



**HAL**  
open science

# Rôle et conseils du pharmacien d'officine dans l'hydratation et l'utilisation des boissons énergétiques chez le sportif

Muriel Rajaonarison

## ► To cite this version:

Muriel Rajaonarison. Rôle et conseils du pharmacien d'officine dans l'hydratation et l'utilisation des boissons énergétiques chez le sportif. Sciences pharmaceutiques. 2019. dumas-02902009

**HAL Id: dumas-02902009**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02902009>**

Submitted on 17 Jul 2020

**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 DE PICARDIE JULES VERNE**  
**UFR PHARMACIE**

---

**Année 2019**

**Thèse n°**

**THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR**  
**EN PHARMACIE**

**Soutenue publiquement le 30 août 2019**

**Par**

**Muriel RAJAONARISON**

**ROLE ET CONSEILS DU PHARMACIEN D'OFFICINE**  
**DANS L'HYDRATATION ET L'UTILISATION DES**  
**BOISSONS ENERGETIQUES CHEZ LE SPORTIF**

**JURY :**

**Président : Mme MULLIE-DEMAILLY Catherine, Pharmacien maître de conférences**

**Membres : M. BIENAIME Christophe, Maître de conférences**

**Mme ROBIN Sabine, Pharmacien**

## **REMERCIEMENTS**

Je souhaite remercier en premier lieu mon directeur de thèse, Monsieur Christophe Bienaimé, pour avoir accepté de travailler avec moi sur mon sujet de thèse. Vous avez su être patient et m'orienter dans mon travail.

Je remercie la présidente de ma soutenance, Madame Catherine Mullié-Demilly, pour avoir accepté d'être un membre de mon jury. Vos cours universitaires m'ont inspirée ce sujet.

Je remercie le docteur en pharmacie, Madame Sabine Robin, d'avoir accepté d'être membre de mon jury. Votre parcours professionnel sera un atout pour juger de mon travail.

Je remercie toute l'équipe de la pharmacie de la porte de Buc (78000 Versailles) pour avoir partagé mes premiers pas dans la vie active et la confiance de Madame Fallet.

Je remercie l'équipe de la bibliothèque universitaire Paris Descartes STAPS pour leur aide, leur accueil et leur gentillesse. Merci aussi à Clémence Héraud pour le prêt de livres.

Je remercie ma famille, en particulier mes parents et mon frère pour leur soutien dans ce long parcours. Je remercie mon chéri qui a été un vrai pilier durant mes années d'études.

Enfin je remercie mes chères amies Carole, Laetitia et Leslie qui m'ont encouragée et en particulier Hajar Youssoufi pour ses corrections. Je n'oublie pas tous les autres copains de promotion qui m'ont aidée à ce que mes années universitaires soient inoubliables.

## **SOMMAIRE**

REMERCIEMENTS .....	1
LISTE DES ABREVIATIONS .....	5
LISTE DES FIGURES ET EQUATIONS .....	7
LISTE DES TABLEAUX.....	8
INTRODUCTION.....	9
PARTIE 1 – Rappels pour le pharmacien des apports théoriques nutritionnels conseillés .....	10
1.1. Alimentation pour la population générale adulte et spécificité chez le sportif.....	11
1.1.1. Les macronutriments.....	11
1.1.1.1 Les glucides .....	11
1.1.1.2 Les lipides .....	14
1.1.1.3 Les protéines .....	16
1.1.2 Les micronutriments.....	17
1.1.2.1 Les minéraux majeurs et oligo-éléments .....	17
1.1.2.2 Les vitamines .....	19
1.1.3 Les compléments ergogéniques .....	22
1.1.3.1 La créatine.....	22
1.1.3.2 La carnitine .....	23
1.1.3.3 Les acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA) .....	24
1.1.3.4 L'arginine.....	25
1.1.3.5 Autres substances.....	25
1.1.4 L'eau et les boissons .....	26
1.2 Importance de l'hydratation : aspects physiologiques .....	29
1.2.1 Variations de l'eau dans le corps.....	29
1.2.1.1 Répartition de l'eau dans le corps .....	29
1.2.1.2 Perte sudorale.....	32
1.2.1.3 Composition sueur .....	34
1.1.1.2.2 Conséquences d'une hydratation inappropriée .....	35

1.2.2.1	Déshydratation .....	36
1.2.2.2	Hyperhydratation .....	38
PARTIE 2 - Promotion de l'activité physique à l'officine.....		39
2.1	Physiologie de l'effort et bioénergétique.....	40
2.1.1	Les sources d'énergie .....	40
2.1.1.1	Les glucides .....	41
2.1.1.2	Les lipides .....	42
2.1.1.3	Les protéines .....	43
2.1.2	La formation de l'énergie .....	43
2.1.2.1	Les systèmes énergétiques .....	44
2.1.2.1.1	Le système anaérobie alactique .....	44
2.1.2.1.2	Le système anaérobie lactique .....	45
2.1.2.1.3	Les systèmes aérobies.....	46
2.1.3	Principaux indicateurs métaboliques.....	48
2.1.3.1	Quotient respiratoire .....	48
2.1.3.2	La VO <sub>2</sub> max.....	49
2.2	Rôle du pharmacien dans l'accompagnement du sportif à l'officine .....	50
2.2.1	L'activité physique : une thérapeutique non médicamenteuse.....	50
2.2.2	Conseils généraux à la pratique d'une activité physique .....	53
PARTIE 3 - Conseils du pharmacien dans l'utilisation des boissons énergétiques.....		55
3.1	Définition des boissons énergétiques.....	55
3.1.1	Cadre réglementaire .....	55
3.1.2	Présentation et choix des boissons énergétiques .....	57
3.2	Les boissons de l'effort à l'officine .....	58
3.2.1	Composition générale d'une boisson de l'effort .....	58
3.2.1.1	Les minéraux.....	59
3.2.1.2	Le pH .....	60
3.2.1.3	L'osmolarité.....	61

3.2.1.4	La température .....	63
3.2.1.5	Les caractères organoleptiques .....	63
3.2.1.6	La nature et concentration des nutriments .....	63
3.2.1.7	Les substances ergogéniques .....	66
3.2.2	Boissons de l'effort vendues en pharmacie .....	66
3.3	Prévention chez la personne âgée et chez les enfants .....	68
3.3.1	La personne âgée .....	68
3.3.2	Les enfants.....	69
CONCLUSION .....		71
ANNEXES .....		72
BIBLIOGRAPHIE .....		79

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

Acétyl-CoA	Acétyl-Coenzyme A
ADH	Hormone antidiurétique
ADP	Adénosine diphosphate
AET	Apports énergétiques totaux
AFNOR	Agence française de normalisation
AGL	Acides gras libres
ALD	Affection longue durée
AMM	Autorisation de mise sur le marché
ANC	Apport nutritionnel conseillé
ANSES	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
APA	Activité physique adaptée
ATP	Adénosine triphosphate
BCAA	Branched-Chain Amino Acids
DEAP	Dépense énergétique liée à l'activité physique
DET	Dépense énergétique totale
DGCCRF	Direction de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
EFSA	European Food Safety Authority
ETA	Effet thermogénique des aliments
ETP	Education thérapeutique du patient
FAD	Flavine adénine dinucléotide
HAS	Haute Autorité de Santé

HDL	High lipoprotéines de haute densité
HGR	Hypoglycémie réactionnelle
IG	Index glycémique
INSEP	Institut national du sport, de l'expertise et de la performance
LDL	Lipoprotéines de basse densité
MET	Metabolic equivalent task
OMS	Organisation mondiale de la santé
NAD	Nicotinamide adénine dinucléotide
NAP	Niveau d'activité physique
PCr	Phosphocréatine
pH	Potentiel Hydrogène
Pi	Phosphate inorganique
PNNS	Programme national nutrition santé
QR	Quotient respiratoire
RNP	Référence nutritionnelle pour la population
SGLT1	Sodium Glucose coTransport-1
SRO	Soluté de réhydratation orale



## **LISTE DES FIGURES ET EQUATIONS**

Figure 1 : Classification des nutriments .....	11
Figure 2 : Implication des vitamines hydrosolubles du groupe B comme cofacteurs enzymatiques de multiples voies métaboliques (Bigard and Guézennec, 2018) .....	20
Figure 3 : Synthèse de la sérotonine.....	24
Figure 4 : Teneur en eau en fonction de l'âge (Henderson et al., 2018).....	30
Figure 5 : Mécanisme régulant le bilan hydrique au sein de l'organisme (Courbebaisse, 2015) .....	31
Figure 6 : Schéma d'une glande sudoripare (Wilmore et al., 2017).....	34
Figure 7: Formation de l'énergie à partir de l'hydrolyse de l'ATP (Kenney et al., 2017) .....	43
Figure 8 : Production oxydative de l'ATP à partir du glucose (McArdle et al., 2001).....	46
Figure 9 : Représentation schématique de la part respective des substrats utilisés lors d'un exercice prolongé à 75 % de la VO <sub>2</sub> max (Monod et al., 2003) .....	49
Figure 10 : Les mécanismes de transfert de l'eau au travers de la barrière intestinale, modifié (Bigard and Guézennec, 2018).....	59
Figure 11 : Schéma du mécanisme de développement d'une carie dentaire (Louis and Hausswirth, 2012) .....	61
Figure 12 : Absorption des sucres par les entérocytes (Baud et al., 2018) .....	65

## **LISTE DES EQUATIONS:**

Équation 1 : $ADP + PCr \rightarrow Créatine + ATP$ .....	22
Équation 2 : $H^+ + HCO_3^- \rightarrow H_2CO_3 \rightarrow CO_2 + H_2O$ .....	25
Équation 3 : Dépense énergétique totale (DET).....	40
Équation 4 : Dégradation de la molécule de triglycérides.....	42
Équation 5: Oxydation du palmitate et du glucose .....	47

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Indice protéique de quelques aliments (McArdle et al., 2004) .....	16
Tableau 2 : Apport suffisant en vitamines du groupe B (ANSES, 2016a).....	20
Tableau 3 : Balance hydrique chez un adulte sédentaire vivant en climat tempéré (Jéquier and Constant, 2009) .....	27
Tableau 4 : Répartition de l'eau dans les liquides pour un homme adulte de 70 kg (EFSA, 2010a).....	30
Tableau 5 : Extrait tableau de la perte sudorale chez les joueurs de football durant un entraînement de 90 minutes (Maughan and Shirreffs, 2004) .....	32
Tableau 6 : Extrait d'un tableau concernant les ajustements physiologiques durant l'acclimatement à la chaleur (McArdle et al., 2004) .....	33
Tableau 7 : Composition de la sueur (Alexandre Méliissopoulos and Christine Levacher, 2012) .....	35
Tableau 8: Dépense énergétique et MET selon différentes activités (Kenney et al., 2017) ....	40
Tableau 9 : Réserves en glucides et lipides dans l'organisme (Kenney et al., 2017) .....	42
Tableau 10 : Quotient respiratoire en fonction de la proportion de glucides et lipides oxydés (Kenney et al., 2017) .....	48
Tableau 11 : Exemple d'effets de l'activité physique sur des variables de santé (ANSES, 2016d).....	50
Tableau 12 : Analyse nutritionnelle de différentes boissons.....	62
Tableau 13 : Concentration en glucides de la boisson en fonction de la température extérieure (Guezennec, 2011) .....	64
Tableau 14: Dosage de poudre Hydrixir Bio à diluer en fonction de la température extérieure ( <a href="https://www.overstims.com/HYDRIXIR-BIO-boite">https://www.overstims.com/HYDRIXIR-BIO-boite</a> ).....	67

## **INTRODUCTION**

L'emploi du mot sportif désigne un individu pratiquant régulièrement une activité physique. En réalité il existe différents types de sportifs selon la nature de l'activité physique (« sport »), son intensité, sa fréquence et les filières énergétiques mobilisées. D'après la charte européenne du sport, on entend par sport « toutes formes d'activités physiques qui, à travers une participation organisée ou non, ont pour objectif l'expression ou l'amélioration de la condition physique et psychique, le développement des relations sociales ou l'obtention de résultats en compétition de tous niveaux » (Comité des Ministres, 2001). La vulgarisation du terme « sportif » nous permettra de comparer les apports énergétiques entre l'individu ne pratiquant pas d'activité physique régulière et le sportif assidu. Il faut néanmoins préciser une différence d'intensité entre, le sportif amateur, le compétiteur et le professionnel. Pour ce dernier cas, étant entouré d'une équipe médicale le plus souvent, le rôle du pharmacien devrait être « inexistant » si celui-ci ne fait pas partie de l'équipe médicale. Par contre concernant les 2 autres « catégories » le rôle du pharmacien est primordial et peut même dans le cadre de la mise en place et d'analyses de questionnaires, permettre de détecter des problèmes de santé, de surentraînement, de blessures (questionnaires de la société française de médecine sportive) voire définir un meilleur accompagnement et éviter un arrêt prolongé de l'activité sportive très mal vécu par le « sportif ». Avant d'entrer dans les détails, il serait intéressant de rappeler l'intérêt d'encourager les professionnels de santé (médecins, pharmaciens, soignants...), coachs, entraîneurs, dirigeants de club de travailler main dans la main pour optimiser au mieux l'encadrement des entraînements et informer les personnes souhaitant intégrer dans leur vie une activité physique et préconiser, lorsque cela est nécessaire, un bilan de santé. L'accessibilité facile du pharmacien, sa connaissance des médicaments, des bases hygiéno-diététiques permettront aux sportifs débutants ou confirmés de pratiquer sans risque avec une préparation et une récupération adaptées.

Sur le plan des substrats énergétiques, il existe un équilibre entre les apports et les dépenses énergétiques. Lors de la pratique d'une activité physique, cet équilibre est rompu et les dépenses énergétiques peuvent être supérieures aux apports. Or la nutrition du sportif doit répondre au principe d'équilibre, par la compensation de la dépense énergétique (apport calorique) et par la supplémentation si nécessaire. Nous allons principalement nous intéresser à l'hydratation pendant l'effort et plus particulièrement aux boissons de l'effort.

Après des rappels d'une diététique équilibrée associée à une hydratation adéquate, nous insisterons sur le rôle que peut jouer le pharmacien dans la promotion d'une activité physique et enfin nous développerons un argumentaire sur le choix et l'utilisation des boissons de l'effort pour le sportif.

## **PARTIE 1 – Rappels pour le pharmacien des apports théoriques nutritionnels conseillés**

Dans le contexte d'une hydratation appropriée, il est nécessaire pour le pharmacien, de faire le rappel des bases de nutrition avec les six classes de nutriments : les glucides, les lipides, les protéines, les vitamines, les minéraux et l'eau (figure 1). Ensuite, nous détaillerons les sources alimentaires et les principaux rôles de chacun des nutriments ainsi que les besoins nutritionnels dans la population adulte générale et pour le sportif. Les apports recommandés ont été définis par la communauté scientifique internationale. Pour une substance donnée, les apports recommandés sont principalement déterminés d'après une référence nutritionnelle pour la population (RNP, qui correspond à l'ancien terme apport nutritionnel conseillé, ANC). Elle correspond à l'apport qui couvre le besoin de 97,5 % de la population considérée (ANSES, 2016a). Ces normes sont définies pour des sujets qui ne sont que modérément actifs. C'est pourquoi nous allons voir en parallèle les recommandations chez le sportif. Nous envisagerons dans quelle mesure certaines complémentations alimentaires peuvent contribuer à améliorer la performance et développerons les conséquences face à une hydratation inappropriée.

## 1.1. Alimentation pour la population générale adulte et spécificité chez le sportif

### 1.1.1. Les macronutriments

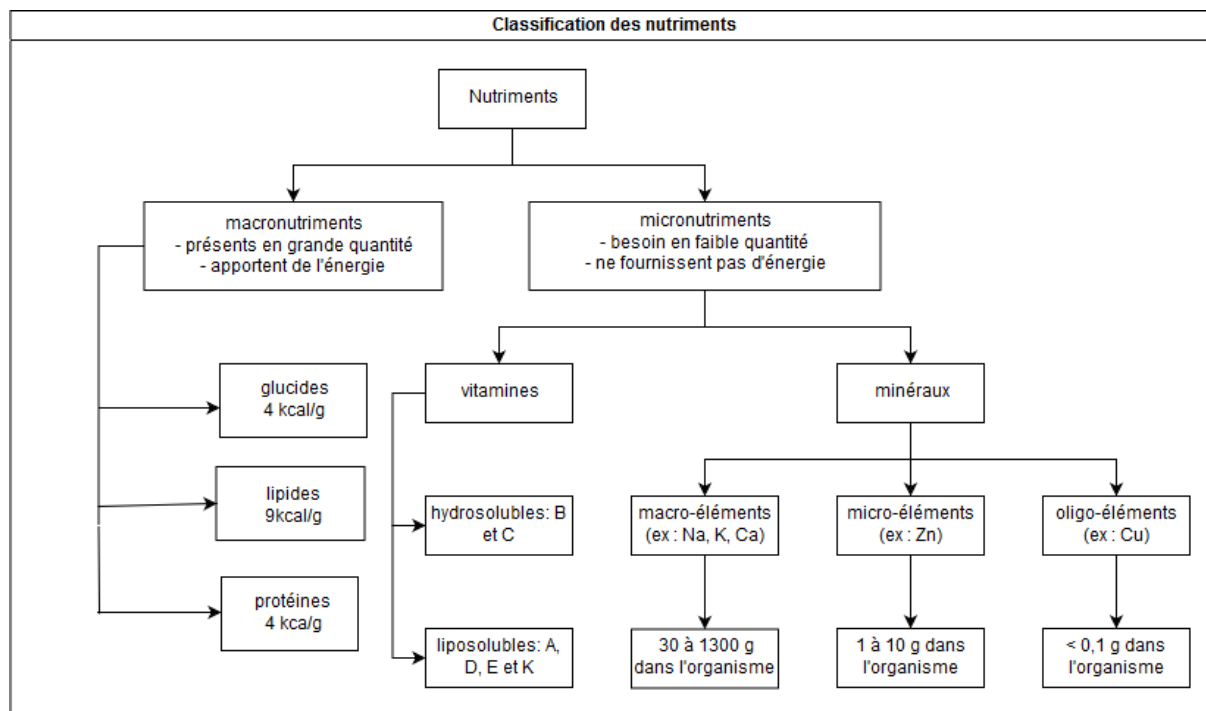


Figure 1 : Classification des nutriments

Les macronutriments regroupent les glucides, protéines et lipides. Ce sont des substrats dont l'organisme a besoin pour fournir de l'énergie (partie 2.1.1).

#### 1.1.1.1 Les glucides

Les glucides ou hydrates de carbones sont la principale source énergétique notamment pour les activités d'intensité élevée. Il existe quatre familles de glucides : les monosaccharides, les disaccharides, les oligosaccharides et les polysaccharides. Chaque famille est caractérisée par le nombre de sucres simples qui la compose (McArdle et al., 2004). Cette classification ne permet pas de déterminer la rapidité d'élévation du taux de glucose dans le sang induit après l'ingestion d'un aliment (Bigard and Guézennec, 2018). Cette notion définit la valeur de l'index glycémique (IG) d'un aliment. Il existe une relation entre la valeur de l'IG et la nature des aliments permettant de comparer les aliments entre eux (annexe 1). Dans le cadre d'une activité physique, le stade de l'activité (avant, pendant, après l'effort) déterminera le choix de la nature de l'aliment à consommer en fonction de son IG.

Les monosaccharides représentent l'unité de base des glucides. Les trois sucres simples les plus importants sur le plan nutritionnel sont le glucose, le fructose et le galactose (McArdle et

al., 2004). Tout d'abord le glucose peut provenir de l'alimentation, de digestion de sucres complexes mais aussi de la néoglucogenèse. Ainsi la formation de glucose pourra se faire à partir du glycérol, de lactate, pyruvate ou certains acides aminés (Delarue et al., 2004). Le glucose pourra ensuite être utilisé pour produire de l'énergie, être stocké dans le muscle ou le foie. Dans les boissons énergétiques on retrouve souvent la présence de dextrose, un isomère du glucose, le D-glucose (partie 3.2.2). Le fructose est retrouvé en grande quantité dans le miel et les fruits. L'utilisation du fructose n'a pas d'effet bénéfique immédiat puisqu'il doit être transformé en glucose dans le foie (McArdle et al., 2004). De plus, dans le cadre de régimes contenant une trop grande proportion de fructose (fruits et boissons sucrées), une augmentation des lipides sanguins (triglycérides) intra-hépatiques et de l'uricémie augmentent l'incidence de maladie métabolique comme le diabète et de stéatose hépatique non alcoolique (ANSES, 2016b). De plus, l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) considère que les sucres contenus dans les jus de fruits contribuent à un excès d'apport énergétique pouvant aboutir à la prise de poids (ANSES, 2016b). Le galactose quant à lui, d'une utilité moindre, entre dans la composition d'un disaccharide : le lactose.

Les disaccharides sont formés par l'association de deux molécules de monosaccharides. Ils représentent avec les monosaccharides, le groupe des glucides simples. Les disaccharides les plus retrouvés dans nos aliments sont le saccharose, le maltose et le lactose. On retrouve le saccharose dans le sucre issu de la betterave ou de la canne à sucre. Le lactose correspond au sucre du lait. Il peut être synthétisé et servir dans les préparations liquides hypercaloriques à teneur élevée en glucides. Cependant une grande partie de la population présente une intolérance au lactose. Le manque d'une enzyme, la lactase, permettant la dégradation du lactose, entraîne une intolérance au lactose traduite principalement par des symptômes intestinaux (McArdle et al., 2004). A l'échelle mondiale, seulement 35 % de la population adulte continue à exprimer la lactase (Gerbault Pascale et al., 2011). En France, on constate une augmentation de la non-persistance de la lactase (intolérance au lactose) du nord au sud et de l'ouest à l'est (Gerbault Pascale et al., 2011).

Les oligosaccharides et des polysaccharides sont dits glucides complexes car ils sont formés par un plus ou moins grand nombre de molécules de monosaccharides. Les polysaccharides sont classés en fonction de leur origine : végétale ou animale. Les polysaccharides d'origine végétale sont essentiellement l'amidon et les fibres alimentaires végétales. On retrouve l'amidon dans les céréales, les légumes secs et les tubercules comme les pommes de terre

(McArdle et al., 2004). Les fibres sont les composantes des membranes cellulaires des végétaux : issus de la structure interne (paroi cellulaire des fruits et légumes par exemple) ou provenant de l'enveloppe externe (péricarpe ligno-cellulosique de graines). Etant peu ou acaloriques, elles peuvent jouer un rôle nutritionnel essentiel, notamment dans l'accompagnement de patients ou sportifs soucieux de leurs poids (Louis and Hausswirth, 2012). Les fibres solubles, dispersibles dans l'eau, forment un gel dans l'intestin lors de la digestion ce qui permet de ralentir la vitesse d'absorption des glucides, des lipides et autres nutriments et conduire par gonflement et effet de lest à une satiété (Kenney et al., 2017). Certaines de ces fibres, l'inuline et les fructo-oligosaccharides, sont reconnues comme prébiotique, c'est-à-dire qu'elles participent activement à l'entretien des bactéries de la paroi digestive (Boisseau, 2005). Les fibres insolubles, non solubles dans l'eau, induisent une rétention d'eau qui permet d'augmenter le volume des selles et ainsi favorisent l'élimination des déchets alimentaires (ANSES, 2016a). Elles peuvent cependant provoquer un inconfort digestif (ballonnements, flatulences, diarrhées) ce qui peut nuire à l'activité du sportif. Par ailleurs, la présence d'acide phytique peut limiter l'absorption de certains minéraux comme le calcium (Boisseau, 2005). Un apport de 30 grammes de fibres quotidiennement est suffisant, à savoir que les produits décrit comme « source de fibre » contiennent au moins 3 g par 100g et ceux « riche en fibres » contiennent au moins 6 g par 100 g (ANSES, 2016c). Les polysaccharides d'origine animale sont stockés sous la forme de glycogène en majorité dans les muscles et aussi dans le foie. Par exemple, dans un steak de bœuf haché, la teneur moyenne en glucides est de 0,14 g pour 100 g.<sup>1</sup>

D'après le Programme National Nutrition Santé (PNNS) les apports en glucides devraient représenter 40 à 55 % des apports énergétiques totaux (AET) soit 6 à 8 g/kg/j (hors alcool) tout en favorisant la consommation des glucides complexes (ANSES, 2016a). Ces mêmes apports devraient représenter chez les sportifs, jusqu'à 60 % des AET (McArdle et al., 2004). Ils devraient être consommés sous la forme complexe non raffinés tels que le pain, pâtes et riz complets pour éviter le pic de glycémie. Suite à un effort physique de longue durée, la consommation d'aliments à index glycémique moyen à élevé permet de reconstituer rapidement les réserves glucidiques. Néanmoins il est recommandé de limiter au maximum sa consommation dans les 15 à 45 minutes avant une épreuve sportive (Kenney et al., 2017). En effet, après l'hyperglycémie provoquée par la prise de glucides à IG élevé juste avant l'effort,

---

<sup>1</sup> Données du Ciquial : steak de bœuf haché 20 % de matière grasse, cuit ([www.ciquial.anses.fr](http://www.ciquial.anses.fr))

une hypoglycémie réactionnelle (HGR) peut se manifester durant l'effort ce qui incite à consommer à nouveau des glucides (Guezennec, 2011).

Il faut cependant mettre en garde que la consommation excessive de glucides est un facteur de risque d'une détérioration de la dentition (INSEP, 2018a). L'institut national du sport, de l'expertise et de la performance (INSEP) rappelle qu'il existe un réel risque carieux chez les sportifs par la consommation de produits et boissons sucrées et d'autre part par l'activité physique engendrant des micro-traumatismes et chocs (Louis and Hausswirth, 2012). Pour la population générale, l'ANSES recommande de ne pas consommer quotidiennement plus de 100 g de sucres totaux (hors lactose et galactose) et pas plus d'une boisson sucrée (en privilégiant les jus de fruits)(ANSES, 2016a). La consommation de fructose, ayant un pouvoir sucrant plus élevé que le saccharose sans modifier la glycémie, serait une alternative chez le sportif (ANSES, 2016b). Il faut rappeler que les boissons édulcorées n'apportent pas d'énergie (sauf fructose et polyols).

#### *1.1.1.2 Les lipides*

La famille des lipides comprend les huiles, les graisses, les cires et les composés apparentés. Les lipides jouent deux rôles principaux : un rôle de de stockage d'énergie et un rôle structural. Ils protègent les organes vitaux, assurent l'isolation thermique et le transport des vitamines liposolubles A, D, E et K. Ils permettent aussi de protéger contre les chocs, en particulier chez les sportifs massifs. Ils sont classés en trois groupes principaux : les lipides simples, composés et les dérivés lipidiques.

La grande majorité des lipides alimentaires sont sous forme de triglycérides. Ces lipides simples constituent la principale forme de stockage des graisses (McArdle et al., 2004). Les triglycérides sont formés par l'assemblage d'acides gras et de glycérol. Il existe des acides gras essentiels que le corps ne peut pas synthétiser. Ces acides gras doivent être apportés par l'alimentation. Il existe deux principales familles d'acides gras essentiels : les acides gras polyinsaturés oméga 6 (huile de tournesol, de maïs...) et oméga 3 (poissons gras, huile de colza, noix et sauces). L'ANSES recommande un rapport strictement inférieur à 5 entre les oméga 6 et 3 (Boisseau, 2005). Ceci s'explique par le fait que les acides gras oméga 6 en forte proportion, peuvent favoriser un état inflammatoire chronique du sportif. Les acides gras saturés se trouvent essentiellement dans les produits d'origine animale comme les viandes grasses, le beurre, le jaune d'œuf et le fromage (Bigard and Guézennec, 2018). Leur



consommation peut participer à l'augmentation du cholestérol sanguin, déjà synthétisé par le foie et par conséquent conduire à des maladies cardio-vasculaires (McArdle et al., 2004).

Les lipides composés sont des triglycérides dont une chaîne d'acides gras est substituée par d'autres groupements chimiques. On y retrouve les phospholipides, la lécithine, les glycolipides et les lipoprotéines. Parmi les lipides, les substrats énergétiques utilisés principalement sont les triglycérides intramusculaires. Nous allons nous intéresser aux lipoprotéines qui représentent le principal mode de transport des lipides dans le sang. Ainsi parmi les lipoprotéines, les LDL (*low density lipoprotein*) transportent le cholestérol circulant, provenant de l'alimentation vers les tissus. Cependant il peut endommager les parois des artères et augmenter le risque d'apparition de maladies cardio-vasculaires et de pathologies thrombo-emboliques (Boisseau, 2005). A l'inverse, le cholestérol en excès est prélevé des cellules par les lipoprotéines de haute densité (HDL, *high density lipoprotein*) et est transporté vers le foie (McArdle et al., 2004).

Les dérivés lipidiques tels que le cholestérol ne sont présents que dans les tissus animaux (Boisseau, 2005). Ainsi on le retrouve dans le jaune d'œuf, la viande rouge, les abats, les fruits de mers et les produits laitiers. Il est cependant conseillé de surveiller les habitudes alimentaires afin d'éviter les troubles cardiovasculaires, provoqués par un taux élevé de cholestérol sérique (McArdle et al., 2004). Le cholestérol est produit de façon endogène par le foie et participe à de nombreuses fonctions complexes de l'organisme. Parmi ces fonctions, le cholestérol est le précurseur d'hormones stéroïdiennes, notamment des œstrogènes (Boisseau, 2005). Les œstrogènes sécrétés par les ovaires, sont sous la dépendance du fonctionnement de l'axe gonadotrope. Ce dernier peut être perturbé dans le cas d'un déficit énergétique, c'est-à-dire lorsque la dépense énergétique liée à l'activité physique n'est pas compensée par l'apport énergétique. Un déficit énergétique de 700 kcal par jour associé à une restriction des apports lipidiques à moins de 15 % pourra s'accompagner de troubles du cycle (court ou oligoménorrhée) voire une aménorrhée (Maître and Harvey, 2011). L'aménorrhée est présente chez 20 à 70 % des athlètes de haut niveau (Maître and Harvey, 2011). C'est en particulier chez les athlètes de sport d'endurance (course à pied, natation), les sports où l'image du corps est essentielle (natation synchronisée, patinage artistique, gymnastique) et les sports à catégorie de poids que l'on retrouve le plus de risque. Il n'existe pas de données épidémiologiques exploitables quant aux conséquences sur la fécondité, mais la fréquence des cycles anovulatoires laisse présager que la fertilité moyenne sur une population sportive est diminuée. D'autres facteurs issus de l'arrêt de la production d'œstrogènes pourraient être

présents comme une perturbation de la fonction endothéliale (activation inflammation endothéliale) avec un profil lipidique athérogène (élévation du cholestérol) et une perturbation du métabolisme osseux (ostéopénie, ostéoporose) (McArdle et al., 2004). Le traitement étiologique de l'aménorrhée par une augmentation des apports alimentaires totaux et des lipides (gain de poids par une augmentation de masse grasse) sera traduit par le retour des cycles visibles (Maître and Harvey, 2011).

Les apports nutritionnels des lipides recommandés dans la population générale représentent 35 à 40 % de l'apport énergétique total soit 1.3 à 1.5 g/kg/j (ANSES, 2016a). Chez le sportif, les apports lipidiques conseillés sont identiques à ceux préconisés dans la population générale afin de satisfaire l'apport en acides gras indispensables. La répartition de l'apport lipidique reste la même que dans la population générale avec la plus grande partie constituée d'acides gras polyinsaturés dans le cadre d'un régime équilibré. De par leur rôle structurel, énergétique et fonctionnel il déconseillé d'apporter moins de 35 % de lipides dans les rations alimentaires (ANSES, 2016a). L'enjeu majeur chez le sportif est d'utiliser les lipides au maximum pour épargner le glycogène, facteur limitant lors d'efforts à intensité moyenne à élevée. En fonction de la filière énergétique utilisée et de l'entraînement, les lipides peuvent être rapidement utilisés comme source énergétique (voir partie 2).

### 1.1.1.3 Les protéines

Les protéines, retrouvées essentiellement dans les muscles squelettiques sont un assemblage d'acides aminés. Il existe des acides aminés essentiels que l'organisme ne peut pas synthétiser et doivent donc être apportés par l'alimentation. Il s'agit de l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, thréonine, tryptophane et la valine (Boisseau, 2005). La «valeur biologique» d'un aliment protéique est fonction de sa teneur en acides aminés

Aliment	Indice protéique
Œuf	100
Poisson	70
Viande maigre de bœuf	69
Lait de vache	60
Riz blanc	56
Fèves de soja	47
Pommes de terre	34

Tableau 1 : Indice protéique de quelques aliments (McArdle et al., 2004)

essentiels (McArdle et al., 2004). Il s'agit de la référence pour déterminer la qualité d'une protéine, c'est-à-dire l'efficacité avec laquelle le corps va pouvoir l'assimiler et l'utiliser. Autrement dit sa mesure correspond au pourcentage d'utilisation relatif par rapport à une source de protéines de référence facilement utilisable qu'est l'œuf où la valeur biologique est égale à 100. La quantité de protéines la plus importante est retrouvée essentiellement dans les produits animaux (viande, poissons, fromage, œufs) mais peut-être

apportée dans une moindre mesure par certains végétaux comme des algues (spiruline) ou encore des légumineuses dont le soja (tableau 1). Les protéines interviennent notamment dans la structure au niveau des tissus musculaires et osseux ainsi que des processus physiologiques (Boisseau, 2005). Enfin, elles constituent une source d'azote pour l'organisme, cependant elles ne peuvent pas être stockées et mises en réserve à l'instar des hydrates de carbones et des lipides.

L'apport en protéines recommandé dans la population française est estimé à environ 10 % des AET soit 0,8 g/kg/j (ANSES, 2016a). Une supplémentation en acides aminés semblerait pouvoir améliorer les performances physiques, cependant aucune étude ne le confirme (voir partie 1.1.1.3). On remarque cependant une augmentation des apports ponctuels en protéines chez les sportifs qu'ils expliquent par un apport énergétique plus élevé (Levenhagen et al., 2002). Il n'existe pas d'études convaincantes démontrant les effets délétères d'un excessif apport en protéines mais une limite d'apport à 20 % des AET est fixée afin d'éviter un déséquilibre au sein des mécanismes régulateurs issus du métabolisme des protéines (ANSES, 2016c).

## 1.1.2 Les micronutriments

### *1.1.2.1 Les minéraux majeurs et oligo-éléments*

Nous allons étudier les cinq minéraux et quelques oligo-éléments fonctionnellement nécessaires à l'organisme en nutrition : le sodium, le potassium, le calcium, le magnésium et le fer. Le sodium joue un rôle important dans la pression osmotique en permettant le maintien de l'homéostasie lors de ses échanges entre le compartiment intracellulaire et extracellulaire, à savoir l'équilibre hydrique. Il joue également un rôle dans la contraction musculaire par le maintien du potentiel d'action et dans l'absorption et la réabsorption de l'eau, du glucose, du chlore et des acides aminés. Le sodium est retrouvé principalement dans le sel de table, les condiments, la charcuterie et les sauces. Les besoins quotidiens en sodium sont entre 0,5 à 2 grammes par jour. D'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) la limite supérieure en sodium quotidienne s'élève à 2 grammes (soit 5 grammes de sel, NaCl) et en France l'objectif fixé par PNNS est de 8 grammes afin d'éviter le risque de maladie cardiovasculaire (Mozaffarian et al., 2014). Les besoins en sodium chez le sportif dépendra du type d'activité pratiqué et de la durée de l'effort mais il ne permettra pas d'améliorer les performances (vu en partie 2).

Le potassium joue un rôle dans la contraction, l'excitabilité des muscles, la transmission nerveuse et le bon fonctionnement cardiaque. On en retrouve essentiellement dans les fruits séchés (banane, figue, abricot, raisin), les féculents et les légumes (pommes de terre, pois, épinards), le chocolat, les viandes rouges et poissons. L'OMS préconise un rapport sodium/potassium équimolaire afin de limiter l'élévation de la pression artérielle, soit une valeur maximale à 3510 mg de potassium par jour (ANSES, 2016c). Chez le sportif ces recommandations restent valables, il n'existe pas de bénéfice à une supplémentation en potassium. Néanmoins, il est possible que le potassium entre dans la composition d'une boisson énergétique pour le sportif (partie 3.2.1.1).

Le calcium forme les os et des dents en association avec le phosphore et le collagène de type I. Il joue un rôle important dans l'activité musculaire, la coagulation sanguine et la transmission nerveuse. La référence nutritionnelle pour la population (RNP) s'élève à 1000 mg avant 25 ans et 950 mg après 25 ans (ANSES, 2016a). La pratique d'une activité physique régulière a des effets positifs sur la densité minérale osseuse (McCulloch et al., 1990). Grâce à ces effets positifs, il n'est ainsi pas recommandé d'augmenter les apports en calcium chez le sportif mais plutôt d'abaisser le seuil d'apport à environ 800 mg par jour (Bigard and Guézennec, 2018). Les produits laitiers (lait, yaourt, fromages), certains légumes-feuilles (choux, épinards), les fruits de mer et eaux dures sont des aliments riches en calcium. En pratique l'apport d'un produit laitier à chaque repas permet d'assurer ses besoins.

Le magnésium est impliqué dans des métabolismes énergétiques, des processus de synthèse protéique, la contraction musculaire et la transmission nerveuse. L'apport suffisant en magnésium est de 420 mg/j chez l'homme et 360 mg chez la femme (ANSES, 2016a). Cet apport se fait par l'ingestion d'aliments riches en magnésium tels que le cacao en poudre, les graines de tournesol, les céréales, les fruits secs et le riz. Chez le sportif, il est à corréliser aux dépenses énergétiques à raison de 150 mg/1 000 kcal, donc doit être plus élevé que chez le sujet sédentaire (Bigard and Guézennec, 2018). Cette augmentation est due à la perte de magnésium lors de sudation et au besoin d'éliminer les charges acides produites à la suite de l'activité sportive intense. En cas de fortes pertes sudorales en ambiance chaude, il pourrait être envisagé d'apporter du magnésium dans la boisson à raison de 100mg/l de boisson (Bigard and Guézennec, 2018). Ceci permettrait par la même occasion d'éviter la survenue de crampes musculaires associées aux exercices due à une déshydratation et à une perte électrolytique (Pillon and Scriver, 2011).

Un déficit en fer est souvent retrouvé chez le sportif qui peut être dû par exemple à une anémie ferriprive, des hémorragies digestives ou la sudation. Ces causes associées à un entraînement intense pourraient en théorie augmenter le besoin en fer. Cependant ces facteurs ne suffisent pas à incriminer à eux seuls une anémie si les apports en fer sont suffisants (McArdle et al., 2004). La référence populationnelle est de 11 mg de fer par jour (EFSA, 2017). Ce sont principalement dans les disciplines d'endurance que l'on retrouve un risque de déplétion des réserves de fer (Bigard and Guézennec, 2018). De plus chez la femme les pertes sont augmentées lors de la survenue des menstruations (McArdle et al., 2004). Leur apport s'élève alors à 16 mg de fer par jour d'après l'European Food Safety Authority (EFSA). Les principales sources de fer sont la viande rouge, le foie, les rognons et le cœur (Bigard and Guézennec, 2018). D'autres aliments comme les petits pois, la noisette, le pain complet, les céréales, l'oeuf, les fruits secs et le vin contiennent du fer mais à faible absorption intestinale (fer non héminique). Son absorption pourra être favorisée par la vitamine C. Elle peut être diminuée par les flavonoïdes présents dans le thé : il sera conseillé aux patients à risque de carence en fer, de consommer du thé à distance des repas (Modai, 2011). La sueur contenant en moyenne 300 à 400 µg de fer par litre, la pratique d'une activité physique peut aboutir à une perte de 1 mg/j de fer (Bigard and Guézennec, 2018). Même si la fonction principale du fer est de transporter l'oxygène, permettant l'oxygénation du muscle, l'absorption intestinale de fer devrait combler ce déficit.

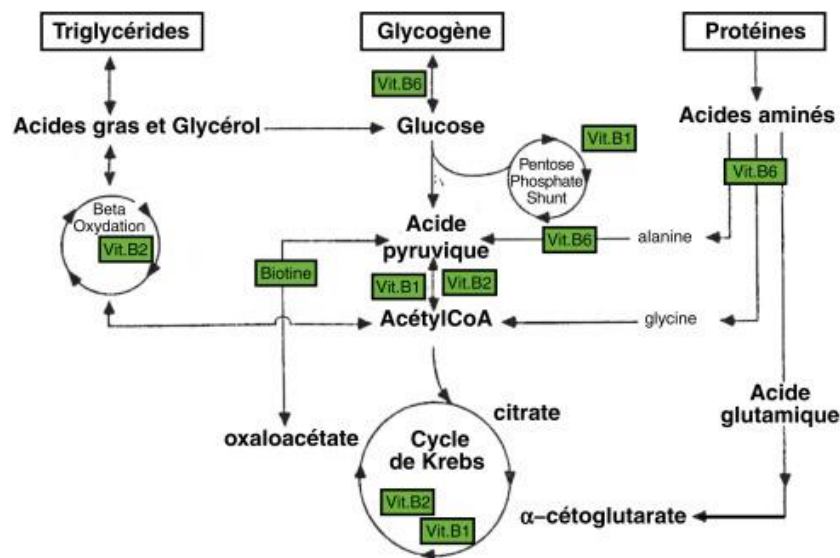
Les principaux oligo-éléments antioxydants utilisés en pratique sportive sont le zinc, le cuivre et le sélénium. Ce sont des cofacteurs des enzymes anti oxydantes. Malgré une perte dans la sueur lors d'épreuves d'endurance, une alimentation variée et équilibrée devrait suffire à équilibrer les pertes. Pour le zinc, une faible supplémentation (50mg/j) dans les boissons peut être envisagée (Bigard and Guézennec, 2018). En dehors de la correction de carence, la supplémentation en ces oligo-éléments antioxydants n'induit aucune protection supplémentaire vis-à-vis des effets des radicaux libres, ni aucune amélioration des performances sportives.

### *1.1.2.2 Les vitamines*

Les vitamines sont impliquées dans de nombreuses fonctions biologiques dont la coactivation des systèmes enzymatiques (figure 2) (McArdle et al., 2004). Elles sont essentielles à l'organisme car elles ne sont pas synthétisées par l'organisme, à l'exception de la vitamine D et K. Leur apport alimentaire est primordial tout comme pour les vitamines synthétisées par l'organisme à partir de bactéries et par exposition solaire, car les quantités ne sont pas

suffisantes. Il existe deux catégories de vitamines (figure 1): les vitamines liposolubles dont font partie les vitamines A, D, E et K et les vitamines hydrosolubles (la vitamine C et les vitamines du groupe B). En raison de leur solubilité, les vitamines liposolubles sont stockées dans le tissu adipeux tandis que les vitamines hydrosolubles se dispersent dans les liquides (élimination possible dans la sueur) sans être stockées. Ce sont principalement les vitamines du groupes B et C qui sont indispensables chez le sportif.

Figure 2 : Implication des vitamines hydrosolubles du groupe B comme cofacteurs enzymatiques de multiples voies métaboliques (Bigard and Guézennec, 2018)



Les vitamines B1, B2, B5, B6 et B12 sont impliqués dans le métabolisme des glucides, de certains acides aminés et des bases puriques (figure 2). On les retrouve principalement dans la viande et les produits laitiers mais aussi dans les légumes et céréales pour les vitamines B5 et B6. Leur besoin étant difficile à quantifier, ce sera à partir de données expérimentales qu'est déterminé l'apport suffisant en vitamines (tableau 2).

Tableau 2 : Apport suffisant en vitamines du groupe B (ANSES, 2016a)

Vitamine du groupe B nécessaire chez le sportif	Apport suffisant (AS) chez l'homme	Apport suffisant (AS) chez la femme
B1	1,5 mg/j	1,2 mg/j
B2	1,8mg/j	1,5 mg/j
B5	5,8 mg/j	4,7 mg/j
B6	1,8 mg/j	1,5 mg/j
B12	0,004mg/j	

La théorie selon laquelle le besoin en vitamines du groupe B devrait être augmenté pendant l'exercice s'explique en partie par l'augmentation du nombre d'enzymes mitochondriales. Mais, il n'existe pas de preuve formelle d'un besoin d'augmentation des apports en vitamines du groupe B chez le sportif à activité modérée. Cependant, chez le sportif très entraîné dans les sports d'endurance, les besoins sont légèrement augmentés, et dans les sports de force les besoins en vitamine B6 sont plus élevés que chez les sujets sédentaires (Bigard and Guézennec, 2018). En effet la vitamine B6 est impliquée dans le métabolisme du glycogène et des protéines (figure 2). Une alimentation variée et équilibrée suffira à couvrir ces besoins puisque l'on retrouve majoritairement la vitamine B6 dans les aliments d'origine animale.

Outre les vitamines du groupe B, la vitamine C est stimulante, augmente la charge en glycogène du foie et des muscles et facilite l'absorption et la fixation du fer. C'est un agent anti-oxydant permettant de réduire le stress oxydatif engendré par les radicaux libres potentiellement nocifs libérés lors de l'élévation du métabolisme d'effort. Les aliments riches en anti-oxydants contenant de la vitamine C sont les fruits rouges, les agrumes et leur jus, et les légumes. La RNP s'élève à 110 mg de vitamine C par jour (ANSES, 2016a). Chez les sportifs il est nécessaire d'être prudent quant à la supplémentation en vitamine C, elle ne devrait pas être supérieure à 1000 mg de vitamine C par jour (Paulsen et al., 2014). L'excès étant éliminé par voie urinaire, il peut entraîner des troubles digestifs (brûlures gastriques, diarrhées) et urinaires (calculs rénaux) (McArdle et al., 2004). La vitamine E exerce, tout comme la vitamine C, un effet protecteur vis-à-vis des effets du stress oxydant. Il n'y a pas de supplémentation nécessaire chez le sportif permettant d'améliorer les performances sportives.

Les raisons d'une supplémentation en vitamines seraient d'améliorer les performances physiques et assurer un apport suffisant en micronutriments. Cependant les carences chez les sportifs sont retrouvées principalement chez les sportifs végétariens en particulier chez les femmes ou lors d'apports énergétiques faibles pour maintenir ou perdre du poids comme les gymnastes ou danseurs (Barr and Rideout, 2004) et les sports à catégories de poids (judo, boxe...). Dès que la carence disparaît, l'apport supplémentaire de vitamines n'améliore pas le statut vitaminique. Les vitamines peuvent devenir toxiques lorsque les systèmes enzymatiques catalysés par des vitamines sont saturés. On peut alors avoir par exemple une calcification rénale lors d'un surdosage en vitamine C, des neuropathies et hémochromatoses par excès de vitamines B (Boisseau, 2005). Concernant la vitamine E, à fortes doses l'effet de cette vitamine devient pro-oxydant (Bigard and Guézennec, 2018).

### 1.1.3 Les compléments ergogéniques

Les compléments ergogéniques regroupent les stratégies utilisées afin d'améliorer l'utilisation de l'énergie comme les aides matérielles, pharmacologiques, les stratégies de préparation psychologique et nutritionnelle (Bigard and Guézennec, 2018). Elles représentent des composés ou procédés supposés augmenter la capacité de travail ou la performance physique. Les mécanismes d'action prétendus de ces aides sont la stimulation du système nerveux central ou périphérique ou encore l'augmentation du stockage d'un substrat. Ils peuvent être apportés sous formes de produits commercialisés contenant des concentrés de nutriments représentés sous différentes formes (poudres, sachets, liquides). Nous allons développer l'usage et les risques de cinq produits couramment utilisés chez le sportif : la créatine, la carnitine, les acides aminés à chaîne ramifiée, la L-arginine et la caféine.

#### 1.1.3.1 La créatine

La créatine est largement utilisée chez le sportif pour son rôle dans le métabolisme musculaire. Il s'agit d'un composé naturellement présent dans l'organisme, synthétisé par le foie, le rein et le pancréas à partir d'acides aminés (la glycine, l'arginine et la méthionine) (Bigard and Guézennec, 2018). Dans la population générale omnivore, 1 gramme de créatine est apporté quotidiennement par l'alimentation (la viande et les poissons) et le reste est produit par l'organisme (Boisseau, 2005). La créatine de l'organisme est en renouvellement constant et sa plus grande partie est retrouvée dans le muscle strié squelettique, où elle est composée à deux tiers de sa forme phosphorylée, la phosphocréatine (PCr), le reste étant sous forme libre (Bigard and Guézennec, 2018). La quantité de créatine totale dans le muscle est en moyenne d'environ 120 mmol / kg de masse musculaire sèche pour un individu de 70 kg (Kreider et al., 2017). C'est la lyse de la PCr qui permet la formation de l'adénosine triphosphate (ATP) assurant ainsi la contraction musculaire (Bigard and Guézennec, 2018).



La supplémentation en créatine devrait permettre ainsi de prolonger l'activité sportive suite à la régénération de l'ATP (équation 1). Sur le marché, la créatine est commercialisée sous forme de différents sels, le plus étudié et utilisé est la créatine monohydrate contenant 87,9 % de créatine (Jäger et al., 2011). Il existe des variations interindividuelles au regard de la rétention de créatine comme son absorption intestinale et sa concentration initiale musculaire (Bigard and Guézennec, 2018). Ainsi, l'amélioration des performances est observée lors



d'exercices intenses et de courte durée chez les sujets sédentaires ou peu entraînés où la rétention de créatine est plus élevée (McArdle et al., 2004). La supplémentation nécessaire pour améliorer les capacités du muscle à maintenir un exercice intense est de 20 à 25 g par jour de créatine monohydrate réparties dans les repas sur une courte période (5 à 7 jours) sachant qu'il existe des suspicions de troubles rénaux quant à son utilisation prolongée à fortes doses (Kreider et al., 2017). Ensuite il existe une période d'entretien où ces sportifs consomment quotidiennement 3 grammes de créatine monohydrate pour maintenir cette concentration (Bigard and Guézennec, 2018). De plus, l'ingestion de glucides permettrait de favoriser l'absorption de la créatine (Jäger et al., 2011). Cette supplémentation conduit à un gain de masse corporelle qui correspond à une rétention d'eau favorisée par la captation de la créatine au niveau musculaire (Boisseau, 2005). Ce fort pouvoir de rétention d'eau est utilisé par les bodybuilders qui montrent ainsi des muscles plus saillants. L'efficacité de la supplémentation pourrait durer jusque 4 à 6 semaines après l'arrêt (Kreider et al., 2017).

#### *1.1.3.2 La carnitine*

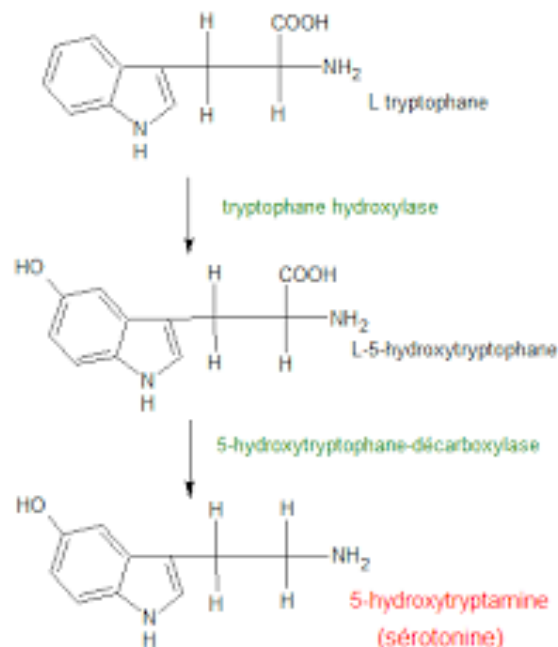
La carnitine est utilisée chez les sportifs d'endurance et les culturistes. Il s'agit d'une amine quaternaire synthétisée dans le foie et le coeur à partir d'acides aminés tels que la lysine et la méthionine (Bigard and Guézennec, 2018). Il existe deux formes de carnitine qui sont transportées dans les tissus, les formes D- et L- où seule cette dernière est biologiquement active (Boisseau, 2005). La carnitine facilite l'entrée des acides gras à longues chaînes dans la mitochondrie pour être utilisés dans le cycle de Krebs et participer à la formation de l'énergie (Stephens et al., 2007). L'effet escompté est donc d'augmenter l'oxydation des acides gras et diminuer celle du glycogène musculaire.

L'apport moyen quotidien dans la population générale est entre 50 mg et 1 gramme (Bigard and Guézennec, 2018). L'utilisation d'une alimentation riche en produits carnés suffirait à augmenter les apports en carnitine, puisqu'on en retrouve principalement dans la viande et les produits laitiers. La supplémentation serait bénéfique lorsque les réserves en glycogène sont épuisées, favorisant l'oxydation des lipides (McArdle et al., 2004). Cependant par le manque d'études pertinentes, les autorités européennes de santé (EFSA et Commission Européenne) estiment que les compléments alimentaires contenant de la carnitine ne peuvent pas prétendre « à augmenter les performances physiques d'endurance et de résistance en favorisant l'utilisation des graisses par les cellules musculaires, ou améliorer la récupération musculaire après un effort » (EFSA, 2011).

### 1.1.3.3 Les acides aminés à chaîne ramifiée (BCAA)

Les acides aminés à chaîne ramifiée ou Branched-Chain Amino Acids (BCAA) correspondent à un ensemble d'acides aminés, la L-valine, la L-leucine et la L-isoleucine qui seraient une source d'énergie permettant d'améliorer les performances sportives et augmenter la masse musculaire (McArdle et al., 2004). D'après l'étude des données scientifiques par l'EFSA, l'utilisation de BCAA ne peut pas prétendre « à favoriser la croissance et maintenir la masse musculaire, accélérer la récupération sportive ou diminuer la sensation de fatigue ». Cette propriété est supposée par le fait qu'il existe au niveau de la barrière hémato-encéphalique une compétition entre les BCAA et le tryptophane, un acide aminé précurseur de la synthèse de la sérotonine (Bigard and Guézennec, 2018) (Figure 2) :

Figure 3 : Synthèse de la sérotonine



(Source : [www.wikipedia.org/wiki/Sérotonine](http://www.wikipedia.org/wiki/Sérotonine))

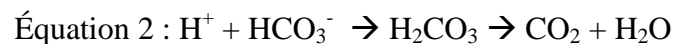
Ces acides aminés, utilisant le même transporteur, une supplémentation en BCAA ne favoriserait pas l'entrée du tryptophane dans le système nerveux (Bigard and Guézennec, 2018). La sérotonine étant un neurotransmetteur impliqué dans l'induction du sommeil, la prise de BCAA retarderait la sensation de fatigue, qui apparaît normalement après un entraînement intense ayant épuisé les réserves en acides aminés branchés (Boisseau, 2005).

#### 1.1.3.4 L'arginine

L'arginine est un autre acide aminé utilisé chez les sportifs. Il s'agit d'un acide aminé semi-essentiel c'est-à-dire fabriqué par le corps à des doses suffisantes mais qu'un apport extérieur est nécessaire lors d'effort (Boisseau, 2005). On en retrouve principalement dans les viandes rouges, fruits de mer et poissons gras. Malgré des études controversées, l'EFSA conclut qu'aucune preuve ne permet de confirmer qu'une supplémentation en arginine ait un rôle dans le maintien ou la croissance de la masse musculaire (Nathan and Agenet, 2010).

#### 1.1.3.5 Autres substances

Au cours d'exercices courts et intenses, l'augmentation de la concentration en ions hydrogènes (protons  $H^+$ ) et en lactate, forme tamponnée de l'acide lactique (issu du système anaérobie, partie 2.1.2.1.2), entraîne une chute du pH sanguin (Boisseau, 2005). Il en est de même lors d'exercices d'endurance d'intensité élevée (où les valeurs du lactate dépassent celles au repos). Cette acidité sanguine inhibe le transfert d'énergie et les capacités contractiles (Guezennec, 2011). Dans le plasma, les protons provenant de l'acide lactique se combinent au bicarbonate  $HCO_3^-$  (équation 2) (Boisseau, 2005) :



C'est pourquoi, avant l'effort certains sportifs ont recours à des solutions tampons (bicarbonate et citrate) pour neutraliser les ions  $H^+$  et améliorer leur performance. Leur effet ergogénique reste relativement limité et fluctue suivant le sport pratiqué et l'intensité de l'exercice (McArdle et al., 2004). De plus, des effets indésirables digestifs (crampes abdominales, diarrhées) voire cardiaques dans l'heure suivant leur consommation peut occasionner des troubles pouvant perturber l'activité pratiquée (Le Moniteur des pharmacies, 2015). Les études restent ainsi controversées et les autorités de santé (EFSA) concluent que l'absorption de bicarbonate n'augmente pas la performance d'endurance. Néanmoins, en pratique, une consommation de boisson bicarbonatée peut être proposée après l'exercice. En effet, après un sprint exhaustif, au moins 30 à 35 minutes sont nécessaires pour rétablir le pH musculaire et la consommation de bicarbonate pourrait améliorer la récupération (Kenney et al., 2017).

Pour terminer sur les principales substances utilisées en tant que compléments ergogéniques chez le sportif, nous allons aborder l'utilisation de la caféine. Il s'agit d'un alcaloïde présent dans divers constituants végétaux comme le café, les fèves de cacao ou les feuilles de thés (McArdle et al., 2004). Un avis scientifique de l'EFSA se penche sur la consommation de

caféine chez les personnes qui font de l'exercice physique (EFSA, 2015). D'après cette étude, un apport allant jusque 400 mg (environ 5,7 mg par kilogramme de poids corporel) consommés tout au long de la journée, ne posent pas de problème de sécurité, à l'exception des femmes enceintes. Et une prise unique de caféine jusqu'à 200 mg (3mg/kg pour un adulte de 70kg) ne pose pas de problème en matière de sécurité, il en est de même si cette dose est consommée moins de 2 heures avant la pratique d'une activité physique intense (EFSA, 2015). En fait, la caféine stimule le système nerveux central, augmente la vigilance, la capacité à l'endurance et diminue la perception de l'effort pendant l'exercice (Nathan and Agenet, 2010). Il faudra ainsi éviter d'en consommer à des doses supérieures à 100 mg près de l'heure du coucher. En outre, son effet est rapide et peut durer jusque huit heures (EFSA, 2015). Enfin l'ANSES recommande quant à elle d'éviter la consommation de caféine lors d'un exercice physique. En fait lors d'exercice physique, la caféine faciliterait l'utilisation des acides gras libres tout en préservant les réserves des glucides de l'organisme (Kenney et al., 2017). Ainsi les boissons contenant de la caféine (ex : boissons énergisantes) semblent améliorer les performances de certains individus sur des épreuves d'endurance (Boisseau, 2005), cependant elles constituent un facteur de risque cardiaque chez les personnes prédisposées et entraînent une augmentation de la température corporelle qui peut être un risque d'accident à la chaleur (McArdle et al., 2004). C'est pourquoi elles ont fait l'objet d'une interdiction de vente depuis 2008 dans les établissements scolaires français (distributeur, cafétéria, foyer, restauration scolaire...) (Nathan and Agenet, 2010).

#### 1.1.4 L'eau et les boissons

On recommande une ingestion quotidienne d'un litre et demi de boissons pour un adulte (Modai, 2011). Toutefois cette quantité est à moduler en fonction des apports en fruits et légumes riches en eau, à la pratique d'une d'activité physique et la quantité de perte sudorale. En fait, l'apport quotidien d'eau est d'environ 2,5 litres pour les hommes (et 2 litres pour les femmes) représenté par les boissons, les aliments et l'eau métabolique produite au cours des réactions énergétiques (EFSA, 2010a). L'eau métabolique est créée par le métabolisme des nutriments (leur oxydation) apportés lors d'ingestion d'aliments. On obtient environ 8 à 10 % de nos besoins en eau par cette production métabolique d'eau (tableau 3).

Tableau 3 : Balance hydrique chez un adulte sédentaire vivant en climat tempéré (Jéquier and Constant, 2009)

	Entrées d'eau (ml/j)				Sorties d'eau (ml/j)		
	Mini	Maxi	Moyenne		Mini	Maxi	Moyenne
Boissons	1400 <sup>b</sup>	1750 <sup>b</sup>	1575	Urine	1200	2000	1600
Aliments <sup>a</sup>	600 <sup>b</sup>	750 <sup>b</sup>	675	Peau	450	450	450 <sup>e</sup>
Sous-total	2000 <sup>c</sup>	2500 <sup>d</sup>	2250	Respiration	250 <sup>e</sup>	350 <sup>e</sup>	300
Eau métabolique	250	350	300	Selles	100	300	200 <sup>e</sup>
Total	2250	2850	2550	Total	2000	3100	2550

<sup>a</sup> Aliments avec un contenu en eau variable (< 40% - > 80%).  
<sup>b</sup> Il est normalement admis que la contribution de l'alimentation aux apports totaux en eau est de 20 à 30%, alors que 70 à 80% sont fournis par les boissons. Ces pourcentages ne sont pas fixés et dépendent du type de boissons et des choix alimentaires.

De nombreux aliments contiennent de fortes quantités d'eau comme la pastèque, la laitue, le melon, les cornichons, les haricots verts et brocolis, tandis que les charcuteries, les biscuits et gâteaux, les matières grasses comme les huiles et le beurre n'en contiennent que très peu (McArdle et al., 2004). On peut comprendre aisément l'ajout d'une boisson lors d'un moment de gourmandise !

Il est recommandé de privilégier l'apport d'eau plutôt que les boissons sucrées (vu dans la partie 1.1.1.1). On entend par boissons sucrées : les jus de fruits, nectars, smoothies et sodas (Boisseau, 2005). Il faut privilégier les fruits pressés aux jus industriels très riches en sucres ajoutés. En France, l'eau du robinet est contrôlée (la qualité physico-chimique, microbiologique, radiologique et les polluants agricoles) reste la solution la plus économique et facile d'accès (Boisseau, 2005). Dans le cadre d'une alimentation équilibrée et variée, il n'est donc pas nécessaire de consommer uniquement de l'eau en bouteille ! Des caractéristiques organoleptiques de la boisson peuvent faciliter sa consommation (partie 3.2.1.5) (Bigard and Guézennec, 2018). Pour supprimer son goût chloré, il est possible de la laisser reposer dans un verre à l'air libre ou au réfrigérateur avant de la consommer. Pour donner de l'arôme, on peut ajouter des rondelles de citron, de concombre ou des feuilles de menthe. Pour compléter la ration journalière, on peut aussi conseiller de consommer de l'eau sous forme de boissons chaudes comme des tisanes, du thé ou du café (Modaï, 2011). Il faut faire attention aux eaux aromatisées, souvent assez sucrées. Elles peuvent être consommées de temps en temps en privilégiant les versions sans sucres. Enfin l'eau gazeuse n'est pas toujours bien tolérée aux différents stades de l'effort, pouvant provoquer une gêne gastrique.

D'après le tableau 3, les pertes en eau se font par les urines, la transpiration, l'air expiré sous forme de vapeur d'eau et les selles. Les reins filtrent le sang et éliminent les déchets métaboliques par les urines. En 24 heures, on peut produire 1 à 2 litres d'urine (Jéquier and

Constant, 2009). La transpiration ou l'évaporation sudorale dépend du gradient de pression de vapeur entre la peau et l'environnement (voir partie 1.2.1). Il existe une faible partie de l'eau qui s'évapore par diffusion passive à travers la peau appelée la perspiration insensible (McArdle et al., 2004). L'eau évaporée peut aussi provenir de l'air expiré presque saturée en vapeur : la perspiration ventilatoire (Bigard and Guézennec, 2018). Enfin, les pertes en eau dans les selles sont faibles par rapport aux autres sorties d'eau dans le cas d'un transit intestinal normal, même si elles sont constituées approximativement de 70 % d'eau (McArdle et al., 2004). Au total, un adulte sédentaire perd en moyenne 2 à 3 litres d'eau par jour (Jéquier and Constant, 2009).

Ces pertes en eau sont compensées en partie par notre alimentation mais aussi par l'eau bue dans la journée. C'est pourquoi il est recommandé de boire chaque jour de l'eau à volonté d'après le PNNS (Modai, 2011). Pour bien s'hydrater, il faut commencer avant l'effort physique en consommant des boissons régulièrement dès le réveil. La vitesse de vidange gastrique augmente avec le volume de boisson ingérée (Boisseau, 2005). Lors d'un exercice d'intensité modérée à élevée, il est ainsi conseillé de boire régulièrement toutes les 10 à 15 minutes des petites quantités d'eau (2 à 3 gorgées) à raison de 0,5 L/h (ANSES, 2016d). Il sera nécessaire de boire davantage si l'ambiance est chaude ou l'intensité plus élevée. Pour un effort inférieur à une heure, la consommation d'eau peut suffire. Au-delà, les boissons isotoniques de l'effort ou boissons énergétiques, qui contiennent des sucres rapides et des sels minéraux sont plus adaptés (Le Moniteur des pharmacies, 2015). Nous étudierons la composition de ces boissons et leur utilisation dans la partie 3.2.1.

Après l'exercice physique, la récupération est une étape fondamentale de la performance. Le principe d'alternance entre le travail et le repos permet de supporter des efforts intenses après une période de récupération (Kenney et al., 2017). La récupération dépend de facteurs externes (qualité du sommeil, de l'alimentation, la fatigue, le stress..) et la restauration d'un statut hydrique. Il est conseillé de boire une fois et demie le volume perdu en eau pendant l'exercice physique (Guezennec, 2011). Pour déterminer ce volume, il suffit d'utiliser la méthode de double pesée qui consiste à se peser juste avant l'entraînement et dès la fin de l'entraînement, dans les mêmes conditions (nu, sec, même tenue) (Monod et al., 2007). Une eau riche en bicarbonate est recommandée après l'effort grâce à sa fonction de tampon par rapport à l'acidité provoqué par l'effort (exemple eau Saint Yorre et Vichy Célestins) (partie 1.1.3.5). Le lait, peu acide et contenant des acides aminés, pourrait constituer une bonne boisson pour la récupération (Louis and Hausswirth, 2012). C'est pourquoi la marque Lactel®

(laboratoire Lactalis) a commercialisé une boisson lactée enrichie en protéines appelée Sporteus®. Il est conseillé de la prendre dans les 30 minutes qui suivent la séance de sport, selon l'intensité de l'effort physique (INSEP, 2018b). Enfin, la bière ne constitue pas une bonne boisson pour réhydrater. En effet l'alcool contenu dans la bière perturbe la restauration énergétique (Boisseau, 2005). La bière prolonge également la déshydratation après l'effort en raison de la faible teneur en minéraux. De plus, l'alcool a un effet diurétique ce qui accentue le phénomène de déshydratation (Maughan and Shirreffs, 2004). Le verre alcoolisé de la « troisième mi-temps » est à éviter !

## 1.2 Importance de l'hydratation : aspects physiologiques

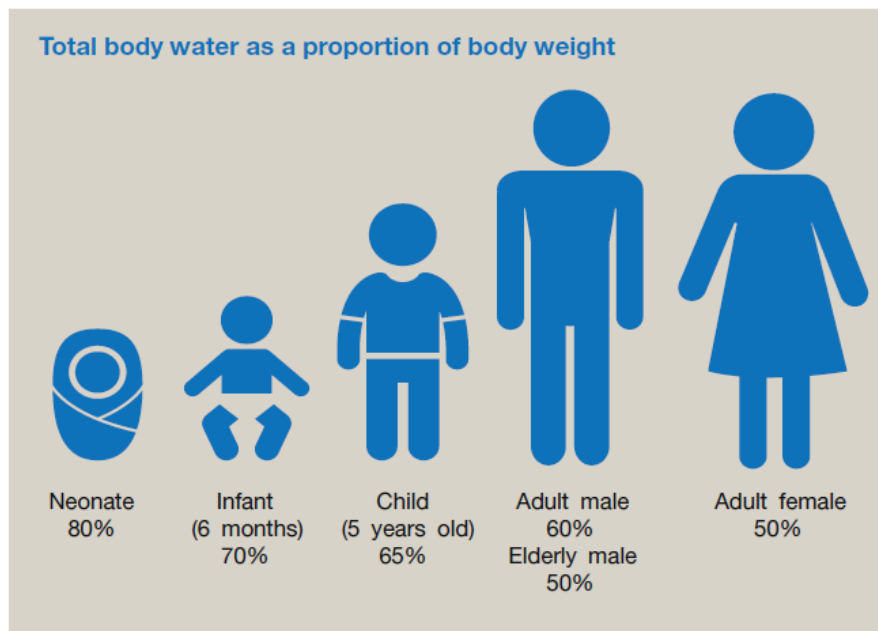
### 1.2.1 Variations de l'eau dans le corps

#### 1.2.1.1 Répartition de l'eau dans le corps

L'eau est le principal constituant du corps humain (Jéquier and Constant, 2009). Elle a plusieurs rôles majeurs : elle assure la thermorégulation, participe aux systèmes de transport et d'excrétion (nutriments, hormones, enzymes, déchets), permet les réactions chimiques d'hydrolyse principalement, intervient dans la lubrification des articulations et des organes (mucus et salive) (McArdle et al., 2004). La quantité moyenne d'eau contenue dans l'organisme est de 60 % du poids du corps chez un homme adulte (EFSA, 2010a). Ceci correspond à une quarantaine de litres d'eau pour une personne de 70 kg. La teneur en eau dépend de l'âge, du sexe, de la corpulence de l'individu et la présence de maladies (figure 4).

Chez les personnes âgées, le corps se déshydrate et l'eau est remplacée par de la graisse d'où un volume plus faible en eau dans l'organisme (Courbebaisse, 2015). C'est pourquoi une prévention est nécessaire chez ce groupe d'individus (voir partie 3.3.1.). Chez la femme la proportion de tissu adipeux est plus grande que chez l'homme d'où une plus faible teneur en eau de l'ordre de 50 à 55 % du poids corporel (EFSA, 2010a). A l'inverse si ce tissu est moindre comme chez une personne maigre, la proportion d'eau sera plus importante. En fait la masse maigre (le muscle) d'un adulte contient 70 % d'eau (Boisseau, 2005).

Figure 4 : Teneur en eau en fonction de l'âge (Henderson et al., 2018)



Dans l'organisme l'eau n'est pas répartie uniformément dans les organes. On la retrouve principalement dans le sang et, le cœur et le cerveau qui sont les organes les plus riches. Dans le corps l'eau est dispersée dans deux compartiments séparés par la membrane interstitielle : on a le compartiment intracellulaire qui correspond au liquide à l'intérieur des cellules et le compartiment extracellulaire (Jéquier and Constant, 2009). Ce dernier compartiment comprend le plasma, le liquide interstitiel et les liquides transcellulaires (tableau 4). Le plasma est un liquide clair composé d'eau, de sels minéraux, de nutriments et de protéines (albumine, globulines, fibrinogène). Il véhicule les éléments figurés du sang (globules blancs et rouges, plaquettes, monocytes, polynucléaires...). La majeure partie du liquide perdu lors de la sudation provient du plasma sanguin (McArdle et al., 2004).

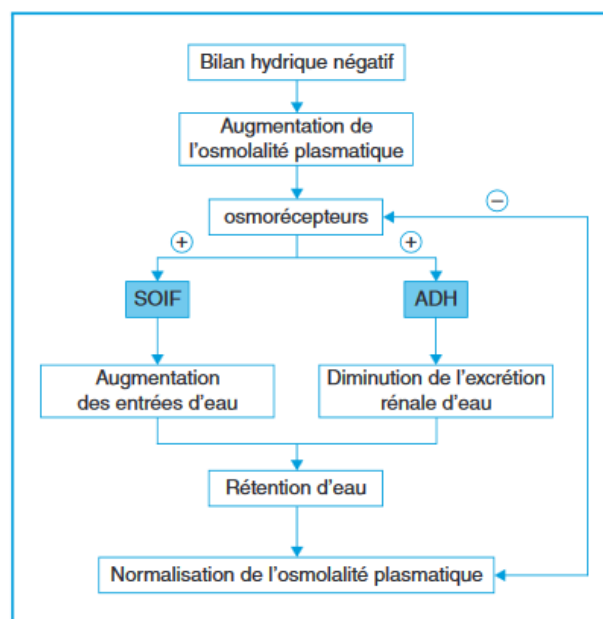
Tableau 4 : Répartition de l'eau dans les liquides pour un homme adulte de 70 kg (EFSA, 2010a)

Liquides	Pourcentage du poids corporel	Teneur en eau chez un homme de 70 kg
Eau extracellulaire	25 %	14 L
Eau intracellulaire	35 %	28 L
Total	60 %	42 L



Il existe un équilibre osmotique entre les deux compartiments lorsque les osmolalités sont égales c'est-à-dire que les compartiments ont la même concentration en particules osmotiquement actives, une petite dizaine contribuant à l'osmolarité du plasma (Henderson et al., 2018). Cet équilibre dépend aussi de la charge des particules, le nombre de dissociation et le coefficient de dissociation (Courbebaisse, 2015). En fait l'eau traverse librement les membranes et c'est lorsqu'il existe une différence de concentration principalement en sodium qu'un gradient de pression osmotique peut être créé (Jéquier and Constant, 2009). L'équilibre est atteint quand ce gradient est nul par un transfert d'eau entre les compartiments. L'état d'hydratation intracellulaire est traduit par une osmolalité des fluides comprise entre 275 et 295 mOsm/kg d'eau plasmatisque (Henderson et al., 2018). Il existe des mécanismes permettant la régulation du bilan hydrique (figure 5).

Figure 5 : Mécanisme régulant le bilan hydrique au sein de l'organisme (Courbebaisse, 2015)



Lorsque l'osmolalité plasmatique augmente suite à un apport d'eau insuffisant, des récepteurs au niveau du cerveau, les osmorécepteurs hypothalamiques, stimulent la production de l'hormone anti-diurétique (ADH). Cette hormone agit sur la réabsorption d'eau au niveau du rein en limitant les sorties d'eau mais aussi en augmentant les entrées d'eau par le déclenchement de la sensation de soif (EFSA, 2010a). Nous verrons dans la partie 1.2.2.1 qu'il existe des médicaments et plantes capables d'interagir avec ses mécanismes. Par ailleurs, la glande corticosurrénale sécrète de l'aldostérone, hormone permettant la réabsorption de sodium au niveau rénal. L'aldostérone réduit également l'osmolalité de la sueur, donc la concentration de sodium, ce qui permet de limiter la perte de sodium lors de perte sudorale,

tout en restant l'élément largement prépondérant dans la sueur avec ses ions chlorures (McArdle et al., 2004).

Il y a un décalage entre le besoin réel d'eau et la sensation de soif puisque c'est à un niveau donné de déshydratation que l'hormone ADH est stimulée (Jéquier and Constant, 2009). Ceci explique pourquoi la quantité de boisson consommée pendant et après l'effort est souvent insuffisante pour compenser les pertes ; d'où l'importance de la prise d'un volume de boisson conséquent lors de la récupération (partie 1.1.4).

#### 1.2.1.2 Perte sudorale

Chez l'individu sédentaire, la quantité de sueur sécrétée est en moyenne de 450 mL dans la journée (tableau 3). Nous avons vu qu'au repos, les pertes en eau les plus importantes se font par les urines. Pendant une activité physique, ce sera à travers la peau par le mécanisme de transpiration que ces pertes seront majoritaires. Pour une période d'exercice physique modéré à intense de 1 à 2 heures, on peut estimer la perte sudorale de 1 L/h voire jusque 3,5 L/h par grande chaleur (McArdle et al., 2001). Au cours de l'exercice physique, l'évaporation de l'eau par la sueur est le mode de thermolyse le plus efficace (Guezennec, 2011). Des paramètres environnementaux tels que la température extérieure, l'humidité, la vitesse du vent et l'intensité relative de l'exercice peuvent moduler la température corporelle (tableau 5).

Tableau 5 : Extrait tableau de la perte sudorale chez les joueurs de football durant un entraînement de 90 minutes (Maughan and Shirreffs, 2004)

Température (°C)	Humidité (%)	Perte sudorale (mL)
25	60	1827
27	55	2033
28	56	2221
32	20	2193

De plus des paramètres intrinsèques tels que le niveau d'entraînement et l'acclimatement modulent le débit sudoral (Guezennec, 2011). L'acclimatement s'opère après une exposition prolongée au froid ou à la chaleur qui permet une adaptation physiologique caractérisée par une augmentation de la tolérance au milieu ambiant hostile (tableau 6).

Tableau 6 : Extrait d'un tableau concernant les ajustements physiologiques durant l'acclimatation à la chaleur (McArdle et al., 2004)

Réponse à l'acclimatation	Effet
Abaissement du seuil de déclenchement de la sudation	Le refroidissement par évaporation débute plus tôt au cours de l'exercice
Diminution de la concentration en sel de la sueur	La sueur diluée permet de conserver les électrolytes du liquide extracellulaire
Augmentation de l'émission de sueur	Maximise le refroidissement par évaporation

La meilleure défense de l'organisme contre cette augmentation de chaleur est l'évaporation de l'eau via la sueur à travers la peau. Si l'air ambiant est saturé en eau, la sueur va perler sur la peau et s'égoutter. En fait, le milieu humide va empêcher l'évaporation de l'eau à la surface de la peau donc minimiser l'abaissement de la température corporelle (McArdle et al., 2004). A l'inverse lorsque l'air est sec, l'eau s'évapore plus rapidement à la surface de la peau puisque l'air peut absorber une grande quantité d'humidité. L'entraînement favorise les mouvements d'eau dans les différents compartiments afin de maintenir une fonction circulatoire efficace (Henderson et al., 2018). Ainsi, le volume de sueur produit sera supérieur chez le sujet entraîné comparé au non entraîné (Monod et al., 2007). Outre les conditions physiques et climatiques, l'habillement peut intervenir de façon importante. Une tenue mouillée favorise la durée de refroidissement de l'organisme et l'utilisation de tissus qui absorbent l'humidité améliore l'évaporation de la sueur (McArdle et al., 2001). Enfin le port de vêtements clairs reflète les rayons lumineux et empêche le gain de chaleur par radiation (rayonnement solaire).

A une température ambiante de 30 degrés Celsius, un gramme de sueur permet de perdre 0,58 kcal en chaleur alors que pour augmenter la température corporelle d'un degré 0,84 kcal/kg est nécessaire (EFSA, 2010a). Il existe plusieurs mécanismes pour réguler l'augmentation de température corporelle due à la pratique d'un exercice physique. En fait, l'organisme peut être représenté comme un noyau central producteur de chaleur (muscles squelettiques, viscères et système nerveux central), entouré par une enveloppe périphérique (la peau et le tissu sous-cutané). La température centrale du noyau reste constante tandis que la peau est capable d'échanger de la chaleur avec le milieu environnant afin de maintenir cette température (Bigard and Guézennec, 2018). L'élimination de cette chaleur vers le milieu extérieur est assurée par la radiation, la conduction (au contact d'objets plus froids), la convection (sans qu'il y ait contact) et l'évaporation de l'eau (transpiration) (Boisseau, 2005). En fait

l'élévation de la température extérieure réduit l'efficacité de la perte de chaleur par radiation, conduction et convection (Monod et al., 2007). Lors de production de chaleur trop importante l'évaporation de l'eau contenue dans la sueur deviendra le moyen principal de dissipation de la chaleur (Bigard and Guézennec, 2018).

### 1.2.1.3 Composition sueur

Les glandes sudoripares, ou glandes sudorales, sont constituées de deux types de glandes nommées eccrines et apocrines (Boisseau, 2005).

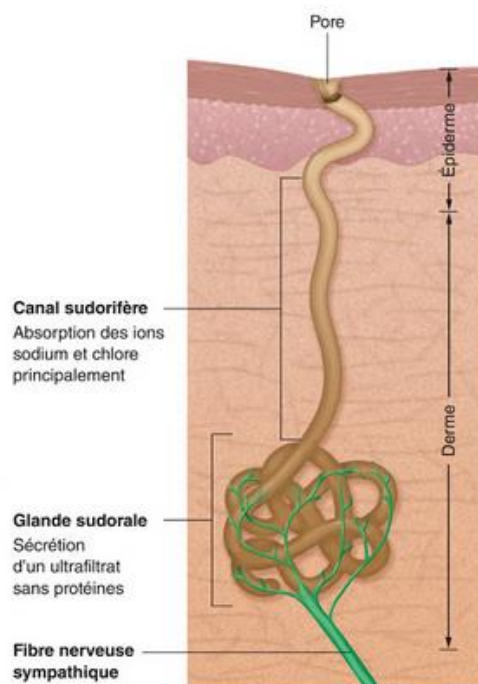


Figure 6 : Schéma d'une glande sudoripare (Wilmore et al., 2017)

Les glandes eccrines sont localisées sur tout le corps et sont responsables de la majorité de la sécrétion sudorale. La sueur qu'elles sécrètent est un filtrat du plasma sanguin, limpide et acide (valeur du pH entre 4 et 6,8) d'autant plus que le débit sudoral est faible (figure 6). Il s'agit d'une solution saline hypotonique (99% d'eau). Elle est composée pour le reste de 0,5 % de minéraux et 0,5 % de matières organiques comme l'acide lactique et l'ammoniaque (tableau 7). Malgré un goût salé, la sueur contient moins de minéraux que le plasma et les autres compartiments liquidiens de l'organisme (McArdle et al., 2004).

Le sodium et le chlore sont les minéraux présents en plus grande proportion dans la sueur. Du fait de l'hypotonicité de la sueur, les pertes sudorales entraînent une hyperosmolalité du plasma avec diminution du volume plasmatique et par là même du volume d'eau

intracellulaire (Bigard and Guézennec, 2018). Par conséquent, la déshydratation affecte tous les espaces liquidiens de l'organisme et se traduit par une perte d'eau et de minéraux.

Tableau 7 : Composition de la sueur (Alexandre Méliissopoulos and Christine Levacher, 2012)

Cl <sup>-</sup>	5 – 70 mM
Na <sup>+</sup>	7-80 mM
K <sup>+</sup>	4 – 24 mM
Urée	2 à 5 fois le taux plasmatique
Ammoniaque	0,5 – 8 mM
Acide lactique	10 – 40 mM

La composition de la sueur peut varier en fonction des conditions physiologiques, l'alimentation (l'absorption de sel et le régime alimentaire) et le volume de sueur sécrétée (Maughan and Shirreffs, 2004). Ainsi, des athlètes entraînés et acclimatés à la chaleur excrètent moins de sodium par litre de sueur que ceux entraînés et non acclimatés (Monod et al., 2007). Par ailleurs, des substances exogènes peuvent être retrouvées dans la sueur : les médicaments, colorants, l'alcool etc.

### 1.2.2 Conséquences d'une hydratation inappropriée

Dans le vocabulaire médical l'euhydration correspond à une bonne hydratation (Guezennec, 2011). L'état d'hydratation peut être déterminé par plusieurs mesures. Il est difficile d'évaluer au cours de l'exercice le statut hydrique. Les mesures les plus pratiques à être utilisées sont la coloration et le volume des urines. L'eau étant éliminée dans les urines, un contrôle de leur couleur permet de déterminer approximativement le statut d'hydratation (Boisseau, 2005). Le débit urinaire habituel de 100 mL/h et une couleur jaune claire des urines peuvent indiquer une bonne hydratation (EFSA, 2010a). Le suivi du poids corporel (perte de poids attribuée principalement à une perte en eau), la densité spécifique urinaire et l'osmolalité urinaire (concentration en soluté dans l'urine) peuvent être d'autres mesures de l'état d'hydratation (Courbebaisse, 2015). Enfin l'osmolalité plasmatique constitue un indicateur utile puisqu'elle permet la régulation de la balance hydrique (figure 5). Chez les sujets bien hydratés, elle est en moyenne de 287 mOSm/L (Jéquier and Constant, 2009).

### *1.2.2.1 Déshydratation*

D'après l'OMS, la déshydratation est définie comme l'état résultant d'une perte excessive de liquide corporel. En fonction du ratio entre les pertes hydriques et les pertes sodées, la déshydratation peut être classée comme hypotonique, isotonique ou hypertonique (EFSA, 2010a). La déshydratation isotonique est caractérisée par une perte isotonique en eau et en solutés comme dans les diarrhées et vomissements (entraînant une déshydratation intra- et extra-cellulaire). La déshydratation hypertonique est caractérisée par une perte en eau supérieure à celle en sel, d'où un glissement osmotique de l'eau du compartiment intracellulaire vers le compartiment extracellulaire. Il en résulte une hypernatrémie et hyperosmolalité que l'on peut trouver lors de défaut d'hydratation, une transpiration excessive (exemple : la fièvre) ou une acidose par exemple (Jéquier and Constant, 2009).

Les premiers signes de déshydratation facilement décelables sont une sécheresse des muqueuses de la bouche en particulier, l'apparition de sillons longitudinaux sur la langue, la peau sèche et une faible miction de couleur jaune foncée (Jéquier and Constant, 2009). On retrouve aussi des vertiges, maux de tête, crampes, tremblements et une diminution du poids (Boisseau, 2005). Chez l'adulte lorsque le déficit en eau dépasse 2 % du poids corporel, les performances physiques (endurance, dextérité, adresse), intellectuelles (concentration, mémoire à court terme) et les fonctions cardiaques peuvent être altérées. Lorsque la perte en eau s'élève à 4 % la baisse de la performance physique peut varier entre 40 et 60 %. A partir d'une perte supérieure à 8 % le pronostic vital est mis en jeu (EFSA, 2010a). Au niveau clinique, si l'hydratation n'est pas suffisante le risque de blessures, de coup de chaleur, la sensation de fatigue et le temps de réaction seront augmentés (Bourdon et al., 2003). Chez le sportif, le diagnostic clinique et la mesure de la différence de poids permettent rapidement de déceler une déshydratation. Le diagnostic biologique avec un ionogramme sanguin et urinaire peut être mis en place dans des cas particuliers. Un apport en eau et électrolytes par voie orale permettra de traiter la déshydratation selon la méthode de double pesée (vue dans la partie 1.1.4.). Si le sportif est inconscient, la prise en charge se fera en urgence par voie parentérale.

De plus, la déshydratation chronique peut augmenter le risque d'infection, particulièrement des voies urinaires mais aussi le risque carieux. En effet la déshydratation est un des facteurs de risques des caries d'autant plus chez le sportif qui présentent des chocs et microtraumatismes associés à des fêlures et fissures dentaires (Louis and Hausswirth, 2012). Abordée précédemment, la consommation de produits et boissons sucrées est aussi un facteur de risque d'apparition de caries dentaires (partie 1.1.1.1). Quelques conseils chez le sportif

sont proposés sous forme de fiche rédigée par l'INSEP comme boire régulièrement de l'eau, utiliser une paille pour consommer des boissons sucrées, se rincer la bouche avec de l'eau après manger ou mâcher du chewing gum sans sucre (INSEP, 2018a).

La déshydratation est un facteur de risque, avec le manque de sommeil et l'absorption d'alcool, d'apparition d'un coup de chaleur (Monod et al., 2007). Ce dernier survient le plus souvent pendant la saison estivale, à une température supérieure à 25 degrés Celsius, une humidité relative supérieure ou égale à 75 % et la vitesse du vent faible ou nulle, à l'occasion d'un exercice physique prolongé (Bourdon et al., 2003). On retrouve une température corporelle supérieure à 39°C associée à un trouble de la sudation (sudation profuse ou perte de capacité à transpirer, anhydrose). Cliniquement, on retrouve souvent une tachycardie avec une pression artérielle normale. Les premiers signes sont neurologiques (céphalées, vertiges, crampes musculaires) et le plus souvent la survenue brutale en fin d'épreuve d'un trouble de la conscience (Bourdon et al., 2003). Un arrêt immédiat de l'effort est nécessaire associé à un refroidissement actif avec la création d'un courant d'air, une hydratation et une protection solaire (Boisseau, 2005).

Certaines prises médicamenteuses plus particulièrement des traitements diurétiques pendant les périodes de chaleurs extrêmes répétées (canicule) exposent au risque de déshydratation et requièrent une vigilance particulière (Jéquier and Constant, 2009). Il faut être vigilant à certains compléments alimentaires notamment le pissenlit, l'asperge, le persil, le citron ou la queue de cerise qui renferment naturellement des propriétés diurétiques. Une technique de déshydratation par la prise de traitement diurétique peut aussi être intentionnelle pour éliminer un maximum d'eau avant la compétition (Labarde et al., 2013). On retrouve cette pratique chez les sportifs qui cherchent à perdre rapidement du poids, améliorer la définition des muscles, se maintenir dans sa catégorie de poids, ou combattre en catégorie inférieure (exemple des sports à catégorie de poids). En fait une grande partie de l'eau perdue par la consommation de diurétique provient du plasma (McArdle et al., 2004). Ce procédé va réduire disproportionnellement le volume plasmatique et affecter les fonctions thermorégulatrice, cardiovasculaire et neuromusculaire (McArdle et al., 2004). Le détournement de la prise de traitement diurétique peut aussi permettre de diminuer la concentration de produits interdits en pratique sportive comme les anabolisants, les stimulants ou encore les corticoïdes (Labarde et al., 2013). En agissant sur la fonction rénale, les diurétiques augmentent l'excrétion d'eau et diluent l'urine. L'usage des diurétiques doit rester sous contrôle strictement médical. La prise de médicament n'est pas sans conséquences sur

l'organisme comme les risques de déshydratation et problèmes rénaux (Le Moniteur des pharmacies, 2015).

Au cours de l'activité physique en ambiance froide (entre 5 et 10°C), la perte d'eau est favorisée par l'usage de vêtements protecteurs stimulant la sudation, par le chauffage et l'humidification de l'air extérieur au niveau des voies respiratoires (Boisseau, 2005). Par ailleurs, le sportif est moins enclin à s'hydrater ce qui augmente le risque de déshydratation (Guezennec, 2011).

#### *1.2.2.2 Hyperhydratation*

Une consommation excessive en eau conduit à une augmentation de la teneur en eau de l'organisme c'est-à-dire à un état d'hyperhydratation. Dans les conditions normales, le corps peut ingérer 9,5 litres d'eau dans la journée sans que cela ne nuise à la santé (EFSA, 2010a). La consommation d'eau sans électrolytes pendant et après un effort physique prolongé peut amener à une hyponatrémie, une concentration en sodium inférieure à 135 mmol/l (Boisseau, 2005). La durée de l'épreuve, la préparation de l'athlète et l'indice de masse corporelle sont aussi des facteurs de risques des hyponatrémies (Almond et al., 2005). Par exemple, lors du marathon de Boston en 2002, au moins 13 % des coureurs étaient en hyponatrémie et trois coureurs en hyponatrémie critique (moins de 210 mmol/L). A cela peut s'ajouter des pratiques d'hydratation rapide après l'effort.

L'hyponatrémie peut résulter aussi de la forte perte de sodium dans la sueur associée à un apport faible de sodium dans les boissons (baisse de l'osmolalité extracellulaire du sodium)(Boisseau, 2005). La présence de traces blanches de transpiration sur les vêtements, signe une forte concentration en sodium dans la sueur. Il existe d'autres facteurs hyponatrémisants comme l'initiation de l'activité physique dans un état de carence due à un régime sans sel ou hyposodique ou un traitement à base de diurétiques (McArdle et al., 2001). Si une grande quantité d'eau pure est ingérée, l'eau ne pourra plus être évacuée et sera retenue dans les cellules (EFSA, 2010a). L'augmentation du compartiment intracellulaire associée à des pertes en sodium dans la transpiration pourra mener à une hyponatrémie (Sicard, 2018). C'est pourquoi le conseil de boire sans avoir soif n'est pas applicable chez tous les sportifs. C'est en particulier lors d'épreuves d'endurance de longue durée (triathlon, ultra marathon...) que l'intoxication hydrique est retrouvée (Boisseau, 2005). Au niveau clinique, les symptômes d'une intoxication hydrique ne sont pas spécifiques comme les nausées mais typiquement on retrouve des maux de tête, des vomissements voire une altération des



fonctions mentales (confusion, malaise) (EFSA, 2010a). Lorsque la natrémie devient inférieure à 130 mmol/L, cliniquement les symptômes majeurs peuvent être l'œdème pulmonaire, le coma et même le décès (McArdle et al., 2001).

Malgré une augmentation des dépenses énergétiques chez le sportif, une alimentation équilibrée et diversifiée permet d'apporter toutes les nutriments dont il a besoin. L'utilisation de compléments alimentaires à visée ergogénique est facultative. La créatine peut être utilisée lors d'exercices brefs et intenses chez le sportif peu entraîné, cependant les besoins sont déjà couverts par sa synthèse au niveau du foie et du rein et par celle apportée par la consommation de viandes et de poissons. De plus, consommés à fortes doses les substances ergogéniques peuvent avoir des effets néfastes notamment des troubles cardiaques (e.g. caféine) ou des troubles rénaux (e.g. utilisation déraisonnable des acides aminés). Le fonctionnement optimal de notre organisme nécessite un degré d'hydratation adéquat. Chez le sportif, c'est principalement par l'évaporation via la transpiration que les pertes en eau sont les plus importantes. Ceci permet notamment de diminuer l'élévation de température induite par la pratique d'une activité physique. Pour améliorer le confort, la tenue vestimentaire idéale pour pratiquer une activité physique par temps chaud devra être légère, ample et de couleur claire. Une grande quantité de sueur perdue devra être compensée par un apport approprié en eau afin d'éviter une déshydratation mais aussi en sels minéraux dans le cas d'effort prolongé.

## **PARTIE 2 - Promotion de l'activité physique à l'officine**

Ces rappels nutritionnels nous permettent d'introduire l'étude de la physiologie de l'exercice physique, basée sur la compréhension des mécanismes biologiques de production de l'énergie. Mis à part le rôle des macronutriments dans le maintien de l'intégrité structurale et fonctionnelle de l'organisme, ils ont un rôle de combustible biologique. L'énergie désigne l'aptitude d'un corps à fournir un travail (l'application d'une force sur une distance) exprimée en joule (J). La transformation de l'énergie chimique contenue dans les macronutriments en une autre énergie chimique utilisable par l'organisme, l'ATP, passe par différentes réactions que nous allons exposer. Dans le cas de la physiologie de l'exercice physique, nous allons nous intéresser à la formation de l'énergie chimique permettant la pratique d'une activité physique. A partir de ces rappels, nous allons déterminer la place de l'activité physique dans

une démarche thérapeutique et le rôle que peut apporter le pharmacien dans l'initiation et le suivi de la pratique d'une activité physique.

## 2.1 Physiologie de l'effort et bioénergétique

### 2.1.1 Les sources d'énergie

Les 60% de l'énergie produite par l'organisme sont libérés sous forme de chaleur. C'est pourquoi on calcule la quantité d'énergie libérée à partir de la quantité de chaleur produite. Dans les systèmes biologiques, on mesure l'énergie dans une unité hors du système international, c'est-à-dire en calorie (1 cal = 4,18 J). Une calorie correspond à la quantité d'énergie nécessaire pour élever d'un degré la température d'un gramme d'eau (McArdle et al., 2004). Dans le langage courant de la nutrition, en diététique, il est plus facile d'utiliser cette unité de mesure, correspondant à 1000 calories (1 kcal), devenue le référentiel pour mettre en place une alimentation équilibrée et énergétiquement adaptée aux dépenses d'un individu (Boisseau, 2005). Le besoin énergétique médian de la population adulte masculine est estimé à 2600 kcal/j (2100 kcal/j pour les femmes adultes) (ANSES, 2016a).

#### Équation 3 : Dépense énergétique totale (DET)

$$\text{DET} = \text{Métabolisme de repos (métabolisme de base plus l'énergie propre au sommeil et au réveil)} + \text{ETA (effet thermogénique des aliments)} + \text{DEAP}$$

Le métabolisme de base est la quantité minimale d'énergie nécessaire pour assurer l'essentiel des fonctions vitales de l'organisme (McArdle et al., 2001). Il varie en fonction de l'âge, du sexe, de certains états physiologiques, pathologiques et climatiques (Boisseau, 2005). La plus grande variabilité de la DET repose sur la dépense énergétique liée à l'activité physique (DEAP) (équation 3). Cette dernière dépend de la nature et de la durée de l'activité (tableau 8).

Type d'activité	Dépense énergétique liée à l'activité (homme 70 kg)	MET
Marche à pied 5,6 km/h	5,0 kcal/min	5,5
Course à pied 12 km/h	14,0 kcal/min	9,0
Station assise	1,7 kcal/min	1,0
Station debout	1,8 kcal/min	1,0

Tableau 8: Dépense énergétique et MET selon différentes activités (Kenney et al., 2017)

Le niveau d'activité physique (NAP) est le rapport entre la DET et le MB, il correspond au MET moyen sur 24h (ANSES, 2016c). La notion de d'équivalent métabolique ou MET (*Metabolic Equivalent Task*) permet de définir l'intensité des différentes formes d'activité physique. Il correspond à la consommation d'oxygène au repos qui est de l'ordre de 3,5 ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> (Monod et al., 2007). D'après l'OMS, l'activité physique d'intensité modérée (entre 3 et 6 MET) demande un effort moyen et accélère sensiblement la fréquence cardiaque (exemple : danser, jardiner). L'activité physique d'intensité élevée (au-delà de 6 MET) demande un effort important comme pour la course à pied, les sports et jeux de compétition (ex : handball, hockey, volleyball) (ANSES, 2016d).

Nous avons vu dans la partie 1.1.1 que les éléments principaux constituant les aliments sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène et l'azote. L'énergie est libérée par la rupture des liaisons entre les éléments contenues dans les aliments (McArdle et al., 2001). Cette énergie libérée sera stockée dans nos cellules sous la forme d'un composé à haute énergie appelé adénosine triphosphate (ATP). L'ATP a beaucoup de fonctions physiologiques, notamment elle représente la source d'énergie immédiatement disponible puisque sa dégradation permet d'effectuer le travail mécanique par la cellule musculaire (Boisseau, 2005).

Au repos, les besoins énergétiques sont comblés par la dégradation des glucides et lipides (McArdle et al., 2004). Les protéines quant à elles sont rarement dégradées en raison de leur fonction structurale et fonctionnelle (Boisseau, 2005). Lors d'un exercice physique les besoins énergétiques sont comblés préférentiellement par la dégradation des glucides et des graisses (figure 9).

#### *2.1.1.1 Les glucides*

Les glucides sont la principale source d'énergie utilisée par les cellules du corps humain pour fournir l'énergie nécessaire pendant un exercice physique à intensité élevée. Les glucides ont une valeur énergétique de 4 kcal/g (figure 1)(Boisseau, 2005). Au cours de la digestion des glucides, le glucose est véhiculé par le sang qui le stocke dans le foie et le muscle sous forme de glycogène (Delarue et al., 2004). Dans l'organisme on retrouve une réserve plus faible en glucides qu'en lipides (tableau 9).

Ceci explique pourquoi certains sportifs cherchent à augmenter leurs réserves en glycogène avant une compétition en ayant une alimentation riche en glucides via un « régime dissocié scandinave » (Bigard and Guézennec, 2018). Toutefois, en raison de sa difficulté de mise en œuvre, d'autres stratégies alimentaires lui sont préférées. La plus utilisée correspond à un

unique régime hyperglucidique dans les trois jours précédant l'épreuve, en omettant une alimentation hypoglucidique en amont pratiquée dans le régime dissocié scandinave. L'utilisation de ce régime serait efficace dans le cas d'exercices physiques prolongés supérieurs à 90 minutes (Monod et al., 2007).

Tableau 9 : Réserves en glucides et lipides dans l'organisme (Kenney et al., 2017)

Substrat	g	kcal
<b>Glucides</b>		
Glycogène hépatique	110	451
Glycogène musculaire	500	2 050
Glucose dans les fluides biologiques	15	62
<b>Total</b>	<b>625</b>	<b>2 563</b>
<b>Lipides</b>		
Sous-cutanés et viscéraux	7 800	73 320
Intramusculaires	161	1 513
<b>total</b>	<b>7 961</b>	<b>74 833</b>

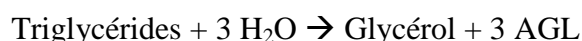
Note : sujet d'environ 65 kg et 12 % de graisse

Pour produire de l'énergie, le glycogène stocké devra quitter la cellule sous forme de glucose. Ce processus nommé la néoglucogenèse permettra au glucose formé d'être un substrat pour produire de l'énergie (figure 8).

### 2.1.1.2 Les lipides

En plus d'avoir une réserve en lipides plus importante qu'en glucides, la valeur énergétique des lipides est plus élevée soit 9 kcal par gramme (37,6 kJ) (figure 1). Ceci s'explique par le fait que le pourcentage du carbone et de l'hydrogène sur le poids moléculaire est plus élevé par rapport aux glucides (équation 4). Seuls les triglycérides représentent la véritable source d'énergie du groupe des lipides. Malgré d'importantes réserves, l'utilisation des triglycérides est moindre car leur dégradation est plus complexe (Boisseau, 2005), donnant un glycérol et trois molécules d'acides gras libres (AGL). Sous l'action d'enzymes lipase, les AGL dissociés du glycérol, pourront pénétrer dans les cellules musculaires (équation 4).

Équation 4 : Dégradation de la molécule de triglycérides



L'oxydation des AGL, appelée la  $\beta$ -oxydation (partie 2.1.2.1.3), permettra la formation des corps cétoniques (acétoacétate, D- $\beta$ -hydroxybutyrate et acétone), qui seront utilisés comme source d'énergie. D'après Monod et Flandrois, au bout de 2h30 d'effort, la majorité des

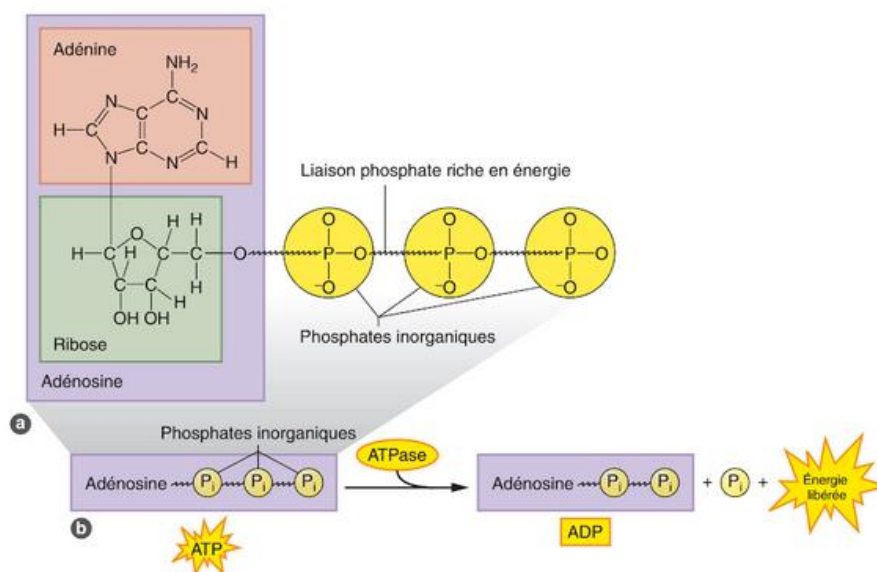
besoins est couverte par les lipides. Les athlètes entraînés en endurance consommeraient plus et plus tôt leurs réserves lipidiques (Bigard and Guézennec, 2018).

### 2.1.1.3 Les protéines

Dans une moindre mesure, l'unité fondamentale des protéines, l'acide aminé, est le substrat pour produire de l'énergie. Il s'agit en particulier des acides aminés branchés ou ramifiés tels que la leucine, l'isoleucine ou la valine (Boisseau, 2005). Le composé formé suite à la suppression du groupement azote de l'acide aminé, souvent l'un des réactifs du cycle de Krebs, pourra participer à la formation de l'ATP (McArdle et al., 2001). Le rendement énergétique des protéines est le même que celui des glucides c'est-à-dire qu'un gramme de protéine apporte 4 kcal d'énergie (16,7 kJ) (Kenney et al., 2017). Certains acides aminés peuvent être utilisés indirectement en tant que substrat dans la formation de glucose (néoglucogenèse) ou d'acide gras (lipogenèse) (Delarue et al., 2004). Durant l'effort, l'utilisation des protéines est considérée comme négligeable puisque 5 à 8 % de l'énergie totale sont fournis par les protéines (Boisseau, 2005). Néanmoins on retrouve une augmentation de la consommation en protéines chez les athlètes, malgré qu'aucun bénéfice au niveau des performances ne soit prouvé (partie 1.1.1.3). Les protéines ne sont pas un substrat favorable aux apports énergétiques mais plutôt nécessaires à la reconstruction des fibres musculaires lors des traumatismes nombreux notamment en contraction excentrique (Levenhagen et al., 2002).

### 2.1.2 La formation de l'énergie

Figure 7: Formation de l'énergie à partir de l'hydrolyse de l'ATP (Kenney et al., 2017)



La production de l'ATP correspond à 40 % de l'énergie libérée par l'organisme lors du métabolisme des glucides et des lipides. La molécule d'ATP est composée d'adénosine (une base azotée associée à un glucide à cinq carbones) et trois groupements phosphates (figure 7.a). C'est la rupture de la liaison entre deux groupements phosphates par l'enzyme ATPase qui libère de 7 à 12 kilocalories d'énergie (Boisseau, 2005).

La molécule d'ATP sera décomposée en un composé contenant relativement peu d'énergie, l'adénosine diphosphate (ADP) et un phosphate inorganique (Pi) (figure 7.b). A l'inverse, l'ajout d'un groupement phosphate à une molécule d'ADP, appelé phosphorylation, permet de former de l'ATP (Boisseau, 2005). On parle de phosphorylation oxydative si la réaction nécessite de l'oxygène (McArdle et al., 2001).

Il existe d'autres molécules énergétiques telles que le  $\text{NADH} + \text{H}^+$ ,  $\text{FADH}_2$  et l'acide lactique que nous allons rencontrer dans les différentes filières énergétiques.

#### *2.1.2.1 Les systèmes énergétiques*

L'ATP, présente en très petite quantité dans l'organisme, peut assurer un effort rapide et intense de quelques secondes, soit l'équivalent d'un saut vertical unique (Monod et al., 2007). Pour effectuer un travail musculaire prolongé dans le temps, l'ATP devra être resynthétisée en permanence (Boisseau, 2005). Suivant l'intensité et la durée de l'exercice physique, les sources d'énergie utilisées pour produire de l'ATP sont différentes. Il existe trois systèmes producteurs d'énergie qui interviennent ensemble pendant l'exercice à des proportions différentes : le système anaérobie alactique, anaérobie lactique et le système aérobie.

##### *2.1.2.1.1 Le système anaérobie alactique*

Ce système énergétique est utilisé lors des exercices brefs et intenses (sprint, haltérophilie, saut, lancer), qui se déroule sans avoir recours à l'oxygène d'où l'appellation anaérobie (Monod et al., 2007). On l'appelle aussi le système ATP-PCr puisqu'il utilise une autre molécule possédant une liaison phosphate à haute énergie : la phosphocréatine (PCr).

Cette filière utilise les réserves locales de PCr dans les cellules musculaires. L'énergie libérée sera utilisée pour reconstituer les stocks d'ATP. En fait sous l'action de l'enzyme créatine kinase, la PCr est dissociée en créatine et Pi. Ce dernier pourra se lier à de l'ADP pour former de l'ATP (équation 1). L'énergie libérée est d'une mole d'ATP pour une mole de PCr. Les réserves en PCr étant limitées, ce système n'est utilisé que jusqu'aux 30 premières secondes dans le cas d'un exercice d'intensité sous-maximale (Boisseau, 2005). Ceci explique pourquoi

dans le but d'améliorer la performance, lors d'activités intenses et de courte durée ou d'exercices avec résistance (exemple : bodybuilder), on retrouve une consommation de complément alimentaire à base de créatine (partie 1.1.3.1). La déshydratation de la créatine en créatinine sera excrétée par les reins dans les urines (McArdle et al., 2001).

#### **2.1.2.1.2 Le système anaérobie lactique**

Le système anaérobie lactique prend la relève de la filière alactique pour les exercices de courte durée (quelques minutes) et de grande intensité (Monod et al., 2007). On l'appelle lactique car il produit de l'acide lactique mais il est aussi appelé système glycolytique puisqu'il utilise la glycolyse, dégradation du glucose ou du glycogène par les enzymes glycolytiques pour libérer de l'ATP. L'énergie libérée ne sera pas utilisée immédiatement mais servira à la resynthèse de l'ATP.

En premier lieu, pour que le glucose ou le glycogène puissent être utilisés, ils devront être transformés en glucose-6-phosphate (McArdle et al., 2001). Ensuite, la glycolyse est réalisée dans le cytoplasme des cellules et nécessite de multiples réactions pour être dégradé en acide pyruvique (figure 8.a). Cette filière permet de produire 3 ATP par molécule de glycogène hydrolysée, ou de 2 ATP par molécule de glucose, puisqu'une molécule d'ATP est consommée pour transformer le glucose en glucose-6-phosphate (Boisseau, 2005). Malgré une faible quantité d'ATP produite, l'association avec le système ATP-PCr permet aux muscles de produire des forces considérables en l'absence d'oxygène dans les premières minutes de l'exercice. En l'absence d'oxygène, l'acide pyruvique produit est réduit en acide lactique (Orban et al., 2010). Quand l'acide lactique commence à s'accumuler dans le sang, sa production augmente voire dépasse son élimination, on dit que l'athlète a atteint son seuil lactique. Il détermine l'allure pouvant être conservée pendant une épreuve prolongée d'endurance, en particulier de course à pied ou de cyclisme (Monod et al., 2007). L'entraînement aérobie permet d'élever ce seuil, c'est-à-dire qu'il sera possible de réaliser un effort plus intense sans que le lactate sanguin ne s'élève au-dessus des valeurs de repos (Kenney et al., 2017). Les produits alcalinisants se verront alors être utiles pour préserver l'équilibre acido-basique (Boisseau, 2005). Lors d'efforts très intenses, l'acidification des fibres musculaires due à l'accumulation de l'acide lactique altère la capacité fonctionnelle du muscle (Monod et al., 2007). L'acide lactique aussi peut être utilisé comme substrat où il sera transporté dans le foie (et dans une moindre mesure, au rein), oxydé en pyruvate puis reconverti en glucose par la néoglucogenèse (Delarue et al., 2004). Ce dernier peut être utilisé

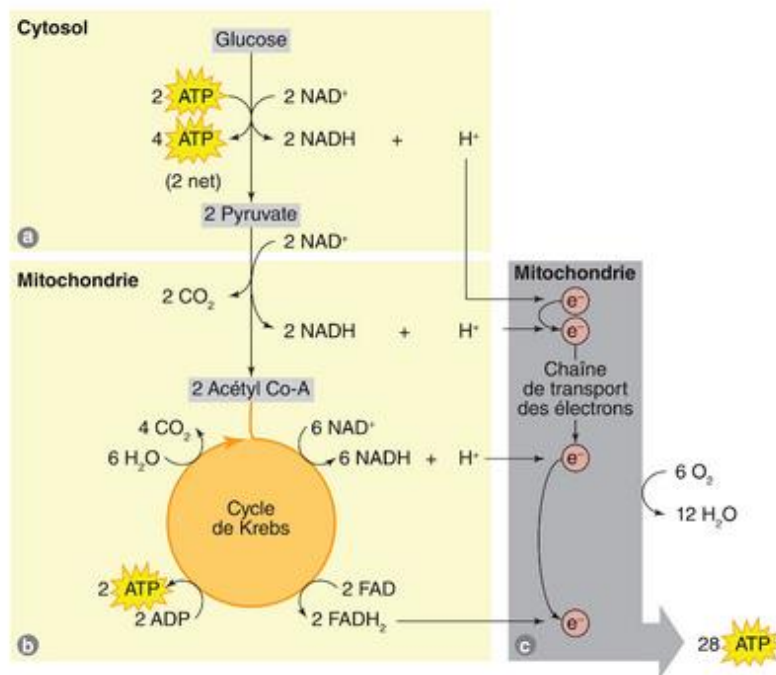
dans les tissus. C'est le cycle de Cori. L'acide lactique peut ainsi être utilisé en tant que réserve énergétique dans les tissus (muscle, cœur, foie, cerveau) (Orban et al., 2010).

### 2.1.2.1.3 Les systèmes aérobies

Lors d'exercice de longue durée comme les exercices d'endurance, l'apport énergétique est considérable. La présence d'oxygène permet une plus grande production d'ATP. Ce processus aérobie constitue la source essentielle d'énergie lors d'exercice prolongé (Boisseau, 2005). Ce système est plus complexe que ceux étudiés puisqu'il associe trois processus : l'un propre à l'hydrolyse du substrat, ensuite le cycle de Krebs et enfin la chaîne de transport des électrons.

- Oxydation des glucides

Figure 8 : Production oxydative de l'ATP à partir du glucose (McArdle et al., 2001)



En présence d'oxygène, c'est la destinée du produit final de la glycolyse qui diffère : l'acide pyruvique sera converti en acétyl-Coenzyme A (acétyl-CoA) (figure 8.a). Ensuite, le cycle de Krebs permettra l'oxydation complète de l'acétyl-CoA pour former 2 moles d'ATP (figure 8.b). Le dioxyde de carbone formé diffusera hors des cellules et il sera rejeté par les poumons. Suite au cycle de Krebs, les hydrogènes formés vont se combiner avec des coenzymes : le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD) et la flavine adénine dinucléotide (FAD). Ainsi les ions hydrogènes seront pris en charge par la chaîne de transport des électrons, où ils seront divisés en protons et électrons. Les protons H<sup>+</sup> formeront de l'eau en s'associant à l'oxygène



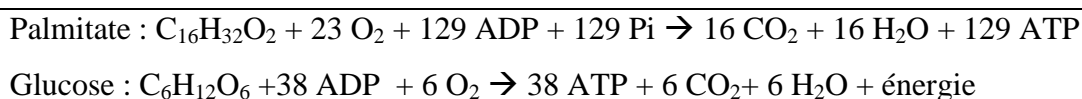
et les électrons fourniront l'énergie nécessaire à la phosphorylation de l'ADP en ATP (figure 8.c), appelée la phosphorylation oxydative.

Les molécules de NAD réduites, notées NADH, ne peuvent pas pénétrer la membrane interne mitochondriale. Il existe deux navettes distinctes quand la concentration en NADH cytosolique est plus élevée que celle en NADH mitochondriale. Le pouvoir réducteur du NADH permet la synthèse de 2.5 molécules d'ATP par NADH à partir de la navette malate-aspartate et 1.5 molécules d'ATP à partir de la navette glycérol-3-phosphate (via le FAD) (Kenney et al., 2017). Au total lorsque le coenzyme NADH est utilisé, 39 molécules d'ATP sont produites par molécule de glycogène, 38 molécules sont produites si le substrat est le glucose (Boisseau, 2005). Lorsque le FADH est le transporteur seulement 37 molécules d'ATP seront formées pour le glycogène et 36 molécules d'ATP pour le glucose.

- Oxydation des lipides

Le métabolisme des lipides, appelé la  $\beta$ -oxydation, est un ensemble de réactions permettant la dissociation de la chaîne de carbone qui constitue l'acide gras libre, par couple de carbones pour former des acides acétiques (McArdle et al., 2001). Le nombre de fragments (généralement entre 14 et 24) dépend de la longueur de la chaîne initiale. Chaque fragment donc chaque acide acétique sera converti en acétyl-CoA. Après la bêta-oxydation, l'acétyl-CoA entre dans le cycle de Krebs et produit comme pour les glucides de l'ATP, de l'eau, du dioxyde de carbone et les ions hydrogène seront transportés dans la chaîne de transport des électrons pour permettre la phosphorylation oxydative. Lors du métabolisme des lipides, une quantité plus importante d'acétyl-CoA est produite d'où une plus grande production énergie (Boisseau, 2005). A titre d'exemple, le rendement de l'oxydation du palmitate (acide palmitique) à 16 atomes de carbone est de 129 molécules d'ATP (équation 5). Cependant l'oxydation des lipides nécessite plus d'oxygène que l'oxydation des glucides, d'où l'importance de son utilisation lors d'une performance aérobie.

Équation 5: Oxydation du palmitate et du glucose



L'utilisation des lipides pour la fourniture d'ATP est facilement révélée avec le quotient respiratoire (partie 2.1.3.1).

- Oxydation des protéines

Par l'intermédiaire des acides aminés, les protéines peuvent être utilisées comme source d'énergie. La suppression du groupement amine, la désamination, permet en partie de former de nouveaux acides aminés. Ils pourront être convertis en glucose ou transformés en composés intermédiaires du métabolisme oxydatif pour entrer dans le cycle de Krebs (Boisseau, 2005). Et l'autre partie est transformée en urée, éliminée par les reins. Au repos ou à l'exercice les protéines représentent au maximum 5% de l'énergie totale dépensée (Kenney et al., 2017), d'où une négligence de ce métabolisme.

Afin de connaître le type de macronutriments utilisé par l'organisme, on calcule le quotient respiratoire au cours d'un exercice physique.

### 2.1.3 Principaux indicateurs métaboliques

#### 2.1.3.1 Quotient respiratoire

La valeur du quotient respiratoire permet de déterminer la nature du substrat métabolisé par l'organisme. Pour le calculer il est nécessaire de mesurer la quantité de dioxyde de carbone rejeté et d'oxygène consommé. Le quotient de ces deux mesures permet de déterminer le quotient respiratoire (QR). Il varie en fonction des substrats oxydés (tableau 10).

Par exemple si le QR est de 1, les cellules auront utilisé exclusivement les glucides. On remarquera que plus l'intensité de l'exercice augmente, plus on utilise les glucides (le QR se rapproche de 1) (Boisseau, 2005).

Tableau 10 : Quotient respiratoire en fonction de la proportion de glucides et lipides oxydés (Kenney et al., 2017)

QR	Energie Kcal.L-1.O2	% kcal	
		Glucides	lipides
0.71	4.69	0	100.0
0.75	4.74	15.6	84.4
0.80	4.80	33.4	66.6
0.85	4.86	50.7	49.3
0.90	4.92	67.5	32.5
0.95	4.99	84.0	16.0
1.00	5.05	100.0	0

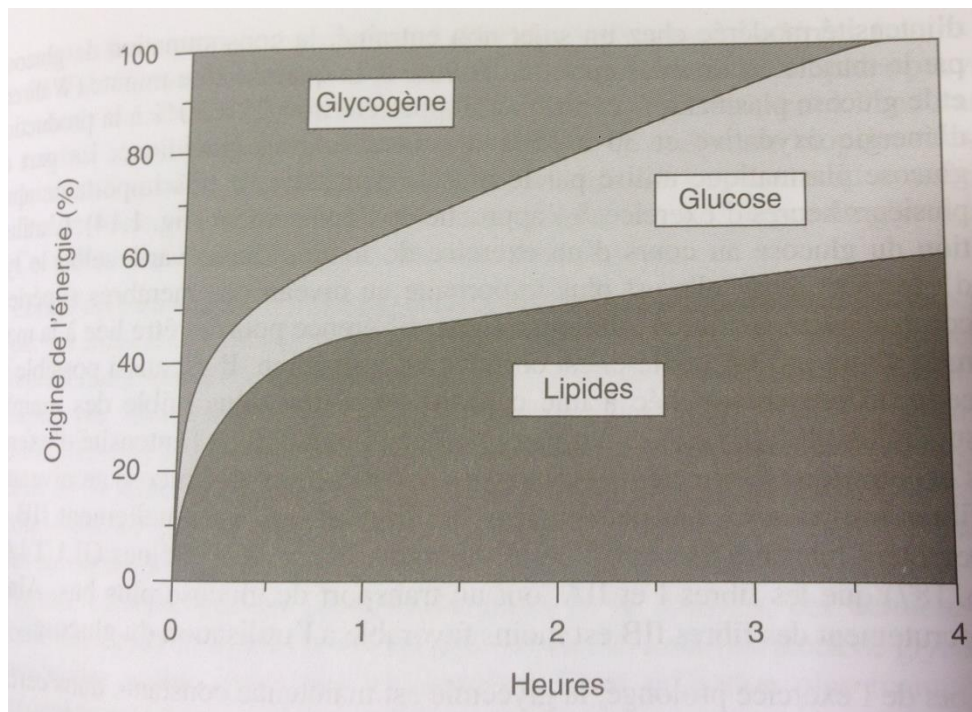
La proportion de carbone étant généralement plus élevée dans les acides gras, leur quotient respiratoire sera plus faible que le glucose ( $QR = 16/23 = 0,7$  d'après l'équation 5). Ainsi les lipides ont davantage besoin d'oxygène pour leur oxydation malgré qu'ils fournissent plus d'énergie que les glucides.

L'utilisation du quotient respiratoire n'est pas valable pour l'utilisation des protéines puisqu'elles contiennent de l'azote inoxydable. Par ailleurs, le rejet du dioxyde de carbone n'étant pas constant, le QR n'est pas fiable lors d'un exercice intense ou prolongé. En effet le QR peut être supérieur à 1 lors d'un exercice intense, ce qui signifie que l'organisme rejette plus de dioxyde de carbone qu'il n'en produit.

### 2.1.3.2 La $VO_2max$

Malgré une augmentation de la puissance d'exercice, il existe une limite maximale de consommation d'oxygène qui détermine le potentiel aérobie appelée la consommation maximale d'oxygène pendant une minute ou la  $VO_2max$ . Plus la  $VO_2max$  est élevée, meilleure sera la performance aérobie de l'athlète.

Figure 9 : Représentation schématique de la part respective des substrats utilisés lors d'un exercice prolongé à 75 % de la  $VO_2max$  (Monod et al., 2003)



Sa valeur varie avec l'âge, la génétique, l'entraînement et l'environnement jusqu'à atteindre un maximum vers la 20<sup>ème</sup> année (Monod et al., 2007). Après 25 à 30 ans chez les sujets inactifs, sa valeur diminue d'environ 1 % par an (Kenney et al., 2017). Les différences entre

les sexes s'expliquent par la masse maigre et le contenu en hémoglobine plus faible chez les femmes (Boisseau, 2005). L'utilisation du glycogène dépend de la puissance de l'exercice et pour une même puissance, son utilisation varie au cours de l'exercice (figure 9). Durant un exercice prolongé, l'épuisement progressif du glycogène profite à l'augmentation de la part du glucose dans la fourniture énergétique. Cette augmentation de la part de l'utilisation du glucose explique pourquoi au-delà d'une heure d'exercices physiques, la consommation d'une boisson contenant des hydrates de carbone est à envisager.

L'utilisation d'un nomogramme permet de prédire les performances individuelles à partir de performances antérieures réalisées sur deux autres distances, déterminer les performances équivalentes sur différentes distances et comparer les coureurs entre eux (Coquart et al., 2009).

## 2.2 Rôle du pharmacien dans l'accompagnement du sportif à l'officine

### 2.2.1 L'activité physique : une thérapeutique non médicamenteuse

Promouvoir l'activité physique auprès des patients dans un cadre général et au quotidien, ou dans une approche pluridisciplinaire par des professionnels de santé, fait partie intégrante de la prise en charge du patient notamment dans les conseils hygiéno-diététiques prodigués au comptoir (annexe 2) ; le pharmacien a un rôle d'accompagnement et de soutien (Boulin and Loubrieu, 2017). Par exemple, Le pharmacien peut rappeler les bénéfices cardio-vasculaires d'un entraînement physique régulier (tableau 11). Les bénéfices sont observés quels que soient l'âge et le sexe, et même s'ils ne sont pas proportionnels avec l'intensité de l'exercice, ils sont d'autant plus efficaces sur le sujet sédentaire (ANSES, 2016d).

Variables de santé	Effets de l'activité physique
Maladies ostéoarticulaires	Les exercices en charge à impact d'intensité élevée (ex : course à pied) contribuent à augmenter la masse osseuse.
Femmes enceintes	Améliore la condition physique, le retour veineux, diminue les lombalgies et la prise de poids pendant la grossesse.
Pathologies cardio-vasculaires	Diminution de 20 à 50 % du risque de pathologie coronarienne et de près de 60 % du risque de survenue d'accident vasculaire.
Maladies neurodégénératives	Diminue l'incidence sur le risque de développer la maladie d'Alzheimer (jusqu'à 45 %) et de Parkinson.

Tableau 11 : Exemple d'effets de l'activité physique sur des variables de santé (ANSES, 2016d)

Il existe un effet favorable direct (ex : diminution de la pression artérielle systolique et diastolique chez le patient hypertendu) de l'entraînement et indirect d'amélioration des facteurs de risque de l'hypertension artérielle, de l'obésité, du diabète de type 2 ... en outre une diminution du nombre des accidents coronariens et vasculaires (Duclos, 2018). Elle est considérée comme une thérapie non médicamenteuse possédant de nombreux bénéfices (tableau 11).

Dans le cas de maladie chronique, le pharmacien peut profiter du rendez-vous mensuel de délivrance des médicaments pour faire le point sur le suivi médical et vérifier la bonne pratique des règles hygiéno-diététiques (telles que la pratique d'une activité physique régulière). Le pharmacien peut aussi s'appuyer sur l'éducation thérapeutique du patient (ETP) qui permet une optimisation de la prise en charge des pathologies chroniques. Ce programme vise à impliquer davantage le patient dans son traitement, afin de le rendre plus autonome, d'améliorer son adhésion et de lui permettre d'acquérir une meilleure gestion de sa maladie chronique (Boulin and Loubrieu, 2017).

Le sport sur ordonnance a progressivement fait son apparition dans les textes de lois français. Il s'adresse aux personnes atteintes d'une maladie chronique pour lesquelles l'activité physique est une thérapie non médicamenteuse prouvée, qu'elle soit en affection de longue durée (ALD) ou non, dont le traitement nécessite un suivi prolongé<sup>2</sup>. En outre, depuis le 1<sup>er</sup> mars 2017, les médecins généralistes peuvent prescrire sur ordonnance la pratique d'une activité physique dans le but de maintenir ou améliorer l'état de santé en prévention primaire, secondaire ou tertiaire d'une maladie chronique. Prenons l'exemple du cancer du sein, respectivement la prescription de la pratique d'une activité physique régulière peut être dans le but d'éviter les risques d'apparition du cancer du sein, réduire sa durée d'évolution ou diminuer les risques de récurrence (ANSES, 2016d). Sa pratique peut faire appel à des professionnels de l'activité physique adaptée (APA) ou à des éducateurs sportifs formés. L'activité physique adaptée correspond à « la pratique dans un contexte d'activité du quotidien, de loisir, de sport ou d'exercices programmés, des mouvements corporels produits par les muscles squelettiques, basée sur les aptitudes et les motivations des personnes ayant des besoins spécifiques qui les empêchent de pratiquer dans des conditions ordinaires »<sup>2</sup>. De

---

<sup>2</sup> Instruction interministérielle N° DGS/EA3/DGESIP/DS/SG/2017/81 du 3 mars 2017 relative à la mise en œuvre des articles L. 1172-1 et D. 1172-1 à D. 1172-5 du Code de la santé publique

plus, La Haute Autorité de Santé (HAS) a mis en place un guide et des référentiels de prescription d'activité physique et sportive<sup>3</sup>.

D'après les recommandations de l'OMS, les adultes âgés de 18 à 64 ans devraient pratiquer au moins, 150 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée ou au moins 75 minutes d'activité d'endurance d'intensité soutenue, ou une combinaison équivalente d'activité d'intensité modérée et soutenue, au cours de la semaine (ANSES, 2016d). L'idéal est d'atteindre par la suite 300 minutes d'activité d'endurance d'intensité modérée. En France, l'étude INCA 3 (2014-2015) de l'ANSES, estime que 63% des adultes (âgés de 18 à 79 ans) atteignaient les recommandations de l'OMS en matière d'exercice physique en 2015.

Depuis janvier 2001, la France s'est doté d'une politique nutritionnelle mise en œuvre via le « Programme National Nutrition Santé » (PNNS) dont l'un des neuf objectifs prioritaires est d'augmenter l'activité physique. Ce programme de santé publique renouvelé en 2017 (PNNS 4) rappelle qu'il est recommandé de pratiquer au moins 30 minutes d'activités physiques dynamiques par jour et réduire le temps assis (ANSES, 2016d). Pour plus de bienfaits pour la santé, il est conseillé de faire des activités de renforcement musculaire, d'assouplissement et d'équilibre deux fois par semaine. En outre les objectifs de santé publique sont d'augmenter l'activité physique de la population et lutter contre la sédentarité. De ce fait, des institutions comme la mairie de Suresnes (Hauts-de-Seine), proposent à ses fonctionnaires de pratiquer des activités sportives et culturelles pendant leurs heures de travail, une fois par semaine, depuis fin mars 2019. Ceci est un moyen de lutter contre l'absentéisme et augmenter la performance de ses employés. En effet, l'activité physique en milieu de travail diminue de 32 % les arrêts de travail, diminue les troubles musculo-squelettiques et augmente la productivité de 12 % (Duclos, 2018).

La contre-indication à la pratique d'une activité physique n'est jamais définitive dans la plupart des pathologies chroniques. Elle est relative et/ou temporaire et concerne essentiellement des pathologies aiguës ou non stabilisées (exemple d'un mal perforant plantaire chez un diabétique. Les activités physiques des membres supérieurs sont permises).

---

<sup>3</sup> [https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c\\_2876862/fr/promotion-consultation-et-prescription-medicale-d-activite-physique-et-sportive-pour-la-sante](https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2876862/fr/promotion-consultation-et-prescription-medicale-d-activite-physique-et-sportive-pour-la-sante)

## 2.2.2 Conseils généraux à la pratique d'une activité physique

Les principaux canaux de distributions des aliments pour sportifs sont principalement les magasins généralistes et spécialisés d'articles de sport, leurs sites internet, les pharmacies et les centres de remise en forme. Même si la vente sur internet rend plus accessible l'achat de compléments alimentaires, la prise en charge par le pharmacien est nécessaire pour apporter les conseils complémentaires et les précautions d'emploi. Le pharmacien analyse le besoin du patient dans sa globalité et personnalise son conseil pour s'adapter à chaque patient (Le Moniteur des pharmacies, 2015). S'il s'agit de mettre en place une activité physique, quelques recommandations peuvent être délivrées par le pharmacien tel que (Boulin and Loubrieu, 2017) :

- Commencer l'activité de manière progressive
- Varier les activités pour maintenir la motivation de pratiquer une activité physique
- Privilégier la régularité de la pratique à la durée de l'exercice
- Etre réaliste dans ses objectifs
- La recommandation d'un bilan médical à réaliser par un médecin

De façon systématique, on peut rappeler au patient le besoin de préparer le corps à l'activité physique. Pour cela, il est primordial de débiter une session d'activité physique par une phase d'échauffement et terminer par une phase de récupération. L'échauffement consiste en 5 à 10 minutes d'activités cardio-respiratoires et musculaires d'intensité légère à modérée, à une échelle équivalente à 2/10 sur l'échelle de Borg modifiée<sup>4</sup>. Cette phase permet au corps de s'adapter progressivement au changement physiologique, biomécanique et bioénergétique de l'exercice physique (ANSES, 2016d). Enfin, la phase récupération après l'exercice consiste en une courte période similaire à la période d'échauffement. Les exercices seront d'intensité plus faible que ce dernier afin de retrouver graduellement sa fréquence cardiaque et pression artérielle de base. En plus de la phase de retour au calme, les exercices sont composés en général d'étirements doux et passifs, pour limiter les sensations de raideur musculaire (Le Moniteur des pharmacies, 2015).

Lors de la délivrance de médicaments à un sportif, il est possible de vérifier dans le moteur de recherche proposé par l'Agence française de lutte contre le dopage (<https://medicaments.afld.fr/>) s'il existe une substance interdite en pratique sportive dans le

---

<sup>4</sup> Estimation de l'effort perçu sur une échelle de 0 à 10 (2/10 : intensité faible)

médicament prescrit. La recherche se fait par nom de spécialité et concerne les médicaments commercialisés en France.

Pour améliorer son conseil, le pharmacien a la possibilité d'obtenir un diplôme universitaire complémentaire, le DU sport santé pharmacie. Celui-ci permet notamment de donner les clés pour apporter les actions thérapeutiques adaptées aux sportifs pratiquants. Depuis janvier 2018, l'Université de Franche-Comté propose un programme de 40 heures de formation comprenant entre autre l'étude de la physiologie de l'activité physique, les besoins nutritionnels du sportif et les compléments alimentaires destinés au sportif, les pathologies les plus fréquentes chez le sportif, l'orthopédie, la phyto-aromathérapie et l'homéopathie pour le sportif, le dopage, l'activité physique adaptée aux pathologies lourdes ou chroniques, la prescription d'une activité physique et le suivi à l'officine.

Dans le cas d'une prise en charge pluridisciplinaire, le pharmacien peut orienter le patient vers un médecin de médecine physique et de réadaptation, un kinésithérapeute, voire vers des structures spécialisées (Boulin and Loubrieu, 2017). Le patient peut aussi être dirigé vers une association sportive ou un groupe de patients.

Pour conclure cette partie, l'inactivité physique et la sédentarité sont désormais considérées comme le principal facteur de morbidité évitable. La prévention de l'obésité appelle à des programmes incitatifs, tel que le propose le PNNS avec leur site internet mangerbouger.fr. La promotion de l'activité physique auprès du grand public vise particulièrement la population saine dans une démarche de prévention primaire. Concernant les patients atteints d'une pathologie chronique, les professionnels de santé devraient systématiquement rappeler les bénéfices de la pratique régulière d'une activité physique.

Le pharmacien a un rôle indispensable pour encourager et motiver le patient pour commencer une activité physique, maintenir ou augmenter son niveau d'activité et le faire évoluer vers un mode de vie physiquement plus actif et moins sédentaire (annexe 4). Outre la forme physique, l'activité physique participe à un bien être psychologique, avec l'entretien de relations sociales, la diminution du risque de dépression et de stress. Le pharmacien prodigue les informations, les conseils et une éducation thérapeutique adaptée à l'état de santé du patient (Boulin and Loubrieu, 2017).



## **PARTIE 3 - Conseils du pharmacien dans l'utilisation des boissons énergétiques**

Une hydratation optimale est nécessaire que ce soit chez le sportif amateur ou professionnel. Une large gamme de produits destinés aux sportifs est disponible à la vente et le pharmacien, par son accessibilité est un acteur primordial pour orienter le client dans le choix d'une boisson énergétique adaptée. Dans cette optique, il serait judicieux de définir le sens du terme « boisson énergétique », de donner sa composition générale et analyser certaines boissons de l'effort vendues en pharmacie. Pour terminer nous insisterons sur les recommandations actuelles concernant l'hydratation et l'exercice physique chez les populations sensibles que sont les seniors et les enfants.

### **3.1 Définition des boissons énergétiques**

Les boissons énergétiques sont des denrées alimentaires commercialisées contenant des concentrés de nutriments ou d'autres substances, dont le but est de compléter le régime alimentaire normal, formulées pour répondre aux besoins spécifiques du sportif pendant l'effort. Elles ne sont pas à confondre avec les boissons énergisantes, pourtant utilisées par certains préparateurs sportifs en boissons « pré-workout » pour « booster » le sportif avant l'entraînement. Attention, ces dernières sont issues d'un concept marketing et peuvent contenir des substances stimulantes pouvant favoriser des troubles du rythme cardiaque ou retarder la perception du seuil de fatigue (Nathan and Agenet, 2010). Les boissons énergisantes peuvent aussi contenir des substances potentiellement dangereuses (ex : le ginkgo biloba chez les hémophiles) et sont déconseillées dans un cadre sportif (Sicard, 2018). Des erreurs d'utilisation sont rencontrées fréquemment avec ces boissons variées : le mauvais timing de prise souvent trop proche de l'entraînement pour l'effet escompté, le manque de diversification et l'adaptation de l'organisme à un type de boisson (ex : caféinée), le mauvais dosage, la prise à jeun, des boissons trop sucrées (HGR), etc (Nathan and Agenet, 2010).

#### **3.1.1 Cadre réglementaire**

Les boissons énergétiques sont soumises à la législation des compléments alimentaires encadrée par la directive 2002/46/CE du Parlement européen et transposée par le décret n°2006-352 du 20 mars 2006 (modifié par le Décret n°2011-329 du 25 mars 2011) (Nathan and Agenet, 2010). Vendues sur le sol français, la Direction de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF) examine la composition des

boissons énergétiques, l'étiquetage et les doses journalières maximales pour les nutriments à ne pas dépasser. Les substances chimiques utilisées comme source de vitamines et de minéraux sont listées par arrêté ministériel, tandis que les autres substances telles les fibres, acides aminés ou extraits de plantes doivent être autorisés par la DGCCRF. L'annexe II du règlement (CE) N°1170/2009 de la Commission (du 30 novembre 2009) liste les vitamines et minéraux autorisés dans les compléments alimentaires. L'arrêté du 24 juin 2014 liste également les plantes pouvant être autorisées. Ces dispositifs réglementaires ont pour but de minimiser les risques sanitaires. Cependant, leur commercialisation fondée sur l'évaluation d'un dossier déposé par le demandeur industriel, ne nécessite pas d'autorisation de mise sur le marché (AMM), à l'instar des médicaments.

Par ailleurs, l'Agence française de normalisation (AFNOR) propose une norme (norme V94-001) garantissant aux consommateurs l'absence de substances interdites (substances dopantes) dans la composition des compléments alimentaires. Ces substances interdites peuvent être des substances toxiques, aux effets secondaires parfois graves comme des effets cardiovasculaires (exemple : les bêta-2-agonistes sélectifs et non sélectifs) (Bigard and Guézennec, 2018). La provenance, l'authenticité et la composition exacte des compléments alimentaires vendus sur internet n'étant pas garanties, le sportif devrait orienter son choix vers les produits sécurisés étiquetés « le produit est conforme à la date de libération du lot, à la norme AFNOR NF V94-001 ». Cependant, cette norme ne garantit ni la qualité nutritionnelle, ni l'intérêt alimentaire ou les allégations avancées du produit.

Une allégation est un message caractérisant un aliment ou un de ses composants, leur attribuant une ou des propriétés sanitaires ou nutritionnelles (exemple : riche en calcium ou réduit les risques cardio-vasculaires). Seules les allégations nutritionnelles et de santé autorisées dans le règlement CE n°1924/2006 du Parlement européen et du Conseil pourront être utilisées pour les aliments pour sportifs. Pour pouvoir être mentionnée sur l'étiquette, l'allégation a été scientifiquement reconnue. Depuis décembre 2014, de nouvelles règles d'étiquetage, d'après le règlement UE n°1169/2011 du Parlement européen et du Conseil, sont applicables à l'instar de la mise en évidence des allergènes, des nanomatériaux et une déclaration nutritionnelle obligatoire (valeur énergétique et quantité de lipides, d'acides gras saturés, de glucides, de sucres, de protéines et de sel).

Certains compléments alimentaires vendus sur internet, provenant de pays étrangers, ne répondent pas aux normes européennes de fabrication et échappent au contrôle sanitaire. En

effet, certains produits peuvent potentiellement contenir des impuretés (plomb, éclats de verre, déjections animales) dues à de mauvaises méthodes de fabrication ou des composants bon marché (Vicat et al., 2014). C'est pourquoi, il est conseillé d'acheter des produits provenant du marché français, dont l'étiquetage est conforme. Le pharmacien pourra déclarer auprès du dispositif national de nutrivigilance de l'ANSES, la survenue des effets indésirables liés à la consommation de compléments alimentaires et denrées destinées aux sportifs. La place du pharmacien dans le choix et l'utilisation de ces produits l'inscrit dans un objectif de santé publique.

Dans le règlement UE n°432/2012 de la commission européenne du 16 mai 2012 qui fait état des allégations de santé autorisées dans les denrées alimentaires, il est référencé deux allégations de santé concernant les solutions de glucides et d'électrolytes. Ces solutions peuvent stipuler accroître l'absorption d'eau durant un exercice physique et contribuer à maintenir la performance au cours d'un exercice d'endurance prolongé dans les cas où elles contiennent « 80 à 350 kcal/l provenant de glucides [...] entre 20 mmol/l (460 mg/l) et 50 mmol/l (1150 mg/l) de sodium et une osmolarité située entre 200 et 330 mOsm/kg d'eau ».

### 3.1.2 Présentation et choix des boissons énergétiques

Parmi les boissons en vente utilisées par le sportif, il existe trois références de boissons consommées selon le moment de l'exercice : la boisson d'attente, la boisson de l'effort et la boisson de récupération (Sicard, 2018).

La boisson d'attente est consommée avant l'entraînement et permet de préparer le corps à l'effort. Elle est consommée dans l'heure précédant l'effort (l'entraînement ou la compétition). Elle permettra de prévenir la déshydratation et éviter une hypoglycémie au début de l'effort.

Ensuite, pendant l'effort, la boisson énergétique ou boisson d'effort permet de maintenir une bonne hydratation, et apporter de l'énergie glucidique pour certaines pratiques sportives. Elle a pour objectif de compenser en priorité les pertes en eau et sodium (hydro-électrolytiques).

Enfin, après l'effort, la boisson de récupération vise à restaurer l'équilibre hydro-électrolytique et reconstituer les réserves glucidiques et dans une moindre mesure protéique.

Les boissons sont pour la plupart présentées sous forme de poudre à reconstituer avec de l'eau plate et quelques marques proposent des boissons prêtes à emploi (ex : Mineral Drink®, SCT Nutrition) (annexe 3). La prise en main est facilitée avec une gourde ou les bouteilles prêtes à

l'emploi. Leur conditionnement ergonomique garantit une utilisation hygiénique, intéressante pour les compétitions. Même si les bouteilles sont rapidement accessibles, l'utilisation d'une gourde est à privilégier pour ses avantages pratiques, réutilisables et écologiques.

Il faut garder en tête que l'eau est la seule boisson indispensable pour le sportif. C'est à partir d'efforts continus supérieurs à 1 heure que l'usage d'une boisson énergétique est envisagé (Boisseau, 2005). Il existe des différences interindividuelles qui compliquent le choix d'une boisson de l'effort : le débit sudoral (transpiration), la concentration en électrolytes dans la sueur et l'utilisation des glucides. De plus, il n'existe pas de boisson de l'effort dont la composition soit adaptée à l'ensemble des pratiques sportives. Nous devons personnaliser le choix d'une boisson selon les besoins physiologiques, les conditions environnementales, les caractéristiques individuelles et préférences gustatives (partie 3.2.1). C'est pourquoi il est nécessaire de savoir lire les étiquettes sur les boissons énergétiques : mentionnant la dénomination de vente, vérifier les informations nutritionnelles, la présence d'allergènes et de certains additifs, la liste des ingrédients par ordre pondéral décroissant et la quantité de certains.

## 3.2 Les boissons de l'effort à l'officine

### 3.2.1 Composition générale d'une boisson de l'effort

Une boisson énergétique contient principalement de l'eau, des glucides et du sodium. Pour être bien tolérée, une boisson de l'effort doit avoir des qualités physiques et gustatives (goût agréable et couleur), contenir des glucides et minéraux et être absorbée rapidement pour ne pas provoquer de troubles gastro-intestinaux (McArdle et al., 2001).

Les recommandations internationales s'accordent pour définir la composition d'une boisson énergétique : les différentes concentrations par litre doivent se situer entre 15 et 87 g de glucides, 460 à 1150 mg de sodium et présenter une osmolarité qui ne dépasse pas 330 mOsm/kg d'eau (Guezennec, 2011).

Préparer sa propre boisson peut être une bonne alternative, il convient de tester différentes approches afin de décider ce qui convient individuellement le mieux à la pratique sportive (annexe 2). En ambiance tempérée (>15°C) la priorité étant d'apporter de l'eau, dans une gourde d'un litre, on peut diluer un verre de jus de raisin (150 ml) et une pincée de sel (1g) avec de l'eau plate. Lors d'exercices à forte dépense énergétique, en ambiance froide (<15°C)

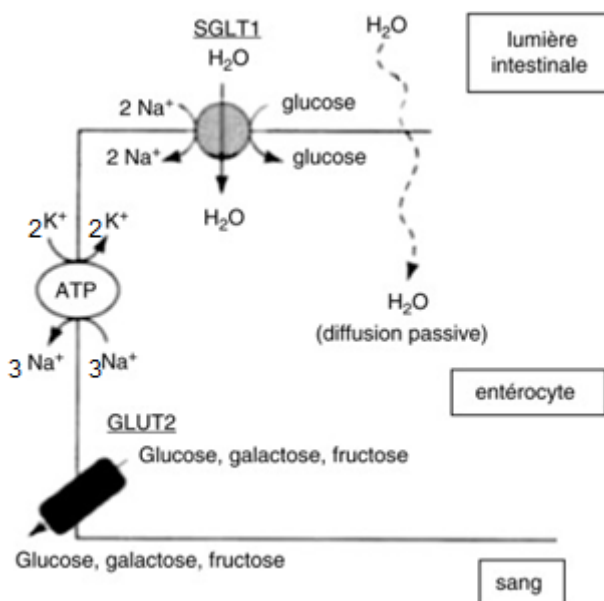
pour préparer une boisson plus concentrée, il faudra diluer avec de l'eau deux briques de jus de raisin (400 ml) et une pincée de sel dans une gourde d'un litre.

### 3.2.1.1 Les minéraux

Le sodium est un composant systématique d'une boisson énergétique. Il s'agit du principal cation entrant dans la composition d'une boisson énergétique puisqu'il participe activement à améliorer l'entrée d'eau dans les cellules.

Il existe deux mécanismes de transfert de l'eau au travers de la barrière intestinale, passif et actif. La présence de sodium dans la lumière intestinale permet d'activer le transport de glucose (présent dans la boisson ingérée) et par gradient osmotique, favorise le passage de l'eau (Bigard and Guézennec, 2018). Ce transfert hydrique est complémentaire de la diffusion passive de l'eau (figure 9).

Figure 10 : Les mécanismes de transfert de l'eau au travers de la barrière intestinale, modifié (Bigard and Guézennec, 2018)



La rétention d'eau induite par le sodium, permet de normaliser plus rapidement le statut hydrique. Si la boisson ne contient pas assez de sodium, le liquide ingéré en excès va augmenter le volume d'urine excrété sans améliorer l'hydratation. On peut rappeler le risque d'hyponatrémie vu dans la partie 1.2.2 lors de l'ingestion d'une grande quantité d'eau plate.

Afin de compenser ces pertes et aussi favoriser la vidange gastrique de l'eau, la teneur en sodium devrait être comprise entre 30 mmol/l et 50 mmol/l (jusque 2,9 g/l de NaCl) (Bigard and Guézennec, 2018). Trois formes de sodium sont utilisées dans une boisson énergétique :

le chlorure de sodium, le citrate de sodium et l'acétate de sodium. Une concentration en sodium supérieure à 50 mmol/L nuit au goût de la boisson (Baker and Jeukendrup, 2014). En effet le goût salé de la boisson peut freiner sa prise spontanée. Cependant, le goût indésirable au repos, pourrait être apprécié pendant la pratique sportive, d'où la nécessité de tester la boisson énergétique en condition d'exercice. De plus, la concentration en sueur varie considérablement d'un individu à un autre (partie 1.2.1.3).

L'utilisation de tablettes de sel est déconseillée : l'hypertonie dans la lumière intestinale augmentera les sécrétions digestives et pourra provoquer des troubles digestifs (Bigard and Guézennec, 2018).

Le potassium est souvent introduit en plus faible proportion que le sodium, dans la boisson énergétique afin de maintenir un rapport équimolaire entre le sodium et le potassium (partie 1.1.2.1) : entre 121 et 225 mg/l (Boisseau, 2005). En pratique, les pertes en potassium dans la sueur peuvent être compensées par l'ingestion d'aliments riches en potassium comme la banane, les agrumes et les jus de fruits.

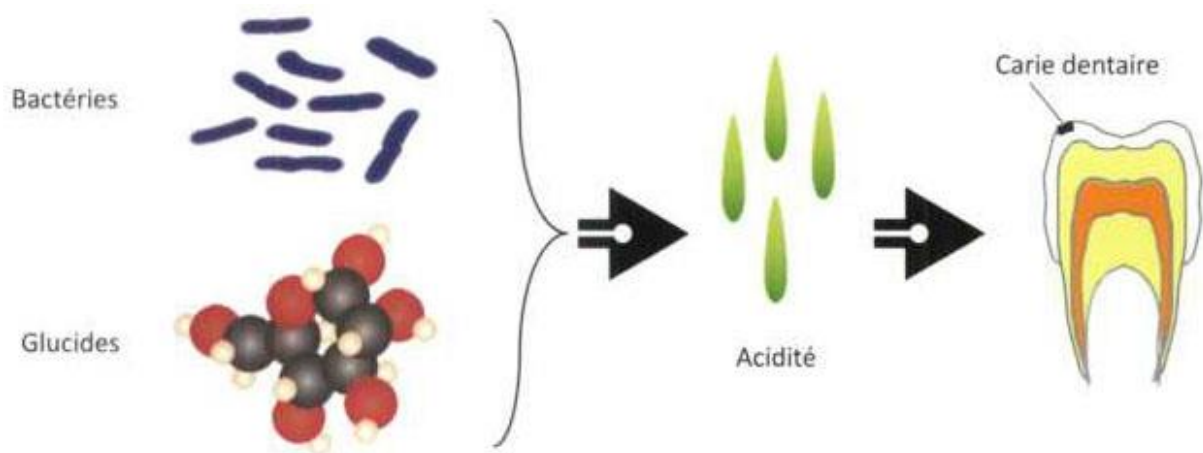
A la suite d'un entraînement de type aérobie, l'augmentation du volume plasmatique et la redistribution du zinc semblent réduire les concentrations plasmatiques en zinc donnant l'impression que la teneur apparente en cet oligo-élément est insuffisante (McArdle et al., 2004). Cependant, la perte en oligo-éléments lors d'un exercice ne nécessite pas systématiquement une supplémentation en micronutriments. De plus le fer, le cuivre et le zinc entrent en compétition pour le même transporteur lors de leur absorption intestinale c'est pourquoi à dose pharmacologique, leur incorporation dans une boisson pour sportif ne serait pas bénéfique (Monod et al., 2007). Enfin, l'utilisation de suppléments minéraux n'améliore pas la performance (partie 1.1.3.5).

### *3.2.1.2 Le pH*

Le pH est une propriété à ne pas négliger dans le choix de la boisson énergétique. En fait, chaque aliment se caractérise par un degré d'acidité ou d'alcalinité plus ou moins marqué (Louis and Hausswirth, 2012). Ce caractère acide ou basique se définit par le potentiel Hydrogène (pH). Plus la solution est acide, plus la valeur du pH est faible (sur une échelle de 0 à 14). La valeur du pH d'une boisson énergétique est entre 3,6 à 5,5 et plus elle est faible (acide), plus la vidange gastrique ralentit (Boisseau, 2005). Un potentiel pyrosis, brûlure de l'œsophage liée à un reflux acide, lors de la consommation de boisson à pH acide est exacerbé par des mouvements liés à la pratique sportive.

Les boissons énergétiques étant en général acides, elles peuvent aussi causer une érosion dentaire (Louis and Hausswirth, 2012). A partir d'une valeur du pH inférieur à 5,5, un élément acide est susceptible de dissoudre l'émail dentaire (Boisseau, 2005). En dégradant les sucres contenus dans ces boissons, les bactéries produisent des acides. Le pH de la plaque dentaire diminué attaque l'émail dentaire et une carie dentaire est susceptible de se former (figure 11).

Figure 11 : Schéma du mécanisme de développement d'une carie dentaire (Louis and Hausswirth, 2012)



La salive agit comme un tampon contre les acides ingérés et forme un film qui protège l'émail de la dent. Au cours d'un exercice physique, la capacité de production de salive est altérée par la respiration rapide et la déshydratation induite par la sueur (Horswill et al., 2005). C'est pourquoi il est primordial de consommer de la boisson pour maintenir la production de salive et prévenir la sécheresse buccale.

Les conseils de prise de boissons sucrées (partie 1.2.2) sont aussi applicables comme limiter le contact de la boisson avec la surface des dents (INSEP, 2018a). Dans la pratique, ces précautions sont difficilement applicables pendant un exercice physique.

### 3.2.1.3 L'osmolarité

L'osmolarité de la boisson est à définir en fonction de la température extérieure : en ambiance chaude (>24°C) une boisson légèrement hypotonique et en hiver, une boisson légèrement hypertonique (Guezennec, 2011). Ainsi il n'existe pas de boisson dont la composition soit adaptée à toutes les conditions climatiques. En milieu tempéré, la boisson isotonique (environ 290 mOsm/L) permet une absorption efficace des actifs (glucides, minéraux, vitamines...)

au niveau intestinal. Ceci permet de maintenir l'osmolarité et le volume extra-cellulaire stables (EFSA, 2010a).

Il s'agit d'un paramètre important puisqu'elle conditionne la vitesse de la vidange gastrique et l'absorption intestinale de l'eau (et des sucres). En effet la vitesse de vidange de l'estomac diminue avec l'augmentation de l'osmolarité du soluté (Boisseau, 2005). Les polymères à chaîne courte (3 à 10 unités glucose) produits de dégradation de l'amidon de maïs réduisent le nombre de particules en solution (McArdle et al., 2004). En fait, l'intérêt de la maltodextrine dans une boisson énergétique est sa faible osmolalité (Boisseau, 2005).

On ne retrouve pas systématiquement sur l'étiquetage l'osmolarité des boissons. De plus, la préparation maison d'une boisson énergétique ne permet pas la détermination de l'osmolarité et une osmolarité élevée peut nuire à une bonne hydratation (Łagowska et al., 2017). En comparant la composition de différentes boissons utilisées lors d'un exercice physique, on remarque que seules les boissons énergétiques sont appropriées pour apporter des glucides et des électrolytes en quantité adaptée (tableau 12).

Tableau 12 : Analyse nutritionnelle de différentes boissons

Boissons	Glucides (g/100ml)	Sodium (mg/L)	Potassium (mg/L)	Osmolarité (mOsm/kg.H <sub>2</sub> O)	Commentaires
Eau Evian®	0	6,5	1	8	Absence de glucides
Powerade	4,1	50	NC	381	Légèrement hyperosmolaire
Isostar	7,7	70	18	322	Boisson à diluer pour une concentration optimale en glucides
Soda (Coca-cola® goût original)	10,6	0	0 NC	700	Trop de sucres, faible en minéraux et hyperosmolaire
Lait demi-écrémé de vache, UHT *	4,8	38,3-50,7	145-199	NC	Riche en minéraux
Jus d'orange, pur jus*	9,58	0-20	146-195	NC	Trop de sucres : à diluer pour une boisson maison
Red Bull®	11,3	80,5	NC	601	Trop de sucres, hyperosmolaire
Solutés de réhydratation, SRO (Adiaril®)	2,55	1 395	780	250	Riche en électrolytes Pas assez de glucides



NC : Non communiqué

\*Données du Ciquial

Même si les SRO possèdent une osmolarité adéquate pour la pratique sportive, leur concentration n'est pas suffisante en glucides. Ils sont formulés spécifiquement pour pallier la perte en électrolytes perdus lors d'épisodes de diarrhées et/ou vomissements.

#### *3.2.1.4 La température*

La température fait partie des critères organoleptiques de la boisson énergétique capable de modifier la prise de boisson spontanée du sportif. En fait, sa température joue un rôle dans la vidange gastrique (Boisseau, 2005). La consommation de boissons glacées a un effet freinateur sur les processus physiologiques de thermorégulation puisque le corps doit augmenter la température du bol alimentaire (Guezennec, 2011). Aussi les boissons chaudes passent plus de temps dans le tube digestif pour pouvoir franchir la barrière pylorique.

La température idéale d'une boisson pendant l'effort serait entre 10 et 15 °C (Boisseau, 2005). La consommation de boisson fraîche permettra de refroidir le noyau central de l'organisme (partie 1.2.1). Il est possible d'utiliser une gourde thermique pour pouvoir maintenir la température de la boisson.

#### *3.2.1.5 Les caractères organoleptiques*

Le goût et la texture de la boisson sont des caractéristiques à prendre en compte car il existe de grandes variabilités individuelles (Bigard and Guézennec, 2018). L'ajout d'un léger arôme et l'alternance des saveurs, comme du sucré et du salé, favoriseront la consommation spontanée sur des activités de longue durée (Sicard, 2018).

Des substances sont utilisées pour modifier la couleur, l'odeur, le goût et ainsi améliorer le comportement dipsyque, prise spontanée de boisson, du sportif. Par exemple la couleur bleue du colorant bleu brillant FCF (E133) utilisé dans la boisson Powerade® Ice Storm (Coca-Cola Company) est issue d'un concept marketing renvoyant à une image de confiance, de fiabilité et sécurité. Bien que son utilisation soit autorisée dans l'Union Européenne, cet additif alimentaire est soupçonné de causer de l'hyperactivité chez l'enfant et d'allergie (asthmatique). Sa consommation devrait se faire avec modération (EFSA, 2010b).

#### *3.2.1.6 La nature et concentration des nutriments*

Les glucides sont les seuls nutriments énergétiques nécessaires dans une boisson de l'effort chez le sportif. Le glucose est privilégié par son transport associé à celui du sodium entraînant

une absorption accrue d'eau (figure 10). Cependant la consommation d'une boisson trop concentrée en sucre augmente la durée de la vidange gastrique et par conséquent empêche une bonne réhydratation (Boisseau, 2005). Néanmoins, une boisson fortement concentrée en glucides, prise en petite quantité, peut apporter plus d'énergie. Le remplacement optimal des glucides se situe entre 30 et 60 g de glucides par heure (McArdle et al., 2004). En fait l'organisme ne peut pas oxyder plus de 60-70 g de glucides par heure (Boisseau, 2005). Pour améliorer l'absorption d'eau, une boisson doit être concentrée au minimum à 0,9 % (Baker and Jeukendrup, 2014). La plupart des boissons de l'effort commercialisées contiennent entre 5 et 8 g de sucres pour 100 ml (5 à 8 %). Souvent conditionnées en bouteille de 500 ml, il convient de compléter avec de l'eau pure en fonction de la concentration désirée. En outre, il est nécessaire de diluer la boisson énergétique en fonction de l'intensité, la durée et la température extérieure (Guezennec, 2011). En fait, lorsque la température extérieure augmente, l'apport d'eau est à privilégier d'où le choix d'une boisson moins concentrée (tableau 13).

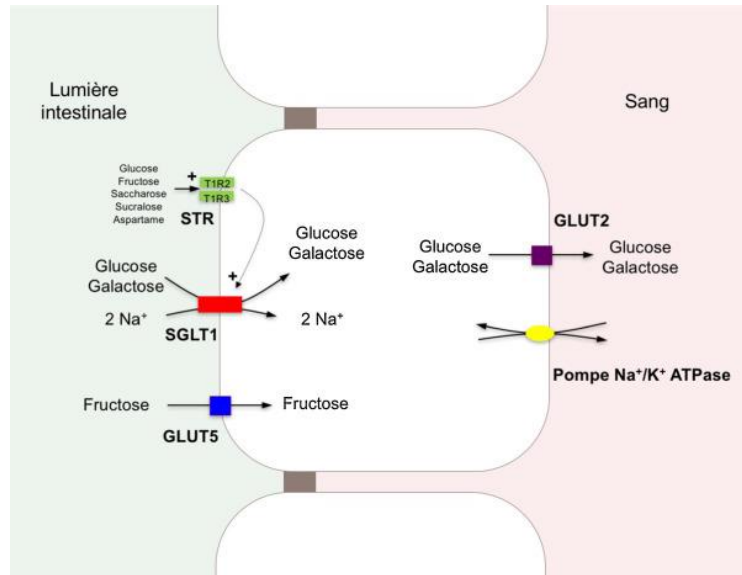
Conditions de pratique (à intensité et durée égale)	Concentration en glucides
Température froide (<15°C)	60 grammes / litre
Température modérée	40 grammes / litre
Température chaude (>25°C)	20 grammes / litre

Tableau 13 : Concentration en glucides de la boisson en fonction de la température extérieure (Guezennec, 2011)

La concentration mais aussi le type de glucides peuvent impacter sur l'absorption d'une boisson (Bigard and Guézennec, 2018). Pour le glucose, son transport à l'intérieur de l'épithélium intestinal implique des transporteurs spécifiques de ce sucre, dépendant du sodium (désignés sous le terme SGLT1 pour *Sodium Glucose coTransport-1*). Lors de la liaison du sodium sur le site extracellulaire du transporteur SGLT1, la conformation moléculaire du transporteur est modifiée pour exposer le domaine de liaison au glucose (ou galactose) (Baud et al., 2018). La fixation du glucide permet le co-transport du sodium et du glucose vers l'intérieur de la cellule entérocytaire. Suite à ce symport, dans le but de maintenir un gradient de sodium dans la cellule, le sodium va être rejeté dans le liquide interstitiel par un transporteur actif antiport, la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATP ase. Ainsi, tant que le gradient de concentration en sodium est maintenu, le glucose peut pénétrer dans la cellule. Il s'agit ainsi d'un transport secondairement actif de glucose grâce aux ions  $\text{Na}^+$ . Enfin, ce glucose présent dans la cellule pourra passer dans la circulation sanguine par diffusion facilitée via un

transporteur GLUT. Il existe différents isoformes de ce transporteur. Par exemple, la protéine transmembranaire GLUT-5 transporte spécifiquement le fructose (figure 12).

Figure 12 : Absorption des sucres par les entérocytes (Baud et al., 2018)



Le pouvoir sucrant est aussi différent en fonction de la nature des glucides (ANSES, 2016b). Sur l'exemple du fructose, son pouvoir sucrant est plus élevé que celui du saccharose et utilisé seul ou en trop grande quantité, il est capable de provoquer des troubles digestifs (partie 1.1.1.1). Aussi, l'index glycémique du fructose est faible comparé aux autres glucides (annexe 1); c'est pourquoi il est intéressant d'influencer l'index glycémique d'une boisson en utilisant des proportions variables de différents glucides (Baker and Jeukendrup, 2014).

Enfin l'osmolarité de la boisson n'est pas à négliger : les maltodextrines et l'amidon ont une osmolarité plus faible que les mono et disaccharides et un pouvoir sucrant plus faible (Baker and Jeukendrup, 2014).

Enfin concernant les autres nutriments énergétiques, les protéines peuvent être retrouvées dans la composition de boisson de récupération pour permettre la restauration du statut protéique mais ne sont pas nécessaires à la composition d'une boisson énergétique, pendant l'effort (Baker and Jeukendrup, 2014). Quant aux lipides, ils ralentissent la vidange gastrique et sont ainsi déconseillés dans la composition d'une boisson énergétique.

### 3.2.1.7 Les substances ergogéniques

La présence de substances ergogéniques, retrouvées plutôt dans les boissons énergisantes, n'est pas conseillée dans les boissons pour sportifs pour des raisons de sécurité et d'éthique (Guezennec, 2011). Par exemple, les vertus stimulantes de la caféine (partie 1.1.3.5) peuvent être à l'encontre de la pratique sportive. En effet, avant 2004 un sportif dont l'organisme dégradait lentement la caféine, ou qui excrétaient dans les urines une grande quantité de caféine non métabolisée (0.5 à 3 % caféine ingérée se retrouve dans les urines) était à risque de disqualification (McArdle et al., 2004). Depuis, la caféine ne fait plus partie de la Liste des substances interdites de l'Agence mondiale antidopage néanmoins elle fait l'objet d'une surveillance pour déterminer la prévalence de son utilisation.

On peut s'interroger sur la présence d'antioxydants dans les boissons d'effort dont le but est d'hydrater et non de lutter contre le stress oxydant. On peut rappeler qu'une alimentation diversifiée et équilibrée doit suffire à apporter les défenses anti-oxydantes nécessaires. Cependant on retrouve souvent la présence d'une ou plusieurs vitamines du groupe B. En effet, les vitamines B1, B2, B6 ont un rôle dans l'utilisation des glucides par l'organisme (figure 2).

### 3.2.2 Boissons de l'effort vendues en pharmacie

Il existe toute une panoplie de boissons énergétiques disponibles en vente libre. Ayant abordé la nécessité d'une sécurité de l'emploi, j'ai décidé de comparer uniquement les boissons de l'effort ayant la norme AFNOR NF V94-001, vendues en pharmacie et parapharmacie de ville. L'étude des boissons énergétiques se fait à partir d'une liste actualisée à la date de 01/03/2019 par les Antennes Médicales Prévention Dopage et la société française de nutrition du sport. Il faut rappeler que cette norme garantit une sécurité vis-à-vis du dopage mais elle ne garantit pas la qualité nutritionnelle du produit, d'où la nécessité de ce comparatif.

Le but de ces comparaisons n'est pas de déterminer la meilleure boisson énergétique à proposer au patient puisque comme on l'a vu plusieurs critères entrent en jeu dans le choix d'une boisson de l'effort. Les boissons de l'effort de 5 fabricants sont étudiées d'après le tableau comparatif que l'on retrouve dans l'annexe 3 : Apurna, Eafit, Ergysport, Overstim.s et STC Nutrition.

Volume	Temps froid / tempéré	Temps chaud
0,6L	3 mesures rases	2 mesures rases
0,8L	3,5 mesures rases	2,5 mesures rases
1L	4,5 mesures rases	3,5 mesures rases
1,5L	7 mesures rases	6 mesures rases

Tableau 14: Dosage de poudre Hydrixir Bio à diluer en fonction de la température extérieure (<https://www.overstims.com/HYDRIXIR-BIO-boite>)

On remarque que les fabricants proposent préférentiellement de la poudre, permettant la reconstitution d'une solution dans une bouteille ou gourde. L'avantage est un dosage maîtrisé de la reconstitution avec l'utilisation d'une cuillère doseuse. On suppose également une meilleure stabilité du produit pour une conservation à l'abri de l'humidité. Le volume à obtenir est pour la plupart harmonisé à 500 mL. Pour préparer la boisson, les dosages sont pour la plupart fixés (tableau 14).

Le fabricant rappelle les conseils d'hydratation selon la température et la nécessité d'utiliser de l'eau plate en complément. Dans toutes ses gammes, le conseil est de boire dès le début de l'effort sans attendre d'avoir soif. La modification de la concentration est aussi proposée par SCT nutrition, pour obtenir une boisson légèrement hypotonique ou hypertonique en fonction de la température extérieure. Concernant la posologie recommandée, il est préconisé essentiellement de boire une à deux gorgées toutes les 15 minutes.

La boisson énergétique est une boisson élaborée pour apporter une hydratation adéquate pendant l'effort. On remarque que certains fabricants déclinent la boisson en fonction de la durée de l'épreuve comme Eafit qui propose une boisson lors d'une activité sportive de plus de 3 heures et moins de 3 h. Chez SCT Nutrition, il peut s'agir d'un complément glucidique avec la boisson Maltodextrin Power, à associer ou mélanger à la boisson Isotonic Power ou VO<sub>2</sub> max du même fabricant. Il existe chez certains fabricants une polyvalence de l'utilisation de leur boisson. Par exemple la boisson Mineral drink (SCT Nutrition) est proposée en tant que boisson d'attente, avant l'effort, mais aussi pendant l'effort.

Les associations de glucides sont le plus souvent un mélange de trois formes de glucides : le dextrose et/ou des maltodextrines associés à un autre glucide simple (exemple : Eafit boisson -3h : 18,4 g de dextrose, 16,7 g de maltodextrines et 8 g de sirop de glucose<sup>5</sup>). Le choix des maltodextrines est expliqué en partie par leur facile digestion et l'apport rapide d'énergie. La

<sup>5</sup> Valeurs à titre indicatif par le diététicien du laboratoire Eafit, par portion de 46 g (parfum fruits rouges)

concentration en glucides varie entre les produits listés de 50 à 85 g/L. Il sera ainsi nécessaire de les diluer ou diminuer la quantité de poudre à reconstituer en cas de température ambiante tempérée ou froide.

L'utilisation de protéines (protéines de lactosérum, BCAA) n'est pas nécessaire pendant l'effort, cependant elles entrent dans la composition des boissons énergétiques de certains fabricants. Il peut s'agir d'une quantité non négligeable de protéines (boisson VO<sub>2</sub> max de SCT Nutrition) que le fabricant justifie pour les efforts de longue durée (plus de 3 heures) dans le but de « [le ratio est idéal pour] soutenir la masse musculaire pendant l'effort ». Il n'existe cependant pas de données concernant le ratio idéal pour diminuer le taux de chutes des protéines durant l'effort (Levenhagen et al., 2002). Le pharmacien doit ainsi rester vigilant face aux allégations apportées par les fabricants et garder un regard critique.

### 3.3 Prévention chez la personne âgée et chez les enfants

#### 3.3.1 La personne âgée

Il est recommandé pour les adultes âgés de 65 ans ou plus, de prendre des précautions supplémentaires et demander l'avis d'un médecin avant de chercher à atteindre les niveaux recommandés d'activité physique. Pour cette tranche d'âge, l'activité physique sera moins axée sur la pratique d'un volume élevé d'activité ou d'une activité d'intensité soutenue mais plus sur le principe de progressivité (Kenney et al., 2017). La prévention des risques de chutes et blessures musculo-squelettiques lors de l'activité physique nécessite une progression graduelle d'entraînement par ajustement de la durée de l'exercice, de la fréquence et/ou de l'intensité jusqu'à ce que l'objectif de l'exercice désiré soit atteint (ANSES, 2016d). La pratique d'une activité physique prévient l'apparition d'un certain nombre de phénomènes délétères liés au vieillissement (exemple : sarcopénie), des fonctions cognitives, la dépression et l'isolement dans la société. De plus, la pratique d'une activité sportive et de loisirs pour les personnes âgées permet de rester indépendant plus longtemps (Duclos, 2018).

En fait la pratique d'une activité physique devrait être retrouvée chez tous les patients âgés. Un auto-questionnaire de santé (questionnaire Q-AAP+, annexe 5), destiné à la population générale, peut être proposé par le médecin traitant ou tout autre professionnel de santé. Il permet de vérifier l'aptitude physique lors de l'initiation ou du renouvellement d'une licence pour la pratique sportive. Si la personne répond « oui » à une des sept questions, il lui sera

préconisé de consulter du médecin avant de débiter ou poursuivre son activité physique. De plus, un appareillage peut être mis en place afin de pallier les déficits moteurs comme des aides mécaniques (Boulin and Loubrieu, 2017). Les dispositifs médicaux tels les cannes, béquilles ou déambulateur peuvent être délivrés et pris en charge par la Sécurité Sociale. Leur utilisation peut permettre de suivre un processus de réadaptation et la pratique d'un loisir sportif.

On a vu dans la partie 1.2.1.1 que la répartition de l'eau dans le corps diffère avec l'âge : la masse hydrique corporelle totale diminue avec le vieillissement (Henderson et al., 2018). La réduction de la sensation de soif et la diminution du pouvoir de concentration des urines augmentent le risque de déshydratation (EFSA, 2010a). C'est pourquoi il est important de rappeler à la personne âgée de boire régulièrement même sans avoir soif (Modai, 2011).

### 3.3.2 Les enfants

Il faut rappeler que les besoins en nutriments chez l'enfant ne sont pas identiques à ceux chez l'adulte et la prise de complément alimentaire sur de longues périodes peut aboutir à des surdosages préjudiciables pour la santé. De plus, constitué de 60 à 65 % d'eau, la teneur en eau est plus élevée chez l'enfant que chez l'adulte (partie 1.2.1). Du point de vue physiologique, le rapport entre la surface corporelle de l'enfant et sa masse corporelle est plus important que celui d'un adulte (Baker and Jeukendrup, 2014). Ce rapport est proportionnel avec la production métabolique de chaleur. Ainsi, le transfert de chaleur (convection, conduction et radiation) est plus important (Monod et al., 2007). Cependant le taux de sudation est inférieur ce qui implique que l'enfant est moins tolérant à la chaleur (EFSA, 2010a).

La quantité de boisson sera donc à moduler en fonction de la morphologie, du type d'activité et des conditions climatiques (EFSA, 2010a). Une intervention pédagogique est nécessaire afin de sensibiliser les enfants à la consommation de liquides. Pour les enfants pratiquant une activité physique régulière, l'eau est la boisson à privilégier pendant l'exercice. Il faudrait restreindre la consommation de boissons énergétiques aux jeunes athlètes pratiquant une activité physique intense (Sicard, 2018).

Chez les jeunes plus adeptes des nouvelles technologies, l'utilisation d'appareils connectés permet de proposer des programmes interactifs et divertissants pour faciliter la pratique d'une activité sportive (Boulin and Loubrieu, 2017). Ces objets peuvent accompagner le dialogue

avec un professionnel sans toutefois le remplacer (exemple : la montre Fitbit Versa™ pour suivre le nombre de pas ou la distance parcourue).

D'après l'étude INCA 3 (2014-2015), seulement un tiers des adolescents âgés de 11 à 17 ans pratique au moins 60 minutes d'activité physique par jour, comme recommandé par l'OMS. Concernant l'hydratation, les eaux (du robinet et conditionnées) représentent plus de la moitié des boissons consommées par les enfants. Ensuite ce sont des boissons rafraîchissantes sans alcool qui sont le plus consommées par les adolescents (13,2%) tandis pour les enfants de 0 à 10 ans ce sont les boissons à base lait (boissons chaudes, lait et lait infantile).

Le choix d'une boisson énergétique n'est pas anodin. Des normes évitent l'achat de boissons potentiellement dangereuses. Certains éléments tels que l'eau, le sel et les sucres sont incontournables dans la composition d'une boisson de l'effort. Ils peuvent être modulés notamment en fonction de facteurs environnementaux ou de la durée de la pratique physique. On peut les fournir séparément mais le meilleur compromis consiste à les apporter réunis dans une boisson. Aussi, des populations fragiles nécessitent une sensibilisation particulière pour consommer une quantité suffisante en boisson. Le pharmacien peut conseiller un plan hydrique chez la personne âgée : une consommation d'un à deux verres d'eau dès le réveil et au coucher ; un demi-litre dans la matinée, puis dans l'après-midi tout en consommant pendant les repas de la boisson (Modaï, 2011). Il en est de même pour le maintien d'une activité physique programmée chez le sujet vieillissant où la régularité est à privilégier plutôt que l'intensité. Ce qui permet à celui-ci de conserver un schéma moteur suffisant pour prévenir les chutes et éviter une fonte de sa masse musculaire.



## **CONCLUSION**

Bien que le sportif ne se tourne pas d'emblée vers une pharmacie d'officine pour trouver les réponses à ses questions en matière de nutrition, le pharmacien doit être dans la capacité de prodiguer des conseils avisés et adaptés au patient et à sa pratique physique. Pour cela le pharmacien doit s'appuyer sur des bases solides en diététique, une veille scientifique continue et la prise en compte des effets de mode. Ainsi, le pharmacien doit rester vigilant face aux demandes des sportifs en matière de compléments alimentaires. La pratique d'une activité physique augmente les dépenses énergétiques. L'ANSES rappelle qu'en l'absence de pathologie, la couverture des besoins nutritionnels est possible par une alimentation variée et équilibrée. La consommation de compléments alimentaires n'est alors pas nécessaire. Une diététique adaptée au sportif implique un équilibre alimentaire et un apport énergétique total quotidien adapté c'est-à-dire qu'il faut une synergie alimentaire entre la quantité, la qualité et la diversité alimentaire, la répartition des prises et une bonne hydratation. Pour une dispensation de qualité le pharmacien doit pouvoir inclure le conseil en matière de nutrition et d'activité physique pour une meilleure hygiène de vie. Le lien de proximité avec la pharmacie peut être un lieu d'échanges, d'information, d'entretien et devrait favoriser un comportement moins sédentaire. Consultable sans rendez-vous, le pharmacien reste un interlocuteur privilégié pour assurer un suivi et un accompagnement personnalisé.

## ANNEXES

Annexe 1 : tableaux d'index glycémique de quelques aliments (référence : glucose, IG = 100)

<i>Aliments ayant un IG faible</i>		<i>Aliments ayant un IG moyen</i>	
Cacahuètes	14	Banane	55
Yaourt 0 % édulcoré	14	Cocktail de fruits au naturel	55
Cerise	22	Mais doux en conserve	55
Fructose	23	Semoule	55
Pamplemousse	25	Muesli	56
Lentilles rouges bouillies	26	Riz brun	56
Haricots rouges bouillis	27	<i>Smacks Kellogg's</i>	56
Lait entier	27	Abricots frais	57
Pomme sèche	29	Pita	57
Haricots noirs bouillis	30	Miel	58
Lentilles vertes et brunes bouillies	30	Papaye	58
Pêche au naturel	30	Pêche au sirop	58
Abricots secs	31	Riz Basmati	58
Lait de soja	31	Muffin	59
Lait écrémé	32	Pizza au fromage	60
Pois cassé bouilli	32	Crème glacée	61
Cacahuètes enrobées de chocolat	33	Pain hamburger	61
Pâte à tartiner	33	Pomme de terre nouvelle (moyenne)	61
Pois chiche bouilli	33	<i>Coca-Cola</i>	63
Yaourt 0 % sucré	33	Abricots au sirop	64
Lait aromatisé chocolat	34	Betteraves	64
Vermicelle	35	Raisins secs	64
Poire	38	Barre <i>Mars</i>	65
Poisson pané	38	Melon	65
Pomme	38	Pain de seigle	65
Prunes	39	Saccharose	65
Raviolis à la viande	39	Semoule de couscous	65

<b>Aliments ayant un IG faible</b>		<b>Aliments ayant un IG moyen</b>	
Jus de pomme sans sucre ajouté	40	Ananas	66
Barre <i>Snickers</i>	41	Croissant	67
Pêche	42	<i>Fanta</i>	68
Pois chiche en conserve	42	Gnocchi	68
Pudding	43	Tacos	68
Barre <i>Twix</i>	44	Pain complet	69
Orange	44	<b>Aliments ayant un IG fort</b>	
Cappellini	45		
Pâtes	45	Pain blanc	70
Jus d'ananas sans sucre ajouté	46	Pomme de terre bouillie (moyenne)	70
Jus d'orange	46	Millet	71
Lactose	46	Pastèque	72
Raisin	46	Rutabaga	72
Boulgour	48	Boisson énergétique de l'effort	75
Jus de pamplemousse s/sucre ajouté	48	Frites	75
Marmelade	48	Fèves	79
Carottes en conserve	49	Bonbons gélifiés	80
Chocolat	49	Baguette parisienne	95
Flocons d'avoine	49	Pomme de terre : purée (moyenne)	81
Tortellini au fromage	50	<i>Rice Krispies Kellogg's</i>	82
<i>All Bran Kellogg's</i>	51	Corn flakes	84
Confiture de fraise	51	Pomme de terre : purée instantanée	86
Pumpernickel	51	Riz cuisson rapide	87
Haricots rouges en conserve	52	Pomme de terre : au four (moyenne)	89
Kiwi	52	Pain sans gluten	90
Chips	54	Dattes	103
Patate douce bouillie	54	Maltose (maltodextrine)	105
<i>Special K Kellogg's</i>	54		

## Annexe 2 : Fiche conseil patient concernant l'hydratation

### HYDRATATION POUR TOUS

Une dizaine de verres d'eau par jour : au total 1,5 L/j

Boire régulièrement durant la journée

Diversifier les boissons : eau du robinet, eaux conditionnées (eau de source, eau minérale), gazeuses, boissons chaudes (thé, tisanes), boissons sucrées (max 1 par jour), aromatiser selon les goûts (rondelle de citron, concombre, menthe). Autres : potages, soupes froides, compotes de fruits, sorbets, laitages.

Aliments riche en eau : la pastèque, la laitue, le melon, les cornichons, les haricots verts, courgette, concombre...

Si mange moins que d'habitude : compenser l'eau des aliments par une hydratation en quantité supérieure. Vérifier la couleur des urines ! (couleur claire = bonne hydratation)

La consommation d'alcool n'est pas recommandée en cas de fortes chaleurs

Plan hydrique journalier	Réveil	Petit déjeuner	Matinée	Midi	Après-midi	Dîner
Nombre verres	1	2	2	2	2	2

### HYDRATATION DU SPORTIF

S'assurer d'être bien hydraté. Boire AVANT, PENDANT et APRES le sport (tableau)

Ne pas attendre d'avoir soif pour boire.

Privilégier l'eau plate (eau du robinet, de source ou minérale) si l'épreuve dure moins d'1h.

Petites quantités d'eau pour éviter les troubles digestifs jusque 0,5 L/h. Adapter le volume total à la température extérieure et la durée de l'effort physique

Température de la boisson : 10-15°C. Ne pas boire glacé

Si épreuve au-delà 1h d'exercice physique soutenu : utiliser une boisson énergétique (≠boisson énergisante type Red Bull) + de l'eau plate. Vérifier la tolérance digestive pendant les entraînements

AVANT	PENDANT	APRES
S'échauffer de manière progressive pendant au moins 10 minutes	Boire dès le début de l'exercice 2-3 gorgées toutes les 15 minutes (0,5 L/h) Effort >1h : enrichir sa boisson en glucides et sodium (ou boisson énergétique) selon tableau plus bas	Diminuer le rythme et étirements pour une récupération active  Boire 1,5 fois quantité d'eau perdue (=poids perdu)
Boire dès le réveil et durant la journée		

Limitier les boissons stimulantes (boisson énergisante, à base de caféine) et l'alcool

Boisson maison : diluer du jus de raisin (ou autre jus selon la teneur en glucides) + 1 pincée de sel (1g) de sorte à avoir :

Température	Froid (<15 °C)	Tempéré	Chaud (>24 °C)
Concentration en glucides	60g/L	40 g/L	20g/L

Annexe 3 : Composition de différentes boissons de l'effort vendues en pharmacie

Boisson de l'effort	Apurna hydratation	Eafit boisson énergétique -3h	Ergysport effort	SCT Nutrition Isotonic power	SCT Nutrition Mineral Drink	SCT Nutrition VO2max
Galénique	Boîte 500 g de poudre	Bouteilles de 500 ml	Pot (450g) et stick (30g)	Pot 525 g	Bouteille prêt-à-emploi	Pot 525 g
Valeur nutritionnelle	Pour 40 g de poudre	Pour 100 g de poudre	Pour 30 g de poudre	Pour 40 g de poudre	Pour 1 bouteille de 500ml	Pour 35 g
Glucides	MD, DE, sucre, fructose 35.2 g (dont 22.7 g de sucres)	DE, MD, sirop glucose 90 g (dont 39g de sucres)	DE, MD, saccharose 25.4-26 g (dont 10 g MD)	DE, MD, fructose 36.9 g (dont 21 g sucres)	MD, fructose, glucose 30 g	MD, fructose, DE 25 g (dont 11.3 g de sucres)
Protéines	0.03 g	0,1 g	Protéines de lactosérum 1,8 g	Protéines de lactosérum 1,8 g	0.0 g	Protéines/Lactosérum/ whey 6.5 g
Sodium Sel	304 mg 0.8 g sel	743 mg 1,9 g de sel	0.59-0.7 g de sel	233 mg 582 mg de sel	230 mg	140 mg 340 mg de sel
Potassium	300 mg	NC	195 – 201 mg	24 mg	NC	105.5 mg
Autres composés	Vit C, B3, E, B6, B5, B1, D3, K, B2, Ca, Ph, Mg, Sé, Zn	Vit C, PP, B6, B2 et B1, Mg, Se	BCAA Vit B1, B6, C et E, Ca, Mg, K, Zn, Mn,	Guarana, vit C, B1, Ca, Mg	Vit C, B1, B2 ; B5, B6, B12	Ferments lactiques, extrait de papaye et ananas, Ca, ch, Mg, Mo, Ph, Cl, Se et 11 vit
Posologie indiquée	40 g dans 500 ml d'eau 0.5 L à 1 L par heure par fraction toutes les 15 à 20 minutes systématiquement	Mélangez 1,3 ou 2 dosettes dans 500 ou 750 ml (en fonction de la durée) 1 à 2 pleines gorgées toutes les 10 minutes	2 doses ou 1 stick à diluer dans 500 ml d'eau. Boire 1 gorgée toutes les 5 minutes (500 ml/h)	Diluer 2.5 doses (40g) dans 500 ml d'eau (ou 3 si t<25°C et 4 si t<10°C). Petites gorgées toutes les 10-14 minutes (500 ml/h)	Petites gorgées à raison de 1 à 2 bouteilles par jour, particulièrement avant, pendant ou après un effort physique. Idéal lors d'efforts modérés et en boisson d'attente	Diluer 35 g dans 500 ml d'eau. Si t<10°C, diluer 35 g dans 400 ml (boisson légèrement hypertonique) ; si > 25°C, diluer 35 g dans 750 ml (boisson hypotonique)

MD : maltodextrines, DE : dextrose, NC : non communiqué



Boisson de l'effort	SCT Nutrition Maltodextrin Power	Overstim.s Hydrixir Bio	Overstim.s Hydrixir Antioxydant	Overstim.s Hydrixir longue distance	Overstim.s Hydrixir Salé
Galénique	Pot 500g	Pot 500 g et sseau 2.5 kg	Boîte de 600 g	Boîte 600 g	Boîte de 450 g
Valeur nutritionnelle	Pour 50 g	Pour 600 ml de boisson	Pour 600 ml de boisson	Pour 600 ml de boisson	Pour 60 g de poudre
Glucides	MD, fructo-oligosaccharides 44.1 g (dont 3.3 g sucres)	DE, sirop de glucose 51 g/600ml (dont 30 g sucres)	DE, sirop de glucose 37 g (dont 20 g de sucres)	MD, sirop de glucose, dextrose, fructose 47 g (dont 19 g sucres)	MD 41.2 à 42 g (4.8 à 6g de sucres)
Protéines	0.0 g	< 1 g	< 1 g	Protéines de lactosérum, caséinate de calcium 2.7 g	Protéines de soja 9 à 9.5 g
Sodium Sel	348 mg	32 mg	280 mg	400 mg	892 à 1006 mg
Potassium	NC	NC	NC	NC	2.22 à 2.52 g de sel 362 mg
Autres composés	Ferments lactiques, vit B1, B6, B12	Vit B1	Mg, thé noir, vit A, B6, C, B1	Mg, thé noir, vit E, C, B6, B1, BCAA	Fécule de pomme de terre, purée de tomate, vit B1, Ca
Posologie indiquée	Diluer 50 g (4cuillère-dose) dans 750 ml d'eau. Soutien énergétique aux autres boissons de la gamme pour des dépenses caloriques importantes. Boire 2 à 3 gorgées toutes les dix minutes.	Efforts intenses ou inférieurs à 3 heures	Un à deux bouches pleines toutes les 5 à 10 minutes	Buvez une à deux bouches pleines toutes les 5 à 10 minutes	Boire dès le début de l'effort une à deux bouches pleines toutes les 5 minutes.

Annexe 4 : Résultats de l'étude PHARMAPS reçu par e-mail le 18/07/19

Formation de 23 pharmaciens d'officine à l'entretien motivationnel et aux bénéfices de l'activité physique comme facteur de santé, à la solution informatique de collecte des données, stockage et traitement.

Objectif général : Evaluer l'efficacité de l'implication des pharmaciens d'officine dans la promotion de l'activité physique et sportive chez leurs clients connus, porteurs d'ordonnances pour pathologies chroniques, en vue de modifier leurs comportements sur le long terme.

Les résultats significatifs de l'étude portent sur les indicateurs suivants :

- réduction du temps écran (GPAQ)
- diminution de la sédentarité (GPAQ)
- augmentation du niveau d'activité physique (GPAQ)
- qualité de vie (SF36)

Cible : 18-75 ans (exclus sphère cardiaque compliquée), CSP +/-, urbain, rural, péri urbain

Inclus : 500 (deux bras)

Durée de l'étude : 27 mois

Durée de l'inclusion : 12 mois

Territoire : métropole

Protocole : 5 entretiens pour le groupe exposé, et 2 entretiens pour le groupe non exposé.

Outils : boîte type médicament, comprenant un podomètre, un livret du praticant sur ces objectifs validés par le pharmacien en entretien

Promoteur de l'étude : direction générale de la santé

Protocole scientifique : SFMES

Concepteur coordonnateur : Vincent Alberti

\*Publication: Cespharm prévention oct 2018, pharmaps

[www.cespharm.fr/fr/content/download/.../5/.../developper-la-prevention-rapport.pdf](http://www.cespharm.fr/fr/content/download/.../5/.../developper-la-prevention-rapport.pdf)

Annexe 5 : Questionnaire d'aptitude à l'activité physique Q-AAP+

Extrait du guide de promotion, consultation et prescription médicale d'activité physique et sportive pour la santé chez les adultes. HAS (octobre 2018). Troisième chapitre : Repérage en population générale des personnes à risque pour la pratique d'une activité physique.

**QUESTIONS GÉNÉRALES SUR LA SANTÉ (Q-AAP+)**

Lisez les sept questions avec attention et répondez à chacune avec honnêteté, par oui ou par non	oui	non
1. Votre médecin vous a dit que vous étiez atteint d'un problème cardiaque <input type="checkbox"/> ou d'une hypertension artérielle <input type="checkbox"/> ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Ressentez-vous une douleur à la poitrine au repos, ou au cours de vos activités quotidienne ou lorsque vous faites de l'AP ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Éprouvez-vous des pertes d'équilibre liées à des étourdissements ou avez-vous perdu conscience au cours des 12 derniers mois ? (Répondez non, si vos étourdissements étaient liés à de l'hyperventilation, y compris pendant une AP d'intensité élevée)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Avez-vous déjà été diagnostiqué d'une autre maladie chronique (autres qu'une maladie cardiaque ou d'hypertension artérielle) ? Lister les maladies ici :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Prenez-vous actuellement des médicaments prescrits pour une maladie chronique ? Lister les maladies et les médicaments ici :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Avez-vous actuellement (ou avez-vous eu dans les 12 derniers mois) des problèmes osseux, articulaires, ou des tissus mous (muscle, ligament ou tendon) qui pourraient être aggravés par une augmentation d'AP ? (Répondez non, si vous avez déjà eu un problème dans le passé, mais qui ne limite pas votre pratique d'AP présente). Lister les problèmes ici :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous ne devriez pas faire d'AP sans supervision médicale ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## **BIBLIOGRAPHIE**

Alexandre Méliopoulos, and Christine Levacher (2012). *La peau : structure et physiologie* (TEC & DOC).

Almond, C.S.D., Shin, A.Y., Fortescue, E.B., Mannix, R.C., Wypij, D., Binstadt, B.A., Duncan, C.N., Olson, D.P., Salerno, A.E., Newburger, J.W., et al. (2005). Hyponatremia among Runners in the Boston Marathon. *New England Journal of Medicine* 352, 1550–1556.

ANSES (2016a). Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles.

ANSES (2016b). Actualisation des repères du PNNS : établissement de recommandations d'apport de sucres.

ANSES (2016c). Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires.

ANSES (2016d). Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité.

Baker, L.B., and Jeukendrup, A.E. (2014). Optimal Composition of Fluid-Replacement Beverages. In *Comprehensive Physiology*, R. Terjung, ed. (Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.), pp. 575–620.

Barr, S.I., and Rideout, C.A. (2004). Nutritional considerations for vegetarian athletes. *Nutrition* 20, 696–703.

Baud, G., Caiazzo, R., Verkindt, H., Nessler, P., Torres, F., Raverdy, V., and Pattou, F. (2018). Influence des interactions entre l'absorption intestinale du sodium et du glucose sur le métabolisme glucidique. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 53, 106–113.

Bigard, X. (1951-), and Guézennec, C.-Y. (2018). *Nutrition du sportif* (Masson).

Boisseau, N. (2005). *Nutrition et bioénergétique du sportif: bases fondamentales* (Elsevier Masson).

Boulin, É., and Loubrieu, V. (2017). Rôle du pharmacien d'officine dans la promotion de l'activité physique. *Actualités Pharmaceutiques* 56, 33–36.

Bourdon, L., Canini, F., Aubert, M., Melin, B., Koulmann, N., Saïssy, J.-M., and Bigard, A.-X. (2003). Le coup de chaleur d'exercice : I – Aspects cliniques et prévention. *Science & Sports* 18, 228–240.

Comité des Ministres (2001). Recommandation N° R (92) 13 sur la Charte sociale européenne du Sport, Conseil de l'Europe.

Coquart, J.B.J., Alberty, M., and Bosquet, L. (2009). Validity of a Nomogram to Predict Long Distance Running Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 23, 2119.

- Courbebaisse, M. (2015). L'eau, un nutriment essentiel. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 50, S5–S12.
- Delarue, J., Laville, M., and Romon, M. (2004). Utilisation des substrats énergétiques. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 39, 360–364.
- Duclos, M. (2018). Effets bénéfiques de l'activité physique et sportive en prévention primaire et tertiaire. CNOSF. MédicoSport-Santé.
- EFSA (2010a). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. *EFSA Journal* 8, 1459.
- EFSA (2010b). Scientific Opinion on the re-evaluation of Brilliant Blue FCF (E 133) as a food additive. *EFSA Journal* 8, 1853.
- EFSA (2011). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to L-carnitine and faster recovery from muscle fatigue after exercise (ID 738, 1492, 1493), skeletal muscle tissue repair (ID 738, 1492, 1493), increase in endurance capacity (ID 4305, 4684), maintenance of normal blood LDL-cholesterol concentrations (ID 1494, 4684), contribution to normal spermatogenesis (ID 1822), "energy metabolism" (ID 1821), and increasing L-carnitine concentrations and/or decreasing free fatty acids in blood during pregnancy (ID 1495) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. *EFSA Journal* 9, 2212.
- EFSA (2015). Scientific Opinion on the safety of caffeine. *EFSA Journal* 13, 4102.
- EFSA (2017). Dietary Reference Values for nutrients Summary report. *EFSA Supporting Publications* 14, e15121E.
- Gerbault Pascale, Liebert Anke, Itan Yuval, Powell Adam, Currat Mathias, Burger Joachim, Swallow Dallas M., and Thomas Mark G. (2011). Evolution of lactase persistence: an example of human niche construction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 366, 863–877.
- Guezennec, C.-Y. (2011). Les boissons de l'effort : bases physiologiques de leurs utilisations et composition. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 46, H46–H53.
- Henderson, M.A., Gillon, S., and Al-Haddad, M. (2018). Organization and composition of body fluids. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine* 19, 568–574.
- Horswill, C.A., Stofan, J.R., Horn, M.K., Eddy, D.E., and Murray, R. (2005). Effect of exercise and fluid consumption on salivary flow and pH. *International Journal of Sports Medicine* 500–504.
- INSEP (2018a). Sport et risques dentaires. Fiche nutrition n°16.
- INSEP (2018b). La boisson de récupération. Fiche nutrition 7.
- Jäger, R., Purpura, M., Shao, A., Inoue, T., and Kreider, R.B. (2011). Analysis of the efficacy, safety, and regulatory status of novel forms of creatine. *Amino Acids* 40, 1369–1383.
- Jéquier, E., and Constant, F. (2009). Pourquoi faut-il boire de l'eau ? Pour maintenir la balance hydrique. *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 44, 190–197.

- Kenney, L., Costill, D.L., and Wilmore, J.H. (2017). *Physiologie du sport et de l'exercice* (De Boeck Supérieur).
- Kreider, R.B., Kalman, D.S., Antonio, J., Ziegenfuss, T.N., Wildman, R., Collins, R., Candow, D.G., Kleiner, S.M., Almada, A.L., and Lopez, H.L. (2017). International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 14, 18.
- Labarde, S., Bugeaud, J.-L., and Nouaille, Y. (2013). Les substances et les médicaments interdits dans la pratique sportive. *Actualités Pharmaceutiques* 52, 18–29.
- Łagowska, K., Podgórski, T., Celińska, E., Wiertel, Ł., and Kryściak, J. (2017). A comparison of the effectiveness of commercial and natural carbohydrate–electrolyte drinks. *Science & Sports* 32, 160–164.
- Le Moniteur des pharmacies (2015). *SPORT ET ACTIVITÉS PHYSIQUES*. Cahier 2 Du N°3097 Du 3 Octobre 2015. *Le Moniteur Des Pharmacies* 240.
- Levenhagen, D.K., Carr, C., Carlson, M.G., Maron, D.J., Borel, M.J., and Flakoll, P.J. (2002). Postexercise protein intake enhances whole-body and leg protein accretion in humans. *Med Sci Sports Exerc* 34, 828–837.
- Louis, J., and Hausswirth, C. (2012). *Nutrition et Performance en sport : la science au bout de la fourchette*. Thème 4. *Nutrition et santé bucco-dentaire du sportif* (INSEP-Éditions).
- Maître, C., and Harvey, T. (2011). L'aménorrhée de la sportive. *La lettre du gynécologue* 18–21.
- Maughan, R.J., and Shirreffs, S.M. (2004). Rehydration and recovery after exercise. *Science & Sports* 19, 234–238.
- McArdle, Katch, and Katch (2001). *Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition et performance*.
- McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L., Rieth, N., and Dehaye, J.-P. (2004). *Nutrition & performances sportives* (De Boeck).
- McCulloch, R.G., Bailey, D.A., Houston, C.S., and Dodd, B.L. (1990). Effect of physical activity, dietary calcium intake and selected lifestyle factors on bone density in young women. *CAN MED ASSOC J* 7.
- Modai, P. (2011). Quelle place pour les boissons aux différents âges de la vie ? *Cahiers de Nutrition et de Diététique* 46, H54–H60.
- Monod, H., Flandrois, R., and Vandewalle, H. (2007). *Physiologie du sport, Bases physiologiques des activités physiques et sportives* (Masson).
- Mozaffarian, D., Fahimi, S., Singh, G.M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Engell, R.E., Lim, S., Danaei, G., Ezzati, M., and Powles, J. (2014). Global Sodium Consumption and Death from Cardiovascular Causes.

Nathan, P., and Agenet, C. (2010). Boissons énergétiques, boissons énergisantes. Quelles différences ? Quelles règles de prudence ? *Nutrition & Pédiatrie* 2, 3–5.

Orban, J.-C., Lerverve, X., and Ichai, C. (2010). Lactate : le substrat énergétique de demain. *Réanimation* 19, 384–392.

Paulsen, G., Cumming, K.T., Holden, G., Hallén, J., Rønnestad, B.R., Sveen, O., Skaug, A., Paur, I., Bastani, N.E., Østgaard, H.N., et al. (2014). Vitamin C and E supplementation hampers cellular adaptation to endurance training in humans: a double-blind, randomised, controlled trial. *The Journal of Physiology* 592, 1887–1901.

Pillon, F., and Scève, C. (2011). Alimentation du sportif et conduite dopante. *Actualités Pharmaceutiques* 50, 15–18.

Sicard, J. (2018). L'hydratation, au cœur de la stratégie nutritionnelle du sportif. *Actualités Pharmaceutiques* 57, 25–29.

Stephens, F.B., Constantin-Teodosiu, D., and Greenhaff, P.L. (2007). New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. *The Journal of Physiology* 581, 431–444.

Vicat, J.-P., Doumnang Mbaigane, J.-C., and Bellion, Y. (2014). Teneurs en éléments majeurs et traces de spirulines (*Arthrospira platensis*) originaires de France, du Tchad, du Togo, du Niger, du Mali, du Burkina-Faso et de République centrafricaine. *Comptes Rendus Biologies* 337, 44–52.

RAJAONARISON Muriel

## **Rôle et conseils du pharmacien d'officine dans l'hydratation et l'utilisation des boissons énergétiques chez le sportif**

Thèse pour le diplôme d'état de docteur en pharmacie

Université de Picardie Jules Verne

Année 2019

### RESUME :

A l'officine, la demande en matière de nutrition se résume au souhait de perdre du poids. Cependant pour les sportifs, la demande vise à améliorer la performance et/ou la prise de masse musculaire. La proximité du pharmacien, sa connaissance des médicaments et des bases hygiéno-diététiques lui permettent de prodiguer des actions de sensibilisations à la pratique d'une activité physique auprès de la population générale et sportive voire atteinte de pathologies chroniques. Concernant les bases hygiéno-diététiques, l'hydratation est un socle non négligeable, à la base de la pyramide alimentaire. De plus, pendant l'activité physique, l'hydratation est au cœur d'une bonne prise en charge nutritionnelle. Le pharmacien veille à prodiguer des conseils avisés afin de maintenir une hydratation optimale et d'éviter la déshydratation avec ses conséquences délétères. Même si l'utilisation d'une boisson énergétique n'est pas systématique chez le sportif, lorsqu'elle devient nécessaire (e.g. performance ou récupération recherchées, augmentation de la masse musculaire, diminution de la masse grasse), elle doit correspondre à des besoins et objectifs spécifiques (besoins glucidiques augmentés, enrichissement en caféine ou en créatine, *etc.*) sans être considérée comme un produit dopant : le pharmacien doit être donc capable d'encadrer cette prise de « compléments alimentaires » ajoutée aux boissons énergétiques. Une mise en garde quant à leur utilisation, en particulier chez les personnes fragiles, devra être apportée.

MOTS-CLES : hydratation, boisson énergétique, boisson de l'effort, boisson énergisante, filières énergétiques, dopage, officine, sportif, activité physique, pharmacien

JURY : Président : Mme Catherine MULLIE-DEMAILLY

Membres : M. Christophe BIENAIME

Mme Sabine ROBIN