La nutrition du triathlète lors des épreuves de longue durée

Romuald David

▶ **To cite this version:**

Romuald David. La nutrition du triathlète lors des épreuves de longue durée. Sciences pharmaceutiques. 2016. hal-01731828

HAL Id: hal-01731828
https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01731828

Submitted on 14 Mar 2018

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.

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

UNIVERSITE DE LORRAINE
2016

FACULTE DE PHARMACIE

THESE

Présentée et soutenue publiquement

Le 8 septembre 2016
sur un sujet dédié à :

LA NUTRITION DU TRIATHLETE LORS DES EPREUVES DE LONGUE DUREE

pour obtenir

le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

par

Romuald DAVID
Né le 8 janvier 1983 à Saint-Dizier (52)

Membres du Jury

Président : Mme Brigitte LEININGER-MULLER,		**Professeur des universités, Pharmacien**
Directeur : M. Jean-Claude BLOCK,		Professeur émérite, Pharmacien
Juges :	M. Patrick MENU,	Professeur des universités, Pharmacien
	M. Emilien FRONZAROLI,	Médecin
	M. Thomas GAYTTE,	Pharmacien

UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ DE PHARMACIE
Année universitaire 2015-2016

DOYEN
Francine PAULUS
Vice-Doyen
Béatrice FAIVRE
Directeur des Etudes
Virginie PICHON
Conseil de la Pédagogie
Président, Brigitte LEININGER-MULLER
Collège d'Enseignement Pharmaceutique Hospitalier
Président, Béatrice DEMORE
Commission Prospective Facultaire
Président, Christophe GANTZER
Vice-Président, Jean-Louis MERLIN
Commission de la Recherche
Président, Raphaël DUVAL

Responsable de la filière Officine	Béatrice FAIVRE
Responsables de la filière Industrie	Isabelle LARTAUD, Jean-Bernard REGNOUF de VAINS
Responsable de la filière Hôpital	Béatrice DEMORE
Responsable Pharma Plus ENSIC	Jean-Bernard REGNOUF de VAINS
Responsable Pharma Plus ENSAIA	Raphaël DUVAL
Responsable de la Communication	Marie-Paule SAUDER
Responsable de la Cellule de Formation Continue et individuelle	Béatrice FAIVRE
Responsable de la Commission d'agrément des maîtres de stage	Béatrice FAIVRE
Responsables des échanges internationaux	Bertrand RIHN
Responsable ERASMUS	Mihayl VARBANOV

DOYENS HONORAIRES
Chantal FINANCE
Claude VIGNERON

PROFESSEURS EMERITES
Jeffrey ATKINSON
Jean-Claude BLOCK
Max HENRY
Gérard SIEST
Claude VIGNERON

PROFESSEURS HONORAIRES
Roger BONALY
Pierre DIXNEUF
Marie-Madeleine GALTEAU
Thérèse GIRARD
Michel JACQUE
Pierre LABRUDE
Vincent LOPPINET
Janine SCHWARTZBROD
Louis SCHWARTZBROD

ASSISTANTS HONORAIRES

Marie-Catherine BERTHE
Annie PAVIS

MAITRES DE CONFERENCES HONORAIRES
Monique ALBERT
Mariette BEAUD
Gérald CATAU
Jean-Claude CHEVIN
Jocelyne COLLOMB
Bernard DANGIEN
Marie-Claude FUZELLIER
Françoise HINZELIN
Francine KEDZIEREWICZ
Marie-Hélène LIVERTOUX
Bernard MIGNOT
Jean-Louis MONAL
Blandine MOREAU
Dominique NOTTER
Christine PERDICAKIS
Marie-France POCHON
Anne ROVEL
Maria WELLMAN-ROUSSEAU

ENSEIGNANTS	*Section CNU**	*Discipline d'enseignement*
PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS		
Danièle BENSOUSSAN-LEJZEROWICZ	*82*	*Thérapie cellulaire*
Jean-Louis MERLIN	*82*	*Biologie cellulaire*
Alain NICOLAS	*80*	*Chimie analytique et Bromatologie*
Jean-Michel SIMON	*81*	*Economie de la santé, Législation pharmaceutique*
Nathalie THILLY	*81*	*Santé publique et Epidémiologie*
PROFESSEURS DES UNIVERSITES		
Christine CAPDEVILLE-ATKINSON	*86*	*Pharmacologie*
Joël DUCOURNEAU	*85*	*Biophysique, Acoustique, Audioprothèse*
Raphaël DUVAL	*87*	*Microbiologie clinique*
Béatrice FAIVRE	*87*	*Biologie cellulaire, Hématologie*
Luc FERRARI	*86*	*Toxicologie*
Pascale FRIANT-MICHEL	*85*	*Mathématiques, Physique*
Christophe GANTZER	*87*	*Microbiologie*
Frédéric JORAND	*87*	*Eau, Santé, Environnement*
Isabelle LARTAUD	*86*	*Pharmacologie*
Dominique LAURAIN-MATTAR	*86*	*Pharmacognosie*
Brigitte LEININGER-MULLER	*87*	*Biochimie*
Pierre LEROY	*85*	*Chimie physique*
Philippe MAINCENT	*85*	*Pharmacie galénique*
Alain MARSURA	*32*	*Chimie organique*
Patrick MENU	*86*	*Physiologie*
Jean-Bernard REGNOUF de VAINS	*86*	*Chimie thérapeutique*
Bertrand RIHN	*87*	*Biochimie, Biologie moléculaire*
MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS		
Béatrice DEMORE	*81*	*Pharmacie clinique*
Julien PERRIN	*82*	*Hématologie biologique*
Marie SOCHA	*81*	*Pharmacie clinique, thérapeutique et biotechnique*
MAITRES DE CONFÉRENCES		
Sandrine BANAS	*87*	*Parasitologie*
Xavier BELLANGER	*87*	*Parasitologie, Mycologie médicale*
Emmanuelle BENOIT	*86*	*Communication et Santé*
Isabelle BERTRAND	*87*	*Microbiologie*
Michel BOISBRUN	*86*	*Chimie thérapeutique*
François BONNEAUX	*86*	*Chimie thérapeutique*
Ariane BOUDIER	*85*	*Chimie Physique*
Cédric BOURA	*86*	*Physiologie*
Igor CLAROT	*85*	*Chimie analytique*
Joël COULON	*87*	*Biochimie*
Sébastien DADE	*85*	*Bio-informatique*
Dominique DECOLIN	*85*	*Chimie analytique*
Roudayna DIAB	*85*	*Pharmacie galénique*
Natacha DREUMONT	*87*	*Biochimie générale, Biochimie clinique*
Florence DUMARCAY	*86*	*Chimie thérapeutique*
François DUPUIS	*86*	*Pharmacologie*
Adil FAIZ	*85*	*Biophysique, Acoustique*
Anthony GANDIN	*87*	*Mycologie, Botanique*
Caroline GAUCHER	*86*	*Chimie physique, Pharmacologie*
Stéphane GIBAUD	*86*	*Pharmacie clinique*
Thierry HUMBERT	*86*	*Chimie organique*
Olivier JOUBERT	*86*	*Toxicologie, Sécurité sanitaire*

ENSEIGNANTS (suite)	*Section CNU**	*Discipline d'enseignement*
Alexandrine LAMBERT	*85*	*Informatique, Biostatistiques*
Julie LEONHARD	*86/01*	*Droit en Santé*
Christophe MERLIN	*87*	*Microbiologie environnementale*
Maxime MOURER	*86*	*Chimie organique*
Coumba NDIAYE	*86*	*Epidémiologie et Santé publique*
Francine PAULUS	*85*	*Informatique*
Caroline PERRIN-SARRADO	*86*	*Pharmacologie*
Virginie PICHON	*85*	*Biophysique*
Sophie PINEL	*85*	*Informatique en Santé (e-santé)*
Anne SAPIN-MINET	*85*	*Pharmacie galénique*
Marie-Paule SAUDER	*87*	*Mycologie, Botanique*
Guillaume SAUTREY	*85*	*Chimie analytique*
Rosella SPINA	*86*	*Pharmacognosie*
Gabriel TROCKLE	*86*	*Pharmacologie*
Mihayl VARBANOV	*87*	*Immuno-Virologie*
Marie-Noëlle VAULTIER	*87*	*Mycologie, Botanique*
Emilie VELOT	*86*	*Physiologie-Physiopathologie humaines*
Mohamed ZAIOU	*87*	*Biochimie et Biologie moléculaire*
Colette ZINUTTI	*85*	*Pharmacie galénique*
PROFESSEUR ASSOCIE		
Anne MAHEUT-BOSSER	*86*	*Sémiologie*
MAITRE DE CONFERENCES ASSOCIE		
Alexandre HARLE	*82*	*Biologie cellulaire oncologique*
PROFESSEUR AGREGE		
Christophe COCHAUD	*11*	*Anglais*

**Disciplines du Conseil National des Universités :*

80 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

81 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

82 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

85 ; Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

86 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

87 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

32 : Personnel enseignant-chercheur de sciences en chimie organique, minérale, industrielle

11 : Professeur agrégé de lettres et sciences humaines en langues et littératures anglaises et anglo-saxonnes

SERMENT DES APOTHICAIRES

Je jure, en présence des maîtres de la Faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

D' honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

D'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.

« LA FACULTE N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION, NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS LES THESES, CES OPINIONS DOIVENT ETRE CONSIDEREES COMME PROPRES A LEUR AUTEUR ».

REMERCIEMENTS

A mon président de thèse,

Madame le professeur Brigitte LEININGER-MULLER,

Pharmacien, Professeur de biochimie à la faculté de pharmacie de Nancy.

Vous m'avez fait le grand honneur d'accepter la présidence de ce jury de thèse.

Veuillez trouver ici l'expression de mon respect et de ma sincère gratitude.

A mon directeur de thèse,

Monsieur Jean-Claude BLOCK,

Pharmacien, Professeur émérite à la faculté de pharmacie de Nancy.

Je vous remercie sincèrement de l'intérêt que vous avez bien voulu porter à ce travail en me faisant l'honneur d'accepter la direction de cette thèse.

Veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance et de ma vive sympathie.

A mes juges,

Monsieur Patrick MENU,

Pharmacien, Professeur de physiologie à la faculté de pharmacie de Nancy.

Je vous remercie d'avoir accepté de participer à ce jury de thèse

Monsieur Emilien FRONZAROLI,

Médecin du sport à Essey-les-Nancy, praticien attaché au CHU de Nancy service des EFR

Vous me faites l'honneur d'accepter de juger cette thèse, veuillez croire en ma profonde reconnaissance.

Monsieur Thomas GAYTTE,

Pharmacien à Thiaucourt,

Vous m'avez fait l'honneur de siéger dans ce jury de thèse, veuillez trouver ici l'expression de ma gratitude et de toute mon amitié.

A ma famille

A mes amis

TABLE DES MATIERES

ABREVIATIONS **5**
1. INTRODUCTION **7**
2. DEPENSES ET APPORTS ENERGETIQUES DU TRIATHLETE **8**
2.1. Méthodes d'évaluation des dépenses énergétiques **8**
2.1.1. La calorimétrie directe 9
2.1.2. La calorimétrie indirecte 10
2.1.3. Mesure de la fréquence cardiaque 11
2.1.4. Techniques d'actimétrie 11
2.1.5. Evaluation de la dépense énergétique pas le biais de questionnaire d'activité physique 12
2.1.6 Autre méthode de calcul de la dépense énergétique 12
2.2. Dépense énergétique lors d'un triathlon **12**
2.2.1. Dépense énergétique lors de la natation 12
2.2.2. Dépense énergétique lors du cyclisme 13
2.2.3. Dépense énergétique lors de la course à pied 13
2.2.4. Bilan 13
2.3. Apports énergétiques **14**
2.3.1. Les glucides 14
2.3.2. Les lipides 17
2.3.3. Les protéines 18
3. DEPENSES ET APPORTS NON ENERGETIQUES DU TRIATHLETE **21**
3.1. L'eau **21**
3.1.1. Pertes d'eau 21
3.1.2. Apports en eau 22
3.1.3. La déshydratation 23
3.2. Les minéraux et oligo-éléments **24**
3.2.1. Le calcium 26
3.2.2. Le cuivre 27
3.2.3. Le fer 28
3.2.4. Le magnésium 29
3.2.5. Le potassium 30
3.2.6. Le sélénium 31

3.2.7. Le sodium 32
3.2.8. Le zinc 33
3.3. Les vitamines 34
3.3.1. Les vitamines liposolubles 35
3.3.1.1. La vitamine A (ou rétinol) 35
3.3.1.2. La vitamine D (ou cholécalciférol, ergocalciférol) 37
3.3.1.3. La vitamine E (ou tocophérols) 38
3.3.1.4. La vitamine K (ou phylloquinone, ménaquinone) 39
3.3.2. Les vitamines hydrosolubles 40
3.3.2.1. La vitamine B1 (ou thiamine) 40
3.3.2.2. La vitamine B2 (ou riboflavine) 41
3.3.2.3. La vitamine B3 (ou niacine, acide nicotinique, nicotinamide, vitamine PP) 42
3.3.2.4. La vitamine B5 (ou acide pantothénique) 43
3.3.2.5. La vitamine B6 (ou pyridoxine, pyridoxal, pyridoxamine) 44
3.3.2.6. La vitamine B8 (ou biotine) 45
3.3.2.7. La vitamine B9 (ou folates, acide folique) 46
3.3.1.8. La vitamine B12 (ou cobalamine) 47
3.3.2.9. La vitamine C (ou acide ascorbique) 48
3.4. Les aides ergogéniques 49
3.4.1. Les acides aminés branchés (AAB) 49
3.4.2. La L-carnitine 50
3.4.3. La créatine 50
4. REGIME ALIMENTAIRE DU TRIATHLETE AVANT ET PENDANT LA COMPETITION 52
4.1. Le régime alimentaire avant la compétition 54
4.1.1. Régime permettant d'augmenter les réserves glycogéniques sur 6 jours 55
4.1.2. Régime permettant d'augmenter les réserves glycogéniques sur 3 jours 59
4.1.3. Régime permettant d'augmenter les réserves glycogéniques sur une journée 59
4.1.4. L'alimentation la veille et le jour de l'épreuve 59
4.2. Le régime alimentaire lors de la compétition 61
4.2.1. L'alimentation liquide : les boissons de l'effort 61
4.2.1.1. La prise de boisson 61
4.2.1.2. La vidange gastrique 62
4.2.1.3. L'absorption intestinale 64

4.2.1.4. Le choix des boissons de l'effort 64
4.2.1.5. La composition des boissons de l'effort et d'autres boissons 65
4.2.2. L'alimentation solide 69
4.2.2.1. Les gels énergétiques 69
4.2.2.2. Les barres énergétiques 70
4.2.2.3. Les fruits 70
4.2.3. Conclusion 73
5. CONCLUSION 75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 77
LISTE DES FIGURES 85
LISTE DES TABLEAUX 86
ANNEXES 88
Annexe 1 : Apports en énergie du triathlète 88
1. L'adénosine triphosphate 88
2. Les systèmes anaérobie 88
2.1. Le système ATP-PCr : anaérobie alactique : 88
2.2. Le système glycolytique anaérobie : anaérobie lactique 89
3. Le système aérobie 89
3.1. La dégradation des nutriments 89
3.2. Le cycle de Krebs 90
3.3. La chaine de transport d'électrons : 91
4. Bilan 91
Annexe 2 : L'indice PRAL 92
Annexe 3 : Notions sur les apports journaliers recommandés et apports nutritionnels conseillés 93
1. Les apports journaliers recommandés (AJR) 93
2. Les apports nutritionnels conseillés (ANC) 93
3. Les différents niveaux d'apports des nutriments 94
Annexe 4 : Bilan des études de supplémentation en carnitine 96
Annexe 5 : classification des fibres musculaires 97
Annexe 6 : temps de séjour gastrique de certains aliments 98
Annexe 7 : tableau comparatif de 35 boissons de l'effort (Aubineau, 2016a) 99

Annexe 8 : exemple de site internet permettant de connaitre la constitution d'une "boisson de l'effort maison", essai avec la boisson de la recette 1 du paragraphe 4.2.1.5. (“Dosage boisson d’effort,” 2015) **102**
Annexe 9 : Comparaison de divers gels énergétiques (Aubineau, 2015) **104**
Annexe 10 : Comparaison de divers barres énergétiques (Aubineau, 2016b) **105**

ABREVIATIONS

°C : degré Celsius
µg : microgramme
µg/j : microgramme par jour
A : Age
AA : Acide Aminé
AAB : Acide Aminé Branché
ADN : Acide DésoxyriboNucléique
ADP : Adénosine DiPhosphate
AETQ : Apport Energétique Total Quotidien
AFSSA : Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments
AG : Acide Gras
AGMI : Acide Gras Mono-Insaturé
AGPI : Acide Gras Poly-Insaturé
AGS : Acide Gras Saturé
AJR : Apport Journalier Recommandé
ANC : Apport Nutritionnel Conseillé
ANSES : Agence Nationale de SEcurité Sanitaire de l'alimentation
ARN : Acide RiboNucléique
ATP : Adénosine TriPhosphate
BCAA : Branched Chain Amino Acids
CO_2 : dioxyde de carbone
D : Distance
DE : Dépense Energétique
DEAP : Dépense Energétique liée à l'Activité Physique
DER : Dépense Energétique de Repos
DET : Dépense Energétique Totale
ER : Equivalent Rétinol
FFTRI : Fédération Française de Triathlon
g : gramme
g/j : gramme par jour
g/kg/j : gramme par kilogramme par jour
g/L : gramme par Litre
G1P : Glucose-1-Phosphate
G6P : Glucose-6-Phosphate
GLUT : GLUcose Transporter
h : heure
^2H : deutérium
H_2O : eau
IG : Index Glycémique
INPES : Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé
J : Joule
kcal : kilocalorie
kcal/g : kilocalorie par gramme
kcal/h : kilocalorie par heure
kcal/j : kilocalorie par jour
kcal/L : kilocalorie par litre
kg : kilogramme
kJ : kiloJoule
km : kilomètre

km/h : kilomètre par heure
L : Litre
MB : Métabolisme de Base
MET : Metabolic Equivalent Task
mg : milligramme
mg/j : milligramme par jour
min : minute
mL : milliLitre
mL/j : milliLitre par jour
mL/kg/km : milliLitre par kilogramme par kilomètre
m/s : mètre par seconde
N_2 : diazote
NAD : Nicotinamide Adénine Dinucléotide
NAP : Niveau d'Activité Physique
NC : Non Communiqué
n.d. : non daté
^{18}O : oxygène 18
O_2 : dioxygène
OMS : Organisation Mondiale de la Santé
P : Poids
PCr : PhosphoCréatine
PNNS : Programme National Nutrition Santé
PRAL : Potential Renal Acid Load
QR : Quotient Respiratoire
RC : Rythme Cardiaque
RDS : Régime Dissocié Scandinave
s : seconde
SRO : Solution de Réhydratation Orale
T : Taille
UI : Unité Internationale
UI/j : Unité Internationale par jour
UVB : UltraViolet B
V_{O2} : Volume de dioxygène
VO_2max : Consommation maximale d'oxygène
V_{CO2} : Volume de dioxyde de carbone

1. INTRODUCTION

Grâce aux médias et aux différentes campagnes mises en place par le gouvernement sur les bienfaits d'une activité physique régulière, la population s'est prise d'un réel engouement à la pratique sportive, tel qu'en 2010, 65% des français âgés de 15 ans ou plus déclarent pratiquer une activité physique ou sportive au moins une fois par semaine (Ministère des droits des femmes, de la ville, de la jeunesse et des sports, 2014). En tête des loisirs les plus pratiqués, se retrouvent la natation, le vélo et le jogging. De même, le triathlon rassemble de plus en plus d'adhérents depuis plusieurs années (de 20 451 licenciés en 2004 à 46 720 licenciés en 2015) (FFTRI, 2015).
Le triathlon est constitué de trois épreuves d'endurance enchainées, en commençant par la natation, puis le cyclisme, et enfin la course à pied. On distingue différents formats de triathlons, allant :
- de la distance XS (ou découverte) qui combine 400 m de natation, 10 km de cyclisme, et 2,5 km à pied.
- à la distance XXL (ou Ironman) où le triathlète doit nager 3,8 km, parcourir 180 km de vélo et conclure par un marathon soit 42,195 km de course à pied.

Les compétitions de longues distances, de format Ironman ont vu leur nombre de participants augmenter chaque année, à un tel point que ces évènements affichent parfois complets dès le début des inscriptions, un an avant l'épreuve. Ce phénomène de triathlon voir d'ultra triathlon attire de nombreux sportifs amateurs et débutants dans le but de relever un défi. Accomplir un tel défi n'est possible qu'avec un entrainement physique adéquat associé à une alimentation adaptée. Lors d'une épreuve de triathlon longue distance, les pertes et besoins énergétiques sont importants. D'autres pertes non énergétiques comme l'eau, les minéraux et les vitamines, s'ajoutent également. Il est donc nécessaire d'évaluer ces différentes pertes pour établir une stratégie d'alimentation pour les combler.

Ce travail a pour but d'évaluer les différentes pertes énergétiques ou non énergétiques du triathlète, pour optimiser l'alimentation du triathlète à l'approche et pendant le triathlon pour combler ces pertes et éviter la survenue de la fatigue. Dans une première partie, les différentes méthodes d'évaluation des pertes énergétiques, ainsi que l'estimation de ces dernières sur un triathlon longue distance qui dure au minimum 8 h pour un triathlète professionnel et jusqu'à 18 à 20 h pour un amateur, sont décrites. Les différents nutriments énergétiques nécessaires aux besoins sont ensuite définis. La deuxième partie concerne les pertes et les apports non énergétiques. Enfin la troisième partie développe l'aspect alimentaire à l'approche et pendant le triathlon.

2. DEPENSES ET APPORTS ENERGETIQUES DU TRIATHLETE

Durant 24 h, un individu dépense de l'énergie, nommée dépense énergétique totale (DET). Cette dépense énergétique totale est répartie en trois postes (Ritz et Couet, 2006) :

- La dépense énergétique de repos
- L'effet thermique des aliments
- La dépense énergétique liée à l'activité physique

- La dépense énergétique de repos (DER) représente 60 à 75 % de la DET, elle est constituée du métabolisme de base (MB) et de la thermorégulation. Le métabolisme de base est la dépense d'énergie mesurée chez un individu à jeun, couché, éveillé à 20°C (température de thermoneutralité). Elle représente la quantité d'énergie minimale nécessaire pour le fonctionnement de l'organisme, c'est à dire le travail cardiaque et respiratoire, le fonctionnement des pompes ioniques et le renouvellement des constituants de l'organisme (Laville, 2006). Dans la littérature, le métabolisme de base est souvent confondu avec la dépense énergétique de repos. La DER d'un individu endormi est approximativement 5 % inférieure à celle d'un individu éveillé, en raison du tonus musculaire associé à l'état d'éveil (Ritz et Couet, 2006). La DER est estimée à l'aide de différentes équations de prédiction. L' équation la plus couramment utilisée est celle de Harris et Benedict, qui tient compte du sexe, du poids (P, en kg), de la taille (T, en m) et de l'âge (A, en années) (Jacobi *et al*., 2008a) :

- Femmes : DER = 9,740 x P + 172,9 x T - 4,737 x A + 667,051
- Hommes : DER = 13,707 x P + 492,3 x T -6.673 x A + 77,607

Dans le système international, le joule (J) est l'unité de référence pour exprimer l'énergie, mais en pratique les mesures sont exprimées en kilocalories (kcal) avec 1 kcal = 4185,5 J (Anonyme, 2014)

- L'effet thermique des aliments correspond à l'absorption intestinale, la transformation des aliments et au stockage. Cette thermogénèse alimentaire diffère selon le type d'aliment, elle représente 5 à 10 % de la valeur calorique ingérée pour les glucides, 20 à 30 % pour les protéines et moins de 2 % pour les lipides (Laville, 2006). Elle représente 10 % de la DET (Ritz et Couet, 2006).

- La dépense énergétique liée à l'activité physique (DEAP) est le poste de dépense le plus variable d'un individu à l'autre. Elle correspond à toute forme de dépense liée au mouvement, que ce soit lors d'activités de la vie quotidienne ou lors d'efforts plus intenses (Ritz et Couet, 2006).

2.1. Méthodes d'évaluation des dépenses énergétiques

L'homme produit son énergie indispensable à la vie à partir de macronutriments (glucides, lipides, protéines), qui proviennent de l'alimentation ou des réserves endogènes de l'organisme. Pour utiliser cette énergie, l'organisme la transforme en adénosine triphosphate (ATP). Ce mécanisme consomme du dioxygène (O_2) et libère du dioxyde de carbone (CO_2), de l'eau (H_2O) et de la chaleur (Ritz et Couet, 2006). L'énergie fabriquée est restituée au

milieu extérieur de façon équivalente sous différentes formes (chaleur, énergie mécanique, énergie chimique) comme le montre la figure 1 (Fagour *et al.*, 2013).

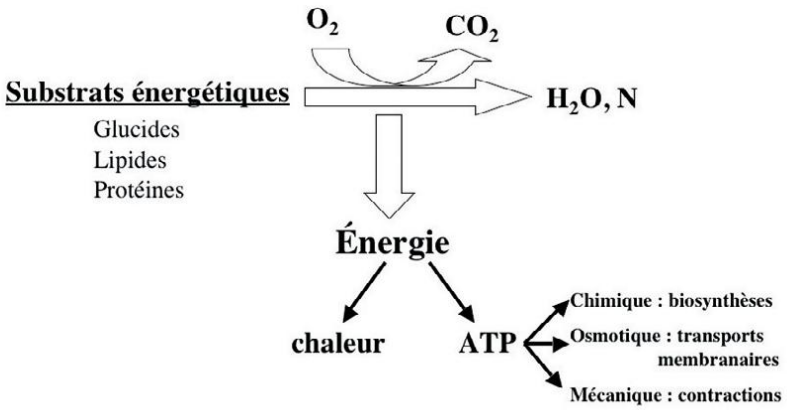


Figure 1 : Principe de la production d'énergie (Fagour *et al.*, 2013)

Il n'existe pas de méthode de référence unique pour estimer une dépense énergétique. Cependant de façon plus générale, plusieurs grands types de méthodes sont retenus (Simon, 2002) : la calorimétrie directe, la calorimétrie indirecte, la mesure de la fréquence cardiaque, les techniques d'actimétrie, les questionnaires d'activité physique.

2.1.1. La calorimétrie directe

La calorimétrie directe est une mesure de la production de chaleur. Cette méthode repose sur le principe que la DEAP d'un individu est proportionnelle à la production de chaleur. Cette mesure nécessite une enceinte réduite et hermétique permettant de quantifier les différentes composantes de la perte de chaleur (Figure 2).

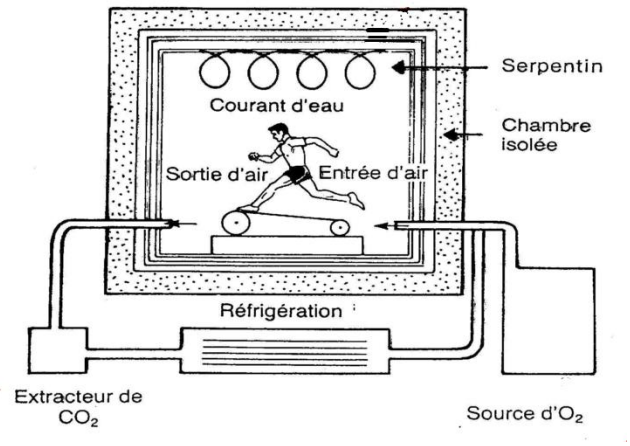


Figure 2 : Schéma d'une chambre calorimétrique (Poortmans et Boisseau, 2003)

La calorimétrie directe est très peu utilisée en raison du nombre réduit d'institutions disposant de l'équipement nécessaire (Ritz et Couet, 2006).

2.1.2. La calorimétrie indirecte

Par opposition à la calorimétrie directe, il est possible d'estimer la dépense énergétique par mesure de la consommation de dioxygène ou/et de la production de dioxyde de carbone (estimation appelée alors calorimétrie indirecte). Cette méthode repose sur le principe que l'énergie utilisée par le sujet est équivalente à celle convertie à partir de l'oxydation des nutriments (Simon, 2002). Il existe deux grands types de calorimétrie indirecte (Ritz et Couet, 2006) : la calorimétrie indirecte en chambre et la méthode à l'eau doublement marquée.

- Mesure des échanges gazeux respiratoires :

La mesure des échanges gazeux respiratoires (consommation de dioxygène, et production de dioxyde de carbone) peut être réalisée dans une chambre calorimétrique où le sujet peut reproduire ses activités quotidiennes, ou sous une cagoule ventilée que l'on nomme canopy, ou plus couramment à l'aide d'un embout buccal (Fagour *et al.*, 2013). Ainsi d'après les différentes équations d'oxydation des différents substrats :

$$\text{Glucose} + 6\ O_2 \rightarrow 6\ CO_2 + 6\ H_2O + \text{énergie}$$
$$\text{Palmitate} + 23\ O_2 \rightarrow 16\ CO_2 + 16\ H_2O + \text{énergie}$$
$$\text{Acide aminé} + 5{,}1\ O_2 \rightarrow 4{,}1\ CO_2 + 16\ H_2O + 0{,}7\ \text{urée} + \text{énergie}$$

- La dépense énergétique totale peut alors être exprimée selon l'expression :

$$DET = 3{,}913\ V_{O2} + 1{,}093\ V_{CO2} - 3{,}341\ N_2$$

où DET est la dépense énergétique en kilocalorie (kcal), V_{O2} le volume de dioxygène consommée en litre (L), V_{CO2} le volume de dioxyde de carbone produit en litre (L), et N_2 la quantité d'azote excrétée en gramme (g) (Poortmans et Boisseau, 2003).
Comme l'oxydation des protéines est une composante mineure de la dépense énergétique, on peut simplifier le calcul et obtenir l'équation de Weir (Fagour *et al.*, 2013) :

$$DET = 3{,}913\ V_{O2} + 1{,}093\ V_{CO2}$$

La mesure des échanges gazeux respiratoire permet de déterminer le quotient respiratoire (QR). Ce quotient est calculé par la formule:

$$QR = V_{CO2} / V_{O2}$$

Le quotient respiratoire apporte des renseignements sur le plan nutritionnel, il est différent en fonction du type de substrats oxydés. Il est de 1,00, s'il s'agit exclusivement de glucides et tend vers 0,70 pour les lipides.

- Méthode de l'eau doublement marquée :

La méthode à l'eau doublement marquée est une technique de calorimétrie indirecte puisqu'elle repose sur la mesure de la production de CO_2. Cette méthode consiste à faire ingérer au sujet un mélange d'eau doublement marquée par le deutérium ^2H et l'oxygène ^{18}O (Ritz et Coward, 1996). Le deutérium ^2H de l'eau n'est éliminé que dans les urines, alors que l'oxygène ^{18}O est éliminé aussi via le CO_2. Une mesure de ces deux isotopes dans un échantillon d'urine est ensuite effectuée, ainsi la différence d'élimination des isotopes permet

de calculer la production de CO_2 (Laville, 2006). Cette méthode est souvent considérée comme la méthode de référence car elle permet au sujet de continuer ses activités quotidiennes et elle est non invasive et non agressive pour le sujet étudié (Simon, 2002).

2.1.3. Mesure de la fréquence cardiaque

La mesure de la fréquence cardiaque repose sur l'existence d'une relation linéaire entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque d'un individu (Fagour *et al.*, 2013). L'appareil se compose d'un émetteur au niveau de la poitrine et d'un récepteur qui se situe généralement sur le poignet. Il faut auparavant calibrer l'appareil avec la consommation d'oxygène au repos pour pouvoir établir une relation entre ces deux valeurs. La mesure de la fréquence cardiaque n'est valable qu'au-dessus d'un certain seuil d'activité (Simon, 2002).

2.1.4. Techniques d'actimétrie

Les techniques d'actimétrie mesurent l'activité motrice des muscles squelettiques à partir de plusieurs paramètres biomécaniques. Ces mesures s'effectuent avec différents appareils, comme le podomètre et l'accéléromètre (Simon, 2002).

- Les podomètres :

Le podomètre estime le nombre de pas lors de la marche ou de la course uniquement dans le plan vertical, à partir de mesure digitale ou mécanique (Fagour *et al.*, 2013). Le résultat peut être converti en distance après avoir étalonné l'appareil sur la longueur moyenne de pas du sujet. Lors du déplacement, le corps est soumis à des accélérations et décélérations proportionnelles à la force musculaire exercée et donc à la DEAP (Simon, 2002). Selon Fagour *et al*. (2013), une seule étude a montré une corrélation entre cette dépense énergétique estimée avec le podomètre et celle mesurée avec l'eau doublement marquée.

- Les accéléromètres :

L'accéléromètre détecte les accélérations du corps lors de mouvement dans une, deux ou trois dimensions. Ces accélérations, décélérations sont proportionnelles à la dépense énergétique liée à l'activité physique (DEAP). La plupart des accéléromètres utilise un élément céramique piézo-électrique pour les mesures, qui se déforme sous l'application d'une force (Simon, 2002). Cette déformation génère une différence de potentiel, et est exprimée en coups par minute. Des équations de régression ainsi que les données anthropométriques (âge, poids, taille et sexe) du sujet permettent d'estimer la DEAP (Jacobi *et al.,* 2008b). Les accéléromètres ont leur limite, et en particulier ne sont pas utilisables lors des activités aquatiques et lors d'activités statiques comme le cyclisme. Van Remoortel *et al*. (2012) ont répertorié et validé des accéléromètres chez l'adulte en comparaison avec la méthode à l'eau doublement marquée (méthode de référence). Les valeurs de la DEAP obtenues par ces deux méthodes correspondent de manière significative (Fagour *et al.*, 2013).

En conclusion, les techniques d'actimétrie permettent d'évaluer les DEAP pour un faible coût. De fait, le prix d'un podomètre est faible (une dizaine d'euros) et celui d'un accéléromètre (d'une trentaine à plusieurs milliers d'euros). Le coût de l'exploitation de ces résultats est

quasiment nul. Les récentes études valident ces méthodes d'évaluation de la DEAP. Cependant elles sont toutes les deux limitées pour certaines activités physiques mesurables, en effet ces techniques ne sont pas valables pour les activités aquatiques et le cyclisme (considéré comme une activité « statique », le thorax bougeant peu (Jacobi *et al.*, 2008b))

2.1.5. Evaluation de la dépense énergétique pas le biais de questionnaire d'activité physique

Les questionnaires d'activité physique estiment la dépense énergétique totale d'un individu par le biais d'une estimation de la DER et d'un questionnaire précis sur les différentes activités physiques effectuées au cours d'une journée. Le questionnaire doit informer sur la nature, la durée, et l'intensité des activités. La DET est estimée en multipliant la DER par un facteur traduisant l'activité physique d'un individu (Ritz et Couet, 2006). Ce facteur est appelé NAP, pour niveau d'activité physique. Le facteur NAP de nombreuses activités de la vie quotidienne (déjeuner, se laver,...), sédentaire (regarder la télévision,...), professionnelle ou sportive (courir, nager) a été déterminé et peut se trouver dans la littérature (Laville, 2006).

2.1.6 Autre méthode de calcul de la dépense énergétique

La plupart des triathlètes utilise des montres GPS lors de la pratique sportive. Ces montres ont une fonction permettant d'estimer la dépense énergétique, lors des différentes activités du triathlon via la technologie GPS et quelques données anthropométriques. Hongu *et al*. (2008) montrent que la plupart des montres sous-estime de 50% la dépense énergétique.

2.2. Dépense énergétique lors d'un triathlon

La dépense énergétique lors d'un triathlon est l'addition du coût de la natation, du cyclisme, de la course à pied ainsi qu'au coût énergétique des deux transitions. La durée et l'intensité physique des transitions étant très faible, le coût de ces dernières pourra être négligé. La dépense énergétique de la locomotion est définie comme la quantité d'énergie dépensée par unité de distance parcourue (Hausswirth et Brisswalter, 1999). La plupart des mesures effectuées est généralement exprimée en volume de dioxygène consommé (VO_2) exprimé en litre (L), mais un coefficient moyen de 4,85 kcal/L permet d'estimer cette dépense en kilocalories avec une erreur maximale de 4 % (Eclache, 1988).

2.2.1. Dépense énergétique lors de la natation

Lors d'un triathlon de longue durée, le triathlète est amené à parcourir une distance de 3,8 km en natation. Cette distance est effectuée en 50 min pour les meilleurs et 1 h 40 min pour les débutants (soit à des vitesses respectives de 1,26 m/s et 0,63 m/s). Plusieurs facteurs de variations interviennent : la technique de nage, le port de combinaison, le poids, la surface corporelle, la flottaison... La variation de la dépense énergétique en fonction de la vitesse du nageur est un sujet de controverse. Selon Pendergast *et al. (*1977), le coût énergétique est indépendant de la vitesse entre 0,4 m/s et 1,2 m/s. Cependant Chatard *et al.* (1991) indiquent une augmentation de 30 % entre les vitesses de 1,1 m/s à 1,4 m/s. Les triathlètes nageant à des allures supérieures à 1,1 m/s constituent une faible proportion, ainsi le facteur vitesse est négligeable.

D'après différentes sources (Chadeville, 2013 ; Seifert *et al*., 2014 ; Chatard *et al.*, 1991)la dépense énergétique lors de la natation peut être estimée pour un homme de 70 kg à 800 kcal.

2.2.2. Dépense énergétique lors du cyclisme

L'épreuve cyclisme lors d'un triathlon est l'épreuve la plus longue, le triathlète doit parcourir une distance de 180 km. Les triathlètes effectuent cette distance en un peu moins de 4 h 20 min pour les professionnels, mais jusqu'à 8 heures pour les débutants. Le cyclisme est la composante où le plus de facteurs de variations interviennent comme la position sur le vélo, le relief, les conditions météorologiques, l'état de la route...
D'après Daniel et Kuhn (2012), la dépense énergétique horaire du vélo est estimée entre 400 et 800 kcal/h pour une vitesse comprise entre 25 et 35 km/h, soit entre 3 000 et 4 000 kcal sur l'épreuve cycliste de 180 km d'un triathlon longue distance.

2.2.3. Dépense énergétique lors de la course à pied

La dernière épreuve d'un triathlon longue distance est la réalisation d'un marathon en course à pied, soit 42,195 km. Bien sûr le coût énergétique varie en fonction du climat, du relief, mais à vitesse moyenne constante, la dépense énergétique (DE) peut être approchée par la formule (Daniel et Kuhn, 2012) : DE (kcal) = P x D
Où P est le poids en kilogramme (kg) et D, la distance en kilomètre (km) ; soit pour un homme de 70 kg, environ 3 000 kcal.
Hausswirth et Brisswalter (1999) ont comparé le coût énergétique d'une course seule de 45 min avec le coût énergétique d'une course de 45 min à la même vitesse issue d'un triathlon. Une augmentation du coût énergétique de la course à pied lors d'un triathlon est observée comparativement à celle d'une course à pied isolée (respectivement 224 mL/kg/km de dioxygène et 207 mL/kg/km). Cette dépense énergétique est de 3 200 kcal lors d'un marathon dans un triathlon longue distance pour un homme de 70 kg.

2.2.4. Bilan

Il est difficile d'estimer la dépense énergétique lors d'un triathlon. Les facteurs anthropométriques comme le sexe, l'âge, le poids, la taille, la surface corporelle sont présents dans les 3 épreuves. Puis des facteurs de variations propres à chaque discipline interviennent. C'est dans la partie cyclisme que ces facteurs sont les plus nombreux. Outre les facteurs dus au relief et au climat, c'est sur l'équipement lui-même, qu'une meilleure pénétration dans l'air, donc une économie d'énergie peut s'effectuer (casque profilé, vélo aérodynamique,...). Il existe différentes études qui valident l'utilisation des différents matériels.

En résumé, un triathlète professionnel « vient à bout » d'un triathlon longue distance en 8 h, tandis qu'un amateur peut mettre jusqu'à 16 h voire plus. Cependant, à l'issue de ce triathlon, les athlètes auront dépensé autant d'énergie. La dépense énergétique totale à la fin de l'épreuve est estimée entre 7 000 et 8 000 kcal. Evidemment, une telle dépense nécessite des apports en conséquence.

2.3. Apports énergétiques

Les besoins physiologiques sont les plus faibles quantités nécessaires à l'organisme pour maintenir un développement et un état de santé normal. Pour pallier à ces besoins, un apport est nécessaire, cet apport correspond donc à celui qui serait tout juste suffisant pour couvrir un besoin physiologique. La quantité d'énergie doit être adaptée aux dépenses énergétiques. En fonction de l'âge, du sexe et de l'activité, l'apport énergétique total quotidien (AETQ) varie de 2200 à 5000 kcal (Anonyme, 2001). L'énergie nécessaire pour le bon fonctionnement de l'organisme et la pratique sportive est apportée par les macronutriments. Les macronutriments sont connus pour être source d'énergie, ils sont repartis en trois grands groupes de molécules que sont les glucides, les lipides et les protéines.

2.3.1. Les glucides

Les glucides sont composés de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, avec pour formule brute $C_n(H_2O)_n$ d'où leurs noms d'hydrates de carbone. Ils servent de source d'énergie, de stockage, de structure de base de l'ADN et l'ARN, ainsi que d'éléments structurels dans les parois des cellules. Les glucides sont répartis en plusieurs catégories selon le nombre de sucres simples dans la molécule (Biesalski *et al.*, 2010) :

- Les monosaccharides sont composés d'un seul sucre simple. Les sucres simples sont principalement des pentoses et des hexoses, composés respectivement de 5 et 6 atomes de carbone. Les hexoses ont pour formule brute $C_6H_{12}O_6$, qui correspond à 16 isomères conférant ainsi différentes propriétés. Les plus importants sont le glucose, le fructose et le galactose (Figure 3). Ils ne sont pas décomposables par hydrolyse, leur vidange gastrique est rapide et ils sont absorbés au niveau de l'intestin (Bigard et Guezennec, 2007).

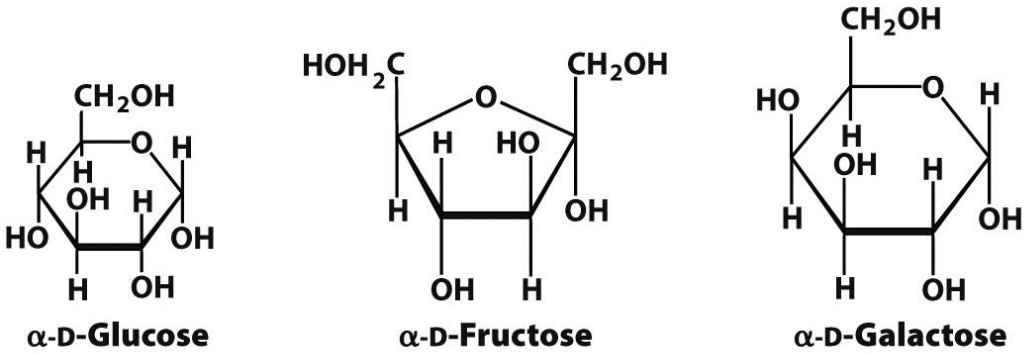


Figure 3 : Structure chimique de certains hexoses importants (Freeman *et al.*, 2012a)

L'absorption du glucose et du galactose est la plus rapide, elle est facilitée par cinq transporteurs nommés GLUT. Le passage entérocytaire du fructose est plus lent car son absorption est passive. Les autres monosaccharides (sorbitol, xylitol ...) sont très faiblement absorbés (Biesalski *et al.*, 2010). L'absorption de ces sucres assure un passage rapide dans la circulation sanguine. De ce fait, ils sont communément appelés sucres rapides. Ces monosaccharides se retrouvent dans le miel et les fruits.

- Les oligosaccharides sont formés par un petit nombre de sucres simples, en général deux. Ce sont les disaccharides. Les plus courants sont le saccharose ou sucrose (contenu dans la canne

à sucre, la betterave, le sirop d'érable), le lactose (contenu dans le lait et autres produits laitiers) et le maltose (contenu dans les graines, mais également issue de l'hydrolyse de polysaccharides)(Biesalski *et al.*, 2010)(Figure 4).

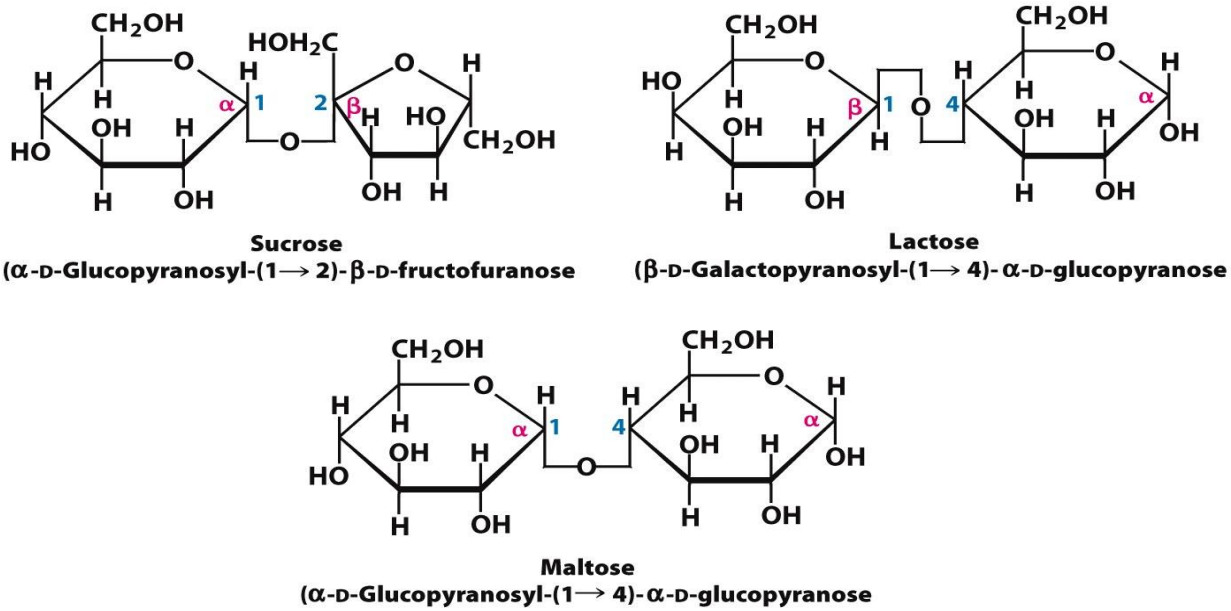


Figure 4 : Structure chimique de différents disaccharides (Freeman *et al.*, 2012b)

Les disaccharides sont hydrolysés par les enzymes salivaires et pancréatiques en monosaccharides pour être absorbés au niveau du tube digestif. Il en résulte une absorption plus lente que les sucres simples (Bigard et Guezennec, 2007).
- Les polysaccharides sont des macromolécules, elles sont composées d'enchainements de monosaccharides de façon linéaire (amylose) ou ramifiés (amylopectine). L'amylose et l'amylopectine forment l'amidon, qui représente la majeure partie des glucides alimentaires. L'amidon est présent dans les céréales, les pommes de terre, les légumes secs et le riz (Biesalski *et al.*, 2010). L'amidon est la forme de réserve de glucides des végétaux. Il est catabolisé par l'amylase en dextrine et maltose. Le glycogène est un polysaccharide, constitué de l'assemblage d'un très grand nombre de molécules de glucose. C'est la forme de stockage de l'organisme du glucose et des polysaccharides (Bigard et Guezennec, 2007).

Seuls les monosaccharides pouvant être absorbés, les glucides polymériques doivent être hydrolysés lors de la digestion (Biesalski et al., 2010). La digestion des polymères glucidiques débute dans la bouche avec l'amylase salivaire, puis est complétée par l'amylase pancréatique dans l'intestin grêle. Les produits de ces hydrolyses sont des monosaccharides (glucose, galactose, fructose) mais aussi des disaccharides (maltose, lactose, saccharose) qui sont hydrolysés par des disaccharidases membranaires spécifiques. Après absorption, le sang transporte les glucides jusqu'au foie, où le galactose et le fructose sont transformés en glucose. Une partie du glucose est transformée en glycogène qui est stocké dans le foie, et dans les muscles pour redonner du glucose par la suite, directement assimilable par les cellules. L'organisme d'un individu contient 100 à 150 g de glycogène hépatique et jusqu'à 500 g de glycogène musculaire (Biesalski *et al.*, 2010). Le glycogène musculaire représente une réserve d'énergie pendant 90 min d'exercice à une intensité représentant 75 % de la

consommation maximale d'oxygène (VO_2max)(Karlsson et Saltin, 1971), ou un épuisement du glycogène musculaire lors d'un exercice de 4 h à 55 % de la VO_2max (Bigard et Guezennec, 2007). La VO_2max est la vitesse à laquelle la consommation et le transport de l'oxygène fonctionnent à leur maximum. C'est une mesure de la puissance maximale aérobie et elle détermine le potentiel aérobie (Poortmans et Boisseau, 2003). Les réserves de glycogène hépatique sont faibles, et lorsque celles-ci diminuent, une autre voie métabolique intervient, c'est la néoglucogenèse. Elle intervient lors d'un effort prolongé, du glucose est formé dans le foie à partir de lactate, de glycérol et d'alanine (Bigard et Guezennec, 2007).

Selon la nature des aliments, l'absorption intestinale des glucides est différente. Une même quantité de glucides provenant de différentes sources alimentaires entraine un profil glycémique différent. Cette différence permet d'élaborer l'index glycémique (IG) (Biesalski *et al.*, 2010). Jenkins *et al* (*1981*) ont introduit le terme d'index glycémique. Il est calculé par le rapport de l'aire sous la courbe de la glycémie après la consommation d'une quantité d'un aliment-test et l'aire sous la courbe d'une quantité semblable d'un aliment-témoin : le glucose (Pigeyre et Romon, 2006). Le glucose est considéré comme l'aliment de référence le plus rapide, un index arbitraire de 100 lui est attribué (Bigard et Guezennec, 2007). L'IG permet de comparer les aliments entre eux (Figure 5), et de les classer en sucres lents ou rapides.

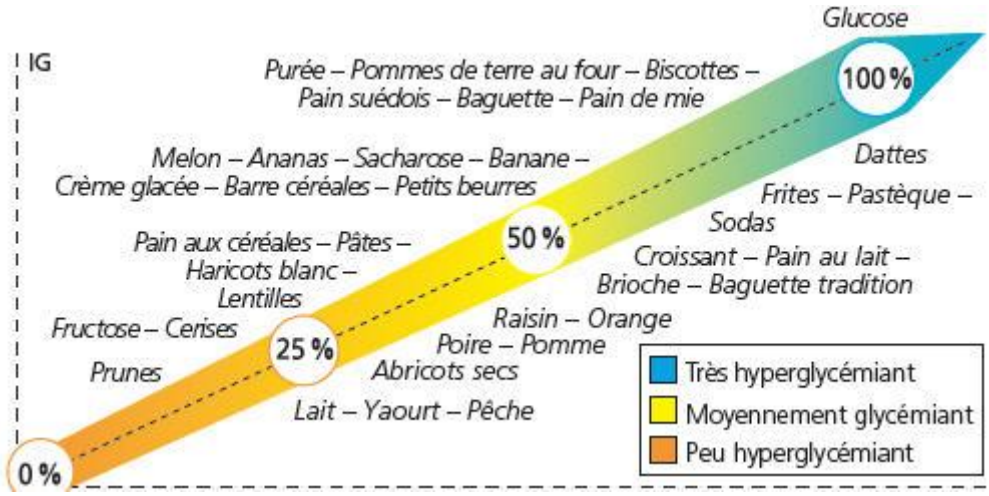


Figure 5 : Index glycémique de certains aliments (Miller, 1997)

Les glucides représentent la principale source d'énergie lors d'un effort, leurs métabolismes fournissent de l'ATP suivant les différentes voies métaboliques (Annexe 1). La connaissance de ces différentes voies métaboliques indique que les glucides sont les principaux carburants des efforts courts et intenses. Le maintien d'une disponibilité minimale en sucres permet de reculer les limites de la fatigue et ainsi l'épuisement des réserves (Bigard et Guezennec, 2007). La valeur énergétique des glucides est de 4 kcal/g, cependant la digestibilité de nombreux sucres n'est pas totale. C'est le cas de l'enveloppe végétale et des fibres des végétaux qui ralentissent l'action des enzymes digestives, ce qui diminue le rendement énergétique. Ainsi l'apport calorique des glucides complexes est estimé à 2 kcal/g (Bigard et Guezennec, 2007). Les glucides doivent représenter 50 à 55 % des AETQ dont 10 % pour les

sucres simples. Avant une épreuve sportive, les apports pourront être augmentés jusqu'à 70 % (Anonyme, 2001).
Les différentes sources et méthodes d'apports glucidiques chez le triathlète sont développées dans le chapitre 4.

2.3.2. Les lipides

Les lipides forment un grand groupe de molécules hétérogènes dans leurs structures et dans leurs fonctions, mais définis par une faible solubilité dans l'eau. Les lipides ont différents rôles selon leurs structures. Certains sont utilisés comme réserves d'énergie, d'autres comme constituants des membranes biologiques, ou encore ayant une fonction hormonale (Guilloton et Quintard, 1999). Dans l'alimentation, les lipides sont représentés par les phospholipides et le cholestérol (5 à 10 %) et essentiellement par les triglycérides (90 à 95 %)(Bigard et Guezennec, 2007).
Les triglycérides représentent la forme de réserve énergétique, d'où leur nom de lipides de réserves (Biesalski *et al.*, 2010). Ils sont composés d'un alcool, le glycérol, associé à trois acides gras (AG) semblables ou différents (Figure 6).

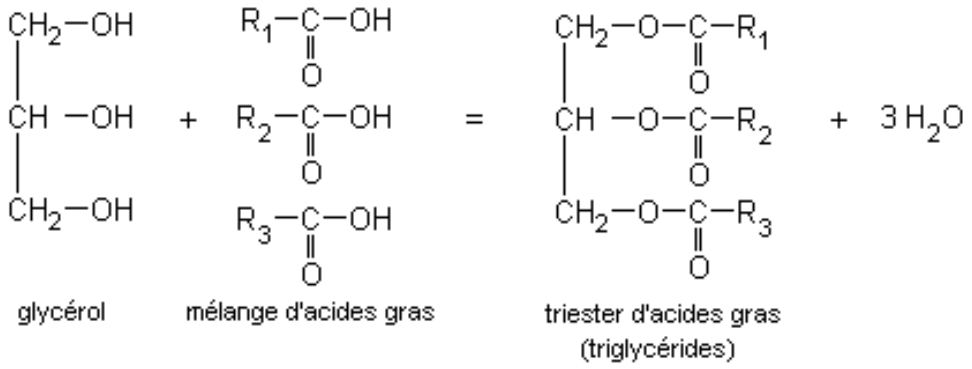


Figure 6: Structure chimique d'un triglycéride (Campion, n.d.)

Les acides gras sont des acides organiques à longue chaine carbonée. Les AG se distinguent selon différents critères, comme la longueur de la chaine carbonée (AG à chaine courte, moyenne ou longue) mais surtout par la présence ou non d'une ou plusieurs doubles liaisons sur la chaine carbonée. Les AG ne possédant pas de double liaison se nomment acides gras saturés (AGS), tandis que les AG possédant une double liaison se nomment acide gras insaturés (mono-insaturés AGMI ou poly-insaturés AGPI)(Bigard et Guezennec, 2007). L'homme est capable de synthétiser ses propres acides gras mais il ne peut pas insérer de double liaison après le carbone 9, ce qui implique l'ingestion d'acides gras dits essentiels. Les acides gras essentiels sont représentés par deux familles qui sont les omégas 3 (ω3) et les omégas 6 (ω6). L'acide linoléique (Figure 7) et l'acide α-linolénique (Figure 8) sont les précurseurs de ces deux familles (respectivement pour les omégas 6 et omégas 3).

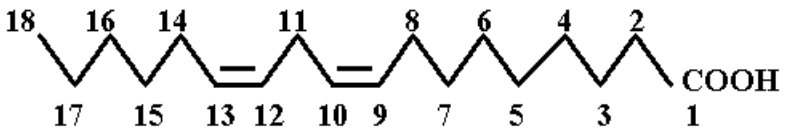


Figure 7 : Structure chimique de l'acide linoléique (FMPMC, n.d.)

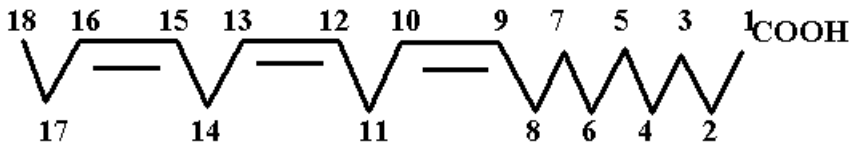


Figure 8 : Structure chimique de l'acide α-linolénique (FMPMC, n.d.)

Les réserves de triglycérides sont très importantes, elles se situent dans le tissu adipeux blanc et le tissu musculaire. Ces réserves représentent 440 000 kJ soit environ 105 000 kcal, ce qui correspond à un footing de 120 h sans s'arrêter avant que les réserves ne soient épuisées. Le tissu adipeux contient 12 000 g de triglycérides, et le tissu musculaire 300 g. Les réserves en lipides varient en fonction de l'état nutritionnel de l'individu, son état d'entrainement, du type de muscle et de la taille des adipocytes (Bigard *et al.*, 2004).

Les lipides doivent représenter 30 à 35 % de l'AETQ (Anonyme, 2001). La répartition suivante est préconisé : 25 % pour les AGS, 60 % pour les AGMI et 15 % pour les AGPI (Gomez-Merino et Portero, 2008). L'apport calorique des lipides est de 9 kcal/g (Bigard et Guezennec, 2007).

2.3.3. Les protéines

Les protéines sont indispensables à la vie, elles constituent les seules sources d'azote utilisables par l'homme (Biesalski *et al.*, 2010). Elles sont nécessaires à l'homéostasie des tissus de l'appareil locomoteur (collagène), au transport de substances dans le plasma (albumine, hémoglobine). Elles entrent aussi dans la composition d'hormone (insuline), et dans les mécanismes de protection et défense de l'organisme (immunoglobuline, fibrinogène)(Gomez-Merino et Portero, 2007). Toutes les protéines de l'organisme ont un rôle précis et à la différence des glucides et des lipides, il n'existe pas de réserve (Bigard et Guezennec, 2007). Le rapport entre la synthèse et la dégradation des protéines dans l'organisme représente la balance protéique. La plupart du temps, cette balance est stable, cependant chez le sportif, la répétition des exercices d'endurance induit une augmentation des besoins nutritionnels (Gomez-Merino et Portero, 2007).

La digestion des protéines commence dans l'estomac avec la pepsine qui hydrolyse les liaisons peptidiques à pH acide qui forme des peptides. Puis les carboxypeptidases du pancréas hydrolysent les peptides dans le duodénum, et c'est au niveau de la bordure en brosse de l'intestin que les dernières enzymes agissent: ce sont la trypsine, la chymotrypsine et les dipeptidases (Biesalski et al., 2010).

Les protéines sont d'énormes molécules composées d'un minimum de cent acides aminés AA (Gomez-Merino et Portero, 2007). Il existe vingt acides aminés (Figure 9). Les AA peuvent être classés en AA essentiels et en AA non essentiels.

Les AA essentiels sont au nombre de neuf (histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane et valine), et se nomment ainsi, car l'organisme n'est pas capable de les synthétiser et seule la nutrition peut les fournir (Gomez-Merino et Portero, 2007). Cependant d'après les études récentes, sept AA essentiels peuvent être synthétisés par voie endogène, seules la lysine et la thréonine sont essentielles (Biesalski *et al.*, 2010).

Les acides aminés peuvent fournir de l'énergie, cette production d'énergie varie en fonction de la durée de l'exercice, de son intensité, de l'état d'entrainement, du niveau des stocks en

glycogène et des apports exogènes en glucides. Cependant cette production est faible, et estimée entre 3 et 10 % de l'énergie totale produite (Bigard et Guezennec, 2007). Cette production est issue de l'oxydation de quelques AA au sein du muscle squelettique, ce sont les acides aminés branchés (AAB : leucine, isoleucine, valine) et plus rarement l'acide glutamique et acide aspartique. Les AA sont désaminés pour ensuite intégrer le cycle de Krebs (voir annexe 1)(Gomez-Merino et Portero, 2007). L'utilisation d'AA comme source d'énergie, peut avoir des conséquences fonctionnelles importantes telles que la lyse des protéines contractiles (actine et myosine).

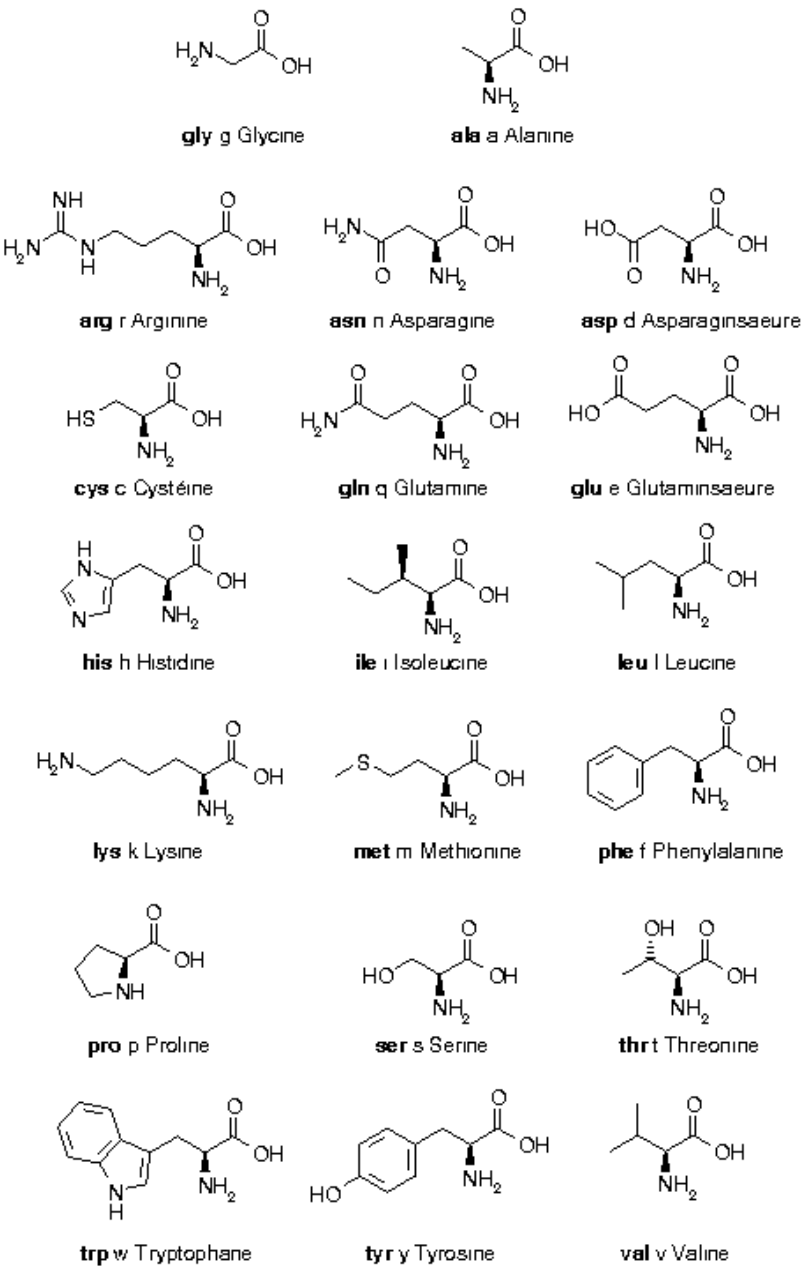


Figure 9 : Structures chimiques des vingt acides aminés (Anonyme, n.d.)

Les protéines doivent représenter 12 à 15 % de l'AETQ, soit environ 1,2 à 2 g de protéines/kg de poids corporel par jour (Anonyme, 2001). Chez le sportif d'endurance, ces AETQ sont de 20 à 25 %. Si ces AETQ ne sont que de 10 à 15 % et que les apports alimentaires sont diversifiés, le besoin spécifique est le plus souvent couvert (Bigard et Guezennec, 2007). L'apport calorique des protéines est estimé à 4 kcal/g (Bigard et Guezennec, 2007).

3. DEPENSES ET APPORTS NON ENERGETIQUES DU TRIATHLETE

Outre les dépenses énergétiques lors d'une activité physique, un individu utilise d'autres substances. Ces substances sont l'eau, des minéraux et des vitamines. Ces différentes substances ne fournissent pas d'énergie, mais elles participent au bon fonctionnement de l'organisme et sont même indispensables.

3.1. L'eau

L'eau est un constituant essentiel des organismes vivants, et sa suppression entraine la mort au bout de quelques jours. Le corps humain est composé de 60 à 70 % d'eau (Jacotot, 2003). Elle est repartie en deux secteurs : le secteur intracellulaire et le secteur extracellulaire.
L'eau est un excellent solvant dans l'organisme pour les ions et les solutés tels que le glucose et les AA. Elle permet la circulation des nutriments et des gaz dissous. En association avec certaines molécules visqueuses, elle lubrifie les articulations (Jéquier et Constant, 2009). Elle permet l'élimination des déchets, et des toxines via l'urine et les fèces.
Elle joue un rôle fondamental dans la régulation de la température corporelle. En effet lors d'un effort physique, l'énergie produite libère de la chaleur, qui ne peut être évacuée que par le mécanisme de transpiration (McArdle *et al*., 2004).

3.1.1. Pertes d'eau

Un adulte moyennement actif perd 3 L d'eau par jour via les urines, les fèces, la vapeur d'eau contenu dans l'air expirée, et la sueur (Tableau 1).

Tableau 1: Pertes hydriques (en mL/j) chez un adulte sédentaire vivant en climat tempéré (Jéquier et Constant, 2009)

	mini	**maxi**	**Moyenne**
Urine	1200	2000	1600
Peau	450	450	450
Respiration	250	350	300
Selles	100	300	200
Total	2000	3100	2550

- Les pertes quotidiennes en eau dans les urines correspondent à 1,5 L. Les reins filtrent chaque jour 140 L de liquide et réabsorbent 99 % de ce liquide. Cette perte hydrique est variable suivant l'état d'hydratation de l'individu, elle est augmentée en cas d'eau excédentaire, et diminuée en cas de déshydratation. La fonction principale des reins est de maintenir un volume sanguin constant et de débarrasser l'organisme des catabolites comme l'urée (McArdle *et al.*, 2004).
- Les glandes sudoripares sécrètent en moyenne 450 mL de sueur dans des conditions normales. La sueur est essentiellement constituée d'eau, et d'électrolytes comme le sodium et les chlorures. La principale fonction de la transpiration est de réguler la température corporelle. En effet, lorsqu'un travail mécanique est créé, environ 75 à 80 % de l'énergie produite pour celui-ci est libérée sous forme de chaleur (Melin, 1997). C'est donc le facteur de perte hydrique le plus variable. Les facteurs environnementaux comme la température

extérieure et le taux d'humidité augmentent aussi cette perte d'eau (Guezennec, 2011). Ainsi, une personne peut perdre jusqu'à 10 à 12 L de sueur dans une journée lors d'un exercice de longue durée (McArdle *et al.*, 2004).

Le calcul exact des pertes sudorales lors d'un exercice n'est pas aisé, toutefois ces pertes peuvent être estimées. Il consiste à comparer le poids d'un individu avant et après un exercice sans oublier d'ajouter les quantités d'eau ingérées éventuellement pendant la séance. En général, 0,5 à 1,5 L de sueur est produit lors d'un exercice modéré (McArdle *et al.*, 2004).

- Lors de la respiration, de la vapeur d'eau est expirée. Le volume d'eau éliminé par la vapeur d'eau est de 250 à 350 mL dans une journée. Lors d'un effort, le nombre de cycle respiratoire est augmenté, et l'élimination d'eau est accrue (McArdle *et al*., 2004).
- Les pertes d'eau dans les fèces sont d'environ 100 à 300 mL par jour (Jéquier et Constant, 2009). Cette perte hydrique peut être augmentée en cas de diarrhée (Hubert, 2008).

3.1.2. Apports en eau

L'eau ne peut pas être stockée. Pour combler les différentes pertes hydriques, l'homme doit ingérer une quantité d'eau équivalente. L'eau en elle-même n'apporte aucune calorie, cependant, suivant son origine, elle apportera différents minéraux. Différents apports (Tableau 2) sont disponibles pour couvrir ces besoins (McArdle *et al*., 2004).

Tableau 2 : Apports hydriques (en mL/j) chez un adulte sédentaire vivant en climat tempéré (Jéquier et Constant, 2009)

	Mini	**Maxi**	**Moyennes**
Boissons	1400	1750	1575
Aliments	600	750	675
Sous-total	2000	2500	2250
Eau métabolique	250	350	300
Total	**2250**	**2850**	**2550**

La méthode la plus rapide pour se réhydrater est l'ingestion de l'eau liquide sous forme de boissons. Le volume d'eau nécessaire est de 1,5 L par jour pour un individu sédentaire. Ce volume, comme les pertes sudorales, est très variable en fonction de l'activité physique et des conditions climatiques (McArdle *et al*., 2004)

L'eau contenue dans les aliments est le deuxième apport et ne doit pas être négligée. Les fruits et les légumes en regorgent et la teneur en eau peut atteindre 80 % (Jéquier et Constant, 2009).

L'eau métabolique est le plus faible apport d'eau dans l'organisme. L'oxydation des macronutriments produit de l'eau (0,6 mL d'eau pour 1 g de glucides, 0,42 mL pour 1 g de protéines et 1,07 mL pour 1 g de lipides). La dégradation des glucides, lipides et protides génère la synthèse d'environ 300 mL d'eau chez un individu sédentaire dans le cadre d'une alimentation mixte (Biesalski *et al.,* 2010).

3.1.3. La déshydratation

La déshydratation survient lorsque l'organisme perd plus d'eau qu'il n'en absorbe. Ce déficit s'accompagne le plus souvent de perturbations de l'équilibre en sels minéraux. Il existe trois types de déshydratations (Jéquier et Constant, 2009) :

- La déshydratation isotonique se caractérise par une perte proportionnelle d'eau et de soluté issu des liquides extracellulaires. C'est la perte de sels de façon isotonique lors de diarrhées profuses. Le traitement consiste en l'ingestion de solution de réhydratation orale (SRO) de l'OMS.
- La déshydratation hypotonique ou extracellulaire est due à des pertes de liquides (qui sont isotoniques ou hypotoniques par rapport au plasma) remplacées par un liquide contenant moins de sel que le liquide perdu.
- La déshydratation hypertonique ou intracellulaire survient lorsque l'apport hydrique est insuffisant ou/et lorsque les pertes d'eau sont excessives, c'est à dire une perte d'eau "pure" plus importante que la perte de sels. C'est le cas lors d'une transpiration importante dans un milieu ambiant à température élevée (European Hydration Institute, n.d.).

L'apparition de sillons longitudinaux sur la langue ainsi qu'une sècheresse au niveau des muqueuses de la bouche et du nez, sont les symptômes sensibles d'une déshydratation. Puis des troubles du comportement tels que l'agitation et la désorientation apparaissent, puis par ordre de fréquence, des vomissements des troubles hémodynamiques et rarement des troubles respiratoires (Bigard et Guezennec, 2007).

Chez le sportif, une déshydratation induit une baisse des performances. De multiples études ont été menées pour évaluer les réductions des performances suivant l'intensité de l'effort, le type d'effort, et le degré de déshydratation (Tableau 3). Melin en 1997 a recensé plusieurs études sur les performances physiques suivant le degré de déshydratation ainsi que les méthodes pour déshydrater. Quels que soient le degré de déshydratation et l'intensité de l'effort, une baisse des performances physiques est observée. A faible intensité, une baisse de 30 % des performances physiques est obtenue avec une déshydratation équivalant à 2 % du poids corporel.

Tableau 3 : Déshydratation corporelle et baisse des performances physiques (d'après la revue de Melin, 1997)

Intensité relative	Déshydratation, Modalités (% poids corps)	Exercice	Réduction des performances	Auteurs
90-100% VO2max	Sauna Exercice Chaleur (3-4%)	Ergocycle	20-45%	Saltin (1964)
90-100% VO2max	Diurétiques (1,9%)	Course à pieds	3-4%	Armstrong *et al*. (1985)
90-100% VO2max	Exercice Chaleur (1,8%)	Ergocycle	44%	Walsh *et al*. (1994)
70-90% VO2max	Diurétiques (2,1%)	Course piste	7%	Armstrong *et al*. (1985)
70-90% VO2max	Exercice (1,3%)	Course tapis roulant	16%	Jimenez *et al*. (1992)
50% VO2max	Chaleur (1,8%)	Marche tapis roulant	35%	Melin *et al*. (1988)
50% VO2max	Chaleur (2,7%)	Marche tapis roulant	32%	Melin *et al*. (1990)

3.2. Les minéraux et oligo-éléments

Environ 4 % de la masse corporelle est représentée par une vingtaine de substances minérales, la plus grande partie est constituée par le calcium, les autres éléments se trouvant en quantité limitée. Ils entrent dans la composition des enzymes exerçant des fonctions importantes dans le métabolisme. Ils exercent un rôle dans le transport du dioxygène, la construction des tissus et la contraction musculaire.

En général, ces éléments sont apportés par une alimentation diversifiée (solide et liquide). Cependant le sportif d'endurance a des besoins accrus et une déficience peut diminuer les performances ou altérer la santé. Les principales pertes de minéraux chez le sportif sont liées à la transpiration, et à l'élimination dans les urines (McArdle *et al*., 2004).

Les apports journaliers recommandés (AJR) sont définis comme des valeurs moyennes, unique, établies pour l'ensemble de la population. Les AJR sont les quantités qu'un individu devrait consommer par jour. Ils ne tiennent pas compte des différences liées à l'âge et au sexe. Les apports nutritionnels conseillés (ANC) se définissent comme des valeurs de références moyennes mesurées à partir d'un groupe d'individus définis selon leur sexe, leur âge ainsi que leur condition physique. Les ANC constituent les besoins de 95 % d'une population selon une courbe gaussienne (Figure 10). Si les apports sont inférieurs aux 2/3 des ANC, on parle de déficit qui peut conduire à un risque de carence (AFSSA, n.d.).

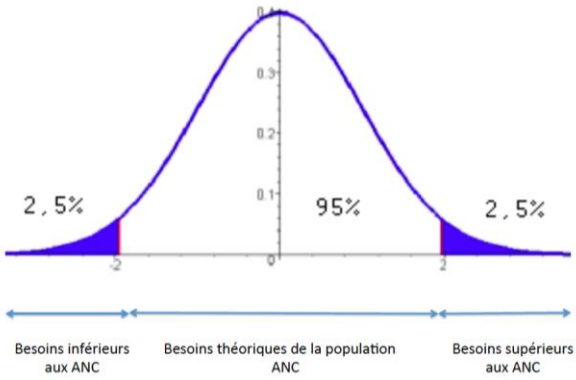


Figure 10 : Courbe de détermination des ANC (Berthou, 2014)

Les minéraux se différencient des oligo-éléments par leur concentration dans l'organisme. De manière plus générale, un minéral n'excède pas 0,01 % du poids corporel. Les minéraux sont le calcium (même si la teneur en calcium dépasse de loin les 0,01 %), le phosphore, le magnésium, le potassium et le phosphore. Les oligo-éléments n'excèdent pas 0,001 % du poids corporel. Le fer, le zinc, le cuivre, le chrome, le sélénium, l'iode, le chlore et le manganèse sont considérés comme des oligo-éléments importants.
Il existe une très grande quantité de minéraux, seuls ceux qui sont intéressants pour le sportif sont présentés. Ce sont, par ordre alphabétique, le calcium, le cuivre, le fer, le magnésium, le potassium, le sélénium, le sodium et le zinc.

Tableau 4 : Apports journaliers recommandés (AJR) et apports nutritionnels conseillés (ANC) chez l'homme adulte de certains minéraux ("nutrition-expertise," n.d.)

Minéraux	**calcium**	**cuivre**	**fer**	**magnésium**	**potassium**	**sélénium**	**sodium**	**zinc**
AJR	800 mg	1 mg	14 mg	375 mg	2000 mg	55 µg	5 mg	10 mg
ANC	900 mg	2 mg	9 mg	420 mg	2000 mg	60 µg	5 mg	12 mg

3.2.1. Le calcium

Le calcium est le minéral le plus présent dans l'organisme, environ 1,2 kg. Il s'associe au phosphore pour les os et les dents. La pratique régulière d'une activité physique produit un effet ostéogène (McArdle *et al*., 2004). Il intervient dans la transmission de l'influx nerveux en favorisant l'exocytose des neuromédiateurs (Clere, 2014). Le calcium agit sur la contraction musculaire. La fixation du calcium sur la troponine C, engendre une levée de l'inhibition de la liaison actine-myosine (Poortmans et Boisseau, 2003).

Les apports nutritionnels conseillés (ANC) en calcium sont de 900 mg/j. Le calcium est surtout présent dans les produits laitiers, ainsi que dans les amandes, les sardines (Tableau 5). Le pouvoir acidifiant des produits laitiers (indice PRAL, voir Annexe 2) entraine une perte urinaire du calcium (Mangano *et al*., 2014). L'absorption du calcium est limitée par le café et l'acide phytique, présent dans les céréales. Une répartition des apports en calcium dans la journée permet une meilleure absorption (Daniel and Kuhn, 2012). Une carence entraine une fragilité du squelette avec des risques de fractures de fatigue, et des crampes. Le tableau 5 donne les quantités en calcium présentes dans quelques aliments :

Tableau 5 : Sources alimentaires contenant du calcium ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Emmental	132	1055 mg
Sardines à l'huile	99	798 mg
Epinards	24,5	196 mg
Reblochon	24	192 mg
1 yaourt au lait entier	16	126 mg
1 verre de lait demi écrémé	14	115 mg
Crevettes cuites	10,4	83 mg

3.2.2. Le cuivre

Le cuivre est le cofacteur de nombreuses réactions enzymatiques, il participe à la synthèse de l'hémoglobine, à la respiration cellulaire et à la défense contre les radicaux libres (Biesalski *et al*., 2010).

Les ANC en cuivre sont compris entre 1,5 mg/j et 3 mg/j. Chez le sportif, la perte sudorale est estimée à 30 % des apports quotidiens (Riché, 1996). Les carences sont rares et se traduisent par l'apparition d'une anémie. En revanche un excès de cuivre est néfaste pour la santé, il devient pro-oxydant. Le cuivre est généralement contenu dans les légumes secs, les fruits secs, les céréales, le foie et le cacao. Son absorption est abaissée avec la vitamine C, et le zinc (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 6 donne les quantités en cuivre présentes dans quelques aliments.

Tableau 6 : Sources alimentaires contenant du cuivre ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Foie de veau	1500	15 mg
Huitres	150	1,5 mg
Chocolat noir	140	1,4 mg
Noix de pécan	120	1,2 mg
Raisins secs	40	0,4 mg
Lentilles	25	0,25 mg
Pommes de terre	19	0,19 mg

3.2.3. Le fer

Le fer a deux rôles majeurs dans l'organisme. Il intervient dans le transport d'oxygène. Il se lie à l'hémoglobine pour fixer l'oxygène dans le sang, et à la myoglobine pour transporter l'oxygène dans le muscle. Le fer agit également dans les réactions d'oxydo-réduction (Jacotot, 2003). L'organisme contient 3 à 5 g de fer.

Les ANC sont de 9 mg/j chez l'homme, 16 mg/j chez la femme réglée et allant jusque 20 mg/j chez le sportif (Daniel et Kuhn, 2012). Les demandes sont supérieures chez la femme car une quantité plus importante de fer est éliminée via les règles. La course à pied est génératrice de carence chez le sportif. Elle est due à une destruction des globules rouges par les ondes de choc, ou à des microhémorragies digestives (Dine *et al*., 1988 ; Péré e*t al*., 1991). Une carence engendre de l'anémie qui réduit la capacité à l'effort. Le fer est faiblement absorbé. Le café est surtout le thé baissent son absorption, tandis que la vitamine C l'augmente. Il est présent sous deux formes différentes dans l'alimentation. Le fer héminique est présent dans les viandes rouges, et le boudin noir, il est deux fois mieux assimilé que le fer d'origine végétal (Lukaski, 2004). Le tableau 7 donne les quantités en fer présentes dans quelques aliments.

Tableau 7 : Sources alimentaires contenant du fer ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Palourdes conserves	93	13,1 mg
Foie de veau	40,7	5,7 mg
Tofu	28	3,8 mg
Epinards	26	3,6 mg
Roti de bœuf	25	3,5 mg
Sardines	24	3,3 mg
Lentilles	22	3,0 mg

3.2.4. Le magnésium

Le magnésium est impliqué dans plus de 300 réactions enzymatiques. Il facilite la synthèse du glycogène hépatique et musculaire à partir du glucose sanguin. Il participe à la contraction musculaire en dégradant l'ATP en ADP (Clere, 2014). Les réserves de l'organisme sont de 25 g, le magnésium contribue comme cofacteur au catabolisme des acides gras, des acides aminés et du glucose (Biesalski *et al.,* 2010) .

Les ANC sont de 320 à 350 mg/j respectivement chez la femme et l'homme. Les fruits secs (noix, noisette, amande, abricots secs), les céréales complètes et les légumes contiennent le plus de magnésium. L'alcool, le café et le sport en augmentent les pertes (Daniel et Kuhn, 2012). Le sportif carencé en magnésium rencontre de la fatigue, une diminution de la récupération, une baisse de la tolérance à la chaleur, et l'apparition de crampes (Riche, 1989). Toutefois, une supplémentation n'apporte aucun bénéfice chez le sportif entrainé (Lukaski, 2004). Le tableau 8 donne les quantités en magnésium présentes dans quelques aliments.

Tableau 8 : Sources alimentaires contenant du magnésium ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Bigorneaux	80	300 mg
Escargots	67	250 mg
Amandes	62	232 mg
Chocolat noir	55	206 mg
Riz complet	12	44 mg
Pruneaux	8	31 mg
Banane	7,9	29 mg

3.2.5. Le potassium

Le potassium représente le principal minéral intracellulaire. Il joue un rôle dans la création de potentiel électrique sur les membranes cellulaires. Il intervient dans la contraction musculaire (Jacotot, 2003). Il intervient également dans le métabolisme des glucides et des protéines. Le mode alimentaire actuel tend à créer un déséquilibre entre le sodium et le potassium. Un rapport sodium /potassium élevé peut entrainer des risques d'accident vasculaire cérébral, et augmente l'hypertension artérielle. Les fruits et les légumes contiennent du potassium. Ce type d'alimentation permet de diminuer les apports en sel et de réduire le rapport sodium/potassium (Daniel et Kuhn, 2012).

Les apports quotidiens chez l'adulte sont de 4,7 g/j, un déficit en potassium entraine chez le sportif des crampes musculaires, un déséquilibre mental, et une perte de l'appétit. Une carence sévère peut entrainer la mort (McArdle *et al*., 2004). Le tableau 9 donne les quantités en potassium présentes dans quelques aliments.

Tableau 9 : Sources alimentaires contenant du potassium (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Chocolat noir	36	727 mg
Dattes	34	677 mg
Abricots	24	482 mg
Bananes	21	413 mg
Porc	16	324 mg
Carottes	16	311 mg
Lentilles	16	309 mg

3.2.6. Le sélénium

Le sélénium est un antioxydant important, il est l'un des constituants essentiels de l'enzyme glutathion peroxydase. Le sélénium intervient contre les radicaux libres et le stress oxydatif. Il intervient également dans la régulation des hormones thyroïdiennes (Daniel et Kuhn, 2012). Le sélénium est contenu dans les végétaux, mais leur taux dépend étroitement de la teneur en sélénium du sol, excepté pour la noix du Brésil (qui a un taux stable indépendamment du sol). Les apports se font plus généralement par les chairs animales où la teneur en sélénium est constante, et l'assimilation accrue.

Les besoins optimaux en sélénium sont estimés entre 50 et 100 µg/j. Un déficit entraine une faiblesse musculaire et des cardiomyopathies (Riché, 1996). Une étude indique qu'une supplémentation de 906 µg/j de sélénium chez un groupe de cycliste n'est pas suffisante pour pallier à la production accrue de radicaux libres (Accominotti e*t al*., 1991). Cependant à long terme, l'ingestion de doses massives de sélénium entraine une intoxication (Riché, 1996). Le tableau donne les quantités en sélénium présentes dans certains aliments.

Tableau 10 : Sources alimentaires contenant du sélénium (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
1 Noix du brésil	1836	1010 µg
Crabes	113	62 µg
Thon	113	62 µg
Moules	39	21 µg
Saumon	34,5	19 µg
Porc	28	15 µg
1 Œuf poché	22	12 µg

3.2.7. Le sodium

Le sodium intervient essentiellement dans le maintien de l'hydratation. Il favorise l'absorption de l'eau et des glucides. La transmission nerveuse et les contractions musculaires sont directement liées à la concentration en sodium dans l'organisme (Jacotot, 2003) . Le sodium est le minéral le plus abondant dans l'alimentation, ce qui favorise le développement de maladies cardiovasculaires.

L'apport minimal est de 2 g/j et un maximum de 8 g/j est établi. Le sodium est excrété dans les urines. Cependant en cas d'effort intense et/ou de fortes chaleurs, l'élimination principale se fait via la transpiration (Ryan, 2007). Un déficit en sodium entraine les mêmes symptômes qu'un déficit en potassium, c'est à dire crampes, perte de l'appétit (McArdle et al., 2004). La charcuterie, le sel de table, les fromages sont les aliments qui contiennent le plus de sodium (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 11 donne les quantités en sodium contenues dans quelques aliments.

Tableau 11 : Sources alimentaires contenant du sodium (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Sel de table	775	38 758 mg
Saucisson sec	38,8	1940 mg
Roquefort	32	1600 mg
Ketchup	22,4	1120 mg
Olives noires	18	886 mg
Pomme	0,032	1,6 mg
Banane	0,014	0,7 mg

3.2.8. Le zinc

Le zinc intervient à plusieurs niveaux. C'est un stabilisateur des membranes. Le zinc joue un rôle dans la digestion, en intervenant comme cofacteur au niveau de plusieurs réactions enzymatiques. Grâce à son pouvoir antioxydant, il protège contre les radicaux libres (Lukaski, 2000).

Les ANC en zinc sont de 7 à 14 mg/j chez le sédentaire et sont de 18 mg/j chez le sportif (Daniel et Kuhn, 2012). L'activité sportive engendre des hypozincémies (Khaled *et al.*, 1997). Ces déficits en zinc sont dus à des apports nutritionnels insuffisants, des pertes dans les urines et la sueur, une redistribution du zinc dans les différents compartiments de l'organisme ou un "piégeage" par la réaction inflammatoire (Biesalski *et al.,* 2010). Les carences en zinc sont responsables de retard de cicatrisation, d'augmentation du nombre d'infections et d'une diminution de force musculaire. Une supplémentation en zinc pendant une faible période peut accroitre les capacités musculaires d'un individu (Krotkiewski *et al*., 1982). Les huitres contiennent du zinc en grande quantité. Le tableau 12 donne les quantités en zinc contenues dans quelques aliments.

Tableau 12 : Sources alimentaires contenant du zinc (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Huitre	167	16,7 mg
Germe de blé	120	12 mg
Bœuf	50	5 mg
Jaune d’œuf	30,5	3,0 mg
Poulet (viande et peau)	14,4	1,4 mg
Crevettes	13	1,3 mg
Pain complet	12,3	1,2 mg

3.3. Les vitamines

Les vitamines sont des composés organiques indispensables au bon déroulement des processus physiologiques. Elles se trouvent en petites quantités dans la plupart des aliments. L'organisme ne peut pas les synthétiser, excepté la vitamine D, et l'alimentation doit donc en apporter les quantités nécessaires pour éviter les carences. Les vitamines jouent un rôle important dans les réactions de production d'énergie et certaines sont particulièrement utiles pour le sportif d'endurance (Daniel et Kuhn, 2012). L'apport en vitamines permettrait à l'organisme d'assumer un volume d'entrainement supérieur à celui d'un individu sédentaire. Cependant, un excès (voir Annexe 3) en vitamine ne permet pas de stimuler et d'améliorer la performance (Bacquaert, 2014). Les apports journaliers recommandés (AJR) permettent de donner une valeur moyenne des apports nécessaires (Tableau 13). Néanmoins chez le sportif, les besoins en vitamines sont supérieurs et les AJR sont dépassés (Bacquaert, 2014). Les vitamines sont au nombre de treize, classiquement réparties en deux groupes : liposolubles et hydrosolubles (Daniel et Kuhn, 2012)

- 4 vitamines liposolubles

A : rétinol

D : cholécalciférol (D3), ergocalciférol (D2)

E : tocophérols

K : phyllokinone (K1), ménaquinone (K2)

- 9 vitamines hydrosolubles

B1 : thiamine

B2 : riboflavine

B3 : PP, niacine, acide nicotinique, nicotinamide

B5 : acide pantothénique

B6 : pyridoxine, pyridoxal, pyridoxamine

B8 : biotine

B9 : acide folique,

B12 : cobalamines

C : acide ascorbique

Tableau 13 : Apports journaliers recommandés (AJR) et apports nutritionnels conseillés chez l'homme adulte (ANC) des vitamines ("nutrition-expertise," n.d.)

Vitamines	A	D	E	K	B1	B2	B3	B5	B6	B8	B9	B12	C
AJR	800 µg	5 µg	12 mg	75 µg	1,1 mg	1,4 mg	16 mg	6 mg	1,4 mg	50 µg	200 µg	2,5 µg	80 mg
ANC	800 µg	5 µg	12 mg	75 µg	1,3 mg	1,6 mg	14 mg	5 mg	1,8 mg	50 µg	330 µg	2,4 µg	110 mg

3.3.1. Les vitamines liposolubles

Les vitamines liposolubles sont très peu solubles dans les milieux aqueux et solubles dans les graisses. Elles sont absorbées avec les lipides au niveau de l'intestin grêle et peuvent être stockées dans le tissu adipeux et de ce fait, il peut se passer plusieurs mois avant d'observer les symptômes d'une carence (McArdle *et al.*, 2004).

3.3.1.1. La vitamine A (ou rétinol)

La vitamine A est impliquée dans la synthèse des pigments rétiniens (Maton, 2008a) et dans l'intégrité du tissu épithélial. Un déficit en rétinol entraine des troubles cutanés et de l'ossification (McArdle *et al.*, 2004). La vitamine A joue un rôle d'antioxydant et dans l'immunité des infections ORL (Jacotot, 2003). Les caroténoïdes, comme le β-carotène, sont des provitamines A, qui sont transformées par l'organisme en rétinol.

L'unité utilisée pour les apports est l'équivalent rétinol (ER). Les ANC en ER chez un individu sédentaire sont de 0,6 à 0,8 mg/j soit environ 2,9 mg/j de β-carotène (Groussard *et al.*, 2004). Chez le sportif, les ANC sont augmentés de 0,2 mg d'ER par tranche de 1000 kcal de dépense énergétique supplémentaire (>1800 kcal chez la femme et > 2200 kcal chez l'homme). La limite de sécurité de consommation est fixée à 1,8 mg ER/j soit 250 à 300% supérieure aux ANC de l'adulte sédentaire (Maton, 2008a). Machefer *et al.* (2006) et Groussard *et al.* (2004) ont montré que le régime des sportifs fournissait des apports en vitamine A et β-carotène, 150 % à 200 % supérieurs aux ANC. Cependant une hypervitaminose n'est possible après l'ingestion de doses dix fois supérieures pendant plusieurs mois voire années. Elle engendre des maux de tête, des troubles digestifs, et une desquamation de la peau (Jacotot, 2003).

La vitamine A est stockée dans le foie, une carence entraine des troubles de la vue pouvant aller jusqu'à la cécité (McArdle *et al*., 2004).

La vitamine A est présente dans les aliments d'origine animale (foie, beurre, fromage, œufs), tandis que les caroténoïdes sont contenus dans les aliments d'origines végétale (légumes verts, carottes) (Daniel et Kuhn, 2012). Les Tableaux 14 et 15 donnent les quantités en rétinol et en β-carotène de certains aliments.

Tableau 14 : Sources alimentaires contenant du rétinol (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Foie de veau	1350	10 800 µg
Poissons gras	100	800 µg
Beurre	87,5	700 µg
Fromages	28	223 µg
Œuf (jaune)	25	200 µg
Lait entier	6,25	50 µg

Tableau 15 : Sources alimentaires contenant des β-carotène (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Carottes crues	100	11 500 µg
Epinards cuits	39	4 500 µg
Abricots frais	13	1 500 µg
Brocolis	4	400 µg

3.3.1.2. La vitamine D (ou cholécalciférol, ergocalciférol)

La vitamine D possède de nombreux rôles dans l'organisme, mais tous les rôles de cette vitamine ne sont pas encore élucidés (Leccia, 2013). Elle participe au niveau intestinal à l'absorption du calcium et du phosphore pour favoriser la minéralisation osseuse. Puis, elle intervient, entre autre, dans le fonctionnement du pancréas, du cerveau et des organes hématopoïétiques (Maton, 2013a), dans le contrôle de la pression artérielle et de la prolifération cellulaire dans la prostate et le colon (Mallet, 2014). Pour le sportif, elle est importante au niveau neuromusculaire car elle permet l'entrée du calcium intracellulaire et par conséquent la contraction musculaire (voir 3.2.1.) (Walrand, 2014). L'homme est capable de synthétiser la vitamine D à partir du 7-déhydrocholestérol (Landrier, 2014). Cette synthèse a lieu dans les kératinocytes de l'épiderme sous exposition d'UVB (Biesalski *et al.*, 2010).
Les ANC pour un adulte sont de 10 µg/j (Daniel and Kuhn, 2012) ou 400 UI (1 UI = 0,025 µg)(Maton, 2013a). Chez le sportif, les apports peuvent être augmentés à 4 000 UI/j (Bacquaert, 2012).
Une carence (voir 3.2.) en vitamine D diminue les performances au niveau des vitesses, forces et sauts hauteurs dans une étude faite auprès de 99 adolescentes sportives (Ward *et al*., 2009). A contrario, une supplémentation de 5 000 UI/j en vitamine D chez un groupe de 10 footballeurs professionnels (repartis en deux groupes de 5 : supplémentation contre placebo) a démontré une amélioration des performances sportives (vitesse maximale, puissance, et force) (Close *et al.*, 2013). Toutefois Fage *et al.* (2010) n'ont pas réussi à établir de lien entre le taux sanguin de vitamine D et la performance sportive.
Un déficit en vitamine D a pour conséquence un risque de défaut de minéralisation osseuse, d'ostéoporose, de fractures spontanées ou provoquées par une chute (Bacquaert, 2012). Un surdosage massif en vitamine D engendre une hypercalcémie (10 000 UI/j pendant plusieurs jours) dont les symptômes sont vertiges et vomissements (Biesalski et al., 2010).
La vitamine D est présente dans les poissons gras, l'huile de foie de morue, les œufs, le beurre (Bacquaert et Maton, 2009). Le tableau 16 donne les quantités en vitamine D présentes dans quelques aliments.

Tableau 16 : Sources alimentaires contenant de la vitamine D ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Huile de foie de morue	5000	250 µg
Saumon	174	8,7 µg
Sardine à l'huile	134	6,7 µg
Emmental	36	1,8 µg
œuf entier	32,4	1,6 µg
Beurre	20	1 µg

3.3.1.3. La vitamine E (ou tocophérols)

La fonction principale de la vitamine E est de protéger les lipides membranaires de la lipoperoxydation, c'est à dire qu'elle a un effet antioxydant (Biesalski *et al.*, 2010). Elle intervient également dans les processus anti-inflammatoires et d'agrégation plaquettaire en inhibant la formation des prostaglandines et du thromboxane (Maton, 2015a).

Les ANC chez l'adulte sont de 12 mg/j (Daniel et Kuhn, 2012). Chez le sportif, les ANC sont généralement doublés par rapport à ceux de l'adulte sédentaire. Les apports sont augmentés à raison de 12 mg/j, par tranche de 1000 kcal de dépense énergétique au-dessus de 1800 kcal/j chez la femme et 2200 kcal/j chez l'homme. La limite supérieure autorisée est fixée à 50 mg/j (Maton, 2015a). Selon Groussard *et al.* (2004), portant sur les apports quotidiens en vitamine E d'étudiants en éducation physique, un déficit par rapport aux ANC est observé (85% des 28 étudiants ont des apports inférieur à 50 % des ANC). Ces résultats correspondent aux résultats obtenus par Machefer *et al.* (2006) sur une population de 19 athlètes d'endurance.

Les carences en vitamine E sont exceptionnelles et se manifestent par des troubles neurologiques (polyneuropathie, myopathie). Un surdosage en vitamine E transforme l'effet antioxydant de ce dernier en effet pro-oxydant, néanmoins ce risque est faible car un excès (la limite européenne a été fixée à 300 mg /j par le Scientific Committee on Food (Maton, 2015a)) de vitamine est excrété par la bile (Bacquaert et Maton, 2009).

La vitamine E est présente dans les huiles végétales, les poissons gras (saumon, thon), les germes de blé ainsi que dans certains fruits et légumes (noisettes, épinards, kiwi) (Maton, 2015a). Elle est détruite par l'oxygène et la lumière, ce qui implique que la conservation de ces aliments doit se faire à l'abri de la lumière (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 17 donne les quantités en vitamines E contenues dans certains aliments.

Tableau 17 : Sources alimentaires contenant de la vitamine E ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Huile de tournesol	505	60,6 mg
Margarine	385	46,2 mg
Noisettes	200	24,1 mg
Germe de blé	92	11 mg
Huile d'olive	83	10 mg
Moules	29	3,5 mg
Beurre	17	2 mg

3.3.1.4. La vitamine K (ou phylloquinone, ménaquinone)

La vitamine K a un effet antihémorragique, et intervient dans le mécanisme de la coagulation d'où son nom (*Koagulation* en allemand). Il existe plusieurs vitamines K, les deux principales, sont la vitamine K1 (phylloquinone) et la vitamine K2 (ménaquinone). La vitamine K1 se trouve dans les plantes vertes, plus précisément dans les chloroplastes. La vitamine K2 se trouve dans les bactéries, notre organisme la synthétise au niveau de l'intestin grêle et du colon (Biesalski *et al.*, 2010).

Les ANC pour un adulte en vitamine K sont de 65 à 80 µg/j. En raison du faible intérêt pour le sportif d'endurance, il est généralement conseillé que les ANC du sportif soient les mêmes que l'adulte sédentaire (Daniel et Kuhn, 2012).

Une carence en vitamine K se traduit par des accidents hémorragiques. Des microhémorragies surviennent lors du ballotement des viscères par le choc lors du jogging, un déficit en vitamine K favorise ces saignements (Bacquaert et Maton, 2009).

La vitamine K est apportée par les légumes verts à feuilles (choux, épinards, persil), mais aussi dans les aliments d'origine animale comme le poisson (Biesalski *et al.*, 2010). Le tableau 18 donne les quantités en vitamine K présentes dans quelques aliments.

Tableau 18 : Sources alimentaires contenant de la vitamine K (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Choucroute	2053	1540 µg
Choux de Bruxelles	760	570 µg
Persil	733	550 µg
Epinards	467	350 µg
Brocolis	233	175 µg
Laitue	200	150 µg
Foie de bœuf	120	90 µg

3.3.2. Les vitamines hydrosolubles

Les vitamines hydrosolubles sont solubles dans l'eau. Elles concernent toutes les vitamines du groupe B et la vitamine C. Elles sont stockées en petite quantité dans l'organisme, cependant un apport excédentaires des vitamines du groupe B est rarement nocif (Ryan, 2007).

3.3.2.1. La vitamine B1 (ou thiamine)

La vitamine B1 intervient essentiellement dans la conduction nerveuse, et celle de l'activité cardiaque (Jacotot, 2003). La thiamine joue un rôle dans la production d'énergie, elle facilite la conversion de l'acide pyruvique en acétyl CoA dans le cycle de Krebs (Choi *et al.*, 2013). La vitamine B1 est liée au métabolisme des sucres, en intervenant dans le cycle des pentoses (Maton, 2008b).

Les ANC pour un adulte sont de 1,1 à 1,3 mg/j (Daniel et Kuhn, 2012). Par précaution, pour un sportif, ils sont de 3 à 10 mg/j (Clere, 2014), ce qui correspond à un supplément de 0,5 mg de thiamine par jour et par 1 000 kcal dépensés (Biesalski *et al.*, 2010).

Les réserves corporelles de vitamine B1 sont faibles, de l'ordre de 30 mg, et elle doit être consommée régulièrement pour éviter les carences. Son absorption est inhibée par la consommation d'alcool, thé, café (Guilland et Lequeu, 2009). Les signes d'une carence ne s'observent qu'au bout de plusieurs semaines, une perte de poids, des troubles neurologiques et de la fatigue apparaissent. Cette carence se nomme le Béribéri (Biesalski *et al.*, 2010).

La thiamine est contenue dans les céréales et produits céréaliers (Bacquaert et Maton, 2009), dans la viande (surtout celle de porc), les poissons crus, les œufs, et légumes secs (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 19 donne les quantités en vitamine B1 présentes dans quelques aliments.

Tableau 19 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B1 ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Levure alimentaire	3636	40 mg
Céréales	209	2,3 mg
Germe de blé	145	1,6 mg
Viande de porc	63	0,7 mg
Noisettes	44	0,4 mg
Foie de veau	18	0,2 mg
Lentilles	11	0,1 mg

3.3.2.2. La vitamine B2 (ou riboflavine)

La vitamine B2 agit directement dans les mitochondries pour la production d'énergie, elle intervient dans la chaine respiratoire. La riboflavine se transforme au niveau du foie en FAD sous le contrôle des hormones thyroïdiennes et surrénaliennes (Biesalski *et al.*, 2010). Elle intervient également dans le catabolisme des acides gras et de certains acides aminés (Maton, 2008c).

Les ANC sont de 1,5 à 1,6 mg/j. Chez le sportif, les apports sont augmentés de 1 mg/j pour 1000 kcal de dépenses supplémentaires au-delà de 1800 kcal chez la femme et 2200 kcal chez l'homme (Maton, 2008c).

Les réserves corporelles en vitamine B2 sont importantes et la carence en riboflavine est très rare (Maton, 2008c). Les carences existent, elles sont dues à l'alcoolisme et la malabsorption dans certaines pathologies digestives. Le manque de vitamine B2 provoque des lésions cutanés et au niveau des muqueuses (stomatite, glossite, ...) (Jacotot, 2003).

Les sources de riboflavine sont très variées, et on retrouve la vitamine B2 dans les abats, les viandes, les laitages et les œufs (Guilland et Lequeu, 2009). Le tableau 20 donne les quantités en vitamine B2 présentes dans quelques aliments.

Tableau 20 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B2 ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Levure alimentaire	286	4 mg
Foie de veau	221	3,1 mg
Rognons	171	2,4 mg
Germe de blé	40	0,5 mg
Œuf	33	0,4 mg
Lait écrémé frais	17	0,2 mg
Porc	17	0,2 mg

3.3.2.3. La vitamine B3 (ou niacine, acide nicotinique, nicotinamide, vitamine PP)

La vitamine B3 joue un rôle dans la production d'énergie, car elle intervient dans la mitochondrie au niveau des chaines de transport d'électrons pour former du NAD. La niacine provient soit de l'alimentation, soit de la synthèse à partir de tryptophane par le foie (Biesalski *et al.*, 2010).

L'alcoolisme et certains traitements médicamenteux comme l'isoniazide empêchent l'absorption de niacine.

Les ANC chez l'adulte sédentaire sont de 11 à 14 mg/j. Chez le sportif, ils augmentent de 2,5 mg pour 1000 kcal de dépense énergétique supplémentaire au-delà de 1800 kcal chez la femme et 2200 chez l'homme (Maton, 2008d).

La carence en vitamine B3 conduit à la pellagre qui associe une dermatose, une démence et des diarrhées (Jacotot, 2003).

Les aliments qui contiennent le plus de vitamines B3 sont les viandes, le poisson et le foie (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 21 donne les quantités en vitamine B3 présentes dans quelques aliments.

Tableau 21 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B3 ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité vitamine B3
Levure alimentaire	156	25 mg
Thon	78	12,6 mg
Lapin	56	9 mg
Pain complet	15,6	2,5 mg
Pommes de terre	8,6	1,38 mg
Artichaut	6,25	1 mg
Lentilles	4,15	0,664 mg

3.3.2.4. La vitamine B5 (ou acide pantothénique)

La vitamine B5 forme le coenzyme A puis de l'acétyl CoA qui participe à la formation d'ATP (Biesalski *et al.*, 2010).

Les ANC sont de 5 mg/j pour un individu sédentaire (Maton, 2008e). Chez le sportif les apports sont de 10 à 30 mg/j (Clere, 2014).

Une carence en acide pantothénique est très rare et les symptômes tels qu'une asthénie, des douleurs et faiblesses musculaires ne sont pas spécifiques (Maton, 2008e). Une hypervitaminose n'est pas à craindre car de fortes doses allant jusqu'à 5 g/j n'occasionnent aucun effet secondaire (Biesalski *et al.*, 2010).

La vitamine B5 est répandue dans les produits d'origine animale, on en retrouve dans les abats, les viandes, les champignons, les poissons et les laitages (Daniel et Kuhn, 2012), malheureusement la vitamine B5 est facilement dégradée par la cuisson (Bacquaert et Maton, 2009)**.** Le tableau 22 donne les quantités en vitamine B5 présentes dans quelques aliments.

Tableau 22 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B5 ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Levure alimentaire	175	10,5 mg
Foie de veau	104	6,22 mg
Rognons	82	4,9 mg
Jaune d'œuf	52,8	3,17 mg
Cacahuètes	38	2,28 mg
Champignons	25	1,5 mg
poulet	22,7	1,36 mg

3.3.2.5. La vitamine B6 (ou pyridoxine, pyridoxal, pyridoxamine)

La vitamine B6 intervient dans la fabrication de l'hémoglobine, et dans la néoglucogenèse (Guilland et Lequeu, 2009). Elle participe à certaines synthèses hormonales, telles que la sérotonine à partir du tryptophane ou de la dopamine à partir de la tyrosine. Elle est aussi impliquée dans la synthèse de la vitamine B3 à partir du tryptophane (Maton, 2008f).

Les ANC sont de 1,5 à 1,8 mg /j chez l'adulte mais les besoins du sportif sont plus importants (Daniel et Kuhn, 2012). Ils sont augmentés de 2,5 mg pour 1000 kcal de dépense supplémentaire au-delà de 1800 kcal chez la femme ou 2200 kcal chez l'homme (Maton, 2008f). Les apports quotidiens pour le sportif sont de 4 à 20 mg/j soit 3 à 12 fois plus qu'un individu sédentaire (Clere, 2014).

Les principales causes de carence sont l'alcoolisme, les malabsorptions et causes iatrogènes. Les symptômes d'une carence sont la fatigue, la dépression, l'insomnie. A l'inverse des autres vitamines du groupe B, une toxicité apparait pour des doses très élevées durant plusieurs mois (à partir de 150 mg/j), se manifestant par des neuropathies périphériques associées à des troubles de la marche, et des pertes de reflexe (Biesalski *et al.*, 2010).

La vitamine B6 est présente dans les viandes, poissons, légumes secs, bananes, choux-fleurs (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 23 donne les quantités en vitamine B6 présentes dans quelques aliments.

Tableau 23 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B6 ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Céréales	236	3,3 mg
Levure alimentaire	186	2,6 mg
Thon cuit	60	0,8 mg
Rognons	37	0,5 mg
Avocat	26	0,3 mg
Viande	25	0,3mg
Pommes de terre	18,3	0,2 mg

3.3.2.6. La vitamine B8 (ou biotine)

La vitamine B8 est un coenzyme responsable de la fixation du dioxyde de carbone de l'acide pyruvique. La biotine est produite par les bactéries gastro-intestinales. (Jacotot, 2003). Elle a une action sur les cellules cutanéo-muqueuses de l'organisme (Maton, 2015b).

Les ANC chez l'adulte sont de 0,1 à 0,3 mg/j. Il n'y a pas de recommandation particulière chez le sportif (Maton, 2015b).

Les carences en vitamine B8 sont très rares en raison de sa fabrication par les bactéries intestinales. Cependant, elles sont possibles et généralement dues à un défaut d'absorption ou à une diminution sévère et prolongée des apports (Bacquaert et Maton, 2009). Les symptômes sont des altérations cutanées, des commissures labiales, puis des paresthésies. En revanche une hypervitaminose avec des absorptions quotidiennes de 2,5 mg n'a aucun effet secondaire (Biesalski *et al.*, 2010)

Les légumes, les légumineux, les viandes, les noix contiennent de la vitamine B8 (McArdle *et al.*, 2004). Le tableau 24 donne les quantités en vitamine B8 présentes dans quelques aliments.

Tableau 24 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B8 (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Levure sèche	360	0,18 mg
Foie	260	0,13 mg
2 Œufs	50	0,025 mg
Champignons	24	0,012 mg
Avocat	20	0,01 mg
Huitres	20	0,01 mg
haricots	14	0,007 mg

3.3.2.7. La vitamine B9 (ou folates, acide folique)

La vitamine B9 est un coenzyme qui intervient dans la synthèse des acides nucléiques et notamment dans l'érythropoïèse. L'acide folique joue un rôle dans la prévention des maladies cardiovasculaires (McArdle *et al*., 2004). Aussi, certains pays comme les Etats-Unis ont instauré (depuis janvier 1998) l'obligation pour l'industrie alimentaire d'ajouter de la vitamine B9 dans les produits de la boulangerie (farine, pain), le riz, les pâtes pour fournir directement la vitamine B9 aux consommateurs (essentiellement pour la femme enceinte, pour diminuer le risque de défaut de fermeture du tube neural) (Ryan, 2007).

Les ANC chez l'adulte sont de 300 à 330 µg/j. Chez le sportif, un apport supplémentaire de 100 µg est estimé par tranche de 1000 kcal dépensées au-delà de 1800 kcal pour la femme et 2200 kcal pour l'homme (Maton, 2008g).

Les carences en vitamine B9 sont possibles lors de régimes déséquilibrés ou trop restrictifs. Les symptômes sont fatigue, nausée, anémie, troubles du sommeil (Daniel et Kuhn, 2012).

Les aliments les plus riches en acide folique sont le foie gras, les lentilles, les haricots, les pois chiches et les fromages fermentés (surtout type bleu) (Bacquaert et Maton, 2009) (Tableau 25) (Daniel and Kuhn, 2012). Le tableau 25 donne les quantités en vitamine B9 présentes dans quelques aliments.

Tableau 25 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B9 ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Levure	1600	3200 µg
Foie gras	283	566 µg
céréales	167	333 µg
Brie	75	150 µg
Laitue	50,5	101 µg
Asperge	50,5	101 µg
Haricots secs	40,5	81 µg

3.3.1.8. La vitamine B12 (ou cobalamine)

La vitamine B12 intervient dans la synthèse des globules rouges et dans le métabolisme des protéines corporelles (Guilland et Lequeu, 2009). Elle est impliquée dans les mécanismes de développement de la masse musculaire (Maton, 2008h).

Les ANC pour la vitamine B12 sont de 2,4 µg/j (Daniel et Kuhn, 2012). Chez le sportif, les apports sont augmentés de 1,5 µg/j en cas de dépense énergétique supérieure à 1 800 kcal/j chez la femme et 2 200 kcal/j chez l'homme (Maton, 2008h).

Une carence est possible, principalement chez les végétaliens car la cobalamine n'est apportée que par les aliments d'origine animale (Daniel et Kuhn, 2012). Les symptômes de cette carence sont l'anémie, la fatigue, les troubles neurologiques (Maton, 2008h).

Les abats, les coquillages, les viandes et les fromages sont les aliments les plus riches en cobalamine (Daniel et Kuhn, 2012). Le tableau 26 donne les quantités en vitamine B12 présentes dans quelques aliments.

Tableau 26 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B12 (“nutrition-expertise,” n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Foie d’agneau	2800	70 µg
Rognons de bœuf	1040	26 µg
Hareng fumé	472	11,8 µg
Thon	182	4,56 µg
Saumon	122	3,05 µg
Jaune d’œuf	91	2 µg
Crevettes	54	1,35 µg

3.3.2.9. La vitamine C (ou acide ascorbique)

La vitamine C favorise l'absorption du fer (Ryan, 2007). Le rôle principal de l'acide ascorbique est un rôle d'antioxydant. Il lutte contre les radicaux libres et favorise la récupération (Maton, 2013b).

Les ANC sont de 110 mg/j pour un adulte sédentaire (Maton, 2013b). Les apports conseillés pour le sportif sont de 200 mg/j, voire 300 mg/j maximum chez les sujets à hautes dépenses énergétiques (Clere, 2014).

La carence en vitamine C se nomme scorbut. Les symptômes sont la dégénérescence de la peau, des dents et des vaisseaux sanguins, ainsi que des douleurs musculaires (Biesalski *et al.*, 2010). En revanche, un excès de vitamine C engendre un changement des propriétés antioxydantes de cette dernière. La vitamine C devient pro-oxydante, ce qui nuit aux capacités de récupération et de régénération cellulaire chez le sportif (Maton, 2013b).

Les principales sources de vitamine C sont les fruits et les légumes frais, les plus riches sont les kiwis, les fraises, le persil et les poivrons (Bacquaert et Maton, 2009). L'acide ascorbique est sensible à la lumière et à l'air (ainsi un jus de fruits doit être bu frais) (Guilland et Lequeu, 2009). Le tableau 27 donne les quantités en vitamine C présentes dans quelques aliments.

Tableau 27 : Sources alimentaires contenant de la vitamine C ("nutrition-expertise," n.d.)

Aliments consommés 100 g	% AJR	Quantité
Persil	263	210 mg
Cassis	234	187 mg
Poivron rouge	220	176 mg
Kiwi	104	83,2 mg
Cresson	69	55 mg
Orange	66	53 mg
Chou-fleur	44,5	35,6 mg

3.4. Les aides ergogéniques

Les aides ergogéniques sont définies comme toutes stratégies pouvant aider à produire de l'énergie. Elles regroupent les aides matérielles, les aides pharmacologiques dopantes (comme les anabolisants), mais aussi certaines aides nutritionnelles. Parmi les compléments alimentaires ergogéniques les plus utilisés chez les sportifs, on retrouve les acides aminés branchés (AAB), la L-carnitine et la créatine (Bigard et Guezennec, 2007).

3.4.1. Les acides aminés branchés (AAB)

Les acides aminés branchés (AAB ou BCAA, pour Branched Chain Amino Acids) correspondent à la leucine, l'isoleucine, et la valine. La prise de compléments alimentaires contenant les AAB repose sur différentes hypothèses biochimiques (Bigard et Guezennec, 1997) :

- la production d'énergie via l'oxydation des AAB
- la synthèse de neurotransmetteurs

- L'oxydation des AAB dans le muscle squelettique permet une production d'énergie. Cette production d'énergie à partir de l'oxydation des AAB varie en fonction de l'intensité et de la durée de l'exercice, elle correspond entre 3 et 10 % de la production d'énergie totale (Biesalski *et al.*, 2010). Un exercice de longue durée induit une augmentation de l'utilisation des AAB. Les réserves endogènes en AAB libres sont faibles. En cas de besoins énergétiques, l'organisme les puise dans les protéines plasmatiques (albumine, hémoglobine) et musculaires (Bigard et Guezennec, 2007). La supplémentation en AAB empêche la lyse des protéines, et limite l'amaigrissement. En revanche, elle n'améliore pas les performances sportives (Bigard et Guezennec, 1997).
- Le tryptophane est un acide aminé non ramifié. Il est le précurseur d'un neurotransmetteur, la sérotonine. Il est impliquée dans l'induction du sommeil, de la réduction de l'excitabilité neuronale (Bigard et Guezennec, 2007) et responsable de la fatigue centrale (Newsholme et Blomstrand, 2006). L'entrée du tryptophane dans le système nerveux central est en concurrence avec les acides aminés branchés. Le rapport des concentrations en tryptophane sur celui des AAB agit ainsi directement sur la fatigue centrale. Ainsi, une augmentation de ce rapport favorise l'entrée du tryptophane dans le système nerveux et induit une formation de sérotonine (Bigard et Guezennec, 1997). Sur cette hypothèse, un apport en AAB diminue l'apparition de la fatigue. Selon van Hall *et al.* (1995), une supplémentation en tryptophane sur un groupe de dix athlètes d'endurance n'augmente pas les performances physiques et n'induit pas de diminution d'apparition de la fatigue centrale. Cette étude remet en cause les hypothèses sur les altérations fonctionnelles de l'augmentation du rapport tryptophane/AAB.

Les besoins quotidiens en AAB pour le sportifs sont estimés à 45 mg/kg/j pour la leucine, 30 pour la valine et 20 pour l'isoleucine (Boutry *et al.*, 2008).

Une supplémentation en AAB de l'ordre de 3 à 4 g/j lors des exercices de longues durées dans une boisson glucosée, permet de limiter la protéolyse musculaire, sans améliorer les performances physiques, tout en évitant l'apparition d'une fatigue (Bigard et Guezennec, 1997).

3.4.2. La L-carnitine

La L-carnitine est une amine quaternaire (Figure 11). La plupart de la L-carnitine dans l'organisme se trouve dans le muscle squelettique et dans le myocarde (98%). La L-carnitine est soit synthétisée dans le foie et dans les reins à partir de deux acides aminés (lysine et méthionine), soit elle provient des apports alimentaires (Bigard et Guezennec, 2007). L'organisme contient 20 g de carnitine (Le Borgne et Demarquoy, 2003). Le renouvellement de la L-carnitine dans l'organisme est lent, il n'existe pas de voie de dégradation et elle est réabsorbée au niveau rénal (Le Borgne et Demarquoy, 2003). Cependant, l'élimination urinaire de la carnitine augmente avec l'intensité de l'effort (Biesalski *et al.*, 2010).

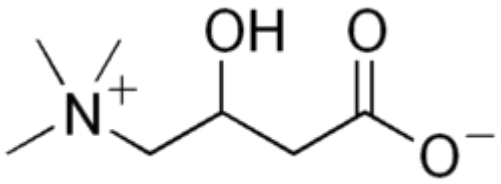


Figure 11 : Structure chimique de la carnitine (Edgar, 2007)

La principale fonction de la L-carnitine est de permettre le transport des acides gras à travers les membranes mitochondriales, pour la production d'énergie par l'intermédiaire des β-oxydations (Biesalski *et al*., 2010). La L-carnitine joue aussi un rôle dans le métabolisme du coenzyme A (Bigard et Guezennec, 2007).

En théorie, un apport supplémentaire en carnitine devrait conduire à plusieurs effets (Bigard et Guezennec, 2007):

- augmenter l'oxydation des acides gras et préserver le glycogène musculaire.
- réduire la masse grasse.
- restaurer les réserves en carnitine lors d'un effort.

De nombreuses études ont été faites sur les propriétés ergogéniques d'un apport en carnitine, pour montrer les effets sur la consommation maximale d'oxygène (VO2max), le quotient respiratoire (QR), les performances (temps d'endurance, vitesse…), le rythme cardiaque (RC), et l'oxydation des acide gras (Bigard et Guezennec, 2007; Le Borgne et Demarquoy, 2003). Les résultats d'une vingtaine d'études menées entre 1985 et 2002 sont rassemblés d'après Le Borgne and Demarquoy (2003) dans le tableau de l'annexe 4. Dans ce tableau, on observe que la carnitine ne modifie pas les performances et les variables physiologiques des athlètes.

Une administration de L-carnitine chez l'homme en bonne santé est inefficace pour améliorer le travail musculaire lors d'efforts de longue durée (Karlic et Lohninger, 2004).

3.4.3. La créatine

La créatine est un composé organique (Figure 12) se trouvant en majorité dans le muscle squelettique (95 à 98 %). Elle existe sous forme libre ou sous phosphorylée, la phosphocréatine (PCr) (Bigard et Guezennec, 2007). La créatine est synthétisée soit par l'organisme, soit apportée par l'alimentation. La synthèse endogène de la créatine s'effectue dans le foie, les reins et le pancréas à partir d'acides aminés comme la glycine, l'arginine, ou la méthionine. Les apports exogènes se trouvent dans l'alimentation, essentiellement la viande, et le poisson. La PCr représente les deux tiers des réserves de créatine. Les fibres

musculaires de type rapide (Annexe 5) contiennent plus de PCr que les fibres musculaires lentes (Bigard et Guezennec, 2007).

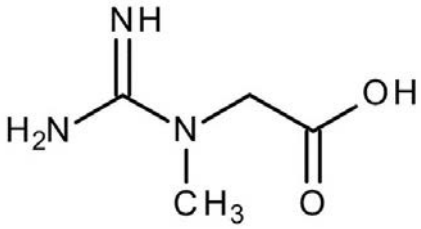


Figure 12 : Structure chimique de la créatine (Merck, 2015)

La PCr agit dans la resynthèse d'ATP (voir annexe 1) lors d'un exercice intense et de courte durée (Biesalski *et al.*, 2010). La quantité de PCr est un facteur limitant dans un travail musculaire de force. La période de resynthèse de la PCr est le temps de récupération. Il faut 1 min de repos pour restaurer la moitié des réserves de PCr et environ 5 à 6 min pour synthétiser la totalité (Bigard et Guezennec, 2007).

L'ingestion de 5 g de créatine, 4 fois par jour, permet d'augmenter de 20 % la concentration de créatine musculaire. Cependant, seuls 20 % de cette augmentation permet de former de la PCr, ce qui signifie une augmentation de 4 % de la PCr dans le muscle (Bigard et Guezennec, 2007). Des études ont été faites sur les performances physiques lors de l'ingestion de 20 g de créatine pendant plusieurs jours. Ces études démontrent une amélioration des performances c'est-à-dire au niveau des forces, puissances et vitesses lors d'exercice intenses et de courte durée. Cependant, cette amélioration est observée chez des individus peu entrainés ou sédentaires. Les études de la supplémentation en créatine lors d'exercices prolongés n'ont démontré aucun effet sur les performances (Bigard et Guezennec, 2007).

Il existe bien un effet ergogénique d'une supplémentation en créatine, un apport de 20 à 25 g/j pendant une courte période permet d'augmenter les performances physiques sur des exercices de courte durée de l'ordre d'une dizaine de secondes, mais chez le triathlète, cette supplémentation sera inutile (Bigard et Guezennec, 2007).

4. REGIME ALIMENTAIRE DU TRIATHLETE AVANT ET PENDANT LA COMPETITION

Le régime alimentaire du triathlète doit s'adapter pour pallier aux futures pertes énergétiques et hydriques lors de l'épreuve sportive. Pour ceci, le sportif prépare son organisme afin de se donner la possibilité d'exploiter au maximum ses capacités avant la compétition. Ensuite, durant l'épreuve sportive, le triathlète apportera plusieurs nutriments indispensables à la performance et à la santé.

Le triathlète, comme les individus sédentaires, a besoin de tous les nutriments pour couvrir toutes ses dépenses énergétiques et pertes quotidiennes. Ces nutriments sont apportés par une alimentation « équilibrée ». Des recommandations accompagnées de repères nutritionnels ont donc été mises en place par différents organismes comme l'INPES (Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé) à travers le PNNS (Programme National Nutrition Santé) (voir Figure 13) :

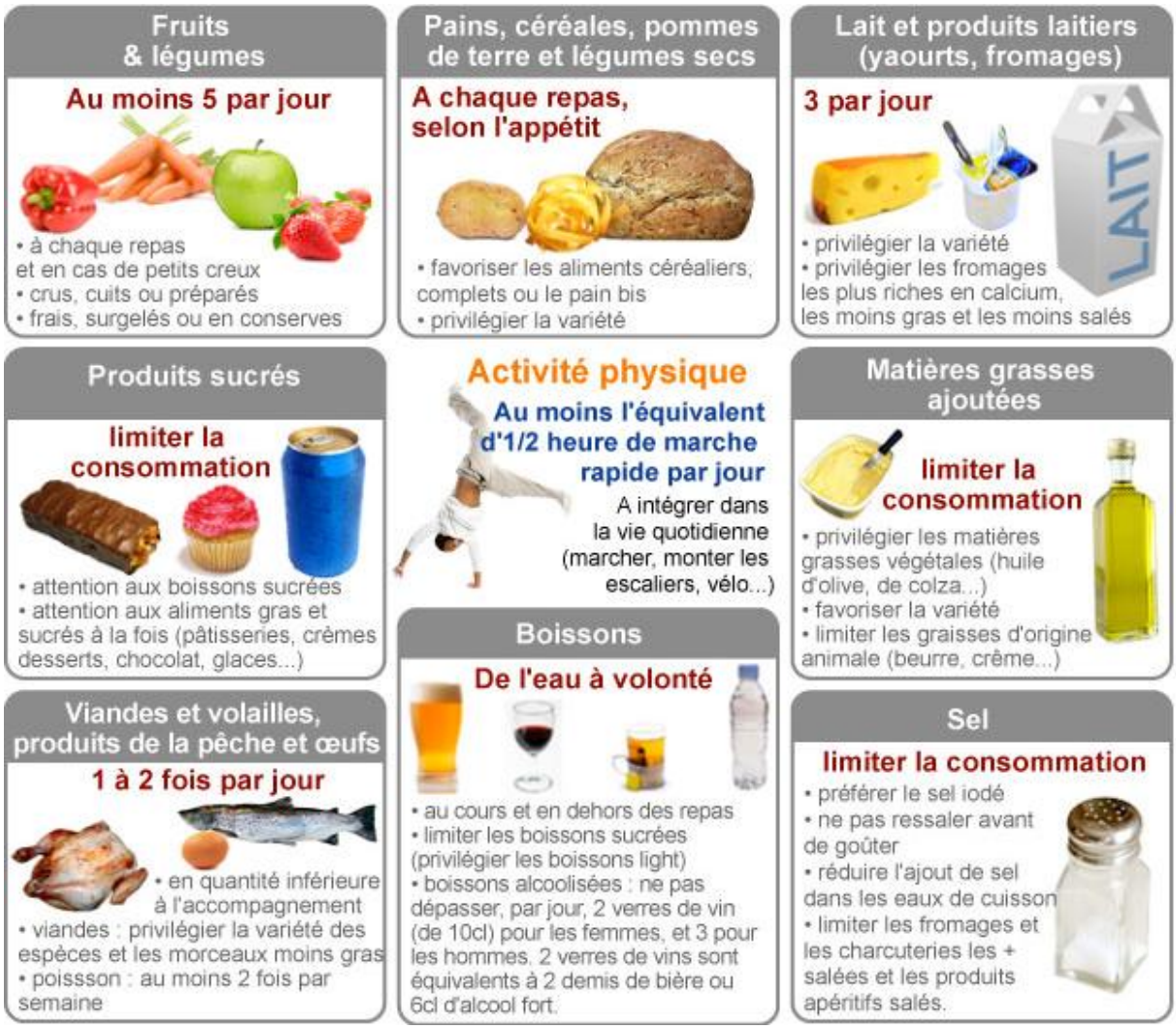


Figure 13 : Repères de consommation (AFSSA, n.d.)

- Les boissons (eau à volonté, le café et le thé modérément, 1 à 2 tasses par jour, éventuellement un peu de vin) sont à consommer pendant et entre les repas (Daniel et Kuhn, 2012).
- Les fruits et légumes (avec une légère prédominance pour les légumes (Daniel et Kuhn, 2012)) sont à consommer à chaque repas. Cette consommation est constituée de cinq à sept portions de 80 à 100 g par jour (une portion équivaut à une pomme, deux abricots ou quatre ou cinq fraises) (Mangerbouger, n.d.).
- Les féculents (pains, pommes de terre, pâtes, légumes secs, céréales) sont à consommer selon l'appétit. Ils se consomment à tous les repas. La quantité nécessaire est de trois à cinq portions de 100 g (Mangerbouger, n.d.).
Les féculents et les légumes sont généralement répartis à part égale pour le sportif. Chez un individu sédentaire, la consommation s'ajuste sur un tiers de féculent, et deux tiers de fruits/légumes (Daniel et Kuhn, 2012).
- Les viandes, et œufs sont à consommer à raison de 2 portions de 100 g par jour (une portion équivaut à 2 œufs). Les quantités de ces derniers dans l'assiette sont inférieures à l'accompagnement (féculent et légumes). Il est recommandé de privilégier la variété des espèces en limitant les morceaux moins gras (Mangerbouger, n.d.). Le poisson est à consommer au minimum deux fois par semaine, en essayant d'insister sur les poissons gras (Daniel et Kuhn, 2012).
- Les produits laitiers sont à consommer à raison de 3 portions par jour (une portion équivaut à 1 yaourt, 100 g de fromage blanc, 30 g de fromage à pâte dure, ou 1 verre de lait) (Mangerbouger, n.d.).
- La consommation des matières grasses est à limiter (15 à 20 g) et à varier en prenant préférentiellement des huiles végétales, plus riches en oméga 3 (Mangerbouger, n.d.).
- La consommation des produits sucrés (sodas, gâteaux, friandises, confiture) est à limiter également. Les produits sucrés sont compatibles avec un bon état nutritionnel, comme un peu de confiture (20 g) au petit déjeuner ou quelques biscuits pour le gouter.
- La consommation de sel est limitée à 6 g par jour pour un adulte, ce qui correspond à 2,4 g de sodium (Mangerbouger, n.d).

Chez un sportif la répartition des apports alimentaires est la suivante (Figure 14) :

- Les glucides représentent 55 à 65 % de l' apport énergétique total quotidien (AETQ) (Bacquaert et Maton, 2009), soit 5 à 8 g/kg/j (Daniel et Kuhn, 2012).
- La part des lipides est autour de 20 à 30 % de l'AETQ (Bacquaert et Maton, 2009), soit 1,5 à 1,7 g/kg/j (Daniel et Kuhn, 2012).
- Les protéines représentent 12 à 15 % de l'AETQ (Bacquaert et Maton, 2009), soit 1,2 à 1,7 g/kg/j (Daniel et Kuhn, 2012).

Soit des apports énergétiques totaux équivalant de 3000 à 3200 kcal/j

En comparaison à celle des individus sédentaires (CNERNA, 2000) (Figure 14):

- Les glucides représentent 50 à 55 % de l'AETQ soit 5 à 6 g/kg/j
- Les lipides représentent 30 à 35 % de l'AETQ soit 1 à 1,2 g/kg/j
- Les protéines représentent 10 à 15 % de l'AETQ soit 0,7 à 1 g/kg/j

Soit des apports énergétiques totaux équivalant de 2400 à 2600 kcal/j

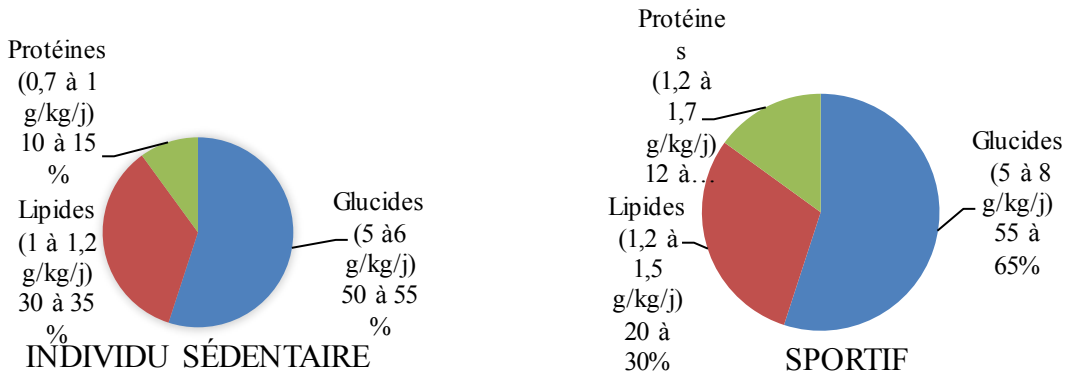


Figure 14 : Répartition des apports énergétiques totaux chez l'individu sédentaire (CNERNA, 2000) et chez le sportif (Bacquaert et Maton, 2009)

Cette base d'équilibre alimentaire est à prendre en compte au quotidien. A l'approche d'une compétition de triathlon de longue durée, certaines modifications peuvent ensuite se concevoir dans le but de préparer l'organisme du triathlète à cette épreuve. Ces modifications sont développées dans le paragraphe suivant (Bacquaert et Maton, 2009).

4.1. Le régime alimentaire avant la compétition

Le régime alimentaire pour aborder une compétition débute quelques jours avant dans le but de disposer de l'énergie nécessaire pour aborder l'épreuve dans les meilleures conditions. Le régime a pour but d'éviter l'épuisement des réserves énergétiques, en augmentant les réserves. Le régime retarde également la survenue de la fatigue. La fatigue est définie comme une diminution de la force, de la puissance ou de la vitesse requise ou espérée au cours d'un exercice (Edwards, 1983).

La fatigue sur une épreuve d'endurance est due à l'épuisement des réserves de glycogène (qui est le principal fournisseur d'ATP) (Daniel et Kuhn, 2012). Les réserves en glycogène (voir 2.3.1.) chez l'homme sont musculaire (500 g) et hépatique (150 g), elles dépendent exclusivement des apports alimentaires. Un jeûne de 48h réduit de 80 % le glycogène hépatique, tandis qu'une alimentation hyperglucidique pendant 24h peut augmenter de 200 % les réserves de glycogène hépatique (Bigard and Guezennec, 2007). L'amélioration des performances (c'est à dire de la force, de la puissance ou de la vitesse requise ou espérée au cours d'un exercice) lors d'un exercice d'endurance sous l'effet d'un régime riche en glucides a été démontrée il y a 80 ans (Christensen et Hansen, 1939). Il est précisé que les réserves glycogéniques totales classiques (650 g) n'ont aucune influence sur la performance lors d'exercices d'efforts maximaux inférieurs à 90 min (Bigard et Guezennec, 2007 ; Sedlock, 2008), car les réserves en glycogène musculaire permettent de tenir un effort de 90 min à 75 % de VO_2max (voir 2.3.1). En effet, le taux de glycogène musculaire n'agit pas sur le débit

de la glycogénolyse, ni par conséquent sur les performances (Bigard et Guezennec, 2007). Lors d'efforts supérieurs à 90 min, l'augmentation des réserves en glycogène permet une augmentation moyenne des performances de 4 %, c'est-à-dire une augmentation du temps de course à forte intensité (Wu *et al.*, 2003). Cette augmentation des performances est assez variable d'un individu à l'autre, elle est liée aux différentes adaptations métaboliques de chacun en fonction du niveau d'entrainement (Bigard et Guezennec, 2007). La nature de l'apport glucidique est important, l'ingestion de glucides avec un index glycémique (IG) faible augmente le stockage du glycogène musculaire avant l'effort (Wu *et al.,* 2003 ; Wu et Williams, 2006).

Les seconds nutriments pouvant être utilisés pour la production d'énergie, sont les lipides en particulier les acides gras saturés (voir 2.3.2). Un régime hyperlipidique pendant plusieurs jours permet une augmentation de l'oxydation des acides gras. Cette augmentation épargne les réserves en glycogène. Cependant, selon les études recensées par Bigard *et al* (2004), ces études montrent un effet délétère sur les performances (baisse de vitesse, de force) (Bigard *et al.*, 2004). De plus, la prise d'un repas hyperlipidique 4 h avant un effort, n'augmente pas l'endurance de cet exercice (Bigard et Guezennec, 2007).

La déshydratation est un facteur de diminution des performances, il est donc préférable d'arriver suffisamment hydraté avant une compétition (Daniel et Kuhn, 2012). Un état d'hydratation "normal" est appelé euhydratation. Cet état est en pratique apprécié selon différents critères (Guezennec, 2011) :

- Un poids corporel stable d'un jour à l'autre en admettant une variation de 0,5 kg
- Un apport de boissons quotidien permettant un débit urinaire suffisant et une concentration urinaire stable d'un jour à l'autre
- Des paramètres biologiques sanguins permettant d'exclure une hémoconcentration

Le statut minéral optimal est recommandé avant une épreuve pour éviter les risques de crampes.

En résumé, les jours précédant l'épreuve, il est recommandé d'augmenter les réserves hépatiques en glycogène. Il existe plusieurs protocoles différents par la durée pour y parvenir :

- un régime énergétique sur six jours
- un régime énergétique sur trois jours
- un régime énergétique sur un jour

4.1.1. Régime permettant d'augmenter les réserves glycogéniques sur 6 jours

Le régime sur 6 jours avant une compétition se nomme régime dissocié scandinave (RDS). Historiquement, ce régime tient son nom de chercheurs scandinaves, qui l'ont mis au point dans les années 60 pour les skieurs de fond. Le RDS se décompose en deux périodes de 3 jours, une période hypoglucidique pour épuiser les réserves en glycogène et une autre hyperglucidique (Richard, 2014a).

- La première période de 3 jours (de J-6 à J-4) est dite hypoglucidique en opposition au régime alimentaire de l'individu sédentaire (voir 4.). L'alimentation est répartie de la manière suivante : 50 à 55 % de lipides, 30 à 35 % de protéines et 10 à 20 % de glucides. Le but de cette période est d'épuiser les réserves de glycogène. En effet, à la suite d'une déplétion complète en glycogène, la glycogénogénèse est plus importante, ce qui permet d'obtenir des concentrations en glycogène très élevées lors de la réintroduction des glucides dans l'alimentation (Bigard et Guezennec, 2007).

Afin d'épuiser ces réserves, le sportif effectue un entrainement de 90 min à 75 % de la VO_2max le premier jour du régime, pour vider les stocks de glycogène musculaire. Le deuxième et troisième jour, l'activité physique est maintenue à un effort d'intensité plus faible (Daniel et Kuhn, 2012). Les aliments conseillés pendant la première période sont les viandes (porc, agneau, bœuf, gibier, veau, abats), la charcuterie, les œufs, le beurre, les huiles, l'utilisation des produits sucrés est à limiter.

Un exemple de menu d'une journée en phase hypoglucidique (environ 2800 kcal)(Kuhn et Daniel, 2014) (ANSES, 2013) est donné tableau 28 :

Tableau 28 : Exemple de menu d'une journée en phase hypoglucidique (Kuhn et Daniel, 2014) (ANSES, 2013)

	Aliments	Glucides (g)	Lipides (g)	Protéines (g)	Energie* (kcal)
Petit déjeuner	1 café ou thé sans sucre (100 mL)	traces	0,1	0,3	2,1
	60 g de fromage hollandais (mimolette)	0	15,4	14,9	198,2
	1 tartine de pain (20 g)	11,3	0,3	1,9	55,5
	1 pomme (150 g)	16,9	0,2	0,5	71,4
	2 yaourts sans sucre (250g)	12,3	0,7	10,4	97,1
Déjeuner	1 œuf dur (50 g)	0,3	4,3	6,8	67,1
	150 g de côte de porc	0	28,6	38,7	412,2
	200 à 300 g de haricots verts au beurre	5,6	0,3	3	37,1
	60 g de gruyère	0,8	20	16,3	248,4
	1 tartine de pain (20 g)	11,3	0,3	1,8	55,1
Collation	1 crème anglaise sans sucre (100 g)	17,7	3,2	2,8	110,8
Diner	150 g de poulet rôti	traces	14,8	43,2	306
	Beignets de légumes (200 g)	25,8	19,8	8,4	315
	Fromage blanc sans sucre (150 g)	5,5	4,8	11,3	110,4
	1 poire (100g)	10,8	0,2	0,4	46,6
	1 tartine de pain (20 g)	11,3	0,3	1,8	55,1
	Total	129,6 soit 23,7 %	113,3 soit 46,6 %	162,7 soit 29,7 %	2188,1

*calcul établi sur la base : 1 g de glucides = 4 kcal ; 1 g de lipides = 9 kcal ; 1 g de protéines = 4 kcal

- La deuxième période de 3 jours (de J-3 à J-1) est dite hyperglucidique. L'alimentation est composée de glucides à hauteur de 70 % de l'AETQ, soit 8 à 10 g/kg/j de glucides (Daniel et Kuhn, 2012). Au début de cette phase hyperglucidique, le sportif effectuera un premier entrainement à jeun, il sera immédiatement suivi d'un petit déjeuner copieux, essentiellement composé de sucres simples (Po, 1966). L'entrainement est diminué voire arrêté pendant cette période. Pendant ces trois jours, l'athlète doit peser ses aliments pour maintenir un apport calorique constant (Bigard et Guezennec, 2007).

Un exemple de menus d'une journée en phase hyperglucidique (environ 2800kcal)(Kuhn et Daniel, 2014) (ANSES, 2013) est donné dans le tableau 29 :

Tableau 29 : Exemple de menus d'une journée en phase hyperglucidique (Kuhn et Daniel, 2014) (ANSES, 2013)

	Aliments	Glucides (g)	Lipides (g)	Protéines (g)	Energie* (kcal)
Petit déjeuner	250 mL de lait écrémé avec du thé	11,7	0,4	8,6	84,8
	65 g de pain	37	1	6,1	181,4
	125 mL de jus d'orange	11,3	0,1	0,9	49,7
	200 g de semoule au caramel au lait écrémé	45	6,5	6,8	265,7
	20 à 50g de confiture	32	0,4	0,2	132,4
Déjeuner	100 g de rôti de veau	traces	4	21	120
	300 g de pâtes	95,4	4,4	17,4	490,8
	1 pomme (150 g)	16,9	0,2	0,5	71,4
	5 biscuits secs (45 g)	29,1	9,8	3,4	218,2
	65 g de pain	37	1	6,1	181,4
Collatio	1 barre de céréale (25 g)	15,8	4,6	1,8	111,8
Dîner	Salade composée avec 15 cL d'huile d'olive (100 g)	8,8	17,1	8,1	221,5
	100 g de tomates (ou asperges ou carottes)	2	0,2	0,9	13,4
	200 g de pommes de terre	38,2	0,4	3,8	171,6
	2 œufs (100 g)	0,6	8,6	13,5	133,8
	1 riz au lait écrémé (100 g)	20,7	3,1	3,2	123,5
	1 poire (100 g)	10,8	0,2	0,4	46,6
	65 g de pain	37	1	6,1	181,4
	Total	449,3 soit 64,8%	63 soit 20,4%	108,8 soit 14,8%	2799,4

*calcul établi sur la base : 1 g de glucides = 4 kcal ; 1 g de lipides = 9 kcal ; 1 g de protéines = 4 kcal

Le régime dissocié scandinave présente parfois des effets secondaires, car la poursuite de l'entrainement lors de la phase hypoglucidique, engendre fatigue, avec sensation de faim, et risques de blessures (par manque de lucidité) (Richard, 2014b). Enfin la modification du régime alimentaire engendre accélération du transit et risque de diarrhée à cause des brusques variations de lest cellulosique (Bigard et Guezennec, 2007). Le RDS doit être mis en place au maximum, deux fois par an pour éviter les adaptions physiologiques pour que ce régime soit efficace. Il existe plusieurs versions du régime avec des durées diminuées, comme par exemple le RDS sur 5 jours (2 jours de phase hypoglucidique et 3 jours de phase hyperglucidique), ou celui sur 4 jours (deux périodes de 2 jours) (Crestetto, n.d.).

4.1.2. Régime permettant d'augmenter les réserves glycogéniques sur 3 jours

Le régime pour augmenter les réserves sur 3 jours est recommandé car il présente moins d'inconvénient que le RDS. La majeure partie de la surcompensation est obtenue avec seulement 3 jours d'un régime comprenant 70 % de glucides sans phase hypoglucidique préalable (Costill, 1988). A noter que les sportifs n'ont pas besoin d'exercer un entrainement intensif initial pour épuiser les réserves glycogéniques comme sur un RDS pour décupler la mise en réserve des stocks de glycogène. Un entrainement léger durant les 3 jours, couplé à une ration hyperglucidique permet une recharge glucidique efficace (Bigard et Guezennec, 2007). La composition des repas est la même que celle de la phase hyperglucidique du RDS.
Lors de cette phase, l'augmentation de l'apport glucidique accroît le volume des repas, ce qui peut induire à court terme, une sensation de satiété. Les boissons dites "malto" permettent d'apporter de grandes quantités de glucides. Ces boissons sont souvent présentes sous forme de poudre, qui contient de la maltodextrine (Daniel et Kuhn, 2012).

La maltodextrine est composée de nombreuses molécules de glucose. Les boissons "malto" ont un goût neutre et une osmolarité faible (ce qui réduit le risque de troubles digestifs). Elles sont utilisées par les sportifs d'endurance lors d'une recharge glucidique les jours précédant une compétition. Les doses recommandées par les différents fabricants sont 150 g de maltodextrine par jour, sur 3 jours. Elles ne doivent être utilisées qu'en complément d'une alimentation normoglucidique (c'est à dire 55 à 65 %) (Koulmann et Bigard, 2007).

4.1.3. Régime permettant d'augmenter les réserves glycogéniques sur une journée

L'augmentation des réserves glycogéniques peut être envisagée sur 24 h la veille de l'épreuve. La quantité de glucides ingérés lors de cette période est de 8 à 10 g par kilogramme de poids corporel, elle permet d'atteindre un niveau de recharge glucidique important à condition de ne pas pratiquer d'activité physique durant cette journée. Les repas pris durant cette période sont semblables au niveau des proportions en glucides (hyperglucidique) aux deux méthodes précédentes (Daniel et Kuhn, 2012). Ce régime sur une journée est cependant moins conseillé qu'un régime sur trois jours pour effectuer un triathlon de longue durée.

4.1.4. L'alimentation la veille et le jour de l'épreuve

Le but de ces repas et de maintenir les réserves glucidiques de l'organisme au plus haut niveau.
- La veille de l'épreuve se déroule la traditionnelle « pasta party ». La « pasta party » est un repas constitué de pâtes prévu par l'organisateur d'une épreuve d'endurance. Cet avant-dernier

repas n'est ni trop abondant, ni trop difficile à digérer. L'athlète doit éviter les sauces relevées et les aliments gras, ainsi que les fibres pour optimiser le confort digestif (Bigard et Guezennec, 2007).
Un exemple de repas de veille de compétition (pour un sportif de 70kg) (Daniel et Kuhn, 2012) (ANSES, 2013) est donné tableau 30 :

Tableau 30 : Exemple de repas de veille de compétition (Daniel et Kuhn, 2012) (ANSES, 2013)

Aliments	Glucides (g)	Lipides (g)	Protéines (g)	Energie* (kcal)
250 g de pâtes cuites avec de l'huile d'olive	74,3	11,9	12,1	452,7
125 g de blanc de poulet	traces	2,2	32,8	151
150 g de courgettes épépinées, pelées et cuites	3,5	0,5	1,7	25,3
1 yaourt (125 g)	6,4	0,4	5,4	50,8
2 kiwis ou 250 g de compote de pomme	55	0,6	0,8	228,6
Total	139,1 soit 61,3%	15,5 soit 15,4%	52,8 soit 23,3%	907,1

*calcul établi sur la base : 1 g de glucides = 4 kcal ; 1 g de lipides = 9 kcal ; 1 g de protéines = 4 kcal

- Le jour de l'épreuve, l'apport de glucides se poursuit. Cependant le choix des glucides intervient. Les glucides rapides induisent une sécrétion d'insuline qui induit une hypoglycémie réactionnelle. Les glucides simples comme le glucose ont un fort pouvoir osmolaire, ce qui ralentit l'évacuation des liquides au niveau digestif et perturbe l'hydratation (voir 4.2.1.) (Satabin *et al.*, 1994). Ces inconvénients poussent à choisir la prise de glucides complexes dans les heures précédant la compétition. Le repas est terminé trois heures avant le début de l'épreuve pour que la vidange gastrique soit effectuée (voir annexe 6). Les graisses et fibres sont limitées afin de faciliter le confort digestif. La quantité de glucides est de 1 à 2 g par kilogramme de poids corporel et de 0,15 à 0,25 g pour les protéines.

Un exemple de petit déjeuner et déjeuner juste avant la compétition (pour un sportif de 70kg) (Daniel et Kuhn, 2012) (ANSES, 2013) est donné tableau 31 :

Tableau 31 : Exemple de petit déjeuner et déjeuner juste avant la compétition (ANSES, 2013; Daniel et Kuhn, 2012)

	Aliments	Glucides (g)	Lipides (g)	Protéines (g)	Energie* (kcal)
Petit déjeuner	125 g de pain	70,8	1,8	11,7	346,2
	1 yaourt nature (100 g) 0 % avec 20 g de miel	21,3	0,3	4,4	105,5
	200 g de compote de pommes	44	0,4	0,6	182
	1 thé (100 mL)	traces	0	0,1	0,4
Déjeuner	100 g de riz	28,7	0,9	2,5	132,9
	1 œuf mollet (50 g)	0,4	4,7	6,3	69,1
	1 yaourt (100 g) 0 % avec 15 g de miel	17,3	0,3	4,4	89,5
	1 banane (100 g)	20,5	0,2	1,2	88,6
	Total	203 soit 80,1%	8,6 soit 7,6%	31,2 soit 12,3%	1014,2

*calcul établi sur la base : 1 g de glucides = 4 kcal ; 1 g de lipides = 9 kcal ; 1 g de protéines = 4 kcal

4.2. Le régime alimentaire lors de la compétition

Le régime alimentaire avant la compétition permet d'augmenter les réserves énergétiques de l'organisme. Cependant, les dépenses énergétiques lors d'un triathlon longue distance, dont la durée est de 8 à 18 h, sont très importantes de l'ordre de 7 000 à 8 000 kcal (voir 2.2.), il est donc nécessaire d'apporter de l'énergie lors de l'épreuve. D'une manière plus générale, les apports en glucides doivent être compris entre 30 et 80 g par heure d'effort (Daniel et Kuhn, 2012). De plus, durant la compétition, la transpiration engendre une déshydratation (voir 3.1.3.), il est donc tout aussi nécessaire d'apporter de l'eau pour combler à cette perte. Cette énergie et cette eau sont apportées par l'alimentation durant le triathlon. Le régime alimentaire lors de la compétition se divise en deux formes différentes : une alimentation liquide et une alimentation solide.

4.2.1. L'alimentation liquide : les boissons de l'effort

L'alimentation liquide vise à apporter de l'eau et des électrolytes (sodium, chlore, potassium) qui sont essentiellement perdus lors de la transpiration (voir 3.1.1.), ainsi que des glucides. Tous ces éléments sont réunis dans les boissons dites de l'effort (Daniel et Kuhn, 2012).

La (ré) hydratation comporte plusieurs étapes successives. La première étape est l'acte de boire, qu'il soit spontané ou imposé. Puis deux étapes du processus digestif suivent, ce sont la vidange gastrique et l'absorption intestinale qui permettent de distribuer l'eau dans l'organisme (Bigard et Guezennec, 2007).

4.2.1.1. La prise de boisson :

La prise de boisson est stimulée par la soif dans les conditions standard de repos, il en est autrement lors d'un exercice. La prise de boisson pendant l'exercice varie en fonction des caractères organoleptiques de la boisson tels que son goût, sa température, sa couleur ou son odeur. Si ces caractères sont reconnus comme agréables, ils favorisent la consommation, et au

contraire limitent la réhydratation si ils sont perçus comme désagréables (Bigard et Guezennec, 2007). Selon Hubbard *et al.* (1984), la prise spontanée de boisson est favorisée lorsque l'eau est aromatisée et la température de l'eau voisine de 15° C (Figure 15).

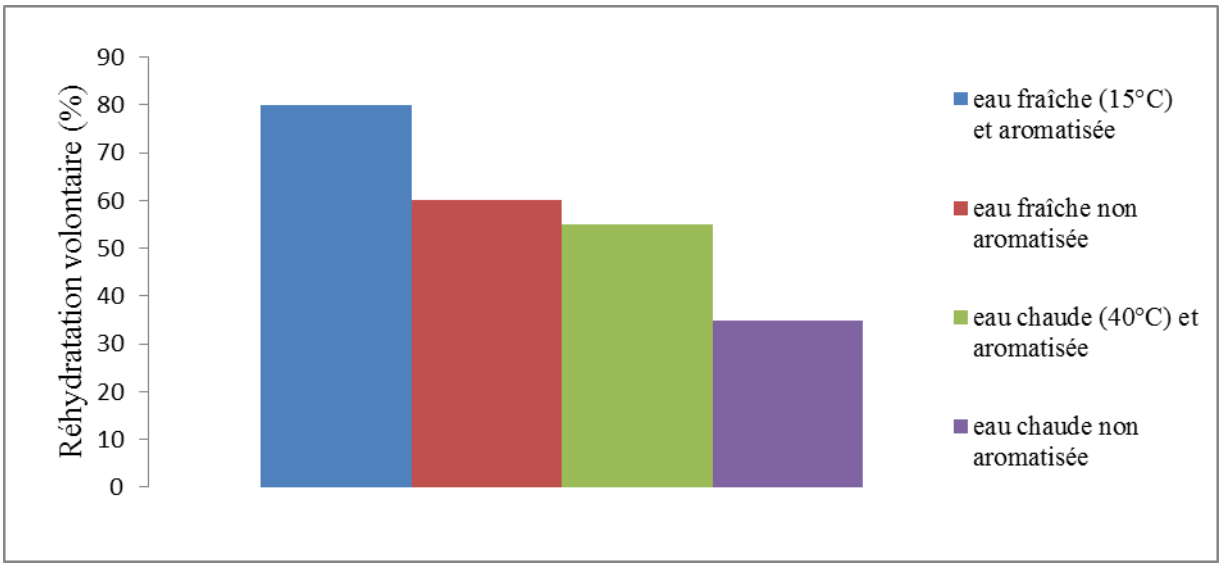


Figure 15 : Effets respectifs et combinés de la température et de l'arôme sur la prise spontanée de boisson (Hubbard *et al.*, 1984)

La prise de boisson est également influencée par le type d'exercice. Lors d'un triathlon, il est très difficile de boire pendant la natation. En revanche, sur la partie cyclisme, l'ingestion de boisson est plus facile. Pour la course à pied, la coordination des mouvements et la sensation de plénitude gastrique limitent l'envie de boire (Bigard et Guezennec, 2007).

4.2.1.2. La vidange gastrique :

La vidange gastrique est influencée par le volume ingéré, l'osmolarité des boissons, leur température, et l'intensité de l'exercice (Guezennec, 2011).

- La vidange gastrique augmente avec le volume de boisson ingérée. Selon Mitchell et Voss (1991), le débit d'évacuation gastrique est linéaire jusqu'au niveau de remplissage de 600 mL à 1000 mL. L'ingestion d'un volume important d'eau (600 mL) stimule une vidange gastrique. Cependant l'ingestion répétée de grands volumes à intervalles de temps rapprochés augmente la fréquence des douleurs abdominales liées à la distension gastrique (Rehrer, 2001). Il existe de très grandes variabilités interindividuelles de vidange gastrique, qui sont expliquées par l'adaptation des sujets à consommer de grands volumes. Il est nécessaire de tester ces stratégies à l'entrainement pour éviter les troubles digestifs (Guezennec, 2011). En conclusion, un volume de 2 mL d'eau par kilogramme de poids corporel toutes les 15 à 20 minutes permet d'obtenir une vidange gastrique rapide, tout en évitant la survenue de trouble gastrique (Rehrer *et al.*, 1990).

- L'osmolarité des boissons ingérées influence la vidange gastrique. L'osmolarité est la concentration d'une solution ionique (contenant du sodium, chlorure, potassium...) ou non ionique (glucose, urée...) par litre de solution (unité en mOsm/L ou milliosmole par litre). Une

solution est dite isotonique (ou iso-osmotique) lorsque sa concentration est égale à celle du plasma sanguin (305 +/- 5 mOsm/L) (Daniel et Kuhn, 2012).
La vitesse de vidange de l'estomac diminue avec l'augmentation de l'osmolarité d'une solution glucosée. En pratique, la concentration en glucides d'une boisson de l'effort ne doit pas dépasser 10 % de la solution préparée (ce que l'on trouve dans une boisson de type coco-cola) (Guezennec, 2011). Une osmolarité élevée de la boisson ingérée est un facteur limitant de la vidange gastrique et réduit la disponibilité de l'eau dans l'organisme. L'utilisation de polymères de glucose (maltodextrine), ou de fructose permet de diminuer l'osmolarité d'une solution tout en conservant sa charge énergétique. Selon les recommandations de l'American College of Sports Medicine (2009), la concentration en glucides d'une boisson de l'effort doit se limiter entre 6 et 8 %.
Il est utile de varier les concentrations des solutés glucidiques en fonction des conditions climatiques. Dans un climat chaud et humide, l'apport d'eau est à privilégier au détriment de la quantité de glucides qu'une boisson de l'effort puisse contenir, et dans ces conditions il convient de diminuer la concentration en glucose lorsque les volumes ingérés doivent être plus grands (Tableau 32) (Guezennec, 2011).

Tableau 32 : Concentrations recommandées en glucides selon les conditions de pratique (Guezennec, 2011)

Conditions de pratique (à intensité et durée égale)	Concentrations en glucides
Température froide (inférieur à 15°C)	60 g/L
Température modérée (entre 15 et 25°C)	40 g/L
Température chaude (supérieur à 25°C)	20 g/L

La concentration en électrolytes (sodium, chlorure, potassium) d'une boisson de l'effort a une influence sur la vidange gastrique. En effet, la vidange gastrique d'une solution isotonique de chlorure de sodium (9 g/L) est plus rapide que celle de l'eau. Toutefois, l'addition de chlorure de sodium ou de potassium en excès dans les boissons de l'effort n'a aucune conséquence sur la vitesse de la vidange gastrique (Bigard et Guezennec, 2007).

- La température joue un rôle plus modeste. L'estomac accélère la vidange gastrique lorsque des boissons fraîches sont consommées (Guezennec, 2011). Cependant, les boissons glacées (température inférieure à 5 °C) ont un effet inhibiteur sur la thermorégulation en agissant sur les récepteurs thermiques profonds (Bigard et Guezennec, 2007). Il paraît plus judicieux de conseiller la consommation de boissons fraiches (entre 10 et 15 °C) qui pourront participer au refroidissement interne de l'organisme et favoriseront la prise spontanée comme vu dans le paragraphe 4.2.1.1. (Guezennec, 2011).

- L'intensité de l'exercice est un facteur de contrôle de la vidange gastrique. Les efforts d'intensité faible à moyenne n'ont aucune incidence sur la vidange. Par contre, lors d'efforts au-delà de 70 % de la VO_2max, la vidange est ralentie quel que soit le sport pratiqué (Guezennec, 2011). Ce ralentissement de la vidange est dû à une diminution du débit sanguin du tube digestif, donc de l'oxygénation des cellules de la paroi de l'estomac. Le corps se met

en "état d'urgence" et détourne le débit sanguin vers les muscles sollicités pendant l'effort, ce qui empêche les contractions stomacales et antro-pyloro-duodénales (Ducrotté, 1994).

4.2.1.3. L'absorption intestinale :

L'absorption intestinale au niveau jéjunal est favorisée par les solutions hypotoniques ou isotoniques d'hydrates de carbone. Au contraire les solutions hypertoniques (avec une concentration en glucides supérieure à 305 mOsm/L) induisent une sécrétion hydrique dans la lumière intestinale qui peut engendrer des diarrhées (Bigard and Guezennec, 2007).

4.2.1.4. Le choix des boissons de l'effort :

La boisson de l'effort est le moyen le plus adapté pour apporter eau et énergie. La composition ne doit être ni acide, ni gazeuse, ni trop sucrée, pour que la boisson soit correctement assimilée. Les apports glucidiques (glucose, fructose et maltodextrine en général) sont à raison de 6 à 8 % par litre. Il y a également un apport de potassium, de sodium, de calcium, de magnésium à des taux très faibles. Les vitamines associées sont essentiellement des vitamines du groupe B.

Aussi, les boissons de l'effort ont une composition adaptée pour permettre une bonne tolérance. Plusieurs critères de choix sont pris en compte :

- L'osmolarité : la boisson doit être isotonique ou légèrement hypotonique mais surtout pas hypertonique. Une solution isotonique est facilement absorbée et quitte rapidement l'estomac. Tandis qu'une solution hypertonique quitte l'estomac plus lentement et peut engendrer des troubles digestifs (douleurs, pesanteur, vomissements) et une déshydratation. Les boissons hypotoniques quittent l'estomac rapidement mais sont moins bien absorbées au niveau intestinal qu'une boisson isotonique (Guezennec, 2011).

- Les glucides : la teneur idéale pour une boisson de l'effort est entre 60 et 80 g de glucides par litre. Le choix des glucides est important, il faut des glucides avec un index glycémique élevé. En général, on associe du glucose (ou des maltodextrines) et du fructose car ils utilisent des voies d'absorption différentes (Guezennec, 2011).

- Les électrolytes : les recommandations pour les électrolytes des boissons de l'effort sont de 400 à 700 mg de sodium par litre d'eau (Daniel et Kuhn, 2012).

- Les protéines et acides aminés branchés (AAB) ; ce sont la leucine, l'isoleucine et la valine) (voir 3.4.1.). Lors d'un effort de longue durée, l'organisme utilise les AAB via leur oxydation pour produire de l'énergie. Un apport en AAB ou en protéines limite l'organisme à puiser ces AAB dans les protéines plasmatiques et musculaires. Ils sont présents dans quelques boissons. Le dosage recommandé est de 1 à 2 g par litre de boisson (Daniel et Kuhn, 2012).

- Le goût : une boisson avec un goût apprécié du sportif, influe sur la prise spontanée de la boisson (Bigard and Guezennec, 2007).

- Les vitamines : il s'agit principalement des vitamines B qui ont un rôle de cofacteur dans la production d'énergie en particulier la vitamine B1 (voir 3.3.2.1.). La vitamine B1 favorise l'utilisation du glucose (Maton, 2008b) (Choi *et al.*, 2013). Les vitamines B2 (voir 3.3.2.2.) et B3 (voir 3.3.2.3.) interviennent dans la mitochondrie pour la production d'énergie, elles agissent au niveau de la chaine respiratoire.

- La neutralité : la boisson doit avoir un pH neutre pour ne pas provoquer de troubles gastro intestinaux (reflux gastro-œsophagien, hémorragie digestive) nuisibles physiologiquement et psychologiquement (Watelet et Bigard, 2008).

4.2.1.5. La composition des boissons de l'effort et d'autres boissons

Il existe plus d'une centaine de boissons de l'effort aujourd'hui commercialisées (l'annexe 7 en présente 35 ainsi que leur composition) aujourd'hui commercialisées. Le tableau 33 présente la composition de quelques boissons d'effort du marché ainsi que d'autres boissons plus courantes (jus de fruits, sodas…) que l'on peut utiliser lors de la pratique sportive :

Tableau 33 : Comparaison et composition de certaines boissons pouvant être utilisé lors de la pratique sportive (Daniel et Kuhn, 2012)

Boissons (laboratoires)	Osmolarité	Glucides (g/L)	Répartition des glucides	Protéines (g/L)	Sodium (mg/L)	pH
Inergy $^{+}$ (Eafit)	Isotonique	60	Glucose / maltodextrine	Traces	493	neutre
Energie marathon (Fenioux)	Isotonique	94	Maltodextrine (59%) / glucose (30%) / fructose (10%)	Traces	183	neutre
Hydrate & perform (Isostar)	Isotonique	70	Saccharose / glucose / maltodextrine	0	680	NC
Pro (Isoxan)	NC	33,6	Fructose (67%) / maltodextrine (33%)	0	NC	NC
Isoactive (Powerbar)	Isotonique	57	Glucose / fructose	0,4	840	NC
Coca cola	Hypertonique	106	Saccharose	0	0	2,6
Redbull	Hypertonique	110	Saccharose / glucose	0	400	3,3
Jus de raisin	NC	147	Fructose / glucose	1	100	NC
Jus de pomme	NC	110	Fructose / glucose / saccharose	1	50	NC
Jus d'orange	NC	100	Saccharose / fructose / glucose	5	20	NC

NC : valeur non communiquée

Il est difficile de déterminer la meilleure boisson de l'effort, ni même de faire un classement. Cependant certains auteurs en établissent selon différents critères de sélection personnels. Les classements diffèrent selon les auteurs, en fonction des critères de sélection.

L'élément le plus important est la présence de **substrats énergétiques**, donc de glucides. Dans le tableau 33, on remarque une bonne concentration en glucides (60 à 80 g/L) pour certaines boissons comme Eafit Inergy +, Isostar Hydrate & Perform et Powerbar Isoactive. Les boissons comme les jus de fruits (pomme, raisin et orange) et sodas (Coca cola, Redbull) contiennent trop de glucides, tout comme la boisson Fenioux Energie marathon. En revanche une boisson comme l'Isoxan Pro ne contient pas assez de glucides, et trop de fructose, ce qui pourrait engendrer des troubles intestinaux (diarrhées).
Le mélange des glucides doit être composé de glucose (ou de maltodextrines qui sont des assemblages de glucose (voir 4.1.2)) et de fructose. Le glucose a une bonne digestibilité et un index glycémique élevé (voir 2.3.1.), donc rapidement assimilable. Les maltodextrines sont des polymères de glucose, avec un index glycémique élevé aussi. L'avantage des maltodextrines est de permettre un apport important du glucose tout en ayant une faible osmolarité, c'est à dire une vidange gastrique plus rapide. L'avantage du fructose est d'avoir une voie de pénétration intracellulaire différente de celle du glucose. En revanche son inconvénient est le risque de diarrhées en cas d'ingestion trop abondante. Les quantités de fructose pour lesquelles apparaissent ces troubles digestifs ne sont pas définies (Daniel et Kuhn, 2012). Il existe juste des études sur l'effet de l'ingestion d'énormes quantités de fructose (300 g de fructose par jour) qui entrainent une hypertriglycéridémie, un dépôt de graisses dans le foie et les muscles, et diminue la sensibilité hépatique à l'insuline (Tappy *et al.*, 2010). Il n'existe pas de proportions idéales entre ces différents glucides dans une boisson de l'effort, néanmoins le taux de fructose dans une boisson ne dépassera pas les 50 %. Les sodas (Redbull et Coca cola), ne contiennent pas de fructose tout comme les boissons Isostar Hydrate & Perform et Eafit Inergy +. Les jus de fruits ont une bonne répartition des glucides mais avec une concentration trop élevée. La boisson Fenioux Energie Marathon a une bonne répartition glucidique (malto dextrine 59%, glucose 30%, et fructose 10%) mais la concentration est légèrement trop élevée. Les **protéines**, en particulier les AAB sont importantes dans les épreuves de longue durée, néanmoins elles ne sont pas toujours présentes dans les boissons de l'effort comme ici, où seul la boisson Isoactive de chez Powerbar en contient. Cette boisson contient 0,4 g de protéines par litre de boisson, en dessous des 1 à 2 g/L recommandé par Daniel et Kuhn (2012)
L'**osmolarité** est importante car elle influe sur la vidange gastrique. Les boissons de l'effort présentées dans le tableau 33 sont toutes isotoniques, ce qui permet une vidange gastrique assez rapide. Les sodas sont hypertoniques et ont par conséquent une vidange gastrique ralentie.
Les **électrolytes** interviennent ensuite dans le choix de la boisson, particulièrement le sodium (voir 3.2.7.). Le sodium agit au niveau du maintien de l'hydratation, et empêche la survenue d'une hyponatrémie (qui constitue une urgence médicale) symptomatique lors d'un triathlon de longue durée. Les valeurs recommandées (400 à 700 mg/L) sont obtenues dans la plupart des boissons de l'effort (Powerbar Isoactive, Eafit Inergie +, Isostar Hydrate & Perform) mais

assez faible pour la boisson Fenioux Energie Marathon. Par contre le sodium est absent des sodas et des jus de fruits.
L'**acidité** de la boisson intervient dans son choix, les fabricants ne donnent pas beaucoup d'information sur ce paramètre, néanmoins la neutralité (pH =7) est respectée dans le cas des boissons Eafit et Fenioux.
Les données sur la quantité de **vitamines** ne sont pas présentes dans le tableau 33. Pourtant, leur présence est indispensable dans le mécanisme de production d'énergie. Aubineau (2016a) recommande la présence d'au minimum deux vitamines du groupe B.

En plus de ces caractéristiques chimiques, s'ajoutent des **caractères organoleptiques** comme le goût. Chaque boisson existe dans différentes saveurs, comme agrumes, cola, fruits rouges voire même mojito Le triathlète devra tester plusieurs boissons pour décider celle qui lui convient.

A la suite de l'analyse des différentes compositions de ces boissons, plusieurs constats s'établissent :

- les sodas ne sont pas du tout adaptés à la pratique sportive (trop de glucides, mauvaise répartition des glucides, trop acide, manque de sodium, ...)
- les jus de fruits contiennent trop de glucides aussi et pas assez d'électrolytes comme le sodium, néanmoins la répartition des glucides (mélange de fructose et glucose) est correcte, et une adaptation est possible en les diluant avec de l'eau et en ajoutant du chlorure de sodium (voir "boissons maison")
- la composition des autres boissons du tableau est en général correcte, mais certaines seront déconseillées (comme l'Isoxan Pro qui contient trop de fructose et pas assez de glucides), d'autres seront à adapter (comme Fenioux Energie Marathon, où l'on peut utiliser les 3/4 de la dose recommandée par le fabricant pour reconstituer un litre de solution, en y ajoutant 1 g de chlorure de sodium).

Il existe sur internet de nombreuses recettes de "boissons de l'effort maison", ces recettes sont souvent voire toutes présentées sans analyse nutritionnelle, mais certains sites internet (voir annexe 8) permettent de doser correctement leurs boissons. Quelques recettes de "boissons de l'effort maison" sont présentées dans le tableau 34.

Tableau 34 : Exemples de recettes de « boissons de l'effort maison »

Recette 1	Recette 2
250 mL de jus de raisin	1 L d'eau
750 mL d'eau	30 g de sirop d'agave
20 g de sirop d'agave	30 g de sucre
1 g de sel de cuisine	Jus de 2 citrons
	1 g de sel de cuisne

Dans la recette 1, le jus de raisin apporte du fructose et du glucose ainsi que du potassium, le sirop d'agave apporte du fructose également. L'eau permet de diluer la boisson et de baisser l'osmolarité de la boisson. Le sel de cuisine apporte la quantité nécessaire en sodium. La

composition de cette boisson est correcte, cependant l'apport de fructose peut engendrer des troubles intestinaux (Daniel et Kuhn, 2012).
Dans la recette 2, l'énergie est apportée par le sucre (saccharose qui a un index glycémique élevée) et le sirop d'agave (constitué principalement de fructose qui a un index glycémique faible). Le sel de cuisine apporte ici le sodium et le jus de citron apporte un peu de potassium, de la vitamine C, et surtout du goût (Daniel et Kuhn, 2012).

En conclusion, les compositions de boissons de l'effort ainsi que les quantités ingérées lors d'un triathlon de longue durée sont relativement variables. Plusieurs facteurs interviennent dans leur choix comme le climat, l'intensité de l'effort, le type d'effort et de la tolérance individuelle. De manière plus générale, les apports en glucides sont entre 30 et 80 g par heure d'effort. Les apports de glucides sont sous forme mixte, glucose-fructose. L'association de différents glucides permet de baisser l'osmolarité des boissons et de faciliter ainsi son absorption (Bigard and Guezennec, 2007). Les apports en électrolytes en particulier le sodium sont de 400 à 700 mg (Daniel et Kuhn, 2012). Les quantités d'eau ingérées sont de 8 à 12 mL/kg/h (Rehrer, 2001). La consommation d'eau peut fortement augmenter en fonction de la température extérieure pour pallier à une sudation excessive. Ces quantités de liquide sont à répartir de la manière suivante 100 mL toutes les 10 min, pour éviter tout risque de troubles digestifs (Guezennec, 2011).

4.2.2. L'alimentation solide

L'alimentation solide permet au triathlète d'apporter des nutriments énergétiques en plus grande quantité pour compléter l'apport issu des boissons de l'effort (voir 4.2.1.) pour pallier les dépenses énergétiques (de 7000 à 8000 kcal) lors d'un triathlon longue distance. Les différents aliments solides apportant cette énergie, sont les gels énergétiques, les barres énergétiques, et les fruits.

4.2.2.1. Les gels énergétiques :

Les gels énergétiques sont des composés à base de sucres, d'eau et d'agents gélifiants comme l'agar agar, ou la gomme xanthane (UTC, n.d.). Les gels énergétiques sont intéressants car ils sont faciles à transporter, à consommer et apporte une quantité importante de glucides pour un volume assez faible. Les gels se présentent sous forme de dosette unitaire, l'ingestion d'une dosette de gel est en général accompagnée d'eau (200 mL). Le poids d'une dosette de gel énergétique varie de 20 g à 50 g suivant les fabricants, cependant le poids moyen d'un gel est de 30 g. Comme les boissons de l'effort, les principaux critères de sélection d'un gel énergétique sont la quantité de glucide présente ainsi que sa répartition entre le glucose et le fructose. La quantité minimale de glucides dans un gel est de 20 g. Il est à rappeler que les quantités de glucide ingérés sont de l'ordre de 30 à 80 g /h. D'autres critères de sélections viennent ensuite comme la présence de vitamines du groupe B, des protéines (ou AAB), et les électrolytes (sodium, magnésium). Il existe des comparatifs des gels énergétiques du marché (voir Annexe 9). Dans ce comparatif, on observe que les gels contiennent peu ou pas d'électrolytes tels que le sodium ou le potassium. La quantité de sodium par gel varie de 7 mg à 220 mg contre une moyenne de 400 mg/L dans les boissons de l'effort. Le potassium est quasiment inexistant dans la plupart des gels. Concernant les glucides, un gel en possède en moyenne 20 g, donc il faut au minimum 3 gels par heure d'effort pour apporter les besoins

nécessaires. Néanmoins ces 3 gels n'apportent pas assez de sodium ou de potassium. La variabilité entre les différentes compositions de gels, surtout au niveau de l'osmolarité peut induire des troubles digestifs (Zhang *et al.*, 2015). L'athlète doit tester ses différents gels à l'entrainement afin de savoir s'il les digère.
Au regard des besoins nutritionnels du triathlète lors d'une épreuve de longue durée, il apparait que les gels ne peuvent pas répondre à ces besoins. Ils sont cependant indispensables en complément d'une boisson de l'effort dont la composition sera beaucoup plus complète.

4.2.2.2. Les barres énergétiques :

Les barres énergétiques sont, comme leur nom l'indique, des barres de consistance plus ou moins solide dont le rôle principal est de fournir de l'énergie. Ces barres ne sont pas à confondre avec les barres de céréales, qui n'ont pas les apports nécessaires, ou les barres hyper-protéinées. Les barres énergétiques sont composées de glucides de différentes natures, de minéraux et de vitamines. Les barres énergétiques sont très pratiques également (facilité de transport et facilité de prise). L'inconvénient est qu'elles nécessitent de mâcher, ce qui peut être parfois gênant dans l'effort. Il existe de nombreux types de barres. Les barres de l'effort doivent avoir un index glycémique élevé voire modéré et ne doivent pas contenir de lipides (pour une plus grande facilité de digestion). Ces barres sont de taille variable et de composition variable (voir annexe 10). Les barres pèsent 30 g en moyenne et apportent 23 g de glucides. Les différents critères de sélection des barres énergétiques sont les mêmes que pour les gels énergétiques. Tout d'abord la quantité de glucides par barre, ainsi que sa composition en glucides, un minimum de 20 g est conseillé. Les glucides apportés par les barres énergétiques fournissent de l'énergie aussi rapidement qu'une même quantité de glucides apportée par les boissons de l'effort (Pfeiffer *et al.*, 2010). Les électrolytes sont comme pour les gels en petites quantités (sodium) ou presque inexistants (potassium). La présence de deux vitamines du groupe B, est recommandée, comme la vitamine B1, B2, B3 et B5 (Aubineau, 2015).

4.2.2.3. Les fruits :

Les fruits sont des aliments solides contenant des glucides et utilisés lors de triathlon. Les fruits les plus retrouvés sur des ravitaillements lors des triathlons sont les bananes, les oranges et les fruits secs :

- Les bananes sont des fruits frais couramment utilisés par les triathlètes pour leurs teneurs élevées en glucides et en minéraux. Le poids moyen d'une banane est de 100 g, voici sa composition (Tableau 35) :

Tableau 35 : Composition en éléments énergétiques et minéraux d'une banane (100 g) (ANSES, 2013)

Energie	**Glucides**	**Lipides**	**Protides**	**Sodium**	**Potassium**
94 kcal	20 g	0,2 g	1,2 g	1 mg	411 mg
Magnésium	**Vit B1**	**Vit B3**	**Vit B6**	**Vit C**	**Vit E**
33 mg	0,04 mg	0,7 mg	0,34 mg	6,5 mg	0,27 mg

Une banane contient 20 g de glucides, qui sont du glucose, du fructose et du saccharose (Maton, 2015c). L'index glycémique est de 60, si la banane est mûre (Daniel et Kuhn, 2012). Une banane contient beaucoup de potassium (411 mg). Cet apport permet de pallier aux pertes dues à la sudation et permet d'éviter la survenue de crampes musculaires (voir 3.2.5.). Il y a également 33 mg de magnésium dans une banane, le magnésium évite aussi la survenue des crampes et des courbatures, et participe à la contraction musculaire (voir 3.2.4.). Le sodium est présent en très petite quantité. Une banane contient des vitamines du groupe B, particulièrement la vitamine B6, qui intervient dans la néoglucogenèse (voir 3.3.2.5.).
Les bananes présentent l'avantage d'être facile à manger et à digérer, d'avoir un index glycémique modéré et d'être riche en potassium et magnésium. En revanche le sodium est presque inexistant. Dans une étude comparative entre l'ingestion de bananes et celle de boisson de l'effort dosée à 6 % sur un groupe de cyclistes lors d'une épreuve de 75 km, les résultats montrent une certaine similitude dans la performance, ainsi que dans le dosage de certains paramètres biologiques (glycémie, marqueurs de l'inflammation) (Nieman *et al.*, 2012).

- Les oranges sont des fruits traditionnellement retrouvées sur les ravitaillements sous forme de quartiers d'orange. La composition d'une orange est donnée dans le Tableau 36 :

Tableau 36 : Composition en éléments énergétiques et minéraux de 100 g d'orange (ANSES, 2013)

Energie	**Glucides**	**Lipides**	**Protides**	**Sodium**	**Potassium**
47 kcal	8,3 g	0,3 g	1 g	4,9 mg	151 mg
Magnésium	**Vit B1**	**Vit B3**	**Vit B6**	**Vit C**	**Vit E**
12,4 mg	0,08 mg	0,26 mg	0,08 mg	40 mg	0,4 mg

La quantité d'énergie fournie par l'orange reste modérée, et apporte en moyenne 8 g de glucides pour 100 g (environ 2 quartiers d'orange). Le principal glucide apporté par les oranges est le fructose, ce qui donne un index glycémique assez bas (Daniel et Kuhn, 2012). Les vitamines du groupe B tel que les vitamines B1, B6 sont présentes dans l'orange, mais la vitamine C est la vitamine de l'orange. Une orange couvre les deux tiers des besoins journaliers en vitamine C. La vitamine C a un rôle d'antioxydant, elle lutte contre les radicaux libres (voir 3.3.2.9.). Chez le sportif, les radicaux libres peuvent engendrer des microlésions tissulaires comme des tendinites. Le calcium est le minéral le plus représenté dans l'orange, environ 39 mg. Le calcium agit dans la contraction du muscle cardiaque (voir 3.2.1.). Le sodium est presque absent des oranges.

Les avantages des oranges sont l'apport d'eau et de glucides. Les inconvénients sont le faible apport de sodium et un index glycémique faible.

- Les fruits secs se retrouvent généralement sur les ravitaillements. Ce sont les raisins secs et les abricots secs. Voici la composition de ces deux fruits secs (Tableau 37 et 38) :

Tableau 37 : Composition en éléments énergétiques et minéraux de 100 g de raisins secs (ANSES, 2013)

Energie	Glucides	Lipides	Protides	Sodium	Potassium
303 kcal	66 g	3 g	3 g	20 mg	773 mg
Magnésium	**Vit B1**	**Vit B3**	**Vit B6**	**Vit C**	**Vit E**
33 mg	0,08 mg	1 mg	0,2 mg	2,7 mg	0,5 mg

Tableau 38 : Composition en éléments énergétiques et minéraux de 100 g d'abricots secs (ANSES, 2013)

Energie	Glucides	Lipides	Protides	Sodium	Potassium
271 kcal	53 g	0,8 g	3,1 g	39 mg	1090 mg
Magnésium	**Vit B1**	**Vit B3**	**Vit B6**	**Vit C**	**Vit E**
36 mg	0,001 mg	2,7 mg	0,16 mg	1 mg	4 mg

Les fruits secs sont des fruits frais ayant subis une déshydratation, la teneur en eau est donc réduite. Du fait de la perte d'eau de ces fruits, la concentration en glucides est très élevée, environ 20 g de glucides pour 30 g de fruits secs (Daniel et Kuhn, 2012). L'index glycémique de ces fruits est modéré à faible (entre 35 et 60), contrairement aux autres produits de l'effort, comme les boissons, les gels ou les barres (Tiollier, 2011). Le potassium est fortement présent dans les fruits secs, par contre le sodium est encore ici en quantité faible. Les concentrations en vitamines hydrosolubles (voir 3.2.2) sont faibles, et certaines concentrations comme celle de la vitamine C sont très faibles.

L'avantage des fruits secs est de fournir une grande quantité de glucides avec un index glycémique modéré pour un volume ingéré assez faible. Le potassium et le magnésium sont présents en quantités acceptables, tout comme les vitamines du groupe B. L'inconvénient des fruits secs est le manque d'eau. Ils sont également pauvres en sodium et vitamine C. La présence de fibre dans les fruits secs engendre également la survenue de troubles digestifs.

En conclusion, les fruits constituent un très bon apport énergétique. Leur index glycémique est modéré. Ils complètent les boissons de l'effort en palliant à certains manques, comme celui du potassium, des vitamines du groupe B, et des glucides à index glycémique bas. En revanche le sodium est absent des fruits. L'inconvénient majeur des fruits est le côté non pratique de s'alimenter avec ces derniers lors d'un triathlon. En effet, il est difficile de couper

une orange en pleine compétition, ou même de transporter des raisins secs. Le triathlète doit donc attendre les ravitaillements mis en place par l'organisation pour profiter de cette ressource.

4.2.3. Conclusion

Lors d'un effort prolongé sur un triathlon longue distance, il est à la fois indispensable et difficile de boire ou manger, ce qui peut entrainer des troubles digestifs. Le triathlète doit donc trouver un compromis entre gêne et avantage. L'entrainement permet de tester les différents produits alimentaires disponibles et la chronologie des apports et habituer l'organisme à s'alimenter pendant l'effort.

Rappelons qu'il faut boire entre 500 et 800 mL d'eau par heure, et qu'il faut essayer de répartir cette consommation à 100 mL toutes les 10 min. Cette boisson doit avoir une température comprise entre 10 et 15 °C (voir 4.2.1.2.). La quantité de glucides à ingérée est de 1 à 1,6 g/kg/h, c'est-à-dire entre 60 et 100 g de glucides toutes les heures pour un sportif de 60 kg. Chacun est différent, donc les quantités peuvent varier d'un triathlète à un autre, ou même selon la température extérieure, d'où la nécessité encore de tester ces aliments avant la compétition.

Les quantités en glucides à ingérer par heure pour un triathlète de 60 kg représentent en aliments et boissons (Daniel et Kuhn, 2012):

- Pour 60 g de glucides :
    - 800 mL de boisson de l'effort à 80 g/L
    - 1 L de boisson de l'effort à 60 g/L
    - 1 gel énergétique et 500 mL de boisson de l'effortà 80 g/L
    - 1 barre énergétique et 500 mL de boisson de l'effort à 80 g/L
    - 1 gel énergétique et 600 mL de boisson de l'effort à 60 g/L
    - 1 banane et 500 mL de boisson de l'effort à 60 g/L
    - 2 gels énergétiques et 250 mL de boisson de l'effort à 60 g/L

- Pour 70 g de glucides :
    - 1 L de boissons de l'effort à 70 g/L
    - 1 gel énergétique et 800 mL de boisson de l'effort à 60 g/L
    - 1 gel énergétique et 600 mL de boisson de l'effort à 80 g/L
    - 2 gels énergétiques et 500 ml de boissons de l'effort à 60 g/L
    - 1 gel énergétique, 1 banane et 500 mL de boissons à 60 g/L

- Pour 80 g de glucides :
    - 1 L de boissons énergétiques à 80 g/L
    - 1 gel énergétique et 800 mL de boissons énergétiques à 80 g/L
    - 1 barre énergétique et 800 mL de boissons énergétiques à 80 g/L
    - 1 banane, 1 barre énergétique et 500 mL de boisson énergétique à 80 g/L
    - 1 gel, 1 barre énergétique, 1 banane et 250 mL de boissons énergétiques à 60 g/L

Chacun doit établir et tester sa stratégie suivant ses habitudes, et décider de la quantité de glucides, de liquides, du type d'aliment solide, du rythme d'ingestion, le moment de l'effort.

5. Conclusion

Le triathlon est une activité sportive de plus en plus pratiquée par tous (FFTRI, 2015). L'envie de se dépasser et la notion de défi pour terminer un triathlon longue distance conduisent les organisateurs à créer de plus en plus d'épreuves de ce type.

Lors de la préparation à ce type d'épreuve, l'alimentation doit être prise en compte avec soin. En effet, la dépense énergétique totale du triathlète lors d'un triathlon longue distance (3,8 km de natation, 180 km de cyclisme et 42,195 km de course à pieds) se situe entre 7000 et 8000 kcal (selon la méthode de mesure à l'eau doublement marquée), soit 2 à 4 fois les besoins quotidiens « normaux ». A cet effet la nutrition glucidique lors d'un triathlon longue distance est essentielle. Les glucides sont les substrats énergétiques utilisés en priorité pour produire de l'énergie, afin d'épargner le plus tardivement possible les réserves hépatiques et musculaires en glycogène de l'organisme. Les voies de dégradation des glucides ne sont pas les mêmes suivant la nature des glucides. Les quantités nécessaires de glucides à ingérer pour pallier aux dépenses sans produire de troubles digestifs, sont de 1 à 1,6 g/kg/h d'effort.

A cette dépense énergétique s'ajoutent la perte d'eau, de vitamines et de minéraux.

- L'eau est en majorité perdue par la transpiration, dépendante de la température extérieure et de l'effort produit. Le volume de sueur peut atteindre 10 L par jour lors d'un exercice de longue durée. Dès le début de l'épreuve il faut ingérer 500 à 800 mL de boisson toutes les heures, en répartissant les apports de manière régulière, environ 100 mL toutes les 10 min.
- Les réserves en minéraux et vitamines de l'organisme sont suffisantes pour la pratique d'une épreuve de triathlon longue distance, toutefois un déficit en l'un ou l'autre diminue les performances. Les vitamines et minéraux sont apportés par les boissons de l'effort et les différents aliments pris lors du triathlon (barres, gels énergétiques, fruits…). Le sodium est l'électrolyte le plus important, les apports sont de 400 à 700 mg par litre d'eau. Les vitamines utiles pour le sportif d'endurance sont les vitamines du groupe comme les vitamines B1, B2, B3 et B6. Elles participent à la transformation des glucides pour fournir de l'énergie.

A l'approche de l'épreuve, le sportif doit augmenter ces réserves énergétiques grâce à un régime adapté. Le régime hyperglucidique (les glucides représentent 70 % de l'AETQ soit 8 à 10 g/kg/j de glucides) permet d'augmenter les stocks de glycogène.

Lors de l'épreuve sportive, les boissons dites de l'effort représentent la meilleure solution pour hydrater le sportif et apporter de l'énergie. Une boisson de l'effort doit être isotonique voire légèrement hypotonique, et contenir entre 60 et 80 g/L de glucides. La température de la boisson doit être comprise entre 10 et 15 °C, et contenir des vitamines du groupe B. Pour compléter les différents apports fournis pour les boissons de l'effort, le triathlète consommera des aliments solides comme les gels et barres énergétiques qui fournissent également des glucides pour la production d'énergie. Ces aliments apportent en moyenne 20 g de glucides, et quelques vitamines suivant les différents fabricants. La

consommation de fruits lors d'un triathlon n'est pas à négliger, car ils fournissent du potassium, vitamines, ainsi que des glucides. Les quantités recommandées sont de 2 aliments solides et 500 à 800 mL de boissons de l'effort par heure.

Aussi, le choix des aliments ainsi que la stratégie d'alimentation doivent être pensés pour réussir entraînement et épreuve. L'alimentation spécifique lors des triathlons de longue durée est à pratiquer à l'entrainement également pour établir le rythme d'absorption, quantités de glucides, de liquides, le type d'apport, le moment de l'effort.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Accominotti M., Dutey P., Lahet C., Vallon J., 1991. Évolution des taux de sélénium et de glutathion peroxydase sanguins de sportifs de haut niveau. Science & Sports 6, 165–172.

AFSSA, n.d. Anses Agence nationale de sécurité sanitaire Alimentation Environnement Travail. URL http://www.afssa.fr/main01.htm

AFSSA, n.d. Comment bien s'alimenter ?. URL http://www.nutrition-expertise.fr/comment-bien-s-alimenter.html.

American College of Sports Medicine, 2009. Nutrition and Athletic Performance. Medscape. URL http://www.medscape.com/viewarticle/717046

Anonyme, 2014. Unités de l'énergie. Connaissance des Énergies. URL http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/unites-de-l-energie

Anonyme, 2001. La préparation diététique du sportif. Journal de Pédiatrie et de Puériculture 14, 127.

Anonyme, n.d. acidesamines.gif (Image GIF, 476 × 731 pixels) - Redimensionnée (44%). URL http://www.astrosurf.com/luxorion/Bio/acidesamines.gif

ANSES, 2014. Les apports nutritionnels conseillés | ANSES - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. URL https://www.anses.fr/fr/content/les-apports-nutritionnels-conseill%C3%A9s

ANSES, 2013. Anses Table Ciqual 2013 Composition nutritionnelle des aliments. URL https://pro.anses.fr/tableciqual/index.htm (accessed 11.1.15).

ANSES, 2001. http://dietetique-pour-le-bien-etre-et-la-performance.over-blog.com/2013/11/l%E2%80%99evolution-des-apports-nutritionnels-conseill%C3%A9s-en-fonction-de-l%E2%80%99age-de-votre-sexe-et-de-votre-activit%C3%A9-physique-partie-1.htm.

Aubineau N., 2015. Comparatif des gels énergétiques du marché 2016. Nicolas Aubineau, Diététicien Nutritionniste du Sport. URL https://www.nicolas-aubineau.com/comparatifs/gel-energetique-comparatif-2015/

Aubineau N., 2016a. Comparatif des boissons énergétiques du marché 2016. Nicolas Aubineau, Diététicien Nutritionniste du Sport. URL https://www.nicolas-aubineau.com/comparatifs/boisson-energetique-comparatif-2016/

Aubineau N., 2016b. Comparatif-barres-2016.pdf. URL http://www.nicolas-aubineau.com/wp-content/uploads/2016/02/Comparatif-barres-2016.pdf

Bacquaert P, 2012. Carence en vitamine D et sport | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/carence-vitamine-d-sport

Bacquaert P., Maton F., 2009. La nutrition du sportif. Chiron, Magny-les-Hameaux.

Bacquaert P., 2014. Vitamines et sport | Diététique du Sportif. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamines-sport

Berthou A., 2014. Manquez-vous de magnésium ? Comment choisir un complément alimentaire. Santé et nutrition. URL http://www.sante-et-nutrition.com/magnesium/

Biesalski H.K., Grimm P., Nowitzki-Grimm S., Waigand-Brauner M., Biesalski U., Calon B., 2010. Atlas de poche de nutrition. Médecine-Sciences Flammarion, Paris.

Bigard A.-X., Guezennec C.-Y., 1997. Acides aminés à chaîne ramifiée et exercices de longue durée. Revue Française des Laboratoires 1997, 25–30.

Bigard A.X., Letout A., Simler N., Banzet S., Koulmann N., 2004. Place des lipides dans l'alimentation du sportif. Science & Sports 19, 53–62.

Bigard X., Guezennec C.-Y., 2007. Nutrition du sportif. Masson, Issy-les-Moulineaux.

Boutry C., Bos C., Tomé D., 2008. Les besoins en acides aminés. Nutrition Clinique et Métabolisme, Acides aminés 22, 151–160.

Campion P., n.d. Contrôle de l'évolution d'un système chimique par changement d'un réactif. URL http://www.web-sciences.com/fichests/fiche31/fiche31.php?imp=1

Centre national de coordination des études et recherches sur la nutrition et l'alimentation (France), Martin, A., Centre national de la recherche scientifique (France), Agence française de sécurité sanitaire des aliments, 2000. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. Tec & doc, Paris; Londres; New York.

CERIN, n.d. Apports journaliers recommandés - Glossaire - Cerin. URL http://www.cerin.org/outils/terme-glossaire/apports-journaliers-recommandes.html

Chatard J., Agel A., Lacoste L., Millet C., Paulin M., Lacour J., 1991. Coût énergétique du crawl chez les nageurs de compétition. Science & Sports 6, 43–50.

Choi S.-K., Baek S.-H., Choi S.-W., 2013. The effects of endurance training and thiamine supplementation on anti-fatigue during exercise. J Exerc Nutrition Biochem 17, 189–198.

Christensen E.H., Hansen O., 1939. II. Hypoglykämie, Arbeitsfähigkeit und Ermüdung1. Skandinavisches Archiv Für Physiologie 81, 172–179.

Clere N., 2014. Course à pied : se préparer et récupérer. Actualités Pharmaceutiques 53, 35–38.

Close G.L., Russell J., Cobley J.N., Owens D.J., Wilson G., Gregson W., Fraser W.D., Morton J.P., 2013. Assessment of vitamin D concentration in non-supplemented professional athletes and healthy adults during the winter months in the UK: implications for skeletal muscle function. Journal of Sports Sciences 31, 344–353.

Costill D.L., 1988. Carbohydrates for exercise: dietary demands for optimal performance. International journal of sports medicine 9, 1–18.

Crestetto, n.d. Diététique en course à pied. URL http://www.vo2max.com.fr/diet_rds.html

Daniel H., Kuhn F., 2012. Nutrition de l'endurance. T. Souccar, Vergèze.

Diététique, nutrition d'un sportif, 2013. URL http://tpe-sante-et-sport-ttg.e-monsite.com/pages/nutrition-et-filiere-energetique-d-un-sportif.html

Dosage boisson d'effort, 2015. URL http://dispositif.free.fr/run/boisson.html#calc

Ducrotté P., 1994. Physiologie de la vidange gastrique. URL http://www.chu-rouen.fr/general/congres/PHYSIOLOGIE%20DE%20LA%20VIDANGE%20GASTRIQUE.htm

Eclache J-P., 1988. La détermination du coût énergétique des activités sportives sur le terrain. Science & Sports 3, 291–301.

Edgar, 2007. Structure chimique de la carnitine URL https://fr.wikipedia.org/wiki/Carnitine#/media/File:Carnitine_structure.png

Edwards R.H., 1983. Biochemical bases of fatigue in exercise performance: catastrophe theory of muscular fatigue. Biochemistry of exercise 13, 3–28.

Fage N., Deliac P., Germain P., 2010. Taux sanguin de vitamine D et performance sportive : étude comparée entre sportifs et sédentaires (à propos de 20 sujets). Science & Sports 25, 201–203.

Fagour C., Cherifi B., Gonzalez C., Maury E., Gin H., Rigalleau V., 2013. Mesurer la dépense énergétique en pratique clinique. Médecine des Maladies Métaboliques 7, 525–532.

FFTRI, 2015. FFTRI_DOSSIER-DE-PRESSE-2015_web.pdf. URL http://www.fftri.com/files/pdf/FFTRI_DOSSIER-DE-PRESSE-2015_web.pdf

FMPMC, n.d. FMPMC-PS - Biochimie : structure des glucides et lipides - Niveau PAES. URL http://www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/SGLbioch/POLY.Chp.2.html

Frassetto L., 2015. Aliments acidifiants et basifiants - Lynda Frassetto : «L'acidose chronique est responsable de la dégénération des os, des muscles et des reins.». URL http://www.lanutrition.fr/bien-comprendre/le-potentiel-sante-des-aliments/aliments-acidifiants-et-basifiants/lynda-frassetto-l-acidose-chronique-est-responsable-de-la-degeneration-des-os-des-muscles-et-des-reins.html

Freeman and Company, 2012a. figure_11_06.jpg (Image JPEG, 1400 × 828 pixels) - Redimensionnée (39%). URL http://oregonstate.edu/instruct/bb450/fall14/stryer7/11/figure_11_06.jpg

Freeman and Company, 2012b. figure_11_11.jpg (Image JPEG, 1400 × 845 pixels) - Redimensionnée (38%). URL http://oregonstate.edu/instruct/bb450/fall14/stryer7/11/figure_11_11.jpg

Gomez-Merino D., Portero P., 2008. Nutrition lipidique, santé et sport. Kinésithérapie, la Revue, CIF et kinésithérapie : l'expérience suisse 8, 57–62.

Gomez-Merino D., Portero P., 2007. Besoins en protéines et activités physiques: Aspects pratiques. Kinésithérapie, la Revue, Variations musculaires chez l'homme 7, 40–44.

Groussard C., Machefer G., Rannou F., Gratas-Delamarche A., 2004. Évaluation de l'apport en vitamines antioxydantes chez des sportifs. Science & Sports 19, 193–195.

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.

Guilland J-C., Lequeu B., 2009. Encyclopédie des vitamines: du nutriment au médicament. Volume 1, Volume 1,. Ed. Tec & Doc ; Ed. médicales internationales, Paris; Cachan.

Guilland J-C., Lequeu B., 2001. L'Evolution des Apports Nutritionnels Conseillés en Fonction de l'Age, de Votre Sexe et de Votre Activité Physique ? (Partie 1). Nutrition pour le bien-être et la performance. URL http://dietetique-pour-le-bien-etre-et-la-performance.over-blog.com/2013/11/l%E2%80%99evolution-des-apports-nutritionnels-conseill%C3%A9s-en-fonction-de-l%E2%80%99age-de-votre-sexe-et-de-votre-activit%C3%A9-physique-partie-1.htm

Guilloton M., Quintard B., 1999. Biochimie. Dunod, Paris; Milan; Barcelone.

Hausswirth C., Brisswalter J., 1999. Le coût énergétique de la course à pied de durée prolongée: étude des paramètres d'influence. Science & Sports 14, 59–70.

Hongu N., Wise J.M., Orr B.J., Wisneski K.D., 2008. GPS Watches for Measuring Energy Expenditure during Physical Activity.

Hubbard R.W., Sandick B.L., Matthew W.T., Francesconi R.P., Sampson J.B., Durkot M.J., Maller O., Engell D.B., 1984. Voluntary dehydration and alliesthesia for water. Journal of Applied Physiology 57, 868–873.

Hubert P., 2008. Déshydratation aiguë du nourrisson. Journal de Pédiatrie et de Puériculture 21, 124–132.

Jacobi D., Maillot F., Couet C., 2008a. Mesure de la dépense énergétique: principes et techniques, intérêt diagnostique et limites. Médecine des maladies métaboliques 2, 130–134.

Jacobi D., Maillot F., Couet C., 2008b. Estimation et mesure de la dépense énergétique liée à l'activité physique: principes et techniques, intérêts diagnostiques et limites. Médecine des maladies métaboliques 2, 279–282.

Jacotot B., 2003. Nutrition humaine. Masson, Paris.

Jenkins D.J., Wolever T.M., Taylor R.H., Barker H., Fielden H., Baldwin J.M., Bowling A.C., Newman H.C., Jenkins A.L., Goff D.V., 1981. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. Am J Clin Nutr 34, 362–366.

Jéquier E., Constant F., 2009. Pourquoi faut-il boire de l'eau ? Pour maintenir la balance hydrique. Cahiers de Nutrition et de Diététique 44, 190–197.

Karlic H., Lohninger A., 2004. Supplementation of l-carnitine in athletes: does it make sense? Nutrition 20, 709–715.

Karlsson J., Saltin B., 1971. Diet, muscle glycogen, and endurance performance. Journal of Applied Physiology 31, 203–206.

Khaled S., Brun J.F., Bardet L., Cassanas G., 1997. Importance physiologique du zinc dans l'activité physique. Science & Sports 12, 179–191.

Koulmann N., Bigard X., 2007. 5 - Hydratation et Sports, in: Guezennec, X.B.-Y. (Ed.), Nutrition Du Sportif (2e Édition). Elsevier Masson, Paris, pp. 96–115.

Krotkiewski M., Gudmundsson M., Backström P., Mandroukas K., 1982. Zinc and muscle strength and endurance. Acta Physiologica Scandinavica 116, 309–311.

Kuhn F., Daniel H., 2014. L'assiette de l'endurance. T. Souccar, Vergèze.

La déshydratation « European Hydration Institute, n.d.

Landrier J.-F., 2014. Vitamine D : sources, métabolisme et mécanismes d'action. Cahiers de Nutrition et de Diététique, 49, 245–251.

Laville M., 2006. Composantes de la dépense énergétique. L'obésité : un problème d'actualité, une question d'avenir, Elsevier SAS 81–88.

Le Borgne F., Demarquoy J., 2003. Carnitine et performance physique. Science & Sports 18, 125–133.

Leccia M.-T., 2013. Peau, soleil et vitamine D : réalités et controverses. Annales de Dermatologie et de Vénéréologie 140, 176–182.

Lukaski H.C., 2004. Vitamin and mineral status: effects on physical performance. Nutrition 20, 632–644.

Lukaski H.C., 2000. Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. Am J Clin Nutr 72, 585s–593s.

Machefer G., Malardé L., Groussard C., Gratas-Delamarche A., 2006. Apports et statut en vitamines antioxydantes chez des athlètes d'endurance. Science & Sports 21, 107–109.

Mallet E., 2014. Vitamine D. Journal de Pédiatrie et de Puériculture 27, 29–38.

Mangano K.M., Walsh S.J., Kenny A.M., Insogna K.L., Kerstetter J.E., 2014. Dietary acid load is associated with lower bone mineral density in men with low intake of dietary calcium. J Bone Miner Res 29, 500–506.

Mangerbouger, n.d. Les 9 repères - MangerBouger. URL http://www.mangerbouger.fr/bien-manger/que-veut-dire-bien-manger-127/les-9-reperes/?gclid=CIGtqOTj3MUCFafJtAodTTIAwA

Maton, 2015a. Vitamine E (tocopherols) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-e-tocopherols-sport

Maton F., 2015b. La Biotine (vitamine B8), carence et sources alimentaires. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b8-biotine-sport

Maton F., 2015c. La Banane, un fruit frais riche en potassium et en magnésium. IRBMS. URL http://www.irbms.com/fiches-aliments-banane

Maton F., 2013a. Vitamine D (cholécalciférol) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-d-cholecalciferol-sport

Maton F., 2013b. Vitamine C (acide ascorbique) - ANC : 110 mg/jour, en France. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-c-acide-ascorbique-sport

Maton F., 2008a. Vitamine A (rétinol) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-a-retinol-sport

Maton F., 2008b. Vitamine B1 (thiamine) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b1-thiamine-sport

Maton F., 2008c. Vitamine B2 (riboflavine) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b2-riboflavine-sport

Maton F., 2008d. Vitamine B3 - PP (niacine) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b3-pp-niacine-sport

Maton F., 2008e. Vitamine B5 (acide pantothénique) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b5-acide-pantothenique-sport

Maton F., 2008f. Vitamine B6 (pyridoxine, pyridoxal, pyridoxamine) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b6-pyridoxine-sport

Maton F., 2008g. Vitamine B9 (acide folique) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b9-acide-folique-sport

Maton F., 2008h. Vitamine B12 (cobalamine) | Vitamines. IRBMS. URL http://www.irbms.com/vitamine-b12-cobalamine-sport

McArdle W.D., Katch F.I., Katch V.L., 2004. Nutrition & performances sportives. De Boeck, Bruxelles.

Melin B., 1997. Sport et hydratation de l'organisme. Revue Française des Laboratoires 1997, 39–42.

Merck, 2015. 841470 | Créatine monohydraté [WWW Document]. URL http://www.merckmillipore.com/FR/fr/product/Creatine-monohydrat%C3%A9,MDA_CHEM-841470

Miller J.B., 1997. L'index glycémique des aliments, in: Cahiers de Nutrition et de Diététique. Presented at the Conférence de l'Institut français pour la nutrition Le génie génétique appliqué aux végétaux, utilisation dans l'agro-alimentaire, Masson, pp. 42–47.

Ministère des droits des femmes, de la ville, de la jeunesse et des sports, 2014. Mise en page 1 - ccs_juin_2014.pdf. URL http://www.sports.gouv.fr/IMG/pdf/ccs_juin_2014.pdf

Mitchell JB., Voss KW., 1991. The influence of volume on gastric emptying and fluid balance during prolonged exercise. Med Sci Sports Exerc 23, 314–319.

Newsholme E.A., Blomstrand E., 2006. Branched-chain amino acids and central fatigue. J. Nutr. 136, 274S–276S.

Nieman D.C., Gillitt N.D., Henson D.A., Sha W., Shanely R.A., Knab A.M., Cialdella-Kam L., Jin F., 2012. Bananas as an energy source during exercise: A Metabolomics Approach. PLoS One 7.

nutrition-expertise, n.d. URL http://www.nutrition-expertise.fr/

Pendergast D.R., Prampero P.E.D., Craig A.B., Wilson D.R., Rennie D.W., 1977. Quantitative analysis of the front crawl in men and women. Journal of Applied Physiology 43, 475–479.

Péré A., Rivière D., Harant I., Garrigues M., 1991. Sport et carence en fer. Science & Sports 6, 1–14.

Pfeiffer B., Stellingwerff T., Zaltas E., Jeukendrup A.E., 2010. Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. Med Sci Sports Exerc 42, 2030–2037.

Pigeyre M., Romon M., 2006. L'index glycémique est-il utilisable en pratique ? Cahiers de Nutrition et de Diététique 41, 247–251.

Po A., 1966. Diet and athletic performance. Fed Proc 26, 1772–1777.

Poortmans J.R., Boisseau N., 2003. Biochimie des activités physiques. De Boeck Supérieur.

Rehrer N.J., 2001. Fluid and electrolyte balance in ultra-endurance sport. Sports Med 31, 701–715.

Rehrer N.J., Brouns F., Beckers E.J., ten Hoor F., Saris W.H.M., 1990. Gastric emptying with repeated drinking during running and bicycling. Int J Sports Med 11, 238–243.

Remer T., Manz F., 1995. Potential Renal Acid Load of Foods and its Influence on Urine pH. Journal of the American Dietetic Association 95, 791–797.

Richard R., 2014a. Nutrition du sportif, apports macronutritionnels en fonction des disciplines. Nutrition Clinique et Métabolisme, Les enjeux de l'activité physique : de l'enfant au sénior, du sportif au malade Coordonné par le Pr Agathe Raynaud-Simon et le Groupe Activité Physique de la SFNEP 28, 272–278.

Riché D., 1996. Pratique sportive et oligoéléments: conséquences nutritionnelles. Science & Sports 11, 211–222.

Riche D., 1989. Les déficits en magnésium et le sport. Science & Sports 4, 41–52.

Ritz P., Couet C., 2006. La dépense énergétique. Journal de Réadaptation Médicale : Pratique et Formation en Médecine Physique et de Réadaptation 26, 97–103.

Ritz P., Coward W.A., 1996. Étude critique de la mesure de la dépense énergétique par la méthode à l'eau doublement marquée. Nutrition Clinique et Métabolisme 10, 77–88.

Ryan M., 2007. Nourrir l'endurance: alimentation et nutrition des sportifs d'endurance. De Boeck, Bruxelles.

Satabin P., Duforez F., Portero P., Koziet J., Guezennec C.Y., 1994. Alimentation glucidique et exercice prolongé. Nutrition Clinique et Métabolisme, Excretion urinaire du cuivre, du selenium et du zinc chez les brules: influence des apports 8, 19–27.

Sedlock D.A., 2008. The latest on carbohydrate loading: A practical approach. Current sports Medicine Reports 7, 209–213.

Simon C., 2002. Comment évaluer l'activité physique. Cahiers de nutrition et de diététique 37, 241–243.

Souccar T., n.d. Qu'est-ce que l'indice PRAL ?. Thierry Souccar Editions. URL http://www.thierrysouccar.com/sante/info/quest-ce-que-lindice-pral-500

Tappy L., Lê K.A., Tran C., Paquot N., 2010. Fructose and metabolic diseases: new findings, new questions. Nutrition 26, 1044–1049.

Tiollier, 2011. conseil_sport_sante_article_nutrition.pdf. URL http://www.essonne.fr/fileadmin/sports_loisirs/sports/pdms/conseil_sport_sante_article_nutrition.pdf

Ung S., Schema cycle de Krebs. Physiologie, principales pathologies et nutrition liées à la pratique de la course à pied de longue distance: le conseil en officine. 17

Université Rennes 2, n.d. Microsoft PowerPoint - TypologieMusculaire2010 - TypologieMusculaire.pdf. URL https://cursus.univ-rennes2.fr/file.php/848/TypologieMusculaire.pdf

UTC, n.d. additifs4-2.pdf. URL http://www.utc.fr/~cochet/BT10JPB/additifs4-2.pdf

Van Hall G., Raaymakers J.S., Saris W.H., Wagenmakers A.J., 1995. Ingestion of branched-chain amino acids and tryptophan during sustained exercise in man: failure to affect performance. The Journal of Physiology 486, 789–794.

Van Remoortel H., Giavedoni S., Raste Y., Burtin C., Louvaris Z., Gimeno-Santos E., Langer D., Glendenning A., Hopkinson N.S., Vogiatzis I., Peterson B., Wilson F., Mann B., Rabinovich R., Puhan M., Troosers T., 2012. Validity of activity monitors in health and chronic disease: a systematic review. Int J Behav Nutr Phys Act 9, 84.

Walrand S., 2014. Les effets musculaires de la vitamine D : application à la perte musculaire liée à l'âge. Cahiers de Nutrition et de Diététique, Vitamine D 49, 273–278.

Ward K.A., Das G., Berry J.L., Roberts S.A., Rawer R., Adams J.E., Mughal Z., 2009. Vitamin D status and muscle function in post-menarchal adolescent girls. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism 94, 559–563.

Watelet J., Bigard M.-A., 2008. Troubles hépato-digestifs du sportif. /data/revues/03998320/00290005/522/.

Wu C., Williams C., 2006. A low glycemic index meal before exercise improves endurance running capacity in men. International journal of sport nutrition and exercise metabolism 16, 510.

Wu C.-L., Nicholas C., Williams C., Took A., Hardy L., 2003. The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilisation during subsequent exercise. British Journal of Nutrition 90, 1049–1056.

Zhang X., O'Kennedy N., Morton J.P., 2015. Extreme variation of nutritional composition and osmolality of commercially available carbohydrate energy gels. Int J Sport Nutr Exerc Metab 25, 504–509.

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Principe de la production d'énergie (Fagour *et al*., 2013)..... 9

Figure 2 : Schéma d'une chambre calorimétrique (Poortmans et Boisseau, 2003)..... 9

Figure 3 : Structure chimique de certains hexoses importants (Freeman *et al.*, 2012a)..... 14

Figure 4 : Structure chimique de différents disaccharides (Freeman *et al.*, 2012b)..... 15

Figure 5 : Index glycémique de certains aliments (Miller, 1997) 16

Figure 6: Structure chimique d'un triglycéride (Campion, n.d.) 17

Figure 7 : Structure chimique de l'acide linoléique (FMPMC, n.d.) 17

Figure 8 : Structure chimique de l'acide α-linolénique (FMPMC, n.d.) 18

Figure 9 : Structures chimiques des vingt acides aminés (Anonyme, n.d.) 19

Figure 10 : Courbe de détermination des ANC (Berthou, 2014) 25

Figure 11 : Structure chimique de la carnitine (Edgar, 2007)..... 50

Figure 12 : Structure chimique de la créatine (Merck, 2015) 51

Figure 13 : Repères de consommation (AFSSA, n.d.) 52

Figure 14 : Répartition des apports énergétiques totaux chez l'individu sédentaire (CNERNA, 2000) et chez le sportif (Bacquaert et Maton, 2009)..... 54

Figure 15 : Effets respectifs et combinés de la température et de l'arôme sur la prise spontanée de boisson (Hubbard *et al.*, 1984) 62

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Pertes hydriques (en mL/j) chez un adulte sédentaire vivant en climat tempéré (Jéquier et Constant, 2009) 21

Tableau 2 : Apports hydriques (en mL/j) chez un adulte sédentaire vivant en climat tempéré (Jéquier et Constant, 2009) 22

Tableau 3 : Déshydratation corporelle et baisse des performances physiques (d'après la revue de Melin, 1997).....24

Tableau 4 : Apports journaliers recommandés (AJR) et apports nutritionnels conseillés (ANC) chez l'homme adulte de certains minéraux ("nutrition-expertise," n.d.).....25

Tableau 5 : Sources alimentaires contenant du calcium ("nutrition-expertise," n.d.) 26

Tableau 6 : Sources alimentaires contenant du cuivre ("nutrition-expertise," n.d.).....27

Tableau 7 : Sources alimentaires contenant du fer ("nutrition-expertise," n.d.) 28

Tableau 8 : Sources alimentaires contenant du magnésium ("nutrition-expertise," n.d.).....29

Tableau 9 : Sources alimentaires contenant du potassium ("nutrition-expertise," n.d.).....30

Tableau 10 : Sources alimentaires contenant du sélénium ("nutrition-expertise," n.d.).....31

Tableau 11 : Sources alimentaires contenant du sodium ("nutrition-expertise," n.d.) 32

Tableau 12 : Sources alimentaires contenant du zinc ("nutrition-expertise," n.d.) 33

Tableau 13 : Apports journaliers recommandés (AJR) et apports nutritionnels conseillés chez l'homme adulte (ANC) des vitamines ("nutrition-expertise," n.d.) 35

Tableau 14 : Sources alimentaires contenant du rétinol ("nutrition-expertise," n.d.) 36

Tableau 15 : Sources alimentaires contenant des β-carotène ("nutrition-expertise," n.d.).....36

Tableau 16 : Sources alimentaires contenant de la vitamine D ("nutrition-expertise," n.d.) 37

Tableau 17 : Sources alimentaires contenant de la vitamine E ("nutrition-expertise," n.d.).....38

Tableau 18 : Sources alimentaires contenant de la vitamine K ("nutrition-expertise," n.d.) 39

Tableau 19 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B1 ("nutrition-expertise," n.d.).....40

Tableau 20 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B2 ("nutrition-expertise," n.d.).....41

Tableau 21 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B3 ("nutrition-expertise," n.d.).....42

Tableau 22 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B5 ("nutrition-expertise," n.d.).....43

Tableau 23 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B6 ("nutrition-expertise," n.d.).....44

Tableau 24 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B8 (“nutrition-expertise,” n.d.).....45

Tableau 25 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B9 (“nutrition-expertise,” n.d.).....46

Tableau 26 : Sources alimentaires contenant de la vitamine B12 (“nutrition-expertise,” n.d.).....47

Tableau 27 : Sources alimentaires contenant de la vitamine C (“nutrition-expertise,” n.d.).....48

Tableau 28 : Exemple de menu d'une journée en phase hypoglucidique (Kuhn et Daniel, 2014) (ANSES, 2013) 57

Tableau 29 : Exemple de menus d'une journée en phase hyperglucidique (Kuhn et Daniel, 2014) (ANSES, 2013) 58

Tableau 30 : Exemple de repas de veille de compétition (Daniel et Kuhn, 2012) (ANSES, 2013) 60

Tableau 31 : Exemple de petit déjeuner et déjeuner juste avant la compétition (ANSES, 2013; Daniel et Kuhn, 2012).....61

Tableau 32 : Concentrations recommandées en glucides selon les conditions de pratique (Guezennec, 2011) 63

Tableau 33 : Comparaison et composition de certaines boissons pouvant être utilisé lors de la pratique sportive (Daniel et Kuhn, 2012) 66

Tableau 34 : Exemples de recettes de « boissons de l’effort maison » 68

Tableau 35 : Composition en éléments énergétiques et minéraux d’une banane (100 g) (ANSES, 2013) 70

Tableau 36 : Composition en éléments énergétiques et minéraux de 100 g d’orange (ANSES, 2013) 71

Tableau 37 : Composition en éléments énergétiques et minéraux de 100 g de raisins secs (ANSES, 2013) 72

Tableau 38 : Composition en éléments énergétiques et minéraux de 100 g d’abricots secs (ANSES, 2013) 72

ANNEXES

Annexe 1 : Apports en énergie du triathlète

Il est nécessaire à un sportif d'endurance d'apporter de l'énergie pour combler les pertes vues précédemment. Cette énergie dont l'organisme a besoin pour la contraction musculaire est disponible sous forme d'adénosine triphosphate (ATP).

1. L'adénosine triphosphate

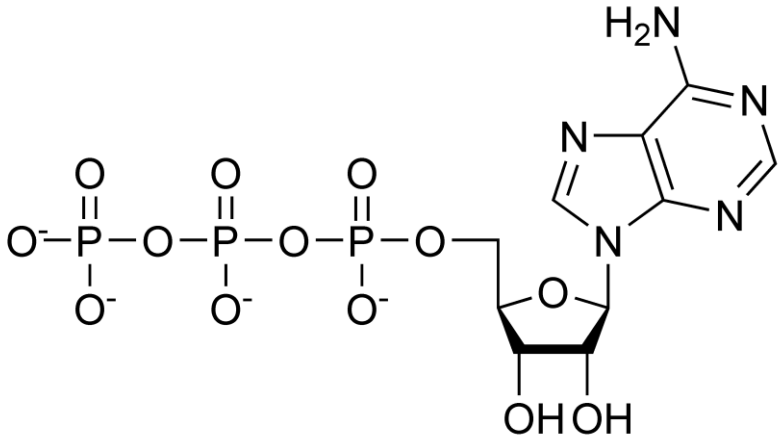


Figure A1 : Structure chimique de l'adénosine triphosphate

Dans la formule de l'ATP (Figure A1), l'hydrolyse de la liaison entre les deux phosphates par une ATP ase libère une grande quantité d'énergie (Guilloton et Quintard, 1999) pour former de l'adénosine diphosphate (ADP). L'ATP est stockée dans les muscles, cependant les réserves sont faibles, c'est pourquoi il faut les réapprovisionner en ATP. Il existe 3 filières de reconstitution de l'ATP (Ryan, 2007) :

- deux systèmes anaérobies :
    - L'ATP-PCr ou anaérobie alactique
    - La glycolyse anaérobie ou anaérobie lactique
- un système aérobie (à la fois glycolytique et lipolytique)

2. Les systèmes anaérobies

Ces systèmes de restitution de l'ATP se déroulent sans oxygène et en dehors des mitochondries

2.1. Le système ATP-PCr : anaérobie alactique :

- La phosphocréatine (PCr) transfert son groupement phosphate sur l'ADP sous l'action de la créatine-phosphokinase (CK).

$$ADP + PCr \rightarrow Cr + ATP$$

- La réaction est très rapide, et l'énergie libérée est utilisable dès le début de l'exercice. Les cellules stockent en moyenne quatre à six fois plus de PCr que d'ATP (McArdle *et al*., 2004).

Cependant les réserves sont faibles, les stocks de PCr diminue rapidement, et la filière ATP-PCr libère de l'énergie suffisante pendant 8 à 10s, c'est à dire lors d'un sprint court ou d'un exercice de force (Ryan, 2007). D'autres systèmes interviennent ensuite dans la formation de l'ATP

2.2. Le système glycolytique anaérobie : anaérobie lactique :

- Le système glycolytique concerne la dégradation du glucose pour former de l'énergie. Le glucose est soit présent dans le sang, soit stocké dans le foie et dans le muscle sous forme de glycogène. La transformation du glucose en glycogène se nomme glycogenèse. La dégradation du glycogène est la glycogénolyse et aboutit à la formation du glucose-1-phosphate (G1P).
- Dans cette voie métabolique, le glucose utilise une molécule d'ATP pour se dégrader en glucose-6-phosphate (G6P). Tandis que la transformation du glycogène en G6P par l'intermédiaire du G1P ne demande aucune molécule d'ATP (Guilloton et Quintard, 1999).

Le G6P subit ensuite une dizaine de réactions chimiques différentes pour aboutir à la formation d'acide pyruvique. Au cours d'un exercice intense, lorsque l'apport en oxygène est insuffisant, l'acide pyruvique est transformé en acide lactique (McArdle *et al*., 2004). La production d'acide lactique limite le fonctionnement de la filière anaérobie lactique. L'accumulation d'acide lactique augmente l'acidité musculaire qui inhibe la dégradation du glycogène (Ryan, 2007).

- Le rendement de ce processus est faible, une molécule de glucose libère deux molécules d'ATP, et le glycogène en fournit trois. La glycolyse anaérobie est activée lors d'un sprint à la fin d'une course ou en vélo, si l'exercice dure plus de deux minutes, le système aérobie prend place.

3. Le système aérobie

Le système aérobie est la dégradation des macronutriments en présence d'oxygène. Cette filière domine dans les exercices de longue durée. Elle utilise tous les substrats énergétiques suivant l'état de leurs réserves. Ce système fournit un rendement considérable par rapport aux deux autres systèmes anaérobies. Trois processus interviennent :

- La dégradation du nutriment
- le cycle de Krebs
- La chaine de transport d'électrons

3.1. La dégradation des nutriments

-L'oxydation des glucides : la glycolyse

La dégradation du glucose ou du glycogène par voie aérobie pour former de l'ATP est la même que la voie anaérobie lactique. Seul le produit final de ces réactions est différent, en présence d'oxygène, l'acide pyruvique se transforme en acétyl-Coenzyme A (acétyl CoA). Cet acétyl CoA intervient dans le cycle de Krebs. La glycolyse complète d'une molécule de glucose permet la production de 38 molécules d'ATP. (Guilloton et Quintard, 1999).

- L'oxydation des lipides : la β-oxydation

Ce sont les triglycérides qui fournissent de l'énergie. Ce catabolisme se déroule dans la matrice mitochondriale. Avant de pouvoir pénétrer dans la mitochondrie, les triglycérides

sont hydrolysés en acides gras et en glycérol. Les acides gras sont transformés par une acyl CoA synthétase en acyl CoA. L'acyl CoA peut désormais traverser la membrane interne des mitochondries. La dégradation des chaines carbonées des acyl CoA se déroule par cycles successifs de quatre réactions. Chaque cycle aboutit à la formation d'un acetyl CoA et à la réduction de deux carbones de la chaine carbonée. Cette dégradation se nomme la β-oxydation, car les réactions se situent sur le carbone β de l'acyl CoA. Tout comme la glycolyse, la molécule d'acétyl CoA formée intervient dans le cycle de Krebs. Les acides gras possèdent plus de carbone que les glucides, donc un acide gras fournira plus de molécules d'acétyl CoA et par conséquent plus d'énergie (Guilloton et Quintard, 1999). Cependant cette voie métabolique n'est pas utilisée en premier, et elle dépend de plusieurs facteurs comme la durée et l'intensité d'un exercice (Bigard et Guezennec, 2007).

-L'oxydation des acides aminés

Le catabolisme de certains acides aminés conduit aussi à la formation d'acétylCoa. La dégradation des acides aminés est complexe et différente suivant leur nature, c'est pourquoi elle ne saura pas décrite ici (Guilloton et Quintard, 1999). La production d'énergie à partir de l'oxydation des acides aminés est faible, elle est estimée entre 3 et 10 % suivant les études (Bigard et Guezennec, 2007).

3.2. Le cycle de Krebs :

Le cycle de Krebs (ou cycle de l'acide citrique) est un enchainement de réactions qui s'effectue dans la matrice mitochondriale des cellules avec comme substrat de départ, l'acétyl CoA issue de la dégradation des nutriments (figure A2).

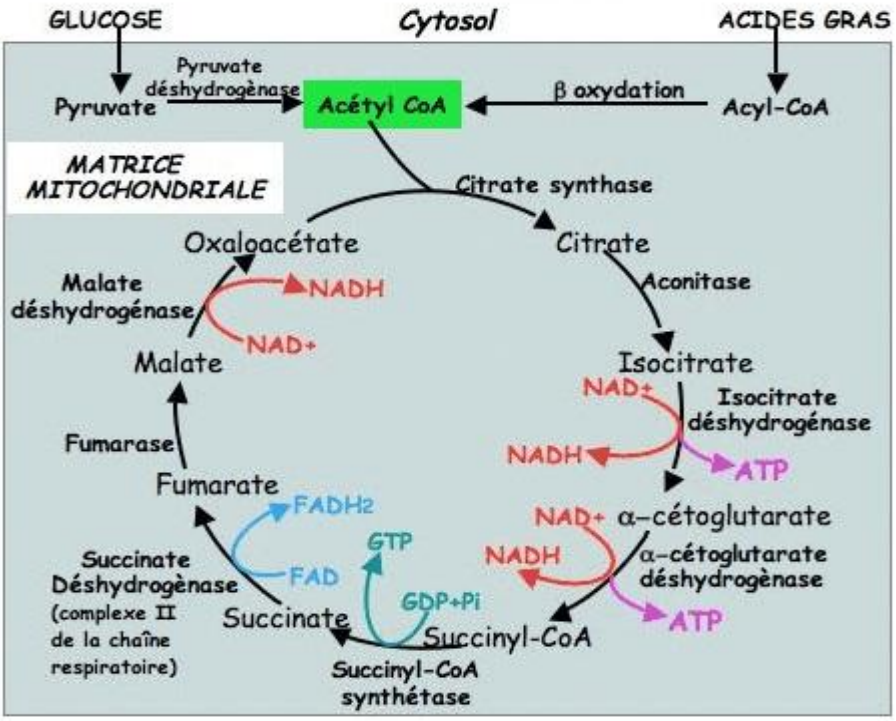


Figure A2 : Cycle de Krebs (Ung, 2010)

A la fin du cycle, deux molécules d'ATP se créent, ainsi que du dioxyde de carbone et de l'hydrogène. Le CO_2 formé atteint la circulation sanguine pour être éliminé par les poumons (McArdle *et al*., 2004).

3.3. La chaine de transport d'électrons :

Lors du passage dans le cycle de Krebs, l'acetyl CoA génère la formation de plusieurs ions hydrogène H^+. Cette accumulation entraine une acidification du milieu intracellulaire. Pour les éliminer, le cycle de Krebs est couplé à une série de réactions : la chaine de transport des électrons. Elle permet la combinaison des ions H+ avec deux coenzymes : le FAD (flavine adénine dinucléotide) et le NAD (nicotinamide adénine dinucléotide). Cette chaine divise les ions H+ en protons et en électrons. Au final, on aboutit à la formation d'une molécule d'eau et les électrons participent à la phosphorylation de l'ADP en ATP (Guilloton et Quintard, 1999).

4. Bilan

Lors d'un exercice, ces trois voies métaboliques interviennent toujours ensemble. Suivant l'intensité et la durée de l'exercice, une voie intervient plus qu'une autre.

Annexe 2 : L'indice PRAL

L'indice PRAL (Remer et Manz, 1995) a été mis au point par un l'allemand Thomas Remer, spécialiste en équilibre acide base. L'indice se mesure en milliéquivalents (mEq), et évalue la charge acide d'un aliment grâce à :

- la quantité de minéraux acides et basiques apportée par 100 g d'un aliment en tenant compte de son coefficient d'absorption intestinale. L'indice PRAL additionne les minéraux acide et soustrait les minéraux basiques.
- la quantité de protéines qui permet d'évaluer l'excrétion moyenne en sulfates sur la base d'une teneur moyenne en méthionine de 2,4 % et en cystéine de 2 %.

Un aliment est considéré comme acidifiant si l'indice est supérieur à 0, et s'il est négatif, l'aliment est considéré comme alcalinisant (Souccar, n.d.).

Cette indice est utile dans l'optique où il est conseillé de conserver un équilibre acido- basique dans l'organisme, où un excès d'acide peut contribuer à certaines pathologies (maladies osseuses et rénales) (Frassetto, 2015).

Annexe 3 : Notions sur les apports journaliers recommandés et apports nutritionnels conseillés

1. Les apports journaliers recommandés (AJR)

Les Apports Journaliers Recommandés (AJR) sont des valeurs réglementaires européennes adoptées pour leur facilité d'usage. Ils sont utilisés dans l'étiquetage nutritionnel pour les vitamines et minéraux et ne prennent pas en compte les différences liées à l'âge ou au sexe. Ils peuvent différer des ANC qui ne sont pas utilisables sur les emballages, mais en sont proches (CERIN, n.d.).

2. Les apports nutritionnels conseillés (ANC)

Les ANC sont définis comme une quantité suffisante de nutriments pour couvrir les différents besoins de l'organisme. Ces besoins sont spécifiques d'un individu à l'autre. Ainsi, des repères ont été établis, pour permettre une couverture de ces besoins pour l'ensemble de la population. Ces repères sont les apports nutritionnels conseillés (ANC). Ils sont définis par l'agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES).

Les ANC sont définis pour chaque nutriment (macronutriments et micronutriments) comme étant l'apport permettant de couvrir les besoins physiologiques de la plus grande partie de la population (97,5% des individus d'une population). Les populations sont définis par de nombreux facteurs, comme l'âge, le sexe et l'état physiologique (sportif, grossesse, allaitement). Les ANC sont établis sur la couverture du besoin nutritionnel moyen mesuré sur une population. En général, les ANC correspondent à 130 % du besoin nutritionnel moyen (Figure A3).

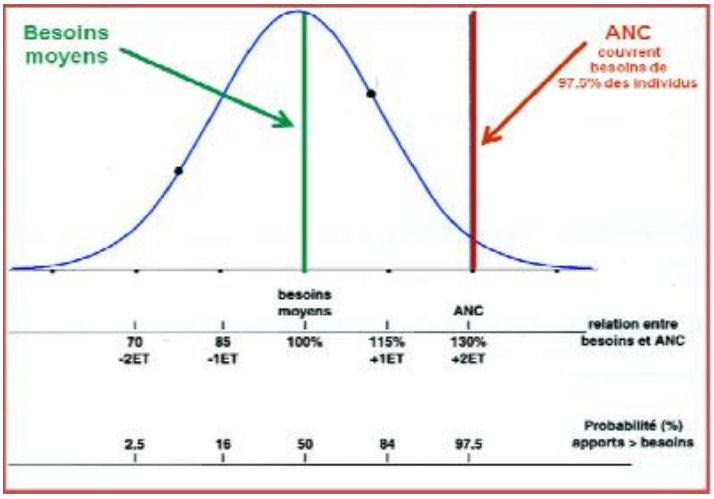


Figure A3 : Courbe de détermination des ANC en fonction des besoins moyens ("Diététique, nutrition d'un sportif ," 2013)

Les ANC ne sont pas une norme à atteindre, mais un repère pour la population. Une personne ayant des apports en nutriments inférieurs aux ANC ne sera pas forcément non-couverte par ce besoins en nutriments, mais risque une insuffisance d'apport. Au contraire, au-delà, l'ANSES fixe une limite de sécurité supérieure d'apports pour éviter que le nutriment se révèle toxique (Tableau A1).

Les ANC sont régulièrement révisés. Le dernier ouvrage sur les ANC en France a été publié en 2001, mais des révisions ont été réalisées pour les protéines en 2007 et pour les acides gras en 2010 (ANSES, 2014).

Tableau A1 : Limites supérieures de sécurité pour les apports alimentaires de quelques micronutriments en France (ANSES, 2001)

Limites supérieures de sécurité / Micronutriments	France	
	En apport quotidien chronique	Coefficient multiplicateur des ANC
Vitamine A (rétinol)	1 400 µg/j [1]	2
Bêtacarotène	8 100 µg/j [2]	3,8
Vitamine D	25 µg/j [3]	5
Vitamine E	52 mg/j [1/4]	4,3
Vitamine K	-	-
Thiamine (B_1)	15 mg/j [2]	12,5
Riboflavine (B_2)	17 mg/j [2]	11,3
Niacine (B_3)	45 mg/j [1]	3,6
Acide pantothénique (B_5)	-	-
Pyridoxine (B_6)	7 mg/j [3]	4,1
Biotine (B_8)	-	-
Acide folique (B_9)	900 µg/j [1]	2,8
Cobalamine (B_{12})	-	-
Vitamine C	1 100 mg/j [2/3]	2,2
Fer	28 mg/j [2/3]	2,25
Iode	500 µg/j [3]	3,3
Magnésium	700 mg/j [3]	1,8
Zinc	15 mg/j [3]	1,4
Sélénium	150 µg/j [3]	2,3
Fluor	2,6 mg/j (0,04 mg/kg) [1]	1

3. Les différents niveaux d'apports des nutriments

Les apports en nutriments ne sont pas forcément égaux aux ANC. Il peut y avoir des apports supérieurs ou inférieurs aux ANC.

En dessous des ANC se trouvent deux niveaux d'apport, ce sont le déficit d'apport et la carence d'apport (Figure A4) :

- Le déficit d'apport correspond à des apports inférieurs correspondant à 2 /3 des ANC et expose la personne à un risque de carence.
- La carence est la limite à laquelle les apports sont insuffisants et ont pour conséquence, l'apparition de manifestations cliniques (pathologies carentielles).

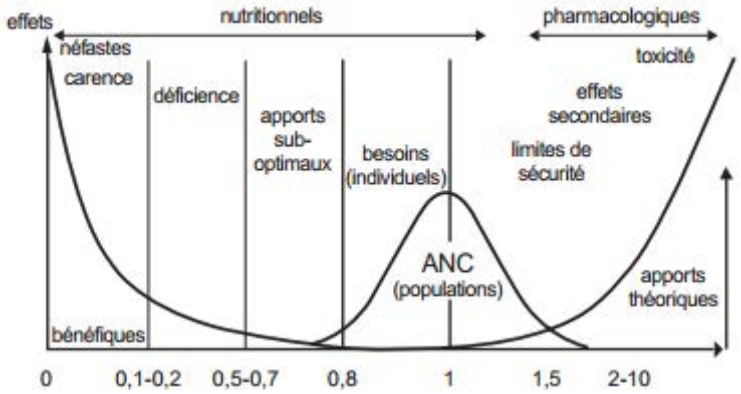


Figure A4 : Relation entre les quantités de nutriments ingérées et leurs effets potentiels sur la santé (Guilland et Lequeu, 2001)

Annexe 4 : Bilan des études de supplémentation en carnitine

Tableau A2 : Bilan des études de supplémentation en carnitine (Le Borgne et Demarquoy, 2003)

Tableau 1
Bilan des études de supplémentation en carnitine

Dose de carnitine journalière	Durée du traitement	Sujets	Paramètres mesurés	Résultats	Références
1 g/j (oralement)	6 mois	11 sprinters	Taux et forme de La carnitine dans le muscle	Prévient la diminution des taux de carnitine dans les cellules	Arenas et al., 1991 [1]
		13 coureurs de fond		Pas d'effet	
2 g oralement	1 fois	12 étudiants	Taux de carnitine plasmatique	Augmentation du taux circulant, avec un maximum 3,5 heures après la prise orale	Bach et al., 1983 [2]
2 g oralement	1 fois	10 sportifs (niveau moyen)	Lactate	Accumulation de lactate après l'exercice diminuée	Siliprandi et al., 1990 [35]
2 g oralement	1 fois	10 sportifs (niveau moyen)	Lactate	Lactate diminué	Vecchiet et al., 1990 [40]
			VO2 max	VO2 max augmentée	
2 g/j oralement	14 jours	9 sujets non entraînés	VO2 max Lactate	Pas de changement	Greig et al., 1987 [20]
	28 jours	10 sujets non entraînés		Pas de changement	
2 g/j oralement	28 jours	10 sujets non entraînés	VO2, VCO2, QR, lactate, glycémie	Pas de changement	Oyono-Enguelle et al., 1988 [30]
2 g/j oralement	7 jours	20 athlètes males	Performance	Pas d'effet	Trappe et al., 1994 [38]
			Lactate	Pas de changement	
2 g/j oralement	28 jours	10 athlètes	QR	Diminution du QR	Gorostiaga et al., 1989 [19]
			VO2, RC, lactate, glycémie	Pas d'effet	
3 g/j oralement	21 jours	40 athlètes haut niveau	VO2 max	Augmentation de la VO2 max	Dragan et al., 1987 [14]
3 g/j oralement	7 jours	7 adultes (bonne santé)	VO2 max, QR	Pas de changement	Wyss et al., 1990 [43]
3 g/j oralement	7 jours	9 adultes (bonne santé)	Oxydation des acides gras, QR, lactate, RC	Pas de changement	Decombaz et al., 1993 [13]
3 g IV	40 min avant l'exercice	12 hommes actifs	VO2, VCO2	Pas de changement	Natali et al., 1993 [29]
			Oxydation des acides gras	Augmentation de l'oxydation après l'effort (pas pendant)	
4 g/j oralement	14 jours	6 marcheurs	QR	Pas de changement	Marconi et al., 1985 [27]
			VO2 max	Augmentation de la VO2max	
4 g/j oralement	14 jours	8 hommes en bonne santé	Contenu musculaire en lactate et carnitine	Pas d'effet	Barnett et al., 1994 [3]
2 x 2 g oralement	2 et 3 mois	8 hommes en bonne santé	Carnitine intracellulaire VO2 max Performance	Pas de changement	Wachter et al., 2002 [42]
4 g	1 fois avant la course	7 coureurs	Performance et lactate	Pas d'effet	Colombani et al., 1996 [11]
5 g/j oralement	5 jours	7 sportifs de niveau moyen	Oxydation des acides gras, VO2	Pas de changement	Soop et al., 1988 [36]
6 g/j oralement	7 à 14 jours	8 adultes en bonne santé	QR, oxydation des acides gras, glycolyse	Pas d'effet	Vukovich et al., 1994 [41]
18,5 ou 92,5 mol/kg	1 fois avant l'exercice	14 hommes en bonne santé	Lactate, VO2, QR, glycogène musculaire	Pas d'effet	Brass et Hiatt,1994 [8]

Abréviations utilisées : QR : quotient respiratoire, RC: rythme cardiaque.

F. Le Borgne, J. Demarquoy / Science & Sports 18 (2003) 125–133

Annexe 5 : classification des fibres musculaires

IL existe différents types de fibres musculaires reparties en 2 familles (Université Rennes 2, n.d.) :

- Les fibres de type 1 ou fibres à contraction lente
- Les fibres de type 2 ou fibres à contraction rapide qui contiennent 2 sous catégories
    - Les fibres type 2a à contraction intermédiaire
    - Les fibres types 2b à contraction rapide

Annexe 6 : temps de séjour gastrique de certains aliments

Tableau A3 : temps de séjour gastrique de certains aliments (Daniel et Kuhn, 2012)

Temps de séjour gastrique	Aliments
1 à 2 heures	Eau, thé, café, riz, œufs mollets ou à la coque, poisson cuit
2 à 3 heures	Lait, thé ou café au lait, pommes de terre, pâtes, pain blanc, omelette œufs brouillés
3 à 4 heures	Pain noir, frites, carottes, chou, concombre, épinards radis, jambon, volaille cuite, steak
4 à 5 heures	Lentilles, petits pois, haricots verts, boeuf, viandes fumées, fromage
5 à 7 heures	Champignons, viandes rôties, hareng, lard
7 à 9 heures	Sardines à l'huile

Annexe 7 : tableau comparatif de 35 boissons de l'effort (Aubineau, 2016a)

La Diététique Nicolas Aubineau
www.nicolas-aubineau.com

	APTONIA®	EAFIT®	NUTRISENS® GO2®	ISOSTAR®	INKOSPOR®	FENIOUX® MULTISPORT	ERGYSPORT®	NUTRATLETIC®	FENIOUX® MULTISPORT	OVERSTIMS®	+WATT®	ETIXX®
	ISO +	BOISSON ENERGETIQUE 2-4H	BOOSTER TRAIL	HYDRATE & PERFORM	POWER DRINK®	ENERGY PROGRESSIVE	ERGYSPORT® EFFORT	NUTRAPERF®	ENERGY PROGRESSIVE BCAA	HYDRIXIR® LONGUE DISTANCE	SALI + PERFORMANCE	ISOTONIC
Quantité pour 1 bidon	38 g	46 g	40 g	40 g	30 g	45 g	30 g	40 g	45 g	45 g	40 g	35 g
Energie (kcal)	137	166	134	148	114	165	110	147	165	166	139	122
Protéines (g)			5,4				1,8	2		2,3		
Glucides (g)	33,2	41,5	28	35	29	41	25,4	34,5	41	39,2	34,7	29,8
dont sucres (g)	25,3	18	6	28	19	26	14,9	18,6	26	14,4		28,3
Graisses/Lipides (g)								0,02				
dont A.G. saturés (g)								0,01				
Sodium (mg)	340	342	148	320	260	373	230	348	373	36	200	280
Potassium (mg)	318	116,8	409		105	12	198		12		113	788
Magnésium (mg)	57	13,8	63,3	62	31		90	184		45,9	50	57
Zinc (mg)			2,6				1,8	2,4		1,17		
Calcium (mg)			127	160			120			111		
Vit B1 (mg)	0,33	0,32	0,31	0,23	0,7	0,49	0,25	0,35	0,49	0,41		
Vit B2 (mg)	0,42	0,36	0,31		0,8			0,21				
Niacine - Vit B3 (mg)		4,1						4,5				
Vit B5 (mg)		1,3	1,1									
Vit B6 (mg)	0,46	0,46	0,25				0,32			0,20	1,0	
Biotine - Vit B8 (µg)			9,5									
Vit B12 (µg)		0,2										
Vit C (mg)	23,9	17	16		31	22	18	12	22	27	60	
Vit E (mg)	3,6		2,1		5,4		2,8	2,5				
BCAAs (g)							0,39	2		0,5		
Conditionnement	Pot 650 g	Pot 500 g	Pot 500 g	Pot 560 g	Pot 660 g	Pot 500 g	Pot 450 g	10 sticks	Pot 600 g	Pot 600 g	Pot 500 g	Pot 1 kg
Prix	9,95 €	11,50 €	21,90 €	12,20 €	14,90 €	13,00 €	16,00 €	26,80 €	18,50 €	22,60 €	16,00 €	23,99 €
Prix par bidon	0,58 €	1,04 €	1,75 €	0,87 €	0,68 €	1,17 €	1,07 €	2,68 €	1,39 €	1,70 €	1,28 €	0,84 €
Prix au kg	15,31 €	23,00 €	43,80 €	21,79 €	22,58 €	26,00 €	35,56 €	67,00 €	30,83 €	37,67 €	32,00 €	23,99 €
Note qualité	17	11	14	9,5	9,5	9,5	11	17	9,5	11	9,5	5
Note Prix	19,5	18	13,5	18	18	17,5	15,5	9	16,5	15	16	17,5
Note Qualité/Prix (sur 20)	**18,25**	**14,5**	**13,75**	**13,75**	**13,75**	**13,5**	**13,25**	**13**	**13**	**13**	**12,75**	**12,75**

La Diététique Nicolas Aubineau

www.nicolas-aubineau.com

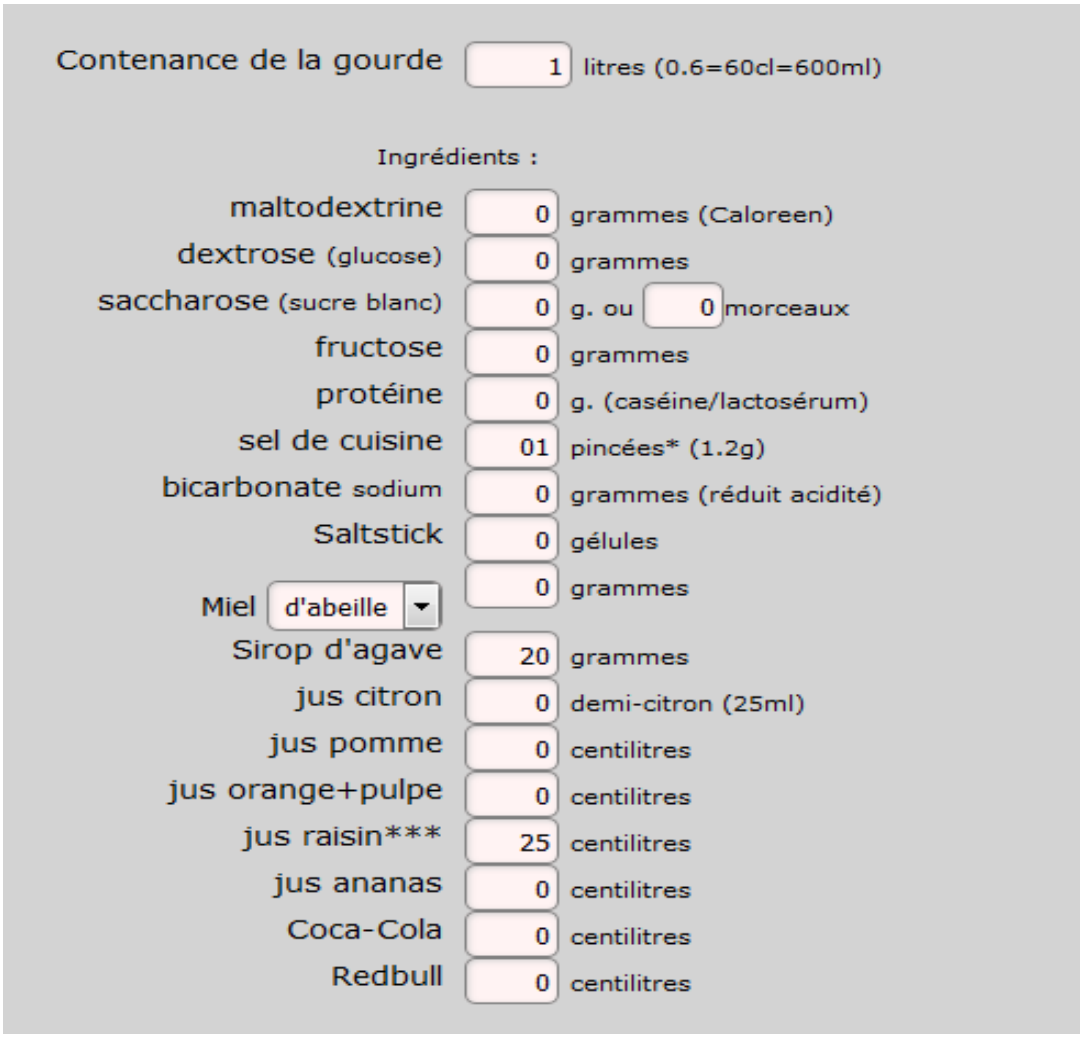
	EFFINOV® NUTRITION	NUTRISENS® GO2®	MX3®	ISOXAN®	OVERSTIMS®	WIGGLE®	POWERBAR®	SIS®	ERIC FAVRE®	POWERADE®	COCO & RICO®	SPONSER®
	HYDRAMINOV®	AC+	MIXDRINK	SPORT PRO	HYDRIXIR®	ENERGY DRINK	ISOACTIVE®	GO ELECTROLYTE	TOTAL ENERGY	ION4	POUDRE D'ESCAMPETI	COMPETITION
Quantité pour 1 bidon	34 g	40 g	37,5 g	30 g	45 g	50 g	33 g	40 g	44 g	39 g	25 g	40 g
Energie (kcal)	126	144	141	110	167	179	118	146	168	150	93,5	153
Protéines (g)	3,0	0,08	5,1									
Glucides (g)	26,3	35,6	26,3	25,88	41,9	44	29	36	41,8	35,3	23,4	38,5
dont sucres (g)	15,0	16,8	11,5	22,74	21,6	16	20,1	6,7	31,2	35,3	23,4	21
Graisses/Lipides (g)												
dont A.G. saturés (g)												
Sodium (mg)	356	520	117	402,4	27	164	416	200	65	261	188	230
Potassium (mg)	311	182	210				109	60	90			34
Magnésium (mg)	72	46	36	39			22,4	5				18
Zinc (mg)	2,5											
Calcium (mg)		58	81	60	90		58,7	27				24
Vit B1 (mg)	0,37	0,4	0,30	0,3	0,41				0,31		0,27	
Vit B2 (mg)	0,20	0,32	0,38								0,34	
Niacine - Vit B3 (mg)	2,38	3,88									3,87	
Vit B5 (mg)											1,45	
Vit B6 (mg)	0,20	0,43	0,26	0,3	0,20						0,34	
Biotine - Vit B8 (µg)											12,07	
Vit B12 (µg)											0,61	
Vit C (mg)	20	12,8	14	10,5	23						19,32	
Vit E (mg)	3,1	2,16									2,9	
BCAAs (g)	1,2											
Conditionnement	10 sticks	Pot 500 g	Pot 600 g	10 sticks	Pot 600 g	Pot 2,2 kg	Pot 600 g	Pot 1,6 kg	Pot 800 g	Pot 480 g	Pot 600 g	Pot 800 g
Prix	24,90 €	28,90 €	17,60 €	8,90 €	18,20 €	8,99 €	9,00 €	28,15 €	14,30 €	9,99 €	18,00 €	17,40 €
Prix par bidon	2,49 €	2,31 €	1,10 €	0,89 €	1,37 €	0,20 €	0,50 €	0,70 €	0,79 €	0,81 €	0,75 €	0,87 €
Prix au kg	73,24 €	57,80 €	29,33 €	29,67 €	30,33 €	4,09 €	15,00 €	17,59 €	17,88 €	20,81 €	30,00 €	21,75 €
Note qualité	17	14	8	8	8	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	5	3,5
Note Prix	8	11	16,5	16,5	16,5	20	19,5	19	19	18,5	16,5	18
Note Qualité/Prix (sur 20)	12,5	12,5	12,25	12,25	12,25	11,75	11,5	11,25	11,25	11	10,75	10,75

La Diététique Nicolas Aubineau

www.nicolas-aubineau.com

	S.T.C NUTRITION®	HIGH 5®	PILEJE®	APURNA®	PUNCH POWER®	G.U ENERGY®	SQUEEZY®	MELTONIC®	TORQ®	DUO TONIC®	AFFYSPORT®
	VO2 MAX®	ENERGYSOURCE 4:1	HYPROSPORT® EFFORT	BOISSON ENERGIE ANTIOXYDANTE	BIO DRINK	ROCTANE® ULTRA ENDURANCE	ENERGY SUPER DRINK	BOISSON ENERGETIQUE ANTIOXYDANTE	ENERGY DRINK	Iso Citron	HYDRENERGY 4
Quantité pour 1 bidon	35 g	47 g	30 g	35 g	40 g	65 g	40 g	20 g	30 g	50 ml	22 g
Energie (kcal)	125	177	106	128	155	240	136	75	120	108	82
Protéines (g)	6,5	9	2,4	5			2,4				
Glucides (g)	24	35	23,3	27,1	34,8	59	30,4	18,3	30	27	19
dont sucres (g)	11	21	12,5	20,7	20,9	15	21,2		10		
Graisses/Lipides (g)											
dont A.G. saturés (g)											
Sodium (mg)	135	240	345,2	280	236	800	208	80	275	26	292
Potassium (mg)	112		252	141		105			65	80	146
Magnésium (mg)	37		30					90	6		25
Zinc (mg)	0,025			2				2,4			
Calcium (mg)	51		100	85,4				120	25		
Vit B1 (mg)	0,35		0,21	0,25	0,4			0,8			
Vit B2 (mg)	0,38			0,42							
Niacine - Vit B3 (mg)	4,5			2,4							
Vit B5 (mg)	1,5			0,9							
Vit B6 (mg)	0,5			0,45				1,2		1,4	
Biotine - Vit B8 (µg)	37,4										
Vit B12 (µg)	0,25									2,5	
Vit C (mg)	15,1		32	21,6				163,5		80	30
Vit E (mg)	2,45		2,2	2,4							
BCAAs (g)						0,76					
Conditionnement	Pot 525 g	12 sticks	14 sticks	10 sachets	Pot 500 g	Pot 780 g	Pot 400 g	10 sticks	Pot 500 g	Pot 300 ml	10 sticks
Prix	16,90 €	14,90 €	24,00 €	14,90 €	18,00 €	35,00 €	15,00 €	11,50 €	19,60 €	18,00 €	14,00 €
Prix par bidon	1,13 €	1,24 €	1,71 €	1,49 €	1,44 €	2,92 €	1,50 €	1,15 €	1,18 €	1,50 €	1,40 €
Prix au kg	32,19 €	24,83 €	57,14 €	42,57 €	36,00 €	44,87 €	37,50 €	57,50 €	39,20 €	60,00 €	63,64 €
Note qualité	5	3,5	9,5	6,5	5	6,5	3,5	3,5	3,5	5	-1
Note Prix	16	17.5	11	14	15.5	13.5	15	11	14.5	10.5	9.5
Note Qualité/Prix (sur 20)	10,5	10,5	10,25	10,25	10,25	10	9,25	7,25	7,25	7	4,25

Annexe 8 : exemple de site internet permettant de connaitre la constitution d'une "boisson de l'effort maison", essai avec la boisson de la recette 1 du paragraphe 4.2.1.5. (“Dosage boisson d’effort,” 2015)



...complété par eau du robinet

jusqu'au remplissage de la gourde.

calculer

Concentration (osmolarité) approximative : **368** mmol/l (idéal entre 200-250**)

Boisson hypertonique. Trop concentrée, l'hydratation se fait mal, la vidange gastrique est très ralentie. Sauf si vous complétez avec de l'eau pure. Risques d'inconfort ou douleurs (estomac), nausée, diarrhée.

Eau ajoutée : 73cl • Poids boisson : 1033g

Glucides : 49 g (49g/litre) • Calories : 196 kcal

Pouvoir sucrant (goût) : 51 (Coca = 100)

Sodium : 481 mg

Consommation prévue (bu chaque heure): 1.1 (1.2 litre max?)

Votre poids : 70 kg

Durée pour vider le contenant : 54min

Énergie par heure : 215 kcal/h soit 3 km courus

Glucides par heure : 53 g/h (réduire si nausée/lourdeur (CAP)) [0.7 g/kg/h]

Fructose par heure : 35 g/h (max 30, si >20g/h risque digestif diarrhée)

Protéine par heure : 0 g/h

Sodium par heure : 529 mg/h (450-1200 si sudation/température très importante sur plusieurs heures)

Annexe 9 : Comparaison de divers gels énergétiques (Aubineau, 2015)

La Diététique Nicolas Aubineau
www.nicolas-aubineau.com

	ISOSTAR® GEL ENERGY	POWERBAR® POWERGEL C2MAX	HIGH 5 ENERGYGEL	SQUEEZY® ENERGY GEL	APTONIA® ENERGY GEL	APURNA® BARRE ENERGETIQUE ANTIOXYDANTE	+ WATT STAR GEL +	STC NUTRITION® OVER BLAST® ENERGY	FENIOUX MUTLISPORTS® TURBO PUNCH®	MULEBAR® ENEGY GEL CAFÉ	GU® ROCTANE	OVERSTIMS® GEL ANTIOXYDANT	EAFIT® PERFORMER	DUO TONIC® ISO	MX3® MXGEL ANTIOXYDANT	GO2® AC+ GEL	PUNCH POWER® SPEED GEL	OVERSTIMS® COUP DE FOUET	MELTONIC® MIEL MAGNESIUM
Quantité pour 1 bidon	55 g	41 g	38 g	33 g	25 g	27 g	50 g	25 g	27 g	37 g	32 g	27 g	25 g	55 g	25 g	27 g	25 g	25 g	20 g
Energie (kcal)	112	109	91	85	65	80	105	74	81	113	100	81	74	55	75	79	70	77	61,4
Protéines (g)						1				0,2									
Glucides (g)	28	27,1	23	21	16	18,9	26,2	18,5	20,5	28	21	20	18	13,7	18,6	19,8	17,5	19,2	15,2
dont sucres (g)	19	10	2,9	3,1	15	11,6		12,1	16,2	25	6	9,5	11	13,5	12,6	13,6	17,5	13,2	13,01
Graisses/Lipides (g)																			
dont A.G. saturés (g)																			
Sodium (mg)		136	50	40	28			45	27	75	125	13		20	49	20	73,8	8,8	48
Potassium (mg)								45			33			40	21				
Magnésium (mg)									4			16,2			1,9				
Zinc (mg)												0,6							
Calcium (mg)									40,5		35	51			19,7				
Vit B1 (mg)	0,33				0,17	0,17		0,22	0,21			0,1	0,2	0,525	0,25	0,21	0,2	0,15	
Vit B2 (mg)						0,21		0,4					0,8			0,22			
Niacine - Vit B3 (mg)												1							
Vit B5 (mg)								1,5											
Vit B6 (mg)						0,22		0,3				0,1	1	0,7				0,15	
Biotine - Vit B8 (µg)																			
Vit B12 (µg)								0,25						1,25					
Vit C (mg)	16				12	12,1		20						20		13,7		9,5	
Vit E (mg)						1,8						0,5			1,75	1,8			
BCAAs (g)											0,85								
Caféine (mg)							60,0	30	13,5	63	35			5					

Annexe 10 : Comparaison de diverses barres énergétiques (Aubineau, 2016b)

La Diététique Nicolas Aubineau www.nicolas-aubineau.com	CLIF BAR® CHOCOLATE CHIP	APTONIA® ULTRA FRUITS BARS	INKOSPOR® ENERGY BAR®	EAFIT® BARRE ENERGETIQUE	APURNA® BARRE ENERGIE CEREALE	ISOSTAR® HIGH ENERGY	POWERBAR® ENERGIZE CJMAX	WIGGLE® BARRE ENERGETIQUE	NUTRISEN S® SPORT ANTIOXYBAR	ETIXX® ENERGY SPORT BARS	FENIOUX MUTUASPORTS® BARRE LONGUE ENERGIE	HIGH 5® ENERGY BAR	CHIMPANZEE® BARRE ENERGETIQUE	MX3® FRUITY ENERGY BAR	STIC® VO2 MAX BAR
Poids unitaire	68 g	40 g	65 g	50 g	40 g	40 g	55 g	60 g	40 g	40 g	50 g	60 g	55 g	55 g	45 g
Energie (kcal)	252	156	225	91,5	154	159	199	221	90,5	146	172	195	229	127	170
Protéines (g)	10	1,2	5,5	0,2	5	1,9	5,5	2,5	0,6	2,1	0,7	2,6	9,5	0,77	10,1
Glucides (g)	40	28	45,2	22,1	24	39	39	45	15	29	37,85	40	25	28,39	22,5
dont sucres (g)	23	20	17,5	15,5	9,4	14	24,2	25	14,7	12	13,5	20	15	16,9	9
Graisses/Lipides (g)	5	2,4	2,7	0,7	4,1	3,6	2	2,7	1,6	2,1	1,65	2,6	6	1,61	4,3
dont A.G. saturés (g)	1,5	0,2	0,5	0,1	1,4	2,6	0,4	0,4	0,3	0,5		0,3	1,4	1,4	2,4
Sodium (mg)	60	16	4	13	58	90	130	44	5,2	55	12,6	44	60	10,5	11
Potassium (mg)				300											
Magnésium (mg)	55			38,5			75,6			56					
Zinc (mg)															
Calcium (mg)	150													42	
Vit B1 (mg)	0,16	0,17	0,66	0,55	0,2	0,4			0,15		0,55			0,31	0,55
Vit B2 (mg)	0,25		0,67		0,25	0,51									
Niacine - Vit B3 (mg)	3		9,9		2,9	3,5									
Vit B5 (mg)	0,4		3,7												
Vit B6 (mg)		0,21	0,66		0,25	0,46									
Biotine - Vit B8 (µg)			30,9												
Vit B12 (µg)	1	0,35	1,54												
Vit C (mg)	30	11	49,5	11	14,4	30			37,5						
Vit E (mg)	4,4		7,4		2,2	2,4			0,9					1,5	
BCAAs (g)															
Conditionnement	Unité	3 barres	Unité	Unité	3 barres	Unité	Unité	20 barres	4 barres	Unité	5 barres	Unité	Unité	Unité	3 barres
Prix	2,50 €	4,99 €	2,00 €	1,50 €	5,70 €	1,95 €	1,99 €	14,99 €	5,00 €	1,99 €	9,00 €	1,49 €	2,50 €	1,90 €	10,95 €
Prix au kg	36,76 €	24,95 €	30,77 €	30,00 €	47,50 €	48,75 €	36,18 €	12,49 €	31,25 €	49,75 €	36,00 €	37,25 €	45,45 €	34,29 €	48,67 €
Note Qualité	14	8	8	12,5	11	11	8	3,5	5	8	3,5	3,5	5	6,5	5
Note Prix	17	20	18,5	13,5	14	14	17	20	18	13,5	17	16,5	14,5	12,5	14
Note Qualité/Prix (sur 20)	15,5	14	13,25	13	12,5	12,5	12,5	11,75	11,5	10,75	10,25	10	9,75	9,5	9,5
Note Qualité Coef. 3 (sur 20)	14,75	11	10,625	12,75	11,75	11,75	10,25	7,625	8,25	9,375	6,875	6,75	7,375	8	7,25
Note Prix Coef. 3 (sur 20)	16,25	17	15,875	13,25	13,25	13,25	14,75	15,875	14,75	12,125	13,625	13,25	12,125	11	11,75

FACULTE DE PHARMACIE **UNIVERSITE DE LORRAINE**

DEMANDE D'IMPRIMATUR

Date de soutenance : 08/09/16

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

présenté par : Romuald DAVID

Sujet :

La nutrition du triathlète lors des épreuves de longue durée

Jury :

Président : Mme Brigitte LEININGER-MULLER, Professeur
Directeur : M. Jean-Claude BLOCK, Professeur
Juges : M. Patrick MENU, Professeur
M. Emilien FRONZAROLI, Médecin
M. Thomas GAYTTE, Pharmacien

Vu,

Nancy, le 26 juillet 2016

Le Président du Jury

Brigitte LEININGER-MULLER

Directeur de Thèse

Jean-Claude BLOCK

Vu et approuvé,

Nancy, le 27/07/2016

Doyen de la Faculté de Pharmacie
de l'Université de Lorraine,

Francine PAULUS

Vu,

Nancy, le - 1 SEP. 2016

Le Président de l'Université de Lorraine,

Pierre MUTZENHARDT

N° d'enregistrement : 9170

N° d'identification :

TITRE

LA NUTRITION DU TRIATHLETE LORS DES EPREUVES DE LONGUE DUREE

Thèse soutenue le 8 septembre 2016

Par Romuald DAVID

RESUME :

Le triathlon et les compétitions de longues distances, de format Ironman nécessitent une alimentation adaptée pour préparer l'épreuve, compenser les pertes durant l'épreuve, et limiter la survenue de la fatigue ou de décompensations majeures.

Dans ce cadre, ce travail a pour but d'évaluer les différentes pertes énergétiques et non énergétiques du triathlète, pour optimiser son alimentation à l'approche et pendant le triathlon. Dans une première partie, les différentes méthodes d'évaluation des pertes énergétiques, ainsi que l'estimation de ces dernières sur un triathlon longue distance qui dure au minimum 8 h pour un triathlète professionel et jusqu'à 18 à 20 h pour un amateur, indiquent une dépense de 7000 à 8000 kcal. Les différents nutriments énergétiques nécessaires aux besoins sont essentiellement les glucides et les apports sont de 1 à 1,6 g/kg/h. La deuxième partie concerne les pertes et les apports non énergétiques comme l'eau, les minéraux et les vitamines. La troisième partie développe le régime à entreprendre avant une compétition, ainsi que la nutrition lors d'une épreuve de triathlon, grâce aux boissons de l'effort, gels et barres énergétiques et les fruits.

A l'approche de l'épreuve, le sportif doit augmenter ces réserves énergétiques grâce à un régime adapté. Lors de l'épreuve sportive, les boissons dites de l'effort représentent la meilleure solution pour hydrater le sportif et apporter de l'énergie. Pour compléter les différents apports fournis par les boissons de l'effort, le triathlète consommera des aliments solides comme les gels et barres énergétiques qui fournissent également des glucides pour la production d'énergie. La consommation de fruits lors d'un triathlon n'est pas à négliger, car ils fournissent du potassium, des vitamines, ainsi que des glucides. Les quantités recommandées sont de 2 aliments solides et 500 à 800 mL de boissons de l'effort par heure.

En résumé, le choix des aliments ainsi que la stratégie d'alimentation doivent être pensés pour réussir entraînement et épreuve. L'alimentation lors des triathlons de longue durée est à décider et à pratiquer dès l'entrainement pour établir le rythme d'absorption, la quantité de glucides, de liquides, et le type d'apport.

MOTS CLES :

ENERGIE NUTRITION SPORT ENDURANCE

Directeur de thèse	Intitulé du laboratoire	Nature
Jean-Claude BLOCK	LCPME UMP 7564	**Expérimentale** ☐ **Bibliographique** ☒ **Thème** 4

Thèmes **1 – Sciences fondamentales** **2 – Hygiène/Environnement**
3 – Médicament **4 – Alimentation – Nutrition**
5 - Biologie **6 – Pratique professionnelle**