal feeding on selected hormones and substrates during intense weight training. *Int J Sport Nutr.* mars 1993;3(1):67-75.
125. Zawadzki KM, Yaspelkis BB, Ivy JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985. mai 1992;72(5):1854-9.
126. Éleuthérocoque - EurekaSanté par VIDAL [Internet]. EurekaSanté. Disponible sur: <https://eukasante.vidal.fr/parapharmacie/phytotherapie-plantes/eleutherocoque-eleutherococcus-senticosus.html>
127. Gingembre - EurekaSanté par VIDAL [Internet]. EurekaSanté. Disponible sur: <https://eukasante.vidal.fr/parapharmacie/phytotherapie-plantes/gingembre-zingiber-officinalis.html>
128. Ahmad N, Mukhtar H. Green tea polyphenols and cancer: biologic mechanisms and practical implications. *Nutr Rev.* mars 1999;57(3):78-83.
129. BCAA 4.1.1, l'allié de votre récupération après l'effort | EAFIT [Internet]. Disponible sur: <https://www.eafit.com/eafit-bcaa-4-1-1-120-gelules.html>
130. Pure L-Glutamine, un acide aminé essentiel pour limiter le catabolisme et relancer l'anabolisme | EAFIT [Internet]. Disponible sur: <https://www.eafit.com/eafit-pure-l-glutamine-243-g.html>
131. Pure Créatine Gélules - Augmente rapidement la force et la récupération énergétique | EAFIT [Internet]. Disponible sur: <https://www.eafit.com/eafit-pure-creatine-90-gelules.html>
132. Amino Max Pro - Complexe d'acides aminés tri-sources pour favoriser la prise de muscle sec | EAFIT [Internet]. Disponible sur: <https://www.eafit.com/eafit-amino-max-pro-375-comprimes.html>
133. Häussinger D, Lang F. Cell volume and hormone action. *Trends Pharmacol Sci.* oct 1992;13(10):371-3.
134. Krotkiewski M, Gudmundsson M, Backström P, Mandroukas K. Zinc and muscle strength and endurance. *Acta Physiol Scand.* 1982;116(3):309-11.
135. Riche D. Les déficits en magnésium et le sport. *Sci Sports.* 1 mars 1989;4(1):41-52.

136. Bagchi D, Stohs SJ, Downs BW, Bagchi M, Preuss HG. Cytotoxicity and oxidative mechanisms of different forms of chromium. *Toxicology*. 30 oct 2002;180(1):5-22.



## Résumé

La nutrition est un des éléments clefs de la réussite du sportif. C'est en déterminant son métabolisme de base puis ses dépenses énergétiques qu'il sera possible d'estimer ses besoins nutritionnels au plus juste pour l'accompagner. Non seulement c'est un moyen de l'aider à progresser, mais c'est aussi un moyen d'assurer le maintien de sa bonne santé.

Dans le cas des sportifs pratiquant la musculation, il sera envisageable de les classer dans les groupes suivants : ectomorphe, mésomorphe ou endomorphe. L'appartenance à plus ou moins un de ces morphotypes orientera les modifications d'équilibre entre les macronutriments par rapport à la population générale.

Le lien entre la physiologie de la personne, le sport qu'elle pratique et son alimentation est donc considérable.

## Mots clefs

- Métabolisme de base
  - Dépenses énergétiques
  - Besoins nutritionnels
  - Ectomorphe
  - Mésomorphe
  - Endomorphe
- 
- 
- 
- 
-