

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN PHARMACIE

Soutenue publiquement le 26 juin 2018

Par Mme LEROUX Cindy

Conseils en nutrition et en activité physique en officine : détermination des besoins de formation et proposition de remédiations pour les pharmaciens et les étudiants en pharmacie

Membres du jury:

Président : Duriez Patrick, Professeur de Physiologie à l'Université de Lille

Directeur, conseiller de thèse : Murielle Garcin, Professeur à la Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique, Université de Lille

Assesseur(s) : Annie Standaert, Maître de conférences à l'Université de Lille

**Faculté de Pharmacie
de Lille**



3, rue du Professeur Laguesse - B. P. 83 - 59006 LILLE CE

☎ 03. 20. 96. 40. 40 - 📠 : 03. 20. 96. 43. 64



Université de Lille

Président :	Jean-Christophe CAMART
Premier Vice-président:	Damien CUNY
Vice-présidente Formation :	Lynne FRANJIÉ
Vice-président Recherche :	Lionel MONTAGNE
Vice-président Relations Internationales :	François-Olivier SEYS
Directeur Général des Services:	Pierre-Marie ROBERT
Directrice Générale des Services Adjointe :	Marie-Dominique SAVINA

Faculté de Pharmacie

Doyen :	Bertrand DÉCAUDIN
Vice-Doyen et Assesseur à la Recherche :	Patricia MELNYK
Assesseur aux Relations Internationales :	Philippe CHAVATTE
Assesseur à la Vie de la Faculté et aux Relations avec le Monde Professionnel :	Thomas MORGENROTH
Assesseur à la Pédagogie :	Benjamin BERTIN
Assesseur à la Scolarité :	Christophe BOCHU
Responsable des Services :	Cyrille PORTA

Liste des Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Pharmacie Galénique
M.	DEPREUX	Patrick	ICPAL
M.	DINE	Thierry	Pharmacie clinique
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie
M.	LUYCKX	Michel	Pharmacie clinique
M.	ODOU	Pascal	Pharmacie Galénique
M.	STAELS	Bart	Biologie Cellulaire

Liste des Professeurs des Universités

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	ALIOUAT	EI Moukhtar	Parasitologie
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Physique
M.	BERTHELOT	Pascal	Onco et Neurochimie
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie – Pharmacie clinique
M.	CHAVATTE	Philippe	ICPAL
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Physique
M.	DEPREZ	Benoît	Lab. de Médicaments et Molécules
Mme	DEPREZ	Rebecca	Lab. de Médicaments et

			Molécules
M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie
M.	FOLIGNE	Benoît	Bactériologie
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie
Mme	GAYOT	Anne	Pharmacotechnie Industrielle
M.	GOOSSENS	Jean François	Chimie Analytique
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie Cellulaire
M.	LUC	Gerald	Physiologie
Mme	MELNYK	Patricia	Onco et Neurochimie
M.	MILLET	Régis	ICPAL
Mme	MUHR – TAILLEUX	Anne	Biochimie
Mme	PAUMELLE-LESTRELIN	Réjane	Biologie Cellulaire
Mme	PERROY	Anne Catherine	Législation
Mme	ROMOND	Marie Bénédicte	Bactériologie
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie
M.	SERGHERAERT	Eric	Législation
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie Industrielle
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie Industrielle
M.	WILLAND	Nicolas	Lab. de Médicaments et Molécules

Liste des Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
------	-----	--------	-------------

Mme	BALDUYCK	Malika	Biochimie
Mme	GARAT	Anne	Toxicologie
Mme	GOFFARD	Anne	Bactériologie
M.	LANNOY	Damien	Pharmacie Galénique
Mme	ODOU	Marie Françoise	Bactériologie
M.	SIMON	Nicolas	Pharmacie Galénique

Liste des Maîtres de Conférences

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	ALIOUAT	Cécile Marie	Parasitologie
M.	ANTHERIEU	Sébastien	Toxicologie
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie
Mme	BANTUBUNGI	Kadiombo	Biologie cellulaire
Mme	BARTHELEMY	Christine	Pharmacie Galénique
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie
M	BELARBI	Karim	Pharmacologie
M.	BERTHET	Jérôme	Physique
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle
M.	BOCHU	Christophe	Physique
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie
M.	BOSC	Damien	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie
Mme	CARON	Sandrine	Biologie cellulaire
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie
Mme	CHARTON	Julie	Lab. de Médicaments et Molécules

M	CHEVALIER	Dany	Toxicologie
M.	COCHELARD	Dominique	Biomathématiques
Mme	DANEL	Cécile	Chimie Analytique
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire
Mme	DUTOIT-AGOURIDAS	Laurence	Onco et Neurochimie
M.	EL BAKALI	Jamal	Onco et Neurochimie
M.	FARCE	Amaury	ICPAL
Mme	FLIPO	Marion	Lab. de Médicaments et Molécules
Mme	FOULON	Catherine	Chimie Analytique
M.	FURMAN	Christophe	ICPAL
Mme	GENAY	Stéphanie	Pharmacie Galénique
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie
Mme	GOOSSENS	Laurence	ICPAL
Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques
Mme	HAMOUDI	Chérifa Mounira	Pharmacotechnie industrielle
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie
M.	KAMBIA	Kpakpaga Nicolas	Pharmacologie
M.	KARROUT	Youness	Pharmacotechnie Industrielle
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie
M.	LEBEGUE	Nicolas	Onco et Neurochimie
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie Analytique

Mme	LEHMANN	Hélène	Législation
Mme	LELEU-CHAVAIN	Natascha	ICPAL
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie Analytique
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie
M.	MOREAU	Pierre Arthur	Sciences végétales et fongiques
M.	MORGENROTH	Thomas	Législation
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques
M.	PIVA	Frank	Biochimie
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie
M.	POURCET	Benoît	Biochimie
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques
Mme	RAVEZ	Séverine	Onco et Neurochimie
Mme	RIVIERE	Céline	Pharmacognosie
Mme	ROGER	Nadine	Immunologie
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques
M.	YOUS	Saïd	Onco et Neurochimie
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques

Professeurs Certifiés

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	HUGES	Dominique	Anglais
Mlle	FAUQUANT	Soline	Anglais
M.	OSTYN	Gaël	Anglais

Professeur Associé - mi-temps

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	DAO PHAN	Hai Pascal	Lab. Médicaments et Molécules
M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie Pharmaceutique

Maîtres de Conférences ASSOCIES - mi-temps

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	BRICOTEAU	Didier	Biomathématiques
Mme	CUCCHI	Malgorzata	Biomathématiques
M.	FRIMAT	Bruno	Pharmacie Clinique
M.	GILLOT	François	Droit et Economie pharmaceutique
M.	MASCAUT	Daniel	Pharmacie Clinique
M.	ZANETTI	Sébastien	Biomathématiques
M.	BRICOTEAU	Didier	Biomathématiques

AHU

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	DEMARET	Julie	Immunologie
Mme	HENRY	Héloïse	Biopharmacie
Mme	MASSE	Morgane	Biopharmacie

Faculté de Pharmacie de Lille

3, rue du Professeur Laguesse - B. P. 83 - 59006 LILLE CEDEX

Tel. : 03. 20. 96. 40. 40 - Télécopie : 03. 20. 96. 43. 64

<http://pharmacie.univ-lille2.fr>

L'Université n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses ; celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Remerciements

A notre président de jury, Monsieur le Professeur Duriez Patrick,
Professeur de physiologie à de la Faculté Pharmacie de Lille
Qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.
Hommages respectueux.

A Madame Annie Standaert,
Maître de conférences à la Faculté de Pharmacie de Lille,
Pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse, et pour m'avoir formée et conseillée
sur le logiciel Scenari.
Sincères remerciements.

A Madame Murielle Garcin,
Professeur à la Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique de Lille
Pour avoir accepté d'être ma directrice de thèse, pour les nombreux conseils et la patience
dont vous avez fait preuve tout au long de ce travail.
Sincères remerciements.

A Monsieur D. Cuny,
Vice-président de la Faculté de Pharmacie de Lille
Pour le soutien qu'il m'a apporté lors de mon transfert de la Faculté de Tours et lors de mon
inscription à la Faculté de pharmacie de Lille.
Sincères remerciements.

A Natacha Grimbert,
Pour m'avoir formée sur le logiciel Scenari,
Remerciements.

A Christophe Trousson,
Chargé de communication à la faculté de pharmacie de Lille
Pour m'avoir aidée à réaliser la fiche conseil,
Remerciements.

A tous mes proches, familles et amis,
Pour votre soutien de tous les jours, y compris dans les moments de découragement et les
moments difficiles, merci.

Table des matières

Remerciements	13
Table des matières	15
Liste des abréviations	19
Liste des Tableaux	21
Liste des Figures.....	23
INTRODUCTION.....	25
PARTIE 1 : ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE MUSCULAIRES	27
1) Généralités sur les muscles	27
a) Organisation du tissu musculaire	27
c) Unités de contraction :	28
c. 1) Filaments fins d'actine.....	28
c. 2) Filaments épais de myosine	29
c. 3) Sarcomères	29
2)Physiologie de la contraction musculaire.....	30
3) Énergétique de la contraction musculaire :	32
a) Voie de la phosphocréatine.....	32
b) Métabolisme du glucose	32
c) Beta-oxydation des acides gras	35
d) Cycle de Krebs.....	37
e) Phosphorylation oxydative.....	38
f) Production d'ATP selon l'intensité de l'effort.....	39
g) Cinétique de la consommation des substrats énergétiques	40
4) Adaptations physiologiques du corps au cours de l'effort physique	41
a) Adaptations cardio-vasculaires	41
b) Adaptations respiratoires à l'exercice	42
c) Régulation de la température corporelle	42
d) Maintien de l'équilibre hydro-électrolytique	43
PARTIE 2 : APPORTS ENERGETIQUES ET NUTRITION.....	45
1) Généralités.....	45
2) Macronutriments et énergie.....	45
a) Apports énergétiques totaux	45
b) Lipides	47

b. 1) Triglycérides et acides gras	47
b. 2) Cholestérol	50
c) Glucides	51
d) Protéines	53
3) Micronutriments	54
a) Vitamines	55
a. 1) Vitamine A	55
a. 2) Vitamines du groupe B.....	55
a. 3) Vitamine C	58
a. 4) Vitamine D	59
a. 5) Vitamine E	59
a. 6) Vitamine K	60
b) Minéraux.....	60
b. 1) Calcium	60
b. 2) Cuivre.....	61
b. 3) Iode	61
b. 4) Fer	61
b. 5) Magnésium.....	62
b. 6) Phosphore.....	63
b. 7) Potassium	63
b. 8) Sodium	64
b. 9) Zinc	64
4) Apports en eau.....	64
5) Consommation d'alcool	65
PARTIE 3 : DEPENSES ENERGETIQUES, ACTIVITE PHYSIQUE ET EFFETS SUR LA	
SANTE	67
1) Dépenses énergétiques au repos	67
a) Métabolisme de base.....	67
b) Thermogénèse postprandiale	68
c) Thermorégulation de l'organisme	68
c. 1) Lutte contre le froid.....	69
c. 2) Lutte contre l'excès de chaleur	69
2) Dépenses énergétiques liées à l'exercice physique.....	70
a) Définitions	70

b) Activité physique et dépense énergétique	70
c) Recommandations.....	73
3) Effets de l'activité physique sur la santé.....	74
a) Effet sur la mortalité	74
b) Effet sur le diabète, l'obésité et les maladies cardio-vasculaires	74
c) Effet sur le tissu musculaire	75
d) Effet sur les os et le squelette	75
e) Effet sur le système immunitaire	76
f) Effet sur le bien être	76
4) Risques en cas d'activité physique excessive	77
ENQUETE AUPRES DES PHARMACIENS D'OFFICINE ET MISE EN PLACE D'OUTILS DE CONSEIL A L'OFFICINE SUR NUTRITION ET ACTIVITE PHYSIQUE.....	79
1) Contexte de l'enquête : la situation dans le Nord Pas-de-Calais	79
2) Enquête auprès des officines	79
a) Méthode	79
b) Résultats.....	81
3) Le syndrome métabolique	82
a) Définition	82
a. 1) Epidémiologie	82
a. 2) Troubles observés.....	82
a. 3) Diagnostic du syndrome métabolique	84
b) Facteurs de risque du syndrome métabolique.....	84
c) Prise en charge du syndrome métabolique	85
4) Mise en place d'outils pour les étudiants en sciences pharmaceutiques et pour les pharmaciens d'officine	85
a) Scénario pour PROFFItEROLE	85
b) Fiche conseil aux patients.....	86
Annexe 1 : fiche conseil du PNNS sur l'activité physique.....	87
Annexe 2 : Fiche conseil du PNNS sur la consommation de fruits et légumes	89
Annexe 3 : Scénario pour PROFFItEROLE : quelques exemples de questions.....	91
Annexe 4 : Fiche conseil sur le syndrome métabolique.....	95
BIBLIOGRAPHIE	97

Liste des abréviations

Acetyl-coA	Acétyl-coenzyme A
ADH	Anti Diuretic Hormone
ADP	Adénosine Di-Phosphate
AET	Apport Energétique Total
AGMI	Acide Gras Mono Insaturé
AGPI-LC	Acide Gras Poly Insaturé à Longue Chaîne
AGS	Acide Gras Saturé
AINS	Anti-Inflammatoires Non Stéroïdiens
ANSES	Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'Environnement et du travail
ATP	Adénosine Tri-Phosphate
CG	Charge Glycémique
CRP	C-Reactive Protein
DHA	DocosaHexaenoic Acid
EPA	EicosaPentaénoïque Acid
FADH2	Flavine Adénine Dinucléotide di Hydrogéné
FAD	Flavine Adénine Dinucléotide
FC	Fréquence Cardiaque
GD	Glucides Disponibles
GTP	Guanosine Tri Phosphate
HDL	High Density Lipoprotein
IG	Index Glycémique
IMC	Indice de Masse Corporelle
LDL	Low Density Lipoprotein
MB	Métabolisme de Base
MET	Metabolic Equivalent Task
NADH	Nicotin AmideDi-Nucléotide

NAP	Niveau d'Acitivité Physique
NK	Natural Killer
NO	NitrogenmOnoxyde
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PNNS	Programme National Nutrition Santé
TNF α	TumorNecrosis Factor
VLDL	Very Low Density Protein
VO ₂ max	Volume d'Oxygène Maximal

Liste des Tableaux

Tableau 1 : proportions en glucides, lipides et protéines recommandées chez les enfants et les adultes.	44
Tableau 2: fonction des lipides et acides gras,	46
Tableau 3: principales sources d'acides gras	47
Tableau 4: apports énergétiques conseillés en acides gras.....	47
Tableau 5 : index glycémique (IG) et charge glycémique (CG) de quelques aliments	50
Tableau 6: acides aminés essentiels et non essentiels chez l'adulte	51
Tableau 7 : apports nutritionnels recommandés en acides aminés essentiels.....	52
Tableau 8 : apports nutritionnels conseillés en micronutriments chez l'adulte.....	53
Tableau 9 : classification des activités physiques en fonction de leurs intensités et de l'évaluation subjective de leur tolérance.....	69
Tableau 10 : dépense énergétique de quelques activités chez l'homme et la femme.....	70
Tableau 11 : valeurs normales de la concentration des différents lipides.....	81
Tableau 12 : critères diagnostiques du syndrome métabolique selon l'IDF (2005)	82

Liste des Figures

Figure n°1 : structure de base d'un muscle squelettique.....	27
Figure n°2 : schéma d'un filament d'actine.....	28
Figure n°3 : schéma d'un dimère de myosine	29
Figure n°4 : schéma d'un polymère de myosine.....	29
Figure n°5 : unité de contraction : le sarcomère.....	29
Figure n°6 : anatomie de la jonction neuromusculaire.....	30
Figure n°7 : étapes de la contraction musculaire.....	31
Figure n°8 : métabolisme de la phosphocréatine.....	32
Figure n°9 : représentation d'une molécule de glucose selon la projection d'Haworth.....	33
Figure n°10 : étapes de la glycolyse.....	34
Figure n°11 : structure du glycogène.....	35
Figure n°12 : activation des acides gras en acyl coA.....	36
Figure n°13 : transfert de l'acyl-coA dans la mitochondrie.....	36
Figure n°14 : schéma simplifié de la beta-oxydation des acides gras.....	37
Figure n°15 : schéma du cycle de Krebs	37
Figure n°16 : schéma de la phosphorylation oxydative	38
Figure n°17 : représentation de l'évolution de la contribution des voies énergétiques en fonction de l'intensité de l'exercice.....	39
Figure n°18 : contribution des voies métaboliques dans les première secondes de l'exercice.....	40
Figure n°19 : courbe d'Howald : utilisation des différents substrats au cours de l'effort physique.....	40
Figure n°20 : schéma de la distribution sanguine au repos et à l'exercice	41
Figure n°21 : balance entre les acides gras n-3 et acides gras n-6.....	48
Figure n°21 : contribution des différentes organes dans le métabolisme basal de l'organisme, mis en parallèle avec leur importance dans le poids du corps.....	67
Figure n°22 : questionnaire envoyé aux officines	80

INTRODUCTION

D'après la constitution adoptée le 22 juillet 1946 par l'OMS (organisation mondiale de la santé), "la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmity." (2) Une bonne santé englobe donc un bon état de fonctionnement de l'organisme et la satisfaction globale des personnes quant à leur confort de vie.

L'état de santé, au cours de la vie, est déterminé par des interactions entre plusieurs facteurs d'ordre socio-économique (par exemple le revenu), en lien avec l'environnement physique (le milieu de vie) et le comportement individuel. (3)

Les habitudes de vie, qui influent sur la santé, sont un aspect essentiel du comportement individuel. Par exemple, un comportement sédentaire et une nutrition inadéquate peuvent provoquer ou aggraver des pathologies comme le diabète de type 2 ou l'hypertension artérielle. Inversement, améliorer ses habitudes de vie permet de vivre plus longtemps en meilleure santé. (4) Afin d'améliorer notre santé, nous devons donc adopter des habitudes de vie saines. Pour cela, il est nécessaire de connaître certains repères concernant la nutrition et l'activité physique.

La France a initié une politique de santé publique, le Programme National Nutrition Santé (PNNS) en 2001. Il fournit des repères nutritionnels concernant l'alimentation et l'activité physique, et propose des outils pouvant être utilisés par les personnes concernées (les patients eux-mêmes ou le pharmacien d'officine). (5)

Le pharmacien d'officine occupe une place de choix concernant les conseils hygiéno-diététiques. En effet, il est en contact direct et répété avec les patients. Il doit donc être capable de prodiguer des conseils et d'orienter le patient vers une prise en charge par des professionnels (diététicien et médecin) en cas de besoin.

À la Faculté, les étudiants en sciences pharmaceutiques suivent des cours de biochimie, d'anatomie et physiologie musculaires, et des cours de nutrition. Nous nous interrogeons à propos de la perception que les pharmaciens d'officine portent sur cette formation. Nous nous demandons s'ils la considèrent comme étant suffisante.

C'est dans ce contexte que se situe cette thèse d'exercice. Elle s'articule en deux grandes parties distinctes.

Tout d'abord, nous analyserons la littérature concernant la physiologie et la biochimie musculaires afin de connaître les besoins en énergie et le fonctionnement du muscle. Nous étudierons ensuite les apports énergétiques qui apportent les nutriments nécessaires aux muscles et la nutrition. Et, pour finir, nous nous intéresserons aux dépenses énergétiques du corps et à l'activité physique, en lien avec la mise en œuvre d'habitudes de vie saines. Cela permettra de réaliser un état des lieux des connaissances scientifiques, puis de produire une fiche conseil pour le pharmacien d'officine.

Dans un deuxième temps, nous exposerons les résultats d'une enquête que nous avons menée auprès des pharmaciens d'officine du Nord-Pas de Calais. Cette enquête nous a permis de déterminer les données et outils dont ces pharmaciens ont besoin concernant la nutrition et l'activité physique, afin de donner les meilleurs conseils possibles aux patients. Nous avons mis en place quelques supports afin d'aider les pharmaciens d'officine à prodiguer des conseils aux patients.

PARTIE 1 : ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE MUSCULAIRES

1) Généralités sur les muscles

L'appareil locomoteur (permettant aux humains de réaliser des mouvements) est composé du système squelettique, du système musculaire et du système nerveux. Le squelette maintient le poids du corps, et offre un système de leviers que les muscles peuvent mettre en mouvement au niveau des articulations. Le système nerveux permet le contrôle et l'exécution des mouvements. Reste le système musculaire, qui a la capacité de se contracter et d'exercer une force de traction. Le muscle est l'organe actif de la locomotion. (6)

Nous allons plus particulièrement nous intéresser au tissu musculaire. Il en existe 2 types. Il s'agit en premier lieu du tissu musculaire lisse, qui ne peut pas être contracté par la volonté. Par exemple les muscles entourant les vaisseaux sanguins sont lisses et permettent la régulation de la pression artérielle. Le coeur est un muscle lisse. D'autre part, il existe le tissu musculaire strié qui comporte les muscles squelettiques, qui peuvent être contractés par la volonté. (6)

Le corps humain comporte 600 muscles squelettiques. Ils sont répartis dans tout le corps (tête, abdomen, membres supérieurs et inférieurs). L'ensemble des muscles squelettiques a plusieurs fonctions : permettre le mouvement, maintenir la posture (par le tonus musculaire), et produire de la chaleur corporelle. (7)

a) Organisation du tissu musculaire

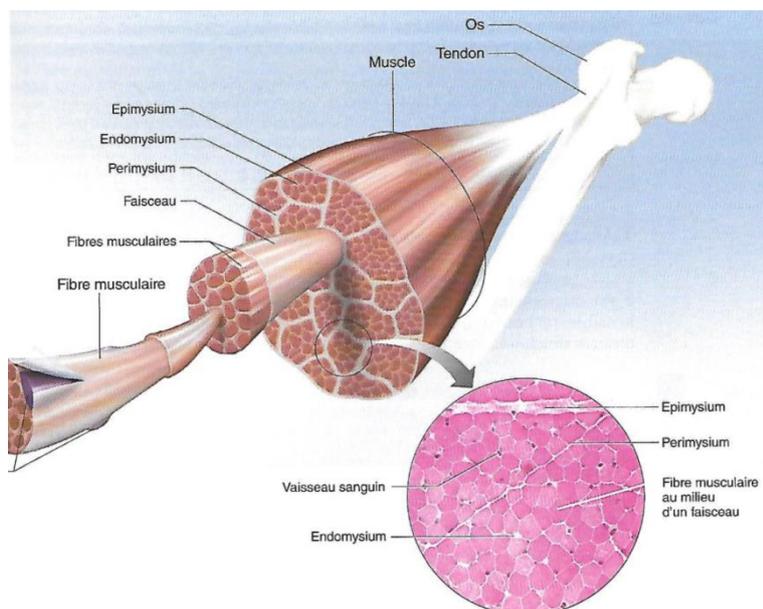


Figure n°1 : structure de base d'un muscle squelettique(7)

Les muscles sont entourés de tissu conjonctif (l'épimysium) et sont composés de faisceaux musculaires (Figure n°1), entourés eux aussi de tissu conjonctif (le périmysium). Dans le faisceau, se trouvent les fibres musculaires, composées de cellules musculaires et entourées elles aussi de tissu conjonctif (l'endomysium). (7)

Les cellules musculaires, ou myocytes, sont le résultat de la fusion de plusieurs cellules musculaires en une seule et immense cellule : le syncytium. Les myocytes contiennent les protéines musculaires qui forment les unités de contraction, les sarcomères. (8)

c) Unités de contraction :

Elles baignent dans le sarcoplasme, et sont entourées d'une membrane (le sarcolemme). Les fibres musculaires sont composées d'une succession de sarcomères, dont le nombre détermine la longueur de la fibre. (7)

Les filaments fins d'actine et les filaments épais de myosine entrent dans la composition des sarcomères.

c. 1) Filaments fins d'actine

Les filaments fins d'actine sont composés de 3 protéines. L'actine G forme l'armature, la tropomyosine et la troponine sont impliquées dans la contraction musculaire. (7)

Ces 3 protéines sont agencées en une structure hélicoïdale (Figure n°2). L'actine G comporte un site de fixation à la myosine. En absence de calcium (Ca^{2+}), la troponine empêche les têtes de myosine de se fixer à l'actine en masquant le site de liaison. (9)

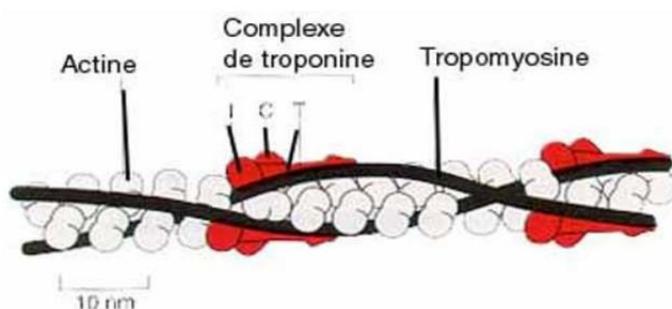


Figure n°2 schéma d'un filament d'actine (10)

En plus des filaments d'actine, la contraction musculaire nécessite les filaments épais de myosine.

c. 2) Filaments épais de myosine

Les protéines de myosine sont composées d'une longue chaîne appelée "méromyosine légère" et d'une tête globulaire, la "méromyosine lourde". Les sites de fixation à l'actine, en présence de calcium, et les ATPases sont situés dans la tête globulaire et sont responsables du pivotement de celle-ci. Les protéines de myosine s'associent en dimères (Figure n°3). (9)



Figure n°3 : schéma d'un dimère de myosine (11)

Les dimères s'associent ensuite en polymères. Les filaments épais sont alors composés de 300 à 400 molécules de myosine (Figure n°4). (9). C'est le glissement des filaments de myosine sur les filaments d'actine (grâce au pivotement des têtes de myosine) qui va provoquer la contraction musculaire.

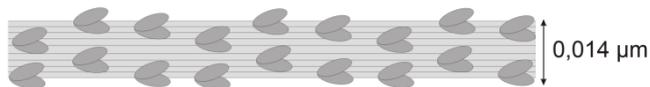


Figure n°4 : schéma d'un polymère de myosine (11)

c. 3) Sarcomères

L'association des filaments d'actine et de myosine sous forme de sarcomère constitue l'unité de contraction musculaire (Figure n°5). Les filaments de myosine sont situés entre les filaments d'actine. (9) En plus des protéines d'actine et de myosine, le sarcomère est constitué de protéines accessoires, comme la titine qui est une grande protéine élastique permettant de maintenir la cohésion des sarcomères. La ligne M permet de relier les filaments épais de myosine entre eux. (12)

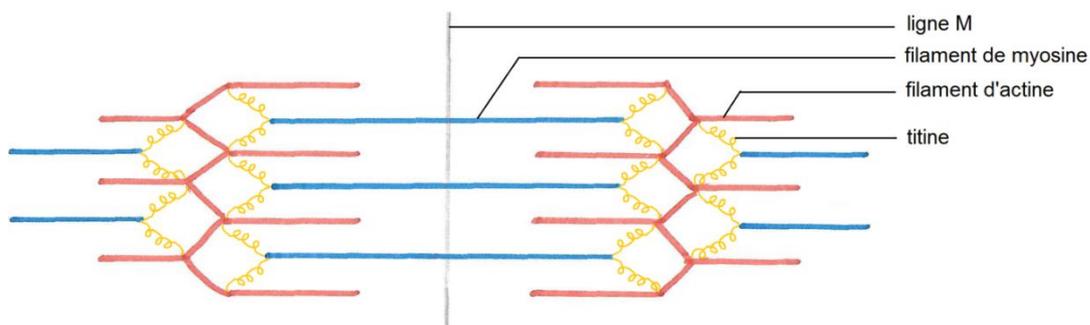


Figure n°5 : unité de contraction : le sarcomère (13)

Lors de la contraction musculaire, les filaments fins d'actine vont glisser sur les filaments épais de myosine. Cela provoquera un raccourcissement des sarcomères, et donc la contraction musculaire. (7)

Cette contraction nécessite une impulsion nerveuse, qui est assurée grâce aux interactions entre le système nerveux central et le muscle.

2) Physiologie de la contraction musculaire

Une unité motrice est composée d'un motoneurone et de toutes les fibres musculaires qu'il innerve. La transmission du signal nerveux entre le neurone et le muscle se fait au niveau de la jonction neuromusculaire.

Le motoneurone va émettre un signal, le potentiel d'action. Celui-ci va se propager le long de l'axone du neurone, jusqu'à la terminaison nerveuse. La dépolarisation de la terminaison axonale va provoquer la libération du contenu des vésicules synaptiques du motoneurone (l'acétylcholine, un neurotransmetteur) au niveau de la fente. L'acétylcholine va se lier à ses récepteurs situés sur la plaque motrice. (Figure n°6) (7).

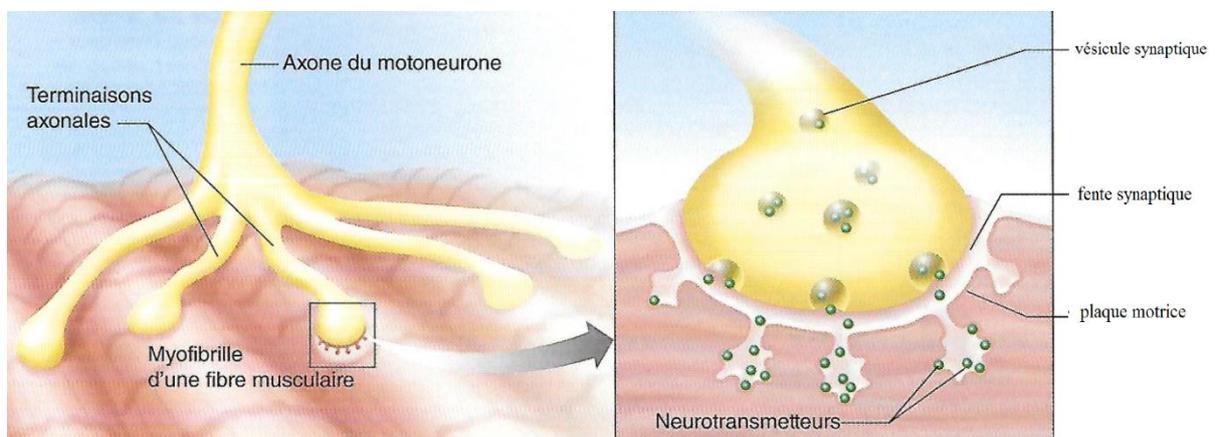
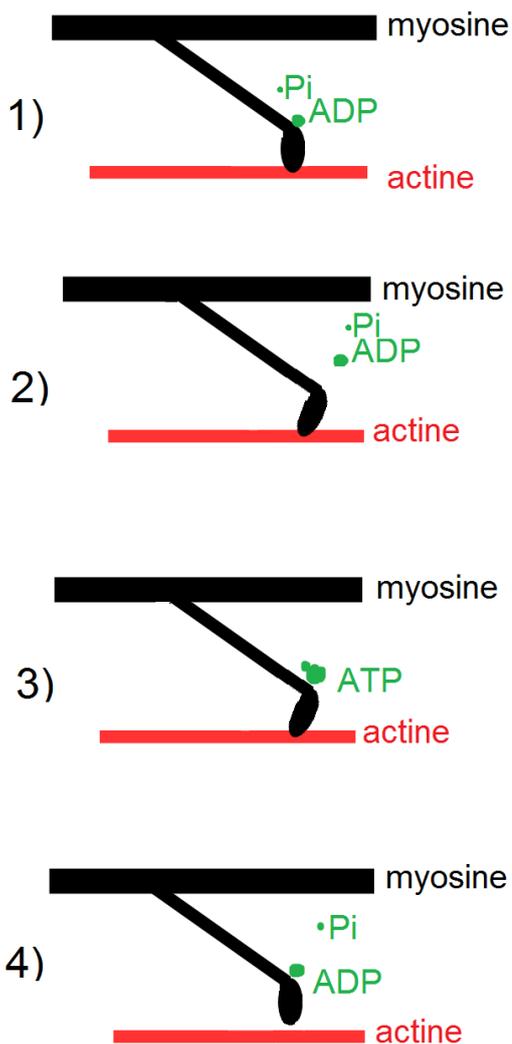


Figure n°6 : Anatomie de la jonction neuromusculaire (7)

Le neurotransmetteur se lie au récepteur nicotinique à l'acétylcholine, un récepteur-canal qui, lorsqu'il est ouvert, laisse sortir des ions potassiques (K^+) et entrer des ions sodiques (Na^+). La fixation du neuromédiateur va provoquer une ouverture du canal, ce qui va conduire à une entrée massive d'ions Na^+ (et une sortie d'ions K^+). Il se produit alors une dépolarisation de la membrane, (aussi appelée "potentiel postsynaptique excitateur"). Si la dépolarisation est suffisante, cela déclenche les processus responsables de la contraction de la cellule musculaire : le potentiel d'action musculaire. (7)

Celui-ci va provoquer l'ouverture de nombreux canaux calciques situés sur la membrane du sarcoplasme, ce qui a pour conséquence une augmentation très importante (d'un facteur 1000) de la concentration intracellulaire de calcium (Ca^{2+}). (13)

Cet ion Ca^{2+} va diffuser vers les fibres musculaires, puis se fixer sur la troponine, ce qui va démasquer l'actine et la rendre accessible à la myosine. Le cycle biochimique de la contraction peut alors avoir lieu.



En premier lieu, il va y avoir liaison entre l'actine et la myosine. La tête de myosine forme un angle de 90° avec l'actine. Une molécule d'ADP (Adénosine DiPhosphate) et un phosphate inorganique sont liés à la tête de myosine.

La libération de l'ADP et du phosphate inorganique va provoquer une bascule de la tête de myosine : elle va alors former un angle de 50° avec l'actine et "tirer" sur la protéine de myosine. Cela raccourcit la longueur des sarcomères.

Puis une nouvelle molécule d'ATP va se fixer sur la tête de myosine, ce qui va la décrocher de l'actine.

L'hydrolyse de l'ATP en ADP et phosphate inorganique et lui va rendre sa conformation d'origine à la tête de myosine.

Figure n°7 : étapes de la contraction musculaire

Ce cycle (Figure n°7) entraîne un chevauchement des filaments d'actine et de myosine, et, par conséquent, un rétrécissement des sarcomères. A l'état détendu, le sarcomère a une longueur d'environ $2,8 \mu\text{m}$. A l'état contracté, il a une longueur d'environ $2,1 \mu\text{m}$. Le sarcomère, en se contractant, perd $0,4 \mu\text{m}$ de longueur de part et d'autre de la ligne M. (9)

La contraction musculaire dure tant que le calcium reste présent au niveau des sarcomères. (7) Cette contraction nécessite de l'ATP, qui doit rapidement être régénéré afin que l'effort musculaire puisse continuer.

3) Énergétique de la contraction musculaire :

La cellule musculaire contient suffisamment d'ATP pour réaliser un effort musculaire d'intensité modérée d'une vingtaine de secondes au maximum (15). Si l'exercice est très intense, les réserves d'ATP ne permettent une contraction que de 2 à 3 secondes. (13) Pour permettre une transition énergétique mitochondriale correcte, la cellule musculaire possède des réserves de phosphocréatine, une molécule permettant de régénérer de l'ATP.

a) Voie de la phosphocréatine

La phosphocréatine est une des formes de réserve de l'ATP. Elle permet de prolonger l'effort d'intensité modérée de 80 secondes environ. L'hydrolyse de la phosphocréatine en présence d'ADP, par la créatine phospho-kinase, provoque la formation de créatine et la régénération de l'ATP (Figure n°8). (15) Cette voie de formation d'ATP ne nécessite pas d'oxygène. C'est une voie anaérobie alactique.

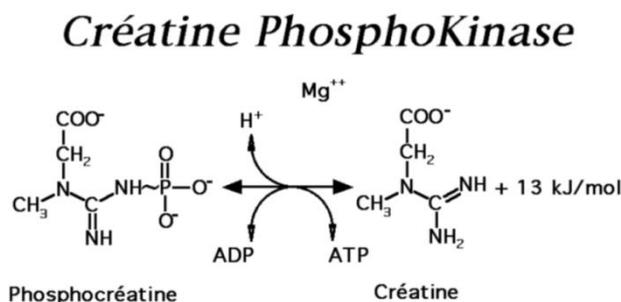


Figure n°8 : métabolisme de la phosphocréatine (16)

La cellule pourra régénérer la phosphocréatine lorsque le niveau d'ATP cellulaire sera suffisant car l'hydrolyse de la phosphocréatine en créatine et ATP est réversible. (13)

Une fois les réserves de phosphocréatine épuisées, la glycolyse prend le relais pour produire de l'ATP.

b) Métabolisme du glucose

Le glucose est une importante source d'énergie. Il permet la production directe d'ATP via la glycolyse, et indirecte par la transformation du pyruvate (produit final de la glycolyse) en

acétyl-coA. Cet acétyl-coA permettra de faire fonctionner le cycle de Krebs (aussi appelé "cycle des acides tricarboxyliques"), produisant des molécules de NADH (Nicotinamide Adénine Dinucléotide Hydrogéné), elles-mêmes impliquées dans le fonctionnement de la chaîne respiratoire(17).

Le glucose est une molécule organique composée de 6 atomes de carbone, 6 atomes d'oxygène et 13 atomes d'hydrogène (Figure n°9).

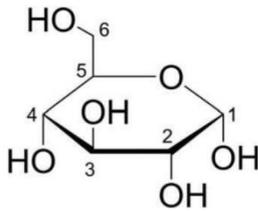


Figure n°9 : représentation d'une molécule de glucose selon la projection d'Haworth (18)

Au repos, l'entrée de glucose dans les cellules nécessite de l'insuline. A l'exercice, cette hormone n'est pas indispensable à l'entrée du glucose dans les cellules musculaires. Cependant, elle facilite la captation du glucose par ces cellules. L'insulinémie diminue, mais, en parallèle, la sensibilité des cellules à l'insuline augmente. (13)

Le glucose étant dans la cellule musculaire, la glycolyse peut avoir lieu. Il s'agit de l'opération permettant la formation d'ATP et de molécules riches en énergie (le pyruvate) à partir du glucose. Elle fait intervenir 10 enzymes et a lieu dans le cytoplasme (Figure n°10). La glycolyse est constituée d'une chaîne de réactions biochimiques. Elle consomme 2 ATP et permet la production directe de 4 ATP. Deux NADH sont également formés. C'est une réaction qui produit donc assez peu d'ATP. Le pyruvate va être ultérieurement converti en acétyl-coA, qui est lui-même utilisé dans le cycle de Krebs et qui permettra la production de nouvelles molécules d'ATP. (13)

Trois étapes de la glycolyse sont des réactions enzymatiques irréversibles qui constituent des points de contrôle de la glycolyse. L'étape de phosphorylation du glucose empêche le glucose-6-phosphate de ressortir de la cellule. La deuxième étape continue d'activer le glucose. Ces deux premières étapes consomment un ATP chacune. (13)

Toutes les étapes de la glycolyse jusqu'à la formation de phosphoénolpyruvate sont réversibles. La déshydrogénation du 1,3-bisphosphoglycérate en 3-phosphoglycérate permet la formation d'ATP.

La déphosphorylation du phosphoénolpyruvate est une réaction irréversible qui permet également la formation d'ATP. (19)

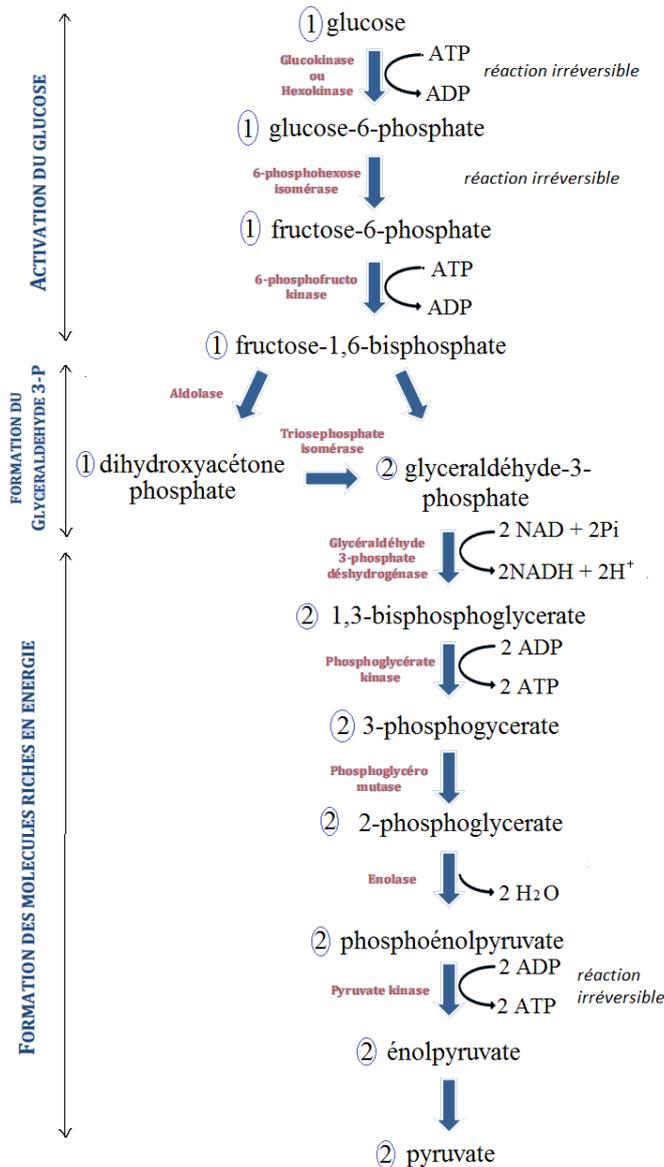


Figure n°10 : étapes de la glycolyse

Le pyruvate obtenu en fin de glycolyse a deux devenir possibles.

Si la glycolyse est très active, il peut être dégradé en lactate par la lactate déshydrogénase ou en alanine par l'alanine amino-transférase. L'alanine et le lactate seront finalement reconvertis en glucose par le foie. (13)

Si la glycolyse est quantitativement limitée, le pyruvate peut être transféré dans les mitochondries, pour être transformé en acétyl-coA par l'action de la pyruvate déshydrogénase. Cet acétyl-coA obtenu pourra être utilisé dans le cycle de Krebs, permettant la génération de NADH impliqués dans le fonctionnement de la chaîne respiratoire. (13)

En parallèle de la consommation du glucose circulant, les muscles peuvent utiliser le glucose stocké sous forme de polymère : le glycogène. Il doit donc se produire la glycogénolyse.

Le glycogène (Figure n°11) se trouve dans les muscles et dans le foie. Les molécules de glucose du glycogène sont majoritairement liées par une liaison α 1-4 (Figure n°11). Cette liaison est hydrolysée dans le cytosol des cellules par la glycogène phosphorylase. (13) Certains glucoses sont liés à d'autres par une liaison α 1-6, qui peut être hydrolysée par l'enzyme débranchante, ou amylo- α -1,6-glucosidase. (21)

La glycogénolyse libère un glucose-6-phosphate qui pourra subir à son tour la glycolyse ou qui sera déphosphorylé, libéré dans le sang et dirigé vers les muscles.

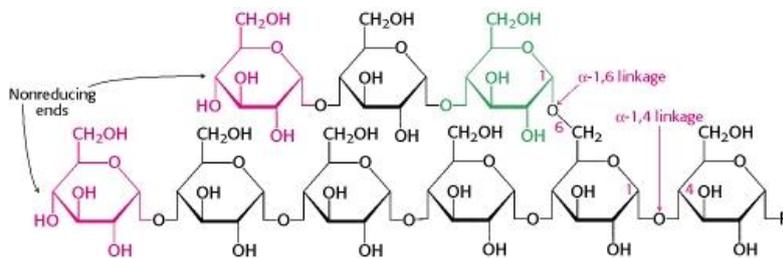


Figure n°11 : structure du glycogène (22)

Il faut noter que 60% de l'énergie libérée par le métabolisme du glucose l'est sous forme de chaleur. Il faudra donc que l'organisme mette en place des mécanismes régulateurs afin de libérer l'excès de chaleur (cf 4. c). (7)

En parallèle du métabolisme glucidique, l'organisme va réaliser la bêta-oxydation des acides gras et donc produire de l'ATP grâce au métabolisme des lipides.

c) Beta-oxydation des acides gras

Les acides gras sont des acides carboxyliques à longue chaîne carbonée. Ils constituent une source d'énergie très importante pour l'organisme. Les acides gras ne sont pas mobilisés dès le début de l'effort de manière prépondérante, mais permettent une production importante d'énergie. (13)

Ils sont stockés dans les muscles ou dans le tissu adipeux sous forme de triglycérides (3 acides gras estérifiés à un glycérol). Les triglycérides musculaires sont directement sur place, mais les triglycérides adipeux doivent être transportés jusqu'aux muscles. Ce transport est réalisé grâce aux VLDL (very low density protein). (23)

Afin de permettre l'utilisation des acides gras, les cellules doivent hydrolyser les triglycérides. Par une stimulation adrénérique, une lipase est activée. Les acides gras sont libérés à partir du triglycéride. (24)

En premier lieu, les acides gras sont activés en en acyl-coA dans le cytoplasme cellulaire (Figure n°12). Cette réaction est métabolisée par l'acyl-coA synthase et greffe un coenzyme-A à l'acide gras. (19)L'utilisation d'une molécule d'ATP est nécessaire à cette réaction. (13)

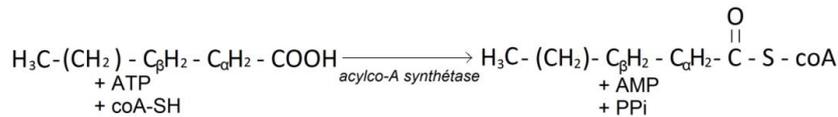


Figure n°12 :activation des acides gras en acyl coA

Les acides gras activés sont ensuite transférés dans la mitochondrie à l'aide de la carnitine située dans l'espace intermembranaire (Figure n°13). Les enzymes impliquées dans le transfert sont les carnityl acyltransférases. (13)

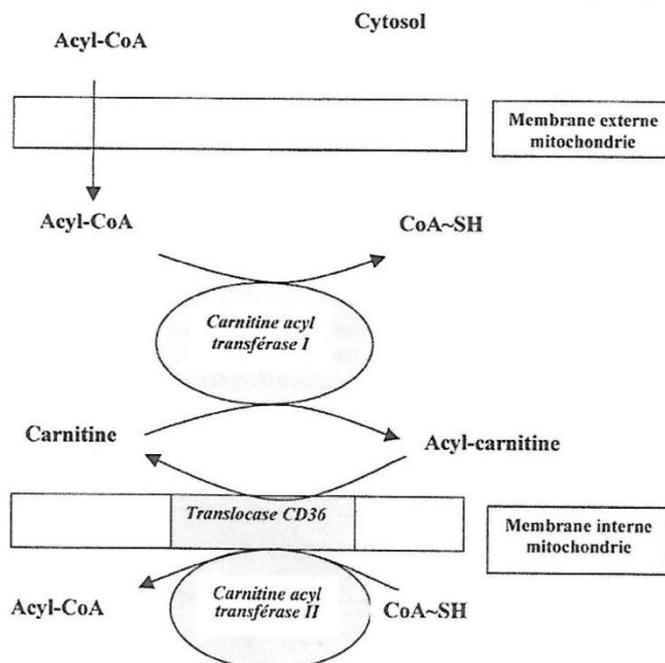


Figure n°13 : transfert de l'acyl-coA dans la mitochondrie (13)

Dès que l'acyl-coA est dans la mitochondrie, la bêta-oxydation peut débuter.

Il s'agit d'un cycle de réactions composé de quatre enzymes différentes. La bêta-oxydation permet la formation de nombreuses molécules d'acétyl-coA qui pourront alors être utilisées

dans le cycle de Krebs. L'acyl-coA en fin de cycle comporte 2 atomes de carbone de moins dans la chaîne carbonée que l'acyl-coA initial (Figure n°14). (13)

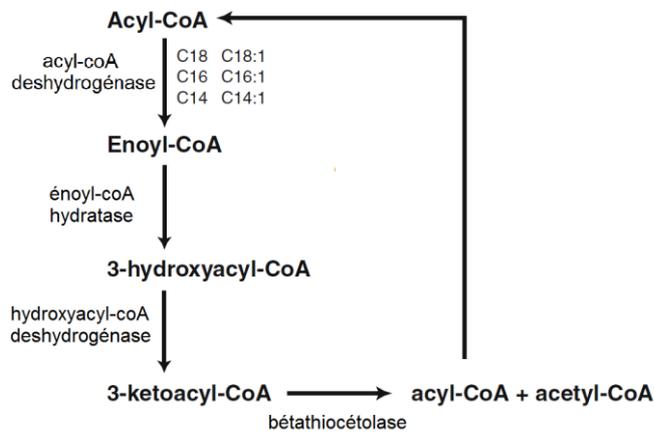


Figure n°14 : schéma simplifié de la bêta-oxydation des acides gras(13)

d) Cycle de Krebs

Les acétyl-coA provenant de la glycolyse et de la bêta-oxydation des acides gras sont intégrés au cycle de Krebs (aussi appelé "cycle des acides tricarboxyliques"). Huit enzymes différentes interviennent dans ce cycle de réactions biochimiques (Figure n°15). (13)

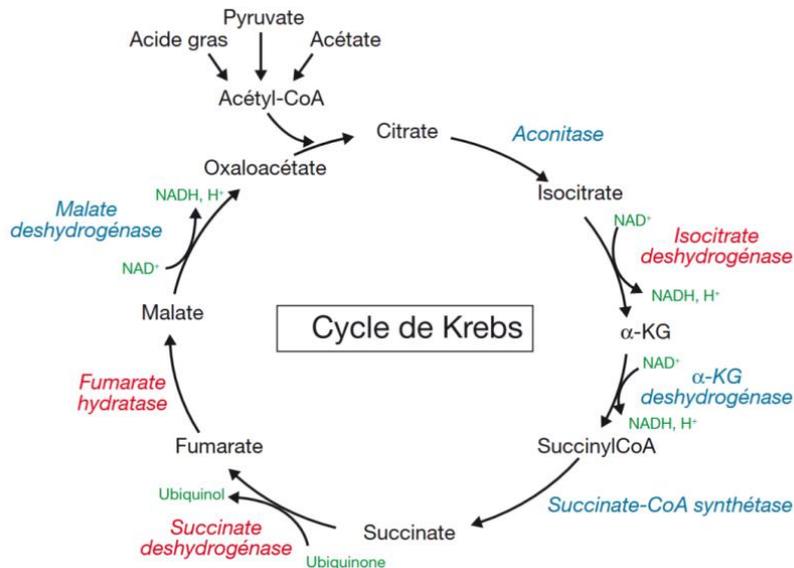


Figure n°15 :schéma du cycle de Krebs (17)

Le cycle de Krebs permet la production d'intermédiaires énergétiques NADH et FADH₂ (appelé "ubiquinol" sur le schéma) qui entreront dans la chaîne respiratoire et permettront la formation d'ATP. Le cycle de Krebs permet également la production de GTP, qui peut intervenir en tant que donneur de phosphate ou donneur d'énergie (2 de ses liaisons sont riches en énergie). (13)

Les molécules de NADH et FADH₂ obtenues grâce au cycle de Krebs vont permettre à la mitochondrie de réaliser la phosphorylation oxydative. (26)

e) Phosphorylation oxydative

Cette chaîne de réactions se situe dans la membrane interne de la mitochondrie. (26)

Le système oxydatif est composé de quatre complexes et une pompe à protons qui constituent la chaîne respiratoire. Le but de la phosphorylation oxydative est la formation d'un gradient de protons de part et d'autre de la membrane mitochondriale. En bout de chaîne, ces protons pourront ensuite traverser et activer l'ATP synthase, le passage de 3 protons dans cette protéine permettant la synthèse de 1 ATP. (26). La phosphorylation oxydative nécessite du dioxygène pour fonctionner. (27)

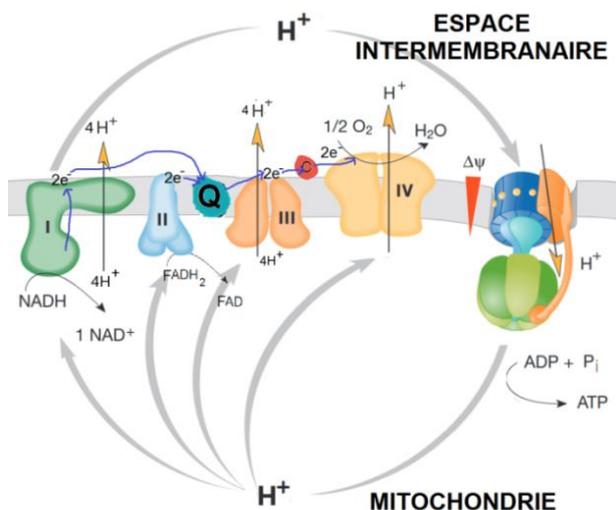


Figure n°16 : schéma de la phosphorylation oxydative

Au cours de la phosphorylation oxydative, les différents complexes membranaires se transmettent des électrons (Figure n°16), qui seront utilisés par le complexe IV pour réduire l'oxygène en eau.

Le complexe I permet le transfert de 2 électrons et de 4 protons de la mitochondrie dans l'espace intermembranaire. Pour cela, une molécule de NADH est oxydée en NAD⁺. Le complexe II oxyde une molécule de FADH₂ en FAD, ce qui permet le transfert de 2 électrons de la mitochondrie dans l'espace intermembranaire. (26)

Les électrons du complexe I ou du complexe II sont ensuite transférés au coenzyme Q (ou ubiquinone) qui est alors réduit.

Le complexe III permet le transfert de 4 protons dans l'espace intermembranaire et oxyde le coenzyme Q (Figure n°16). Le complexe III récupère les électrons et les transfère au complexe IV, par l'intermédiaire du cytochrome C. Le complexe IV permet le transfert de 4 protons, et simultanément, la réaction de 4 protons avec un O_2 , ce qui formera une molécule d'eau. (28)

L'oxydation de NADH dans le complexe I aboutira finalement au transport de 10 protons et donc à la formation de 3 ATP. L'oxydation de $FADH_2$ dans le complexe II aboutira finalement au transport de 6 protons et donc à la formation de 2 ATP.

La production d'ATP par la phosphorylation oxydative est très importante, et elle a lieu en parallèle de la glycolyse et de l'hydrolyse de la phosphocréatine. La contribution de chacune de ces voies dans la production d'énergie dépend de l'intensité de l'effort. (13)

f) Production d'ATP selon l'intensité de l'effort

Pour les exercices de faible intensité, l'oxydation des acides gras et du glycogène sera prépondérante. Si l'intensité de l'exercice augmente, la proportion de l'énergie provenant de la glycolyse augmente. Si l'exercice est d'intensité maximale, l'hydrolyse de la phosphocréatine sera prépondérante (Figure n°17). (13)

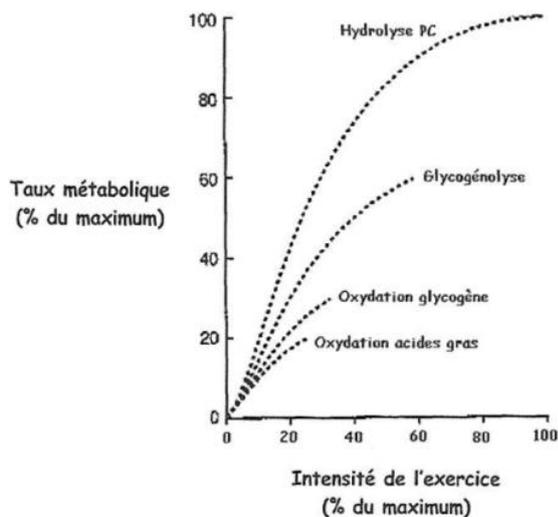


Figure n°17 : Représentation de l'évolution de la contribution des voies énergétiques en fonction de l'intensité de l'exercice (13)

Au cours de l'effort, les réserves de phosphocréatine s'épuisent rapidement. Il faut donc que les cellules musculaires produisent de l'ATP selon les autres voies métaboliques. Cela suit une cinétique particulière.

g) Cinétique de la consommation des substrats énergétiques

Les cellules musculaires disposent d'une réserve d'ATP permettant un effort d'une vingtaine de secondes. Il faut donc que l'ATP soit constamment resynthétisé dans le muscle. L'hydrolyse de la phosphocréatine permet la régénération rapide de l'ATP dans la cellule musculaire pendant environ quatre-vingt secondes. (15) La Figure n°18 illustre l'apport énergétique des différents substrats au début de l'exercice physique (25 premières secondes).

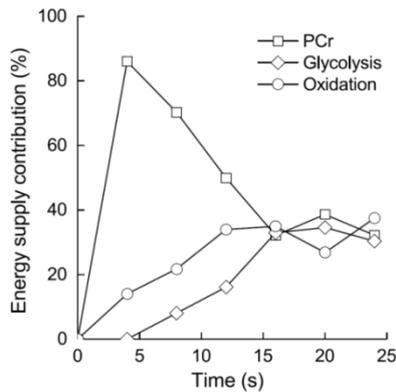


Figure n°18 : contribution des voies métaboliques dans les premières secondes de l'exercice (15)

Tous les substrats énergétiques sont utilisés dès le début de l'exercice. Le métabolisme du glucose et l'oxydation des acides gras prennent progressivement de l'importance au cours de l'exercice, puis deviennent prépondérants lorsque l'exercice est de longue durée. La cinétique de l'utilisation des différents substrats énergétiques est représentée sur la courbe d'Howald (Figure n°19). (13)

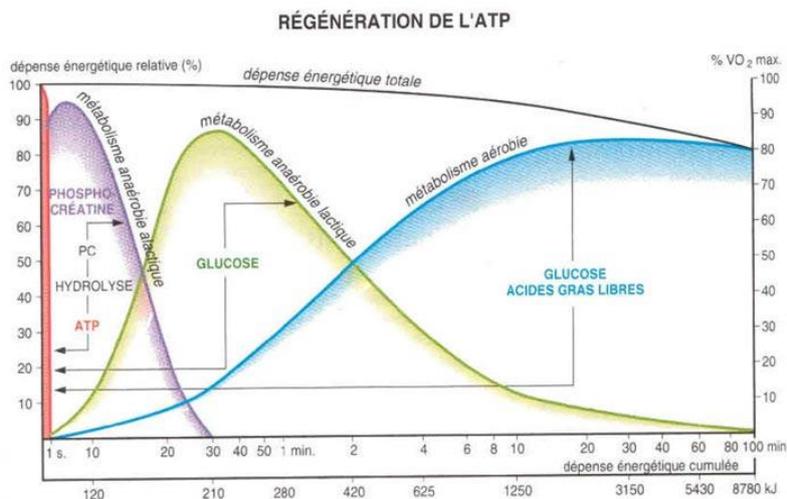


Figure n°19 : Courbe d'Howald : utilisation des différents substrats au cours de l'effort physique (13)

En parallèle de la production d'ATP, l'organisme doit s'adapter à l'effort physique. Il doit augmenter les apports d'oxygène et de nutriments aux muscles. La température corporelle et l'équilibre hydro-électrolytique doivent être maintenus.

4) Adaptations physiologiques du corps au cours de l'effort physique

a) Adaptations cardio-vasculaires

Afin d'assurer les demandes d'oxygène nécessaire à la phosphorylation oxydative des muscles, la distribution sanguine va évoluer afin de satisfaire les besoins musculaires (Figure n°20).

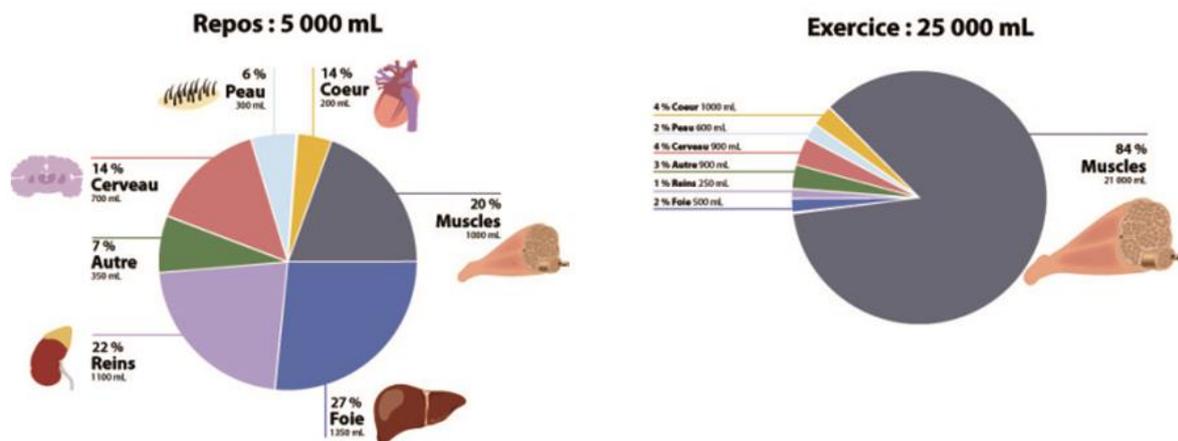


Figure n°20 : schéma de la distribution sanguine au repos et à l'exercice (29)

Dès le début de l'exercice, sous l'influence des catécholamines, la fréquence cardiaque va augmenter. Ces hormones vont également augmenter la puissance de contraction du muscle cardiaque. Cela va permettre d'augmenter le débit sanguin.

En parallèle, le flux sanguin va être redirigé vers les muscles (Figure n°20). La perfusion de certains organes (reins, intestins, etc.) va diminuer au profit des muscles et du cœur. Pour cela, les cellules musculaires lisses autour des capillaires vont se contracter (pour diminuer le flux sanguin de l'organe) ou se dilater (pour augmenter le flux sanguin musculaire). La perfusion sanguine du cerveau augmente légèrement. (30)

Au niveau des muscles, la dilatation des capillaires fait intervenir le monoxyde d'azote (NO). En effet, au cours de l'exercice, le débit cardiaque est augmenté. Cela entraîne une augmentation du le débit vasculaire, ce qui crée des forces de cisaillement au niveau des capillaires musculaires, notamment au niveau de l'endothélium vasculaire. Celui-ci, en réponse aux forces de cisaillement, va produire du monoxyde d'azote, ce qui va permettre une dilatation des capillaires. (31)

Afin d'apporter suffisamment de dioxygène aux muscles, l'organisme doit également augmenter sa capacité respiratoire.

b) Adaptations respiratoires à l'exercice

Pour les efforts brefs, l'ATP présent dans la cellule et l'utilisation de la phosphocréatine, ainsi que la glycolyse anaérobie suffisent à apporter l'énergie. Pour les efforts plus longs, le corps doit faire des adaptations respiratoires. En effet, la phosphorylation oxydative nécessite du dioxygène, apporté par la respiration.

Au cours de l'exercice physique, le volume et la fréquence respiratoire augmentent. Cela permet d'optimiser les échanges gazeux au niveau des alvéoles. En effet, cela diminue la pression partielle en dioxyde de carbone et augmente la pression partielle en dioxygène dans les poumons. Les gaz peuvent ainsi diffuser plus facilement entre les alvéoles et le sang. (7)

En parallèle, sous l'influence de l'adrénaline, il se produit une dilatation des bronches, ce qui facilite l'entrée et la sortie de l'air dans les poumons. (7)

En parallèle des adaptations cardio-respiratoires, l'organisme doit maintenir l'homéostasie thermique, en évacuant l'excès de chaleur produit au cours de l'effort physique.

c) Régulation de la température corporelle

Nous avons vu précédemment que seul 40% de l'énergie libérée au cours du métabolisme du glucose permet la formation d'ATP. L'énergie produite par l'organisme est en grande partie transformée en chaleur. On parle ici de "chaleur métabolique". (7) Chez le sujet sain, selon la nature des fibres musculaires impliquées dans le mouvement, 18 à 26 % de l'énergie utilisée permet de réaliser le mouvement (travail). On parle de rendement métabolique. (32)

Tous les tissus actifs produisent de la chaleur. Au cours d'un exercice physique, les muscles engendrent de la chaleur supplémentaire. Il faut donc que le corps maintienne l'homéostasie thermique. (7)

L'augmentation de la température corporelle active les centres de régulation de la température au niveau de l'hypothalamus. Cela provoque deux effets : la dilatation des vaisseaux sanguins au niveau de la peau, et l'activation des glandes sudoripares, qui vont produire de la sueur. L'évaporation de la sueur diminue la température cutanée, ce qui va permettre une diminution de la température corporelle. Lorsque la température retrouve une valeur normale (37°C), l'hypothalamus cesse de stimuler la sudation, et la dilatation des capillaires cutanés. (7)

La régulation de la température corporelle entraîne des pertes d'eau pouvant être importantes. Il faut donc que le corps maintienne son équilibre hydro-électrolytique.

d) Maintien de l'équilibre hydro-électrolytique

Chez l'adulte, 60% de l'organisme est composé d'eau. L'eau compose 70% de l'organisme du nourrisson, et 75% du nouveau-né. (33) L'eau est le solvant de toutes les réactions biochimiques, permet le transport des éléments via le sang, et maintient le volume vasculaire. (34) Le maintien de l'homéostasie des liquides est capital afin d'assurer les fonctions cellulaires.

Afin de réguler cette homéostasie, l'organisme dispose de mécanismes physiologiques. Lorsque la concentration osmotique (concentration en molécules osmotiquement actives) du sang est supérieure à 300 mosmol/kg, en raison de la concentration des électrolytes du sang, le phénomène de la soif se déclenche. Cela permet d'apporter de l'eau et de restaurer le capital hydrique de l'organisme. En parallèle, les pertes urinaires d'eau diminuent. (33)

Au cours de l'exercice physique, le corps va perdre de l'eau à cause de la sudation. Le système rénine-angiotensine-aldostérone permet de limiter ces pertes d'eau. L'angiotensine II induit une augmentation de la production d'aldostérone, sécrétée par les glandes surrénales. Cette hormone augmente la réabsorption rénale du sodium et de l'eau au niveau du rein (tubule distal). (35)

En parallèle, en conséquence d'une augmentation de l'osmolarité du sang, l'hormone antidiurétique (ADH) est synthétisée au niveau de l'hypothalamus, stockée dans l'hypophyse, qui la libère ensuite dans le sang. (36)

Ces deux hormones vont provoquer la réabsorption active de sodium au niveau du rein. Par osmolarité, l'eau va être réabsorbée également, ce qui va permettre de limiter les pertes d'eau. (37)

La pratique d'une activité physique a de nombreux effets sur l'organisme, notamment la consommation d'énergie, à cause de la production d'ATP. Nous allons à présent étudier la nutrition, qui permet d'apporter de l'énergie à l'organisme, ainsi que les vitamines et minéraux, indispensables au fonctionnement des enzymes cellulaires.

PARTIE 2 : APPORTS ENERGETIQUES ET NUTRITION

1) Généralités

La nutrition est la science qui s'intéresse à l'action de se nourrir, à la digestion des aliments et au métabolisme des nutriments. Ceux-ci permettent la croissance, l'entretien et le fonctionnement de l'organisme. La nutrition permet de définir la ration alimentaire, qui correspond à la composition nutritionnelle des apports alimentaires (proportion de glucides, lipides et protéines par rapport à l'apport énergétique total). La nutrition permet d'optimiser l'état de santé du patient. (38)

L'IMC (indice de masse corporelle) est un outil utilisé par la nutrition, qui permet d'établir le statut pondéral du patient. Il est calculé grâce à l'opération suivante : poids (en kg) divisé par taille(en m²). (39) Chez l'adulte, on parle de surpoids pour un IMC > 25 kg/m² et d'obésité pour un IMC > 30 kg/m². (40)

La diététique s'intéresse aux pratiques alimentaires permettant d'atteindre un état de bien-être physique et psychique. Elle prend en compte les spécificités de l'individu : ses besoins organiques, mais aussi ses goûts, ses besoins psychologiques ou culturels. (38)

Nutrition et diététique s'intéressent à l'ingestion d'aliments, qui seront, via la digestion, transformés en nutriments. Ceux-ci sont séparés en deux catégories. Il s'agit d'une part des macronutriments (glucides, lipides et protéines), qui apportent de l'énergie à l'organisme et qui sont présents en grande quantité, (41) et d'autre part des micronutriments (vitamines et minéraux), présents en faible quantité dans les aliments, mais qui ont toutefois des rôles importants. Un apport d'eau est également nécessaire. (42)

2) Macronutriments et énergie

a) Apports énergétiques totaux

L'énergie est nécessaire à l'organisme. Elle permet au corps de réaliser toutes ses fonctions : le métabolisme de base (respiration, circulation sanguine, anabolisme et catabolisme protéique etc.), la croissance ainsi que la réalisation de mouvements. L'énergie peut provenir de l'alimentation ou des réserves lipidiques et glucidiques (glycogène) de l'organisme. (43)

Les apports énergétiques nécessaires sont différents selon les individus. Ils dépendent de la composition corporelle, de l'âge et de l'état de la personne (par exemple la grossesse chez la femme). La croissance des enfants nécessite un apport d'énergie supplémentaire. (34)

Les apports énergétiques sont à répartir entre lipides, protéines et glucides. Un gramme de glucides (sucre) ou un gramme de protéines apporte 4 kilocalories. Un gramme de lipides apporte 9 kilocalories. (34) Il existe une répartition optimale de l'apport énergétique par les 3 sources de macronutriments. (Tableau 1)

Intervalle d'apports en macronutriments (en % de l'apport énergétique total)				
Macronutriments	enfant (< 6mois)	enfant (1-3 ans)	enfant (3-17 ans)	adulte
lipides	50-55	40-50	35-40 (réduction de l'apport dès 3 ans)	30-35
glucides	40-50	40-50	50-55	50-55
protéines	5-10	5-15	Mini : 6-10 Maxi : 15 à 20	10-20

Tableau 1 : proportions en glucides, lipides et protéines recommandées chez les enfants et les adultes (44)

Chez l'homme adulte, les produits sucrés peuvent composer au maximum 10% de l'apport énergétique total. (44) Les niveaux d'apports indiqués dans le Tableau 1 sont associés à une diminution de l'incidence des maladies chroniques (maladies cardiovasculaires et cancers). Des apports énergétiques suffisants permettent d'apporter l'énergie nécessaire au corps. (34)

Chez les enfants très jeunes, les proportions de glucides, lipides et protéines recommandés sont différents. Le lait maternel apporte ces nutriments dans des proportions et quantités idéales. Par la suite, la proportion de lipides de la ration alimentaire de l'enfant doit diminuer lorsqu'il grandit. (44)

Chez l'adulte et la personne âgée en bonne santé, les apports nutritionnels recommandés sont de 36 kcal/kg/j. Par exemple, un homme de 75 kg aura besoin de 2700 kcal. (42) Cette méthode de calcul est peu précise, puisqu'elle ne prend pas en compte le niveau d'activité physique ou le sexe de la personne, mais elle serait facile à utiliser à l'officine.

Il existe des équations permettant d'estimer plus précisément les apports énergétiques nécessaires pour les différentes catégories de personnes (nourrissons, enfants et adolescents, hommes, femmes enceintes et allaitantes, etc.) mais elles sont beaucoup moins faciles à utiliser et demandent de connaître le niveau d'activité physique du patient (cf chapitre sur les dépenses énergétiques). (34)

La balance énergétique représente le rapport entre les apports énergétiques et les dépenses énergétiques. Si les apports énergétiques sont supérieurs aux dépenses énergétiques, on dit que la balance énergétique est positive. Si les dépenses énergétiques sont supérieures aux apports énergétiques, on dit que la balance énergétique est négative. (34)

Les variations de la masse corporelle peuvent indiquer si les apports énergétiques sont corrects. En effet, s'ils sont insuffisants, l'individu perdra du poids et pourra en déduire que la balance énergétique est négative. Si les apports énergétiques sont excessifs, l'individu observera une prise de poids, ce qui indique que la balance énergétique est positive. (34)

Chez l'enfant, un apport énergétique insuffisant entraîne une diminution de la vitesse de croissance, voire, si le manque d'énergie perdure, un retard staturo-pondéral, une diminution des performances scolaires, une faible densité osseuse, etc. Chez l'adulte, un manque de vigueur peut se faire ressentir. Si les conditions persistent, nous pouvons observer une perte de poids et un changement de la composition corporelle. (34)

En cas d'excès calorique, une prise de poids est observée. Si elle est très importante, la personne peut atteindre un état de surpoids (IMC compris entre 25 et 30 kg/m²) ou d'obésité (IMC supérieur à 30). (34)

b) Lipides

b. 1) Triglycérides et acides gras

Les lipides sont des molécules organiques. Elles sont très majoritairement composées de triglycérides (3 acides gras estérifiés à une molécule de glycérol (45)), mais il existe également en petite proportion les phospholipides, qui sont constitués d'une molécule de glycérol à laquelle sont greffés deux acides gras et un résidu phosphorylé (inositol, sérine, etc.). Les phospholipides et le cholestérol entrent dans la composition des membranes cellulaires. (34) Nous ne détaillerons pas davantage le rôle et le métabolisme des phospholipides.

Les acides gras sont des acides carboxyliques à longue chaîne carbonée. Ils présentent des structures très diversifiées : leur longueur varie de 4 à plus de 24 carbones, ils peuvent être saturés ou insaturés (mono ou poly-insaturés, avec une double liaison "cis" ou "trans"). S'il y a plusieurs doubles liaisons, elles sont toujours séparées par 2 liaisons simples. (46)

Les acides gras sont notés de la façon suivante : C_x:y n-z avec x nombre de carbones dans la chaîne, y le nombre de doubles liaisons et z la position de la première double liaison en partant du méthyle terminal. Par exemple, C₁₈:3 n-3 est l'acide linoléique, qui est composé de 18 carbones, 3 doubles liaisons dont la première est située entre le troisième et le quatrième carbones en partant du côté méthyle. (47)

Selon leur structure chimique, les acides gras ont des propriétés biologiques différentes. Leurs nombreuses fonctions sont répertoriées, selon leur structure chimique, dans le Tableau 2.

Lipide ou acide gras	Fonction
Lipides totales	<ul style="list-style-type: none"> • Source essentielle d'énergie (9 Kcal/g) • Aide l'absorption des vitamines liposolubles (A, D, E, K) et caroténoïdes
Acides gras saturés	<ul style="list-style-type: none"> • Sources d'énergie • Composant structurel des membranes plasmiques • Permet un fonctionnement normal des protéines
Acides gras cis-mono-insaturés	<ul style="list-style-type: none"> • Composant essentiel de la structure de la membrane plasmique, particulièrement celles du tissu nerveux (myéline)
Acides gras cis-polyinsaturés n-6 (aussi appelés oméga 6)	<ul style="list-style-type: none"> • Substrats de la production des eicosanoïdes, dont les prostaglandines • précurseurs de l'acide arachidonique • Composant structurel des membranes plasmiques • Importants dans des voies de signalisation cellulaire • Vitaux pour une fonction cellulaire épithéliale normale • Impliqués dans la régulation de gènes régulant la synthèse des acides gras
Acides gras cis-polyinsaturés n-3 (aussi appelés oméga 3)	<ul style="list-style-type: none"> • Précurseurs de synthèse des acides eicosapenténoïques (EPA) and acides docosahexaénoïques (DHA). EPA est le précurseur des eicosanoïdes n-3
Phospholipides	<ul style="list-style-type: none"> • Constituants majeurs des membranes cellulaires

Tableau 2 : fonction des lipides et acides gras (34)

Certains acides gras sont dits "essentiels" car ils ne peuvent pas être synthétisés par le corps. Il s'agit notamment des acides gras poly-insaturés linoléique (C18:2 n-6) et linoléique (C18:2 n-3). Ces deux composés doivent être apportés par l'alimentation. (48) Nous trouvons de l'acide linoléique dans les huiles de pépins de raisin, de tournesol, de maïs, de noix et de l'acide linoléique principalement dans l'huile de lin, de colza, de noix ou de soja. (49)

L'acide linoléique et l'acide linoléique sont tous deux précurseurs de la synthèse d'autres molécules (Figure n°21). (50) L'acide linoléique est le précurseur de l'acide arachidonique. L'acide linoléique est le précurseur de l'EPA (Eicosapentaenoïque Acid), lui-même précurseur du DHA (DocosaHexaenoic Acid). Il faut veiller à ce que l'apport en acide linoléique par rapport à l'apport en l'acide linoléique ne dépasse pas 5. (50)

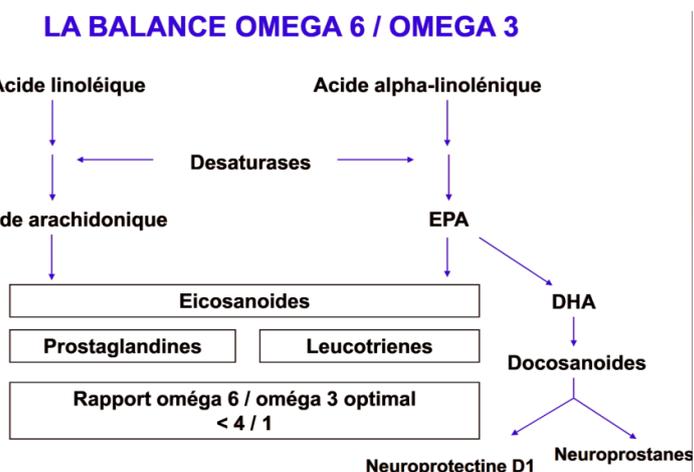


Figure n°21 : balance entre les acides gras n-3 et acides gras n-6(50)

L'organisme humain est capable de synthétiser les acides gras saturés et mono-insaturés, que l'on retrouve également abondamment dans l'alimentation. (46)

Les sources principales d'acides gras sont indiquées dans le Tableau 3.

<u>Sources principales d'acides gras</u>	
Acides gras saturés	aliments d'origine animale (lait, crème, beurre, fromage, viandes grasses) huiles de coco, de palme lait humain (représente 20-25% des apports)
Acides gras cis mono-insaturés	aliments d'origine animale (viandes) huile d'olive et de canola lait humain (représente 20% des apports)
Acides gras polyinsaturés n-6	noix, graines huile de tournesol, de carthame, de maïs et de soja L'acide arachidonique est en petites quantités dans la viande, la volaille et les œufs
Acides gras polyinsaturés n-3	huile de lin, de canola et de soja Les poissons gras sont des sources importantes d'EPA et DHA
Acides gras trans	margarine et acides gras hydrogénés lait, beurre et viandes pâtisseries, nourriture frite,, lait humain (représente 1-5% des apports)

Tableau 3: principales sources d'acides gras (34)

Nous avons vu précédemment que l'apport lipidique doit constituer 40 à 55% de l'apport énergétique total chez les enfants de moins de 3 ans pour finalement atteindre 30 à 35% de l'apport énergétique total chez les adultes. Chez les nouveau-nés et nourrissons, les besoins sont assurés par le lait maternel (ou maternisé). (34)

Les apports nutritionnels recommandés pour les adultes sont indiqués dans le Tableau 4. Ils sont exprimés en proportion de l'apport énergétique total. Il faudra donc que chaque individu adapte sa consommation de lipides selon ses propres besoins. (51)

		AGS	AGMI	Acide linoléique	Acide α -linoléique	AGPI-LC	dont DHA
Homme adulte consommant 2200 kcal.j ⁻¹	% de l'AET	8	20	4	0,8	0,2	0,05
	g.jour ⁻¹	19,5	49	10	2	0,5	0,12
Femme adulte consommant 1800 kcal.j ⁻¹	% de l'AET	8	20	4	0,8	0,2	0,05
	g.jour ⁻¹	16	40	8	1,6	0,4	0,10

AET : apport énergétique total ; AGPI-LC : acides gras polyinsaturés à longue chaîne (>18 carbones : acide arachidonique, EPA et DHA) ; AGS : acides gras saturés, AGMI : acides gras monoinsaturés.
Valeurs obtenues sur la base d'un apport énergétique d'origine lipidique de 33 % de l'AET.

Tableau 4 : apports énergétiques conseillés en acides gras (46)

La consommation excessive de lipides peut entraîner des apports énergétiques excessifs, ce qui mène à une prise de poids chez le patient. Celle-ci, si elle est excessive, peut mener au surpoids, puis à l'obésité, qui est associée à une augmentation du risque de maladies cardio-vasculaires. (34)

La consommation excessive d'acides gras saturés (Tableau 3) entraîne une diminution de l'expression des récepteurs au LDL-cholestérol, ce qui a pour conséquence une augmentation de la concentration de ce LDL-cholestérol. (34) L'ingestion d'acides gras saturés prédispose à l'accumulation de tissu adipeux abdominal. Il faut donc que le patient en limite sa consommation.

La consommation d'acides gras trans (Tableau 3) est associée (chez le singe) à une accumulation de tissu adipeux viscéral et à de l'insulinorésistance, délétères pour la santé cardio-vasculaire. (52) La substitution dans l'alimentation des acides gras saturés par des acides gras poly-insaturés diminuerait la cholestérolémie et le taux de LDL-cholestérol. (51)

L'inclusion d'acides gras mono-insaturés (Tableau 3) dans l'alimentation permet de limiter l'accumulation de tissu adipeux viscéral. (53) La consommation excessive d'acides gras n-6 par rapport à celle d'acides gras n-3 perturbe la synthèse d'EPA et DHA. (50) Par la régulation de la transcription de gènes impliqués dans le métabolisme des lipides, l'EPA diminuerait la triglycéridémie. (51)

b. 2) Cholestérol

Le cholestérol a plusieurs fonctions importantes dans l'organisme. Il est intégré dans les membranes plasmiques, qu'il structure et rigidifie : il s'intercale entre les phospholipides et ordonne les "queues" d'acides gras. Le cholestérol peut également stabiliser les liaisons entre deux domaines lipidiques. (54) Le cholestérol a d'autre part un rôle de précurseur dans la synthèse des hormones stéroïdes et des acides biliaires. (34)

Le corps synthétise le cholestérol au niveau du foie, mais aussi dans toutes les autres cellules de l'organisme (55). Bien qu'il ne soit pas utile d'en consommer, le cholestérol peut également être obtenu par l'alimentation. (34) Les aliments les plus riches en cholestérol sont les œufs, la cervelle, les huiles de poisson et la viande. (49)

Le transport des lipides (triglycérides et cholestérol) est réalisé grâce aux lipoprotéines plasmatiques. Après leur digestion, les lipides sont pris en charge par les chylomicrons, qui les transportent de l'intestin au foie et permettent leur absorption. Les lipides sont ensuite distribués dans l'organisme par les VLDL (Very Low Density Lipoprotein) et les LDL (Low

Density Protein). Enfin, le cholestérol en excès est ramené au foie pour y être excrété grâce aux HDL (High Density Protein). (55)

Une concentration plasmatique élevée en LDL et VLDL est associée au développement de la maladie athéromateuse. Par l'intermédiaire de ces protéines, les lipides vont s'accumuler dans la paroi des vaisseaux sanguins. Les LDL peuvent être oxydées et peuvent initier une réaction inflammatoire, à l'origine du développement des plaques d'athérome. (56) La maladie athéromateuse est associée à une augmentation du risque d'accident thrombotique. Il faut donc contrôler les concentrations en LDL et VLDL. Pour cela, il est conseillé de limiter la consommation des aliments riches en cholestérol et en acides gras saturés. (34)

c) Glucides

Tout comme les lipides, les glucides apportent de l'énergie à l'organisme. Le cerveau et certaines cellules comme les érythrocytes (incapables de réaliser une autre réaction que la glycolyse anaérobie) doivent obligatoirement être alimentés en glucose. (34)

Il existe plusieurs types de glucides : les monosaccharides composés d'une seule unité glucidique (principalement le glucose et le fructose), les disaccharides composés de 2 unités glucidiques essentiellement le saccharose (composé d'une unité de glucose et une unité de fructose) et le lactose (composé d'une molécule de glucose et une molécule de galactose). Aussi appelés "sucres complexes", les polysaccharides sont des polymères de glucose comportant plus de 10 unités glucidiques. Les plus importants sont l'amidon et le glycogène. (42),(34) Au cours de la digestion, les glucides sont hydrolysés par les amylases afin d'obtenir des monosaccharides qui pourront alors être absorbés. (42)

L'index glycémique est une mesure permettant de classer les aliments en fonction de leur capacité à élever la glycémie postprandiale 2 heures après l'ingestion de l'aliment. Il est en lien avec la vitesse d'absorption des glucides et est le reflet de la capacité d'un glucide à élever la glycémie. (34) Plus un aliment a un index glycémique élevé, plus il sera absorbé rapidement. La référence est à 100 : index glycémique du glucose. (57)

Pour une même quantité de glucide ingérée, plus l'index glycémique est élevé, plus la glycémie post prandiale sera élevée. La demande en insuline sera alors plus élevée. (58) Nous parlons d'IG élevé s'il est supérieur à 70, modéré s'il est compris entre 70 et 55 et faible s'il est inférieur à 55. (59)

L'index glycémique des aliments transformés industriels et du pain blanc est souvent élevé. Pour les autres aliments, cet indicateur est très variable. (57) L'index glycémique de quelques

aliments est répertorié dans le Tableau 5. Cet indicateur est cependant insuffisant, car il ne prend en compte ni la quantité réelle de glucides ingérée, ni la présence des autres aliments du repas (composition globale du repas), ni leur place dans le repas. (60)

Aliments	IG	Portion usuelle	GD par portion (g)	CG
Banane mûre	52	1 petite	26	13
Boisson gazeuse	53	250 ml	26	14
Carotte cuite	41	125 ml	5	2
Fraises fraîches	40	250 ml	3	1
Fructose	19	15 ml	10	2
Haricots rouges cuits	36	125 ml	17	9
Jus d'orange non-sucré	50	250 ml	18	9
Lait partiellement écrémé, 2% m.g.	30	250 ml	14	4
Orange fraîche	42	1 petite	11	5
Pain blanc	71	1 tranche	14	10
Pain de blé entier	71	1 tranche	12	9
Pomme de terre bouillie	72	1 moyenne	18	16
Pommes de terre frites	76	format moyen	22	17
Raisins frais	53	250 ml	18	8
Raisins secs	62	50 ml	44	28
Riz basmati cuit	58	175 ml	38	22
Riz blanc minute cuit	87	175 ml	42	29
Riz brun cuit	66	175 ml	28	18
Spaghetti de blé entier cuit	42	310 ml	42	16
Spaghetti blanc cuit	44	250 ml	48	21
Sucre	68	15 ml	15	10

GD, glucides disponibles

Tableau 5 : index glycémique (IG) et charge glycémique (CG) de quelques aliments (59)

Afin de prendre en compte ces paramètres, l'utilisation du concept de charge glycémique est pertinent. En prenant en compte l'index glycémique, la charge glycémique permet d'estimer la réponse glycémique des aliments, y compris dans le cadre des repas. Cet indicateur prend en compte la quantité de glucides de tous les aliments. Il suffit alors d'additionner la charge glycémique de tous les aliments. La charge glycémique de quelques aliments est répertoriée dans le Tableau 5. (59)

Il semblerait que l'ajout d'aliment de faible index glycémique à un repas permettrait de diminuer la glycémie postprandiale et donc la réponse insulinique. (59)

Un régime à charge glycémique élevée et pauvre en fibres est associé à une augmentation du risque de diabète de type 2. (58)

Les apports en glucides recommandés sont différents chez chaque personne : ils doivent couvrir 50 à 55% des apports énergétiques de l'adulte et de l'enfant, et 40 à 50% des apports énergétiques du nourrisson et du nouveau-né. Les sources majeures de glucides sont les aliments contenant de l'amidon (féculé, farines de céréales, etc.) et les aliments sucrés. (34)

Dans le cadre d'un régime déficient en glucides, le corps va produire des corps cétoniques afin d'apporter l'énergie nécessaire au cerveau. Les corps cétoniques ne permettent pas de régénérer les stocks de glycogène, ce qui rend plus difficile les efforts musculaires brefs et intenses. A long terme, cette situation peut mener à une déminéralisation osseuse, de l'hypercholestérolémie, une augmentation du risque de lithiase urinaire, et, chez les enfants, à un développement anormal du système nerveux central. (34)

En cas d'apport excessif de glucides, le risque d'obésité, d'hyperlipidémie, sont augmentés. Des caries dentaires peuvent également être observées, ainsi que le développement de cancers. (34)

d) Protéines

Dans l'organisme, en plus d'être un macronutriment, les protéines ont des fonctions enzymatiques, de structure et de transporteur. Elles sont présentes dans toutes les cellules. Les protéines sont composées d'un enchainement d'acides aminés. (34)

Au cours de la digestion, les protéines sont dénaturées, puis clivées en peptides. Ces peptides sont finalement hydrolysés en acides aminés, qui pourront alors être absorbés. (34)

En plus d'apporter de l'énergie au corps, les acides aminés sont nécessaires à la synthèse des protéines par notre organisme. Certains acides aminés peuvent être synthétisés par l'organisme, on parle alors d'acides aminés "non essentiels". D'autres doivent obligatoirement être apportés par l'alimentation : ce sont les acides aminés essentiels. (34)

acides aminés non essentiels	acides aminés essentiels
acide aspartique	histidine
acide glutamique	isoleucine
alanine	leucine
arginine	lysine
asparagine	méthionine
cystéine	phénylalanine
glutamine	thréonine
glycine	tryptophane
proline	valine
sérine	
tyrosine	

Tableau 6 : acides aminés essentiels et non essentiels chez l'adulte(34)

Dans l'alimentation, les protéines peuvent être d'origine animale (viande, poisson, œuf ou lait). Celles-ci sont dites "de bonne qualité" car elles apportent tous les acides aminés

essentiels en quantité suffisante. Les protéines végétales sont moins digestes que les protéines d'origine animale. Les végétaux les plus riches en protéines sont les céréales, les produits issus du soja et les légumineuses. Les céréales sont pauvres en lysine, et les légumineuses sont pauvres en acides aminés soufrés. Dans le cadre d'un régime végétarien, afin d'assurer un apport suffisant en acides aminés, il faut associer des légumineuses et des céréales. (61)

Chez l'enfant, l'histidine et l'arginine sont également des acides aminés essentiels. (62)

Les apports en protéines doivent représenter 10% à 20% des apports énergétiques journaliers. Les apports recommandés en acides aminés sont répertoriés dans le Tableau 7.

	Sédentaire	Sujet sportif
apport énergétique (kcal/j)	2436 +/- 571	3063 +/- 408
méthionine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	30,28 +/- 5,82	37,87 +/- 7,92
cystéine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	15,85 +/- 4,04	19,43 +/- 3,72
lysine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	89,71 +/- 16,55	112,22 +/- 23,28
isoleucine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	59,9 +/- 13,4	81,41 +/- 16,16
leucine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	93,64 +/- 19,87	135,46 +/- 28,79
phénylalanine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	55,36 +/- 11,9	77,4 +/- 14,62
thréonine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	48,05 +/- 9,13	64,32 +/- 14,31
tryptophane (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	13,8 +/- 3,57	20,75 +/- 4,19 ^s
valine (mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹)	63,85 +/- 13,38	90,42 +/- 18,2

Tableau 7 : apports nutritionnels recommandés en acides aminés essentiels (63)

Un déficit protéique peut entraîner des dysfonctionnements rénaux et cérébraux (surtout chez les enfants), un déficit immunitaire, une altération de la digestion (perturbation de la perméabilité intestinale et de la sécrétion de mucus). Inversement, une surcharge protéique peut provoquer des lithiases rénales et de l'ostéoporose. (34)

3) Micronutriments

Les micronutriments sont présents en faible quantité dans l'organisme. Il s'agit des vitamines et minéraux. (64) Les vitamines ne sont pas synthétisées par l'organisme (sauf la vitamine D et la vitamine K). Elles sont répertoriées en deux groupes : les vitamines hydrosolubles (les vitamines du groupe B et la vitamine C) et liposolubles (A, D, E, et K). (65)

Les apports en nutriments (micro et macronutriments) sont présentés par aliment sur les tables Ciquel de l'ANSES. Il y est possible de trouver les sources alimentaires pour chaque nutriment. (49)

Les apports recommandés sont présentés dans le Tableau 8.

Vitamine A (μg)	800	Chlorure (mg)	800
Vitamine D (μg)	5	Calcium (mg)	800
Vitamine E (mg)	12	Phosphore (mg)	700
Vitamine K (μg)	75	Magnésium (mg)	375
Vitamine C (mg)	80	Fer (mg)	14
Thiamine (mg)	1,1	Zinc (mg)	10
Riboflavine (mg)	1,4	Cuivre (mg)	1
Niacine (mg)	16	Manganèse (mg)	2
Vitamine B6 (mg)	1,4	Fluorure (mg)	3,5
Acide folique (μg)	200	Sélénium (μg)	55
Vitamine B12 (μg)	2,5	Chrome (μg)	40
Biotine (μg)	50	Molybdène (μg)	50
Acide pantothénique (mg)	6	Iode (μg)	150
Potassium (mg)	2 000		

Tableau 8 : apports nutritionnels journaliers conseillés en micronutriments chez l'adulte (66)

Nous allons présenter d'abord les vitamines, puis les minéraux.

a) Vitamines

a. 1) Vitamine A

La vitamine A, ou rétinol est une vitamine liposoluble. Elle est impliquée dans la vision, le développement embryonnaire, la croissance et l'immunité. Elle peut être apportée sous forme de carotène (provitamine A) et de trans-rétinol. (34)

Le rétinol est présent dans les aliments d'origine animale (foie, laitages et poisson). Les caroténoïdes sont présents dans les huiles, les fruits et les légumes (carottes, brocolis, courges, pois, et épinards).

Un déficit en vitamine A entraîne une xérophtalmie (affection oculaire provoquant un assèchement de la cornée et de la conjonctive (67)), voire des affections oculaires plus graves comme des ulcérations de la cornée.

Si les apports en vitamine A sont excessifs, nous pouvons observer des nausées et vomissements, des céphalées et vertiges, une augmentation de la pression intracrânienne. Au cours de la grossesse, un apport excessif en vitamine A est tératogène. Ces problèmes ne sont pas observés avec l'apport de carotène. (34)

a. 2) Vitamines du groupe B

Ces vitamines sont des coenzymes impliqués dans divers métabolismes.

a. 2. 1) Vitamine B1

Aussi appelée thiamine, la vitamine B1 a un rôle dans le métabolisme des glucides et des protéines.

Elle est trouvée dans les graines complètes, le porc et les substituts de viande enrichis (steaks végétaux). (34)

Les personnes carencées en vitamine B1 présentent une anorexie, des troubles du système nerveux (apathie, pertes de mémoire), des faiblesses musculaires et une hypertrophie cardiaque. (34)

a. 2. 2) Vitamine B2

La riboflavine, ou vitamine B2 intervient dans le métabolisme énergétique et dans les réactions d'oxydo-réduction.

Nous trouvons la vitamine B2 dans les produits enrichis, les laitages, les abats et le pain.

Un déficit en vitamine B2 a de nombreuses manifestations : une irritation de la gorge, des œdèmes de la bouche et du pharynx, la perlèche, une glossite, une dermatite séborrhéique et une anémie normocytaire. Certaines maladies, comme le cancer, les maladies cardiaques et le diabète exacerbent les effets indésirables d'un déficit en vitamine B2. (34)

a. 2. 3) Vitamine B3

Aussi appelée niacine, acide nicotinique ou nicotinamide, la vitamine B3 est impliquée dans de nombreuses réactions biochimiques, notamment dans le métabolisme des acides gras et la respiration cellulaire. (34)

Le tryptophane est un précurseur de cette vitamine, et peut être converti en vitamine B3 par l'organisme. La viande, le foie, les volailles et le poisson sont riches en niacine. Les céréales complètes ou enrichies peuvent également apporter cette vitamine à l'organisme. (34)

En cas de prise de suppléments alimentaires en quantité excessive, nous pouvons observer des rougeurs de la peau, des vomissements, une toxicité hépatique, une vision floue et une intolérance au glucose. (34)

Le déficit en vitamine B3 est très rare dans les pays industrialisés. Les apports doivent être augmentés au cours de la grossesse et de l'allaitement. (34)

a. 2. 4) Vitamine B5

La vitamine B5, ou acide pantothénique permet la synthèse du coenzyme A et est impliquée dans le métabolisme des acides gras. (34)

Les aliments contenant de la vitamine B5 sont le poulet, les pommes de terre, l'avoine, les produits à base de tomate, le foie, le jaune d'œuf, le brocoli et les céréales complètes. (34)

Une carence en acide pantothénique entraîne de la fatigue, des troubles du sommeil, une apathie, des malaises, des troubles gastro-intestinaux, des troubles neurologiques, et de l'hypoglycémie avec une augmentation de la sensibilité à l'insuline. (34)

a. 2. 5) Vitamine B6

Aussi appelée pyridoxine, la vitamine B6 est un coenzyme intervenant dans le métabolisme des acides aminés, des lipides de la familles des sphingosines et du glycogène. (34)

Les sources alimentaires riches en vitamine B6 sont les abats et le foie, les céréales enrichies et les produits à base de soja. Les pommes de terre, les fruits (sauf les agrumes) et les légumes-féculents apportent également de la vitamine B6. (34)

En cas de carence en vitamine B6, des effets indésirables sont observés : dermatite séborrhéique, anémie microcytaire, convulsions, dépression et confusion. Au cours de la grossesse, un déficit en pyridoxine est associé avec une augmentation du risque de pré-éclampsie. (34)

La prise de certains médicaments (isoniazide, L-DOPA, contraceptifs oraux) et la consommation chronique d'alcool sont associées à une diminution de la concentration plasmatique de la vitamine B6. (34)

a. 2. 6) Vitamine B9

La vitamine B9, ou folate est un coenzyme impliqué dans le métabolisme des acides nucléiques et des acides aminés.

Il est recommandé aux femmes enceintes et aux femmes souhaitant le devenir, de prendre un complément alimentaire de 400 µg d'acide folique, afin de diminuer le risque d'anomalies de fermeture du tube neural chez le fœtus. (34)

Les aliments riches en folates sont principalement les céréales enrichies, les légumes verts, les pois et légumineuses.

Une carence en vitamine B9 entraîne une augmentation de la concentration en homocystéine, et une anémie mégaloblastique. Cela entraîne de la fatigue, des difficultés de concentration, de l'irritabilité, des maux de tête, des palpitations et des difficultés à respirer. (34)

La prise de certaines substances comme l'alcool ou le tabac, et la prise de médicaments (antalgiques, antiépileptiques, méthotrexate, etc.) interagissent avec l'absorption ou le métabolisme des folates, ce qui diminue leur concentration plasmatique. (34)

a. 2. 7) Vitamine B12

La vitamine B12, ou cobalamine est un coenzyme nécessaire à la conversion de l'homocystéine en méthionine. Elle est aussi impliquée dans le métabolisme des acides gras à nombre impair de carbones. (34)

L'absorption de la vitamine B12 est active et nécessite la présence du facteur intrinsèque, produit au niveau de l'estomac. La vitamine B12 est essentiellement retrouvée dans les produits animaux (viande, poisson, lait, œuf), et les produits enrichis. (34)

Un apport insuffisant en vitamine B12 ou un défaut de son absorption entraînent des conséquences pouvant être graves : une anémie pernicieuse (partiellement compensée par un apport important de vitamine B9), des troubles neurologiques allant de simples picotements au niveau des extrémités, aux problèmes cognitifs graves (pertes de mémoires, désorientation, démence). L'apport important de vitamine B9 peut masquer un déficit en vitamine B12, par correction de l'anémie pernicieuse, ce qui va entraîner des troubles neurologiques. (34)

Une carence en vitamine B12 est également associée à des troubles gastro-intestinaux (pertes d'appétit, flatulences). (34)

a. 3) Vitamine C

La vitamine C, ou acide ascorbique est une vitamine hydrosoluble. Anti-oxydante, cette vitamine joue également le rôle de cofacteur enzymatique. Elle est impliquée dans la synthèse de carnitine, de différents composants du tissu conjonctif. Elle module l'absorption, le transport et le stockage du fer. (34)

Nous pouvons trouver de la vitamine C dans les fruits (fraises, citrons), les légumes (tomates, choux de Bruxelles, brocolis, épinards), ainsi que dans les aliments enrichis. Dans les pays développés, les carences en vitamine C sont très rares. (34)

Les fumeurs et les personnes exposées au tabagisme passif ont besoin de davantage de vitamine C (35mg/ jour supplémentaires). C'est aussi le cas des femmes enceintes et des personnes consommant de l'alcool. (34)

Etant donné que la vitamine C améliore l'absorption du fer, les personnes souffrant d'hémochromatose, d'un déficit en glucose-6-phosphate déshydrogénase ou de désordre rénaux risquent d'observer une aggravation de leur maladie (par une surcharge en fer) si leur consommation de vitamine C est trop importante (supérieure à 200mg/jour). (34)

La vitamine C diminue l'absorption du cuivre et de la vitamine B12. (34)

a. 4) Vitamine D

La vitamine D existe sous 2 formes : l'ergocalciférol (vitamine D2) qui est le précurseur, et le cholécalciférol (vitamine D3) qui est la vitamine active. Celle-ci occupe plusieurs fonctions. Elle est impliquée dans l'absorption du calcium et du phosphore, mais a également une action de type hormonale antiproliférative et pro-différenciatrice. (34)

Cette vitamine est synthétisée au niveau de la peau, grâce à l'exposition aux rayons ultraviolets. Cependant, dans les régions peu exposées au soleil, les déficits en vitamine D sont fréquents.

Les sources alimentaires principales sont les poissons gras, les huiles de poisson, les œufs et le lait enrichi. Le lait maternel est pauvre en vitamine D. Il faut donc supplémenter les nourrissons qui sont insuffisamment exposés au soleil (2,5µg à 5µg/jour soit 100 à 200 UI/jour). (34)

Un déficit d'apport en vitamine D peut entraîner une perturbation du métabolisme osseux, pouvant mener à l'ostéomalacie ou l'ostéoporose. Un apport excessif en vitamine D peut entraîner une hypercalcémie, qui a pour conséquences une calcification des tissus, des troubles gastro-intestinaux et une lithiase urinaire. (34)

Le traitement par corticoïdes entraîne l'inhibition de l'absorption de calcium dépendante de la vitamine D. (34)

a. 5) Vitamine E

La vitamine E, ou α -tocophérol a une action anti-oxydante. Elle a également une fonction inhibitrice de la protéine kinase C (impliquée dans la prolifération et la différenciation des cellules) des cellules musculaires lisses, des plaquettes et des monocytes. La vitamine E améliore la vasodilatation et inhibe l'agrégation plaquettaire. (34)

Elle est présente dans les huiles, les céréales non traitées, les noix, les fruits, les légumes et les viandes grasses. (34)

Les déficits en vitamine E sont très rares. La vitamine E peut avoir une action antagoniste de la vitamine K : un apport excessif de cette vitamine peut déstabiliser un traitement anticoagulant, qui peut alors être trop efficace. (34)

a. 6) Vitamine K

La vitamine K a une fonction de coenzyme impliquée dans la production des facteurs de coagulation, et le métabolisme osseux. Cette vitamine prévient la calcification athérosclérotique. (34), (68)

Les aliments riches en vitamine K sont les légumes verts (épinard, salade, brocolis, choux de Bruxelles) et les huiles. Cette vitamine est également produite par la flore bactérienne intestinale. Il n'y a pas d'effet indésirable pour les apports alimentaires importants en vitamine K. (34)

Un déficit en vitamine K peut augmenter le temps de saignement, et par conséquent, le risque d'hémorragies. Il est cependant très rare dans la population, à l'exception des personnes souffrant de malabsorption ou prenant des médicaments interférant avec le métabolisme de la vitamine K. Les nouveau-nés risquent de présenter un déficit en vitamine K, car le passage placentaire est limité : il est courant de les supplémenter à la naissance. (34)

Les patients suivant un traitement par anti-vitamine K doivent avoir des apports réguliers en vitamine K (toujours la même quantité par jour) afin de ne pas déstabiliser leur INR (International Normalized Ratio). En cas de traitement par antibiotiques, la flore bactérienne peut être altérée, ce qui perturbe la production de vitamine K. (34)

b) Minéraux

b. 1) Calcium

Le calcium est un élément majoritairement présent dans les os et les dents. Il a un rôle primordial dans le métabolisme osseux.

Les aliments riches en calcium sont les laitages, les fromages, le chou, les brocolis et les produits enrichis. L'absorption du calcium nécessite la présence de vitamine D, et diminue si le repas comporte des aliments riches en acide phytique, présent dans l'enveloppe des céréales (69) ou en acide oxalique, présent dans les épinards, l'oseille, le poivre, le persil et le gingembre. (70), (34)

Au cours de la grossesse, les os servent de réserve de calcium.

Un déficit en calcium expose à de l'ostéopénie, de l'ostéoporose, et une augmentation du risque de fractures osseuses. Un apport excessif entraîne une hypercalcémie, une lithiase rénale pouvant mener à de l'insuffisance rénale, et une diminution de l'absorption d'autres oligoéléments (magnésium, fer, phosphore et zinc). (34)

b. 2) Cuivre

Il s'agit d'un métal entrant dans la composition de métallo-enzymes impliquées dans la respiration cellulaire.

Les carences en cuivre sont rares. Les sources principales de cuivre sont les abats, les produits de la mer, les noix et les graines germées. Les céréales complètes sont aussi une source de cuivre. (34)

L'homéostasie du cuivre est influencée par le zinc, le molybdène et le fer, qui diminuent son absorption.

Les carences en cuivre se manifestent par de l'anémie, une leucopénie et une neutropénie, ainsi que par de l'ostéoporose. Une consommation excessive de cuivre se manifeste par des troubles gastro-intestinaux (nausées, crampes, douleurs abdominales, etc.). (34)

b. 3) Iode

Composant des hormones thyroïdiennes, cet oligoélément est présent dans les aliments issus de la mer. Dans les pays industrialisés, le sel est supplémenté en iode, ce qui permet d'assurer les apports nécessaires à la population.

Une carence en iode chez les nouveau-nés entraîne un retard de développement du système nerveux. Chez l'adulte, cela provoque la formation d'un goitre. Un apport excessif en iode entraîne des thyroïdites, de l'hypothyroïdie et de l'hyperthyroïdie, ainsi que des cancers de la thyroïde. (34)

b. 4) Fer

Le fer est un métal entrant dans la composition de nombreuses protéines (myoglobine, hémoglobine, cytochromes). Il est stocké dans le foie. Les besoins sont plus importants chez les femmes en raison de leurs pertes menstruelles. Au cours de la grossesse, les besoins augmentent. (34)

Les sources principales de fer héminique, mieux absorbé, sont les produits d'origine animale : viande, poisson et œufs. Le fer d'origine végétale est non héminique et est présent dans le pain complet, les céréales, et en plus faible quantité, dans les légumineuses. (49)

La vitamine C améliore l'absorption du fer. L'absorption du fer non héminique est inhibée par la présence de phytates (présents dans l'enveloppe des céréales), de polyphénols (présents dans les fruits, les légumes), et de calcium (présent dans laitages, les fromages, le chou, les brocolis). (34)

Les populations exposées aux carences en fer sont les végétariens, les personnes donnant fréquemment leur sang, les personnes ayant une activité physique soutenue et les personnes touchées par une maladie intestinale parasitaire. Inversement, les personnes touchées par l'hémochromatose sont susceptibles de faire des surcharges en fer. (34)

Les carences en fer se manifestent par une diminution des stocks de fer et de l'anémie. Un apport trop important en fer se manifeste par des nausées et vomissements, des troubles cardiaques, du système nerveux, des troubles rénaux et du foie. (34)

b. 5) Magnésium

Le magnésium est un oligoélément impliqué dans des réactions enzymatiques, notamment dans l'homéostasie du calcium et du potassium et dans le métabolisme osseux. (34)

On trouve du magnésium dans les légumes feuillus, les graines complètes et les noix. La présence de fibres diminue l'absorption du magnésium. La vitamine D améliorerait l'absorption du magnésium. La viande et les aliments amidonnés contiennent également du magnésium, en plus faibles quantités. (34)

Un déficit en magnésium peut entraîner des crampes musculaires, une hyperexcitabilité cellulaire, des tétanies, de l'hypertension et des vasospasmes cérébraux et coronaires, de l'hypocalcémie, une interférence avec le métabolisme de la vitamine D, et une hypercalcémie symptomatique. (34)

Un apport excessif de magnésium peut entraîner des diarrhées, de l'hypokaliémie, une alcalose métabolique, un iléon paralytique et un arrêt cardiorespiratoire. Les personnes concernées par la tétanie néonatale, l'hyperthyroïdie, l'hyperlipidémie, l'hyperuricémie, la lithiase toxique, les phlébites, les maladies coronaires et les intoxications alimentaires peuvent bénéficier d'un apport plus important de magnésium. Le risque est plus important chez les insuffisants rénaux. (34)

La consommation excessive d'alcool peut provoquer une déplétion en magnésium, tandis que les diurétiques peuvent provoquer une hypermagnésémie.

b. 6) Phosphore

C'est un oligoélément qui entre dans la composition des os et des dents. Il a un rôle important dans le maintien du pH sanguin (pouvoir tampon). Il est un composant structurel des phospholipides. (34)

Les personnes consommant beaucoup de produits laitiers doivent augmenter leurs apports de phosphore. Le phosphore est présent dans la plupart des aliments. Les carences sont rares. Son absorption est diminuée par la présence d'acide phytique (présent dans l'enveloppe des céréales). La prise d'antiacides (Phosphalugel®, Rocgel®) contenant de l'aluminium peut diminuer l'absorption de phosphore. (34)

Les carences en phosphore entraînent de l'anorexie, de l'anémie, des faiblesses musculaires, des douleurs osseuses, de l'ostéomalacie chez les adultes et du rachitisme chez les enfants, et du crétinisme, une sensibilité augmentée aux infections, de l'ataxie, de la confusion, des paresthésies. (34)

La surcharge en phosphore peut entraîner des calcifications notamment des reins, et diminue l'absorption de calcium. Des apports importants de phosphore peuvent interagir avec l'absorption du fer, du cuivre et du zinc. (34)

b. 7) Potassium

Le potassium est un oligoélément présent en grande concentration dans les cellules. Il est impliqué dans la transmission nerveuse, la contraction musculaire et le tonus vasculaire. Il a aussi un certain pouvoir tampon dans le sang. (34)

Les fruits, les légumes (tomates, concombre, courgette, citrouille), les graines germées, le raisin et les légumes crus sont de bonnes sources de potassium.

Un déficit d'apport en potassium peut mener à l'hypokaliémie, qui, si elle est marquée, cause des arythmies cardiaques, des faiblesses musculaires et une intolérance au glucose. Une hypokaliémie modérée entraîne une augmentation de la pression artérielle, augmente la sensibilité au sodium, le risque de lithiase rénale, et augmente le turnover osseux. (34)

Les personnes d'origine africaine doivent augmenter leurs apports de potassium pour diminuer leur sensibilité au sel. Les personnes prenant des AINS (anti-inflammatoires non stéroïdiens) devraient augmenter leurs apports de potassium. (34)

Les inhibiteurs de l'enzyme de conversion et les diurétiques épargneurs de potassium peuvent provoquer des augmentations de la kaliémie. La kaliémie peut augmenter en cas d'insuffisance rénale chronique, d'insuffisance cardiaque sévère. L'hyperkaliémie est responsable d'arythmie, et des troubles gastro-intestinaux. (34)

b. 8) Sodium

Le sodium est un élément nécessaire au maintien du volume vasculaire et l'osmolarité du plasma. C'est un élément trouvé dans le sel. (34)

Les patients doivent se méfier de leurs apports en sel contenus notamment par la viande, les légumes en conserve, le fromage. (34)

Un apport excessif en sodium entraîne de l'hypertension et des maladies rénales chroniques. Il faut diminuer l'apport en sel en cas de traitement de l'hypertension, ou par des médicaments activateurs du système sympathique. (34)

L'apport recommandé en sel est de 5 grammes par jour, toutes sources confondues. Il faut éviter les aliments préparés, et d'ajouter trop de sel aux préparations. (71)

b. 9) Zinc

Le zinc est nécessaire au développement et à la croissance. Il entre dans la composition d'enzymes impliquées dans le métabolisme des protéines, des sucres et des lipides. (34)

Les aliments riches en zinc sont les viandes, les fruits de mer, les légumineuses, les céréales enrichies et les graines complètes. (34)

Les carences en zinc sont très rares. Elles se manifestent par de l'alopécie, des diarrhées, des lésions oculaires et cutanées, et une perturbation de l'appétit.

Les végétariens doivent faire attention car l'absorption du zinc est diminuée en présence de phytates (présents dans l'enveloppe des céréales). L'alcool diminue l'absorption du zinc. Le zinc diminue l'absorption du fer, du cuivre et des folates. (34)

Un apport excessif en zinc provoque des troubles gastro-intestinaux (nausées, douleurs abdominales, céphalées).

4) Apports en eau

En plus des macronutriments et les micronutriments, l'eau est un élément indispensable à la vie (cf physiologie, partie 1).

Les apports en eau sont indispensables, afin de compenser les pertes d'eau. Celles-ci sont dues à la respiration : de 200 à 350 mL par jour pour les sédentaires à 500 à 600 mL par jour chez les sujets actifs. La filtration rénale entraîne une perte d'eau d'environ 1L par jour. Les pertes fécales sont de 100 à 200 mL d'eau par jour. Enfin, l'organisme perd de l'eau par la transpiration, qui dépend beaucoup de la température extérieure et de l'activité physique. (34) Il faut adapter les apports en eau aux pertes journalières.

Les apports en eau sont assurés par les boissons et les aliments ingérés. Il est recommandé de limiter au maximum l'apport de liquide via les boissons sucrées. (72) Il faut également noter que les jus de fruits apportent de l'énergie : 40 à 60 kilocalories par portion de 100 mL. (33)

Un apport insuffisant en eau expose à la déshydratation. Cela provoque une perturbation de la thermorégulation du corps (difficultés à dissiper la chaleur par manque d'eau), expose à des problèmes cardio-vasculaires (par hypovolémie). Les efforts physiques sont plus difficiles en cas de déshydratation. Nous pouvons également observer une baisse des performances cognitives. (73)

Un apport excessif en eau peut entraîner de l'hyponatrémie (le sodium du sang est trop dilué). (34) Si l'hyponatrémie survient progressivement, on observe des troubles du comportement et neurologiques et une altération de l'état général. Si la survenue est brutale, le patient peut présenter un dégoût pour l'eau, ainsi que, dans les cas les plus graves, des troubles du système nerveux central (céphalées, syndrome confusionnel, coma). (74)

5) Consommation d'alcool

La consommation d'alcool a un impact non négligeable sur le corps. Nous parlons de consommation modérée quand l'apport est inférieur à 40g d'éthanol par jour. Au-delà, la consommation devient excessive. (75) Il est recommandé de limiter sa consommation d'alcool à 2 verres par jour pour les femmes et 3 verres par jour pour les hommes. D'autre part, au cours la grossesse, la prise de boissons alcoolisées est nocive pour l'enfant à naître et doit absolument être évitée. (75)

Bien que les boissons alcoolisées apportent de l'eau, l'alcool facilite la fuite urinaire d'eau. (33)

La consommation d'alcool apporte de l'énergie : 7 kcal/g. Lors de l'ingestion chronique d'alcool, une carence en vitamine A peut être observée. Celle-ci est due à une mobilisation rapide de la vitamine vers les autres tissus, ainsi qu'à son catabolisme hépatique : l'alcool est

un inducteur enzymatique du cytochrome P450. La consommation d'alcool n'apporte ni vitamines, ni oligoéléments. (33)

L'absorption de la vitamine D est altérée, ce qui provoque des troubles osseux (ostéopénie, ostéoporose). Par ailleurs, l'alcool provoque une augmentation du catabolisme de la vitamine E, qui ne peut plus exercer ses fonctions anti-oxydantes correctement et l'ingestion chronique d'alcool perturbe l'absorption et/ou le métabolisme des vitamines du groupe B. (75)

Après avoir discuté des apports énergétiques, nous allons à présent étudier les sources de dépenses énergétiques, qui permettent d'équilibrer la balance énergétique.

PARTIE 3 : DEPENSES ENERGETIQUES, ACTIVITE PHYSIQUE ET EFFETS SUR LA SANTE

1) Dépenses énergétiques au repos

Les dépenses énergétiques de l'organisme au repos correspondent au métabolisme de base et à la thermogénèse.

a) Métabolisme de base

La dépense calorifique minimale de l'organisme correspond au métabolisme de base. (76) Il est défini comme étant la mesure de la dépense énergétique d'un individu éveillé, à jeun depuis plus de 12 heures, en position allongée, et placé dans des conditions de thermo-neutralité. (33)

Le métabolisme de base englobe tous les mécanismes nécessaires à la survie de l'organisme : le travail des muscles impliqués dans la respiration, des muscles lisses et du cœur, la sécrétion des glandes, l'activité du système nerveux, le travail du foie et des reins, la survie des cellules (respiration, entretien des protéines, maintien des gradients ioniques) et la régulation de la température corporelle. (77)

La majeure partie des dépenses énergétiques du métabolisme de base est réalisée par les organes (Figure n°22). Compte tenu de leur importance au niveau de son volume, le tissu musculaire est également responsable d'une dépense énergétique basale importante. Chez les personnes âgées ou obèses, le tissu adipeux a une contribution plus importante. (33)

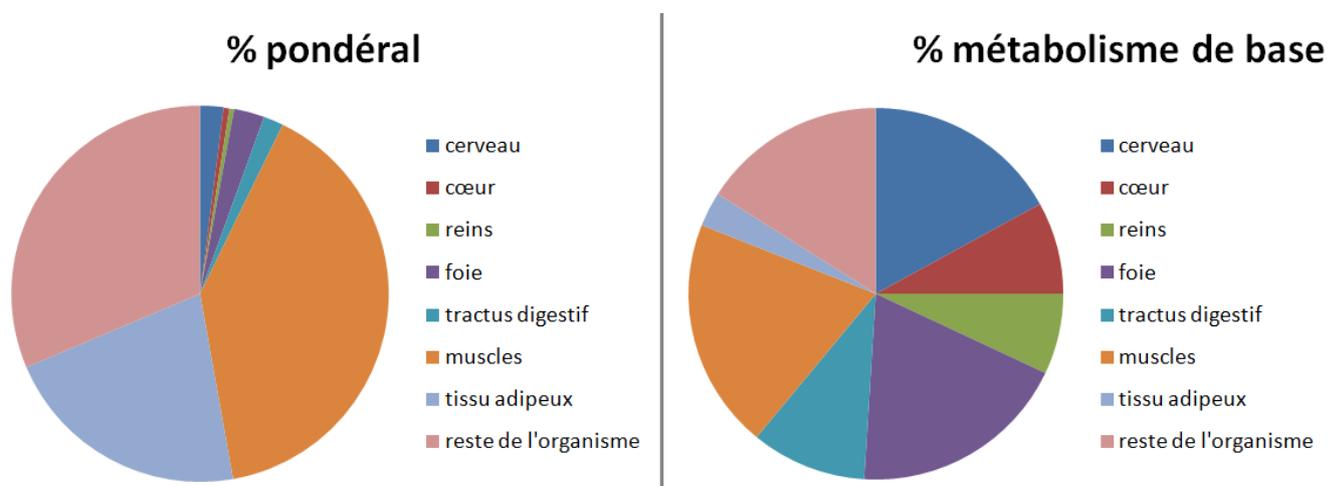


Figure n°22 : contribution des différents organes dans le métabolisme basal de l'organisme, mis en parallèle avec leur importance dans le poids du corps (33)

Nous pouvons estimer la dépense énergétique (en Kcal/jour) du métabolisme de base à l'aide des équations de Black et al (1996) (78) en appliquant la formule suivante:

$$\begin{aligned} \text{MB (hommes)} &= 259,1 \times P^{0,48} \times T^{0,50} \times A^{-0,13} \\ \text{MB (femmes)} &= 230,4 \times P^{0,48} \times T^{0,50} \times A^{-0,13} \end{aligned}$$

Avec P (le poids en kg), T (la taille en m) et A (l'âge en années). Les équations de Black et al ont tendance à sous-estimer le métabolisme de base chez les personnes souffrant d'obésité. La mesure du métabolisme de base par calorimétrie est la méthode de référence. (79)

Le métabolisme de base diminue avec l'âge (2 à 4% par décennie). Il est plus important chez les hommes que chez les femmes. (76) Inversement, le métabolisme de base augmente au cours de la grossesse, afin de permettre le développement de l'embryon puis du fœtus, ainsi que le développement de tissu adipeux permettant le maintien de la grossesse. (80) A partir du quatrième mois de grossesse, le métabolisme de base augmente de 12 à 20%. (77). Les besoins énergétiques d'une femme qui allaite sont également plus importants. (34)

Nous estimons que le métabolisme de base représente 60 à 65 % de la dépense énergétique totale de l'organisme. (42)

Une autre composante des dépenses énergétiques est la thermogénèse postprandiale.

b) Thermogénèse postprandiale

L'organisme consomme de l'énergie pour digérer, absorber les nutriments, transformer et stocker les aliments. La thermogénèse postprandiale, ou thermogénèse alimentaire est la production de chaleur liée à la digestion. L'augmentation de la dépense énergétique est proportionnelle à la quantité d'aliments ingérés, et dépend de la composition du repas. (81), (82)

La thermogénèse postprandiale représente environ 15% de la dépense énergétique totale. Les nutriments nécessitent de l'énergie pour être digérés et stockés : 20 à 30% de l'apport de la ration pour les protéines, 5 à 10 % pour les glucides et 0 à 2 % pour les lipides. (33), (42)

c) Thermorégulation de l'organisme

Afin de maintenir une température corporelle de 37 à 37,5°C, l'organisme consomme de l'énergie. Lorsqu'il est exposé à des températures faibles, il met en place des mécanismes de

thermorégulation, afin de diminuer les pertes de chaleur. (33) Inversement, en cas de température corporelle excessive, l'organisme va mettre en place des mécanismes permettant d'évacuer de la chaleur.

c. 1) Lutte contre le froid

Sous l'influence du système sympathique, il se produit une vasoconstriction cutanée, afin de limiter les échanges de chaleur entre l'organisme et le milieu extérieur. Chez le nourrisson, le tissu adipeux brun participe à la lutte contre le froid. (83)

Chez le sujet actif milieu froid (travail en extérieur), la production de chaleur au cours de l'activité physique suffit le plus souvent à maintenir la température corporelle. Si les mécanismes de thermorégulation sont insuffisants, la température de l'organisme diminue, ce qui provoque des frissons, qui multiplie la production de chaleur métabolique par 5 à 10. (84) Les frissons sont responsables d'une dépense énergétique importante et représentent 8 à 15% des dépenses énergétiques (33), (85).

c. 2) Lutte contre l'excès de chaleur

Grâce à la transpiration, et à une grande surface de peau glabre, l'homme peut évacuer l'excès de chaleur corporelle. L'évaporation de l'eau provoque une diminution de la température corporelle. Il se produit également une vasodilatation cutanée, sous l'influence du système parasympathique. (83) Les échanges de chaleur se font par conduction (par contact direct entre le corps et le milieu extérieur), par convection (par échange d'air au niveau des voies respiratoires et de la peau) et par radiations infrarouges (seulement si le milieu extérieur est plus froid que l'organisme). (86)

Dans nos sociétés industrialisées, la thermorégulation est responsable d'une faible dépense énergétique car nous disposons de logements chauffés et de vêtements adaptés. (33)

Le métabolisme de base, la thermogénèse postprandiale et la thermorégulation de l'organisme constituent des dépenses énergétiques relativement constantes. La pratique d'une activité physique permet d'augmenter les dépenses énergétiques.

2) Dépenses énergétiques liées à l'exercice physique

a) Définitions

La dépense énergétique la plus variable est liée à l'activité physique. (42) Elle représente l'essentiel des dépenses énergétiques autres que le métabolisme de base. Les efforts physiques englobent toutes les activités faisant intervenir les mouvements. (32)

L'activité physique correspond à tous les mouvements produits par les muscles squelettiques. Elle permet d'augmenter les dépenses énergétiques de l'organisme. (87) Inversement l'inactivité physique correspond à une insuffisance d'activité physique modérée ou intense au quotidien. (88) On parle de mode de vie sédentaire si le patient réalise trop peu d'activité physique.

Selon l'OMS, 60 à 85 % de la population mondiale a un mode de vie sédentaire. Ce mode de vie est associé à une augmentation du risque de problèmes de santé : maladies cardiovasculaires (pathologie coronarienne et survenue d'accidents vasculaires), diabète de type 2, obésité. Les risques de cancer (du colon, du sein, et du poumon), d'hypertension artérielle, d'ostéoporose, de troubles lipidiques, de dépression et d'anxiété sont également augmentés. (89)

Le niveau d'activité physique (NAP) correspond au ratio entre les dépenses énergétiques totales et les dépenses énergétiques du métabolisme de base. On parle de sédentarité si le niveau d'activité physique est inférieur à 1,4. Si le NAP est compris entre 1,4 et 1,6 le patient est considéré peu actif. Si le NAP est compris entre 1,6 et 1,9 le patient est considéré comme étant actif. Enfin, si le NAP est supérieur à 1,9 la personne est très active. (34)

Plus les activités physiques d'une personne sont nombreuses et intenses, plus elle aura un niveau d'activité physique élevé.

b) Activité physique et dépense énergétique

Les activités physiques sont classifiées en fonction de leur intensité. On parle de MET (Metabolic Equivalent Task) : 1 MET correspond à la dépense énergétique de repos. Si l'activité est d'intensité modérée, nous pouvons observer une augmentation de la fréquence cardiaque. Sa dépense énergétique est d'un niveau de 3 à 6 MET. Si l'activité est intense, la fréquence cardiaque augmente beaucoup (Tableau 9) et nous pouvons observer un essoufflement. La dépense énergétique est de 6 à 9 MET. (90)

Intensité	Mesures objectives	Mesures subjectives	Exemples
Sédentaire	<ul style="list-style-type: none"> ▪ < 1,6 MET ▪ < 40 % FCmax ▪ < 20 % VO₂max 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pas d'essoufflement ▪ pas de transpiration ▪ pénibilité de l'effort < 2* 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ regarder la télévision ▪ lire, écrire, travail de bureau (position assise)
Faible	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1,6 à 3 METs ▪ 40 à 55 % FCmax ▪ 20 à 40 % VO₂max 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pas d'essoufflement ▪ pas de transpiration ▪ pénibilité : 3 à 4 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ marcher (< 4 km/h)** ▪ promener son chien ▪ conduire (voiture) ▪ s'habiller, manger, déplacer de petits objets ▪ activités manuelles ou lecture (debout)
Modérée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 à 5,9 METs ▪ 55 à 70 % FCmax ▪ 40 à 60 % VO₂max 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ essoufflement modéré ▪ conversation possible ▪ transpiration modérée ▪ pénibilité : 5 à 6 ▪ peut être maintenu 30 à 60 min* 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ marche (4 à 6,5 km/h)***, course à pied (< 8 km/h)***, vélo (15 km/h)** ▪ monter les escaliers (vitesse faible) ▪ nager (loisirs), jouer au tennis
Elevée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 6 à 8,9 METs ▪ 70 à 90 % FCmax ▪ 60 à 85 % VO₂max 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ essoufflement important ▪ conversation difficile ▪ transpiration abondante ▪ pénibilité : 7 à 8 ▪ ne peut être maintenu plus de 30 min** 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ marche (> 6,5 km/h ou en pente)***, course à pied (8 à 9 km/h)***, vélo (20 km/h)** ▪ monter rapidement les escaliers ▪ déplacer des charges lourdes ▪ déplacer de petits objets
Très élevée	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ≥ 9 METs ▪ < 90 % FCmax ▪ < 85 % VO₂max 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ essoufflement très important ▪ conversation impossible ▪ transpiration très abondante ▪ pénibilité > 8 ▪ ne peut être maintenu plus de 10 min** 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ course à pied (9 à 28 km/h)** ▪ cyclisme (> 25 km/h)**

Tableau 9 : Classification des activités physiques en fonction de leurs intensités et de l'évaluation subjective de la pénibilité de l'effort sur une échelle de 0 à 10 (88)

Plus l'activité physique est intense, plus la dépense énergétique qui lui est associée est importante. Quelques exemples d'activités, ainsi que leur niveau d'intensité et leur dépense énergétique sont répertoriés dans le Tableau 10.

Afin de calculer la dépense énergétique de l'activité, nous avons en premier lieu calculé le métabolisme de base en kcal/heure (chez l'homme puis chez la femme) en utilisant l'équation de Black. Puis, nous avons multiplié la valeur ainsi obtenue par le MET relevée dans le compendium d'Ainsworth et al (2000). (91)

activité	MET intensité faible	MET intensité élevée	dépense énergétique pour une heure d'activité pour un homme de 80 kg et 1m80, de 40 ans (en kcal)		dépense énergétique pour une heure d'activité pour une femme de 1m65 et 65 kg de 40 ans (en kcal)	
			pour MET d'intensité faible	pour MET d'intensité élevée	pour MET d'intensité faible	pour MET d'intensité élevée
dormir	0,9	0,9	66	66	51	51
conduire une voiture	1	1	73	73	57	57
être allongé, se détendre	1,2	1,5	88	110	68	85
jardinage	1,5	6	110	441	85	340
marche (selon la vitesse)	2,0	5,0	147	367	113	283
étirements doux	2,5	2,5	184	184	142	142
football	2,5	8,0	184	588	142	453
ménage/nettoyage	2,5	4	184	294	142	226
bowling	3,0	3,0	220	220	170	170
danse	3	5,5	220	404	170	311
soin des enfants	3	3,0	220	220	170	170
aviron (sur machine)	3,5	12,0	257	882	198	679
handball	3,5	8,0	257	588	198	453
montée des escaliers	3,5	9,0	257	661	198	510
gymnastique	4,0	4,0	294	294	226	226
jeux actifs avec les enfants	4	5	294	367	226	283
natation	4,0	10,0	294	735	226	566
vélo	4,0	16,0	294	1176	226	906
golf	4,3	4,5	316	331	243	255
badminton	4,5	7	331	514	255	396
basketball	4,5	8,0	331	588	255	453
course	4,5	18,0	331	1322	255	1019
musclature	5,0	9,0	367	661	283	510
ski	5,0	16,5	367	1212	283	934
boxe	6,0	12,0	441	882	340	679
déplacer des objets lourds/ porter des meubles	7,5	7,5	551	551	425	425
aérobic	8,5	10	624	735	481	566

Tableau 10 : dépense énergétique de quelques activités chez l'homme et la femme d'après le compendium d'Ainsworth et al (2000) (91).

La pratique d'activités physiques d'intensité modérée ou élevée est recommandée par l'ANSES. Le PNNS fournit une fiche conseil concernant l'activité physique (Annexe n°1).

(92)

c) Recommandations

Les recommandations sont établies par l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation de l'Environnement et du travail).

Chez l'adulte, l'ANSES recommande de pratiquer 30 minutes d'activité physique permettant d'améliorer la condition cardio-respiratoire, d'intensité modérée à élevée, au moins 5 fois par semaine. Il est également recommandé d'intégrer des courtes périodes d'activité physique d'intensité élevée. Les activités physiques peuvent être intégrées à la vie quotidienne ou être un temps consacré uniquement à l'activité (comme une session sportive). En complément, l'ANSES recommande la pratique d'activités de renforcement musculaire une à deux fois par semaine et la réalisation d'exercices d'étirement musculaire (après échauffement) deux à trois fois par semaine. (88)

Pour les femmes enceintes, en l'absence de contre-indication médicale, il est recommandé de démarrer ou de continuer une activité physique. Celle-ci doit être d'intensité modérée, d'une durée d'au moins 30 minutes, et au moins 3 fois par semaine. Les activités d'intensité élevée sont à éviter. Après l'accouchement, en l'absence de contre-indication médicale (lésions périnéales), il est recommandé de reprendre une activité physique après accord du médecin. (88)

Pour les enfants âgés de moins de 5 ans, il est recommandé de réaliser 3 heures par jour d'activités physiques. Pour les enfants et adolescents âgés de 6 à 17 ans, il est recommandé de réaliser au moins une heure par jour d'activité physique d'intensité modérée à élevée. D'autre part, il est recommandé de limiter la durée des activités sédentaires. Les activités physiques de "jeu" sont à encourager. (88)

Enfin, pour les personnes âgées (de plus de 65 ans), il est recommandé de réaliser au moins 30 minutes par jour d'activités physiques impliquant la fonction cardio-respiratoire, d'intensité modérée, ou 15 minutes d'activités physiques d'intensité élevée. Il leur est également recommandé de réaliser des activités de renforcement musculaire 2 fois par semaine, ainsi que des exercices impliquant l'équilibre. L'activité physique peut être intégrée à la vie quotidienne. (88)

Les activités physiques sont recommandées en raison de leur impact sur l'organisme.

3) Effets de l'activité physique sur la santé

En plus d'augmenter les dépenses énergétiques de l'organisme, les activités physiques ont de nombreux effets sur l'organisme. Il est cependant difficile au cours des études d'isoler spécifiquement la pratique d'une activité physique. En effet, les personnes qui en pratiquent ont généralement une meilleure hygiène de vie. (31)

a) Effet sur la mortalité

La pratique d'une activité physique (de dépense énergétique d'au moins 1000 kilocalories par semaine) diminuerait la mortalité (nombre de décès rapporté à l'effectif moyen de la population pendant un temps donné, et dans une zone géographique précise (93)) de toutes étiologies confondues, et augmenterait l'espérance de vie (31).

Pour une pratique de 2h30 d'activité physique modérée par semaine, une diminution de la mortalité de 19 % a été observée. L'espérance de vie serait augmentée de 30 mois chez les sujets pratiquant une activité physique d'un équivalent de 41 MET par jour (l'addition de tous les MET de la journée) par rapport à ceux pratiquant une activité physique d'un équivalent de 29 MET par jour. (88)

Nous observons une diminution de la mortalité particulièrement importante pour les maladies cardio-vasculaires et les cancers. (31)

b) Effet sur le diabète, l'obésité et les maladies cardio-vasculaires

Afin de lutter contre l'obésité, il est nécessaire pour le patient de pratiquer des activités physiques. En effet, cela permet d'augmenter les dépenses énergétiques. La pratique d'une activité physique d'intensité modérée provoque l'utilisation des lipides stockés dans les adipocytes pour fournir l'énergie (cf partie 1). De plus, le développement de la masse musculaire prévient la surcharge pondérale, en augmentant le métabolisme de base. Le diabète de type 2 est très souvent associé à de l'obésité.

La pratique d'une activité physique entre dans le traitement du diabète de type 2. En effet, l'exercice physique permet d'augmenter la sensibilité des cellules à l'insuline, et augmente la captation du glucose par les cellules, ainsi que leur consommation de glucose. L'augmentation de la sensibilité des cellules musculaires à l'insuline continue environ 3 heures après la fin de l'exercice physique. Au cours de l'entraînement en endurance, nous pouvons observer une amélioration durable de la sensibilité des cellules à l'insuline. (31)

En parallèle, la pratique régulière d'une activité physique diminue le taux de LDL cholestérol et augmente le taux de HDL cholestérol. (94)

Chez les sujets souffrants de troubles de l'endothélium, la pratique d'une activité physique d'endurance modérée (entraînement) améliorerait la fonction endothéliale (les vaisseaux se dilateraient plus facilement). De plus, l'entraînement est associé avec une augmentation du diamètre vasculaire (notamment des coronaires). (31)

Avec le vieillissement, nous pouvons observer une altération de la fonction endothéliale. Ce phénomène est atténué chez les personnes pratiquant régulièrement une activité physique. (31)

Dans le cadre des régimes amaigrissants, la pratique d'une activité physique augmente légèrement la perte de poids, et aide au maintien du poids après la fin du régime(31). L'activité physique permet le maintien de la masse maigre. (95)

Les sports permettant d'améliorer les fonctions cardiaques sont les activités d'endurance : course à pied, natation, bicyclette, ski de fond à une intensité suffisante (75% des capacités cardiaques maximales). (94)

c) Effet sur le tissu musculaire

La pratique d'une activité physique, au cours d'un entraînement permet le développement ou le maintien du tissu musculaire. Celui-ci peut être optimisé par une activité imposant un niveau de contraintes mécaniques adéquat (l'effort ne doit être ni insuffisant, ni excessif). (31) Les apports protéiques recommandés chez les sportifs sont de 1,2 à 1,5 g/kg/jour pour les sports d'endurance et 1,6 à 2 g/kg/jour pour les sports de force. Ces apports permettent un développement musculaire optimal. (96)

Au cours du vieillissement, pour des raisons hormonales, une perte musculaire est observée. On parle de sarcopénie. Ce phénomène s'accélère à partir de 50 ans. En plus d'augmenter la capacité musculaire initiale, la pratique d'une activité physique permet de ralentir la sarcopénie. En parallèle, la pratique d'activités d'endurance permet de limiter les maladies cardio-vasculaires liées au vieillissement. (31)

d) Effet sur les os et le squelette

En parallèle de l'action des hormones, et de l'apport en calcium, l'activité physique joue un rôle sur le squelette. En effet, à cause des contraintes mécaniques liées à l'exercice, il y a

formation de tissu osseux.

Chez l'enfant et l'adolescent, la pratique d'une activité physique augmente la densité minérale osseuse (quantité de calcium dans un certain volume d'os), à condition d'exercer des contraintes mécaniques sur l'os (par exemple au cours d'un saut, ou pendant une course). Le gain osseux acquis pendant l'enfance persiste à l'âge adulte.

Chez l'adulte, la pratique d'une activité physique permettrait de maintenir ou d'améliorer la densité minérale osseuse. (31)

e) Effet sur le système immunitaire

Au cours de l'exercice physique, des fibres musculaires vont s'abîmer et former des microlésions. Cela va provoquer une réponse inflammatoire qui va entraîner une production de cytokines aux niveaux local et général, ce qui aura un impact sur tout le système immunitaire. (31)

Au cours de l'exercice, le taux de lymphocytes total (B et T) et de cellules NK (Natural Killer) augmente. En période post-exercice, de 1h à 3h30 après l'exercice, les taux de lymphocytes T diminuent et passent en dessous des taux de base. La concentration en lymphocytes B reste inchangée ou augmente légèrement. La fonction des les polynucléaires neutrophiles est améliorée en cas d'exercice d'intensité modérée, et diminuée en cas d'exercice très intense. (31)

La pratique d'une activité physique modérée a peu d'effets sur la concentration en immunoglobulines (IgG et IgA). Cependant un exercice de durée et d'intensité élevées peut provoquer la diminution de la concentration en IgA pendant plusieurs heures. (31)

D'une manière générale, la pratique d'une activité physique modérée améliore le statut immunitaire. De plus, au cours du vieillissement, la pratique d'une activité physique ralentirait le déclin des fonctions immunitaires. (31)

La pratique d'un exercice physique intense entraîne une diminution transitoire du taux d'IgA (immunoglobuline responsable de l'immunité mucoale). Cependant, il n'a pas été observé une augmentation de la fréquence des infections. (31)

f) Effet sur le bien être

La pratique d'une activité physique a également des effets sur le bien-être et la qualité de vie. Le bien-être comporte plusieurs points : une bonne estime de soi et une perception positive de

la vie, une sensation de maîtrise de sa vie et de son environnement, donner un sens à sa vie. Les personnes pratiquant régulièrement une activité physique d'une intensité d'au moins 4 MET sont moins anxieuses, moins sujettes à la dépression, moins sujettes aux névroses que les personnes non sportives. Elles ont également une perception d'elles-mêmes plus positive. L'effet semble particulièrement marqué chez les adolescents ayant à l'origine une faible estime d'eux-mêmes. (31)

4) Risques en cas d'activité physique excessive

Chez les enfants, la pratique d'un entraînement intensif (plus de 20 heures par semaine) pourrait ralentir la croissance et diminuerait la taille atteinte à l'âge adulte. Ce phénomène est particulièrement observé chez les gymnastes de haut niveau. Le risque de fractures de stress est aussi très important en cas d'entraînement intensif, particulièrement en cas de désordres alimentaires. (31)

En cas d'association d'une restriction énergétique sévère avec une activité physique intense, nous pouvons observer des perturbations du fonctionnement de l'axe hypothalamo-hypophysaire, ce qui provoque des troubles du système reproducteur. Ces troubles sont particulièrement marqués pour des sports dont le poids affecte la pratique (danse, gymnastique). Chez les filles, cela se traduit par une ménarche (apparition des premières règles) pouvant être retardée de 2 ans. (31)

Un exercice d'intensité élevée peut provoquer des troubles de l'agrégation plaquettaire, qui est alors facilitée. Cela peut potentialiser l'agrégation des plaquettes à l'endothélium vasculaire, ce qui augmente le risque de thrombose. Cette donnée est à prendre en compte chez les sujets "à risque" (athlètes présentant des troubles cardiaques) qui doivent alors éviter les exercices physiques trop intenses. (31)

Des altérations des fonctions immunitaires (diminution de la prolifération des lymphocytes, diminution du nombre de cellules NK, altération de la fonction des polynucléaires neutrophiles, diminution des taux d'immunoglobulines sérique et mucosale) sont un marqueur du surentraînement. (97)

Cependant, les effets délétères d'un entraînement intensif sont réversibles, lorsque l'entraînement intensif redevient modéré ou cesse. (31)

ENQUETE AUPRES DES PHARMACIENS D'OFFICINE ET MISE EN PLACE D'OUTILS DE CONSEIL A L'OFFICINE SUR NUTRITION ET ACTIVITE PHYSIQUE

1) Contexte de l'enquête : la situation dans le Nord Pas-de-Calais

Le Nord-Pas de Calais est une région qui comptait 4,02 millions d'habitants en 2013. Il s'agit d'un espace très densément peuplé : 324 habitants/km² (moyenne nationale : 130 habitants/km²). La population vit très majoritairement en ville (75% des habitants). (98), (99) Le Nord-Pas de Calais est une région connaissant un fort taux de pauvreté (19,5%), particulièrement dans la population des moins de 30 ans (31% de taux de pauvreté).

Les indicateurs sanitaires sont parmi les plus médiocres de la France. Bien qu'en 2008, la région comptait 579 000 personnes âgées de 65 ans ou plus, l'espérance de vie est plus faible que dans le reste du pays : 74,5 ans chez les hommes (77. 8 ans pour la moyenne nationale) et 82,3 ans chez les femmes (84. 3 ans pour la moyenne nationale). (100)

On observe dans le Nord-Pas de Calais une surmortalité par les maladies cardiovasculaires (supérieure de 40% chez les hommes et 60% chez les femmes par rapport à la moyenne nationale) et les cancers (supérieure de 28% chez les hommes et 13% chez les femmes par rapport à la moyenne nationale). De plus, le taux d'obésité dans la région est de 25,6%, ce qui est très supérieur aux autres régions. (101)

Cela peut être expliqué par une offre de soin plus faible que dans le reste de la France, et par un recours aux soins inadapté ou tardif par la population. (101)

2) Enquête auprès des officines

L'objectif de l'enquête était de déterminer si les pharmaciens d'officine du Nord-Pas de Calais perçoivent leur formation à propos de la nutrition et de l'activité physique comme étant suffisante pour conseiller les patients. Cette enquête a également pour ambition de mettre en place des moyens, (supports de communication) afin d'aider les pharmaciens d'officine dans cette tâche.

a) Méthode

Un questionnaire (Figure n°23) a été envoyé par e-mail aux officines du réseau des pharmaciens d'officine maîtres de stage de la Faculté de pharmacie de Lille. Quarante deux

pharmaciens ont répondu anonymement à l'enquête et ont rempli le questionnaire. Les résultats de l'enquête leur seront donnés à la fin de celle-ci, lorsque les outils d'aide au conseil officinal seront mis en place.

Questions en rapport avec l'officine :

Nombre de pharmacien(e)s diplômés :.....
 Autres personnels (préparateurs, étudiants, stagiaires, vendeurs) :.....
 Un(e) diététicien(e) travaille t'il (elle) à la pharmacie même occasionnellement ? oui non
 Un(des) personnel(s) est(sont)-il(s) formé(s) sur les conseils en nutrition générale (apports énergétiques, macronutriments, micronutriments chez l'adulte et l'enfant en bonne santé) ? oui non
 Un(des) personnel(s) est(sont)-il(s) formé(s) sur les conseils en activité physique en général (déplacements à pied ou à vélo, activité sportive de loisirs, musculation,...) ? oui non

 Vous retrouvez-vous dans des situations où vous êtes amené à apporter un conseil nutritionnel ? oui non
 Vous retrouvez-vous dans des situations où vous êtes amené à apporter un conseil en activité physique ? oui non

Questions concernant la formation dans le domaine de la nutrition et de l'activité physique :

Avez-vous suivi des cours de nutrition durant votre formation ? oui non
 si oui, combien de temps ?
 Considérez-vous être suffisamment formé à ce sujet ? oui non

 Avez-vous suivi des cours concernant l'activité physique durant votre formation ? oui non
 si oui, combien de temps ?
 Considérez-vous être suffisamment formé à ce sujet ? oui non

Questions concernant les besoins de l'officine à propos des ressources nécessaires pour conseiller les patients dans le domaine de la nutrition et de l'activité physique :

Considérez-vous avoir besoin de connaissances, de formation ou autres ressources :
 -concernant la nutrition de manière générale ? oui non
 -concernant la nutrition de manière spécifique ? oui non
 Si oui, préciser le besoin (micronutrition, compléments...)
 Pour quel type de patients (dénutris, femmes enceintes, diabétiques, personnes âgées...) ?

Considérez-vous avoir besoin de connaissances de formation, (ou autres ressources)?
 - concernant l'activité physique de manière générale oui non
 - concernant l'activité physique de manière spécifique oui non
 Si oui, préciser le besoin (dépenses énergétiques de l'activité physique, reprise d'activité après une longue période de sédentarité...).....
 Pour quel type de patients ?

Seriez-vous intéressé par un support à communiquer aux patients (fiche conseil, vidéo, site internet) :
 -à propos des conseils possibles en nutrition de manière générale ? oui non
 -à propos des conseils possibles en nutrition de manière spécifique ? oui non
 Si oui, sous quelle forme de support

Seriez-vous intéressé par un support à communiquer aux patients (fiche conseil, vidéo, site internet) :
 -à propos des conseils possibles concernant l'activité physique de manière générale ? oui non
 -à propos des conseils possibles concernant l'activité physique de manière spécifique ? oui non
 Si oui, sous quelle forme de support

Seriez-vous intéressé(e) pour suivre une formation complémentaire sur la nutrition? oui non
 Seriez-vous intéressé(e) poursuivre une formation complémentaire sur l'activité physique? oui non

Remarques :

Figure n°23 : questionnaire envoyé aux officines

Les questions portaient sur l'officine (taille, présence de personnel compétent dans le domaine de la nutrition et/ou activité physique), sur la formation des pharmaciens en nutrition et à propos de l'activité physique et sur les besoins qu'ils pourraient avoir afin de conseiller au mieux les patients.

L'enquête avait pour but de déterminer les besoins des pharmaciens, afin de déterminer quelles ressources (fiches conseil, formation, autre...) mettre en place afin d'aider au mieux les pharmaciens dans leur conseil officinal à propos de la nutrition et de l'activité physique.

b) Résultats

Les officines comportaient 2,6 pharmaciens en moyenne (médiane à 3) pour un personnel total de 6,8 personnes en moyenne (médiane à 7).

Dans 2,4% des cas, une diététicienne venait régulièrement à l'officine, afin de suivre les patients. Dans 50% des cas, au moins un membre du personnel avait suivi une formation en diététique de quelques heures en moyenne, le plus souvent dans le cadre des études de pharmacie. Ils jugeaient cette formation suffisante dans 10% des cas.

A propos de la formation concernant l'activité physique, seuls 4,8% les pharmaciens ont suivi une formation. Dans 90% des cas, les pharmaciens estiment avoir besoin d'une formation complémentaire dans ce domaine.

Afin de déterminer les besoins les plus urgents des pharmaciens, nous leur avons demandé dans quels sous-domaines, ils ont le plus besoin de ressources, et sous quelle forme. Nous nous sommes également intéressés au public visé par les conseils à l'officine.

Concernant la nutrition, les aspects qui ont été évoqués le plus souvent par les pharmaciens étaient la micronutrition, les compléments alimentaires, la nutrition au cours des pathologies chroniques (diabète, maladies cardio-vasculaires, cancers) et la dénutrition.

Concernant l'activité physique, l'aspect revenant le plus souvent était la dépense énergétique au cours de l'activité physique, la reprise d'activité après une période de sédentarité, et les activités physiques de la femme enceinte.

Les pharmaciens ont plébiscité à 76,2% un support de fiches conseil à distribuer aux patients. Un site internet a également été demandé dans 14,3% des cas. Enfin, 90% des pharmaciens étaient favorables à la mise en place d'une formation complémentaire courte, une AUEC (Attestation Universitaire d'Enseignement Complémentaire) concernant la nutrition et l'activité physique.

Sur le site du PNNS, des fiches conseil à destination des patients sont déjà disponibles à propos de l'activité physique (Annexes n°1 et 2), la consommation d'eau, de produits laitiers, de viande, de fruits et légumes, les féculents, la consommation de sel, et des matières grasses.

Tous ses supports étant déjà disponibles, nous avons choisi de travailler sur un document concernant le syndrome métabolique. En effet, les pharmaciens d'officine ayant répondu au questionnaire ont plébiscité la mise en place d'outils (fiche conseil) sur nutrition et activité physique pour les patients touchés par le syndrome métabolique.

En parallèle, afin de participer à la formation des étudiants en sciences pharmaceutiques, nous avons proposé une nouvelle étude de cas pour l'unité d'enseignement PROFFiteROLE (PRatiques OFFIcinales et jeux de ROLE) concernant un patient ayant développé un syndrome métabolique.

3) Le syndrome métabolique

a) Définition

a. 1) Epidémiologie

Le syndrome métabolique est défini par un ensemble de critères retrouvés chez une même personne. Bien qu'asymptomatique, ce syndrome pose des problèmes de santé publique car il prédispose ses porteurs au diabète de type 2 et aux maladies cardiovasculaires. (102) Le syndrome métabolique touche 20,3% selon les critères de définition du syndrome métabolique de la fédération internationale du diabète des adultes âgés de 18 à 74 ans, en France. (103)

La prévalence du syndrome est plus importante dans les populations défavorisées. Chez les femmes, le niveau d'éducation est inversement corrélé avec le risque de présenter un syndrome métabolique. (103)

a. 2) Troubles observés

Le syndrome métabolique est en premier lieu caractérisé par une résistance à l'insuline (104). Il s'agit d'une impossibilité pour l'insuline d'exercer correctement ses fonctions hypoglycémiantes sur les tissus (notamment le foie, le tissu adipeux et les muscles). Un dysfonctionnement du métabolisme des acides gras peut entraîner de l'insulinorésistance. (105)

En deuxième lieu, les patients touchés par le syndrome métabolique présentent des anomalies de la biochimie des lipides. Les valeurs de concentrations normales des différents lipides sont

indiquées dans le Tableau 11. En parallèle de son effet sur le métabolisme des glucides, l'insuline a également un effet sur le métabolisme des lipides. L'insulinorésistance a donc un impact sur le métabolisme des lipides et sur les concentrations et la composition des VLDL, LDL et HDL. (106)

Au cours du syndrome métabolique, le taux de VLDL (very low density protein) augmente, et nous observons une augmentation de la taille de ces lipoprotéines. Le taux de LDL (low density protein) est généralement normal ou légèrement augmenté, mais les LDL sont oxydées, plus petites et plus denses, et la lipoprotéine est glyquée. Enfin, le taux de HDL (high density protein) diminue, et nous observons une glycation de l'apolipoprotéine. Les LDL et HDL sont également riches en triglycérides. (106)

lipide sérique	valeurs g/L (mmol/L)	niveau de risque
cholestérol total	<2 (<5,2)	Normal
	2 à 2,39 (5,2 à 6,1)	limite max
	>2,4 (>6,2)	Elevé
triglycérides	<1,5 (1,7)	Normal
	1,55 à 1,99 (1,7 à 2,2)	limite max
	2,4 à 4,99 (2,3 à 5,6)	Elevé
	>5 (5,7)	très élevé
HDL cholestérol	<0,4 (1,0)	Elevé
	> 0,6 (1,5)	Bas
LDL cholestérol	<1 (<2,6)	Normal
	1 à 1,29 (2,6 à 3,3)	légèrement augmenté
	1,6 à 1,89 (4,1 à 4,8)	Elevé
	>1,9 (>4,9)	très élevé

Tableau 11 : valeurs normales de la concentration des différents lipides (107)

En troisième lieu, au cours du syndrome métabolique, les adipocytes sécrètent du TNF- α (tumor necrosis factor), ce qui crée localement un état inflammatoire et entretient l'insulinorésistance. Le taux de CRP (C-reactive protein) est également augmenté. (102)

Les personnes touchées par un syndrome métabolique présentent également d'autres nombreux troubles, par exemple de la coagulation (par exemple une augmentation de la concentration du fibrinogène) ou des troubles vasculaires (microalbuminurie), ou de l'hypertension artérielle (qui est également un facteur d'inclusion du syndrome métabolique). Ils sont également fréquemment touchés par de l'obésité abdominale. (108)

L'obésité abdominale prédispose à l'apparition du syndrome métabolique et entre dans les critères de diagnostic. (109) L'excès de poids n'est cependant pas un facteur indispensable au développement d'un syndrome métabolique. (110)

a. 3) Diagnostic du syndrome métabolique

Il existe plusieurs critères de diagnostic du syndrome métabolique. D'après le NCEP ATP III (National Cholesterol Education Program, Adult Treatment Panel III), nous pouvons diagnostiquer un syndrome métabolique lorsque nous retrouvons 3 critères parmi les critères indiqués dans le Tableau 12.

	Homme	Femme
Tour de taille	> 102 cm	> 88 cm
Triglycérides	> 1,50 g/L	
HDL	< 0,40 g/L	< 0,50 g/L
Glycémie	> 1,10 g/L	
TA	> 130/85 mmHg	

Tableau 12 : critères diagnostiques du syndrome métabolique selon le NCEP ATP III(109)

Il est fortement recommandé de réaliser un test de tolérance au glucose, mais ce n'est pas obligatoire pour poser le diagnostic. (111)

b) Facteurs de risque du syndrome métabolique

Tout d'abord, l'âge est un facteur de risque de syndrome métabolique. La fréquence de ce trouble augmente après 50 ans. Les antécédents de diabète gestationnel et antécédents familiaux de diabète sont également des facteurs de risque du syndrome métabolique. Nous ne pouvons pas agir contre ces facteurs de risque. (112)

Les habitudes de vie ont un impact majeur sur la survenue du syndrome métabolique. La consommation d'alcool constitue un facteur de risque car elle apporte des calories "inutiles" (7kcal/g d'éthanol) et le métabolisme de l'alcool interfère avec celui des lipides et des glucides. En effet, la transformation de l'éthanol en acétaldéhyde provoque la formation de NADH. De plus, le produit final de la métabolisation de l'éthanol est l'acétate, qui pourra être intégré au cycle de Krebs. (113)

La consommation de tabac constitue également un facteur de risque de survenue du syndrome métabolique. En effet, cette consommation provoque un effet sympathomimétique, avec une augmentation de la concentration en catécholamines circulantes. Ces molécules ont une action antagoniste à celle de l'insuline. Le fait de fumer augmente la pression artérielle et diminue l'effet de l'insuline sur le métabolisme du glucose. (114)

La sédentarité et l'obésité sont également des facteurs de risque très importants du syndrome métabolique. (112)

c) Prise en charge du syndrome métabolique

Pour améliorer les constantes sanguines et l'évolution du syndrome métabolique, il faut supprimer les facteurs de risque et améliorer les habitudes de vie du patient.

Tout d'abord, il faut inciter le patient à limiter sa consommation d'alcool et à se sevrer du tabac. En plus de limiter la survenue du syndrome métabolique, l'arrêt du tabac aura des effets bénéfiques sur l'ensemble de l'organisme du patient (diminution du risque de cancers et de maladies cardio-vasculaires). (114)

D'autre part, le dialogue avec le patient concernant son mode de vie est primordial. En effet, la lutte contre l'obésité constitue une des mesures de prévention du syndrome métabolique. Pour cela, le patient doit avoir des apports énergétiques adaptés à ses besoins (cf chapitre nutrition). D'autre part, la lutte contre la sédentarité a un impact majeur sur la prévention du syndrome métabolique. En effet, l'activité physique diminue l'insulinorésistance (cf chapitre métabolisme et physiologie musculaires). Elle permet également d'améliorer la composition corporelle et de renforcer la perte de poids. (110)

Pour diminuer l'insulinorésistance, les patients peuvent également consommer davantage d'antioxydants car il y a un lien entre le stress oxydatif et l'insulinorésistance. (115) Les fruits et les légumes (de toutes sortes) sont des sources d'antioxydants. Il leur est également possible de limiter la consommation d'aliments pro-oxydants (viandes et poissons grillés, rôtis ou frits, huiles rancies...). (116)

4) Mise en place d'outils pour les étudiants en sciences pharmaceutiques et pour les pharmaciens d'officine

a) Scénario pour PROFFItEROLE

Dans le cadre de leurs études à la Faculté de pharmacie de Lille, les étudiants sont amenés à jouer à un jeu sérieux : e-caducée. Il s'agit d'un jeu de simulation officinale où l'étudiant incarne un pharmacien et doit répondre aux questions d'un patient dans le cadre d'un cas de comptoir.

Le jeu se situe dans la ville de Berdeghem. Nous y trouvons l'estaminet, qui est une zone de détente, où l'étudiant peut jouer à un jeu vidéo. Il se trouve également une salle des trophées, où l'étudiant peut consulter ses résultats globaux et par domaine.

La Faculté de pharmacie du jeu permet de s'entraîner aux cas de comptoir, sans impact sur les résultats de l'étudiant. Celui-ci peut également accéder à un espace de cours, où il peut réviser avant de travailler sur des cas de comptoir. L'entraînement peut être réalisé sur toutes les thématiques de l'officine (ophtalmologie, cardiologie, infectiologie, endocrinologie et nutrition etc.).

A Berdeghem, nous trouvons la pharmacie d'officine, où l'étudiant résout des cas de comptoir. Dans le cadre du jeu, l'étudiant résout des exercices de plus en plus difficiles. Il commence au rang de stagiaire, puis au fur et à mesure de sa progression, il devient adjoint, puis est associé. Le jeu fait des retours réguliers à l'étudiant. Le pharmacien titulaire de l'officine virtuelle encourage l'étudiant à se former à la Faculté si ses résultats sont insuffisants. Inversement, si les résultats sont bons, le pharmacien titulaire encourage l'étudiant à continuer sur cette voie.

Dans le cadre de cette thèse, nous allons proposer un nouveau cas de comptoir à intégrer au jeu sérieux. Ce cas sera sur le syndrome métabolique, dans le domaine de l'endocrinologie et de la nutrition (Annexe n°3).

b) Fiche conseil aux patients

Les informations obtenues grâce au travail de bibliographie nous ont permis la réalisation d'une fiche conseil à donner aux patients (Annexe n°4).

Nous pouvons également fournir aux patients les fiches conseil du PNNS concernant l'activité physique et la consommation de fruits et légumes (Annexes n°1 et 2).

Annexe 1 : fiche conseil du PNNS sur l'activité physique

Au moins l'équivalent de 30 minutes de marche rapide par jour, 1 heure pour les enfants

Et il ne s'agit pas de devenir un athlète !

- Plus que l'intensité de l'effort, c'est surtout sa régularité qui compte ! Faire du sport une fois dans la semaine, c'est bien, mais réaliser au moins 30 minutes d'activité physique tous les jours, 1 heure pour les enfants, c'est essentiel !
- Et vous n'êtes pas obligé de bouger 30 minutes d'affilée ! On peut faire de l'activité physique en une fois 30 minutes, mais aussi en 2 fois 15 minutes ou 3 fois 10 minutes. Il est toutefois recommandé de procéder par périodes d'au moins 10 minutes d'affilée.

Le plus important pour y arriver ? Essayez de vous y mettre à votre rythme, de vous fixer des objectifs réalistes et en faire un peu plus tous les jours pour arriver aux 30 minutes minimum.

Vous n'avez pas le temps de marcher ? Il existe d'autres activités équivalentes...

Intensité	Activités	Temps minimum recommandé par jour
Faible (marche lente)	laver la vaisselle, repasser, dépoussiérer, jouer à la pétanque...	45 minutes
Modérée (marche rapide)	laver les vitres ou la voiture, passer l'aspirateur, jardiner, danser, faire du vélo, nager...	30 minutes
Élevée (marche sportive)	bécher, courir, faire du VTT, nager, jouer au basket, au football, au tennis, pratiquer un sport de combat...	20 minutes



Bien manger, bouger plus, on fait comment ?

Il existe 9 repères de consommation pour vous aider au quotidien :

- Au moins 5 fruits et légumes par jour
- De la viande, du poisson ou des œufs, 1 à 2 fois par jour
- Des féculents à chaque repas (selon l'appétit)
- 3 produits laitiers par jour (voire 4 pour les enfants, les adolescents et les plus de 55 ans)
- De l'eau à volonté
- Limiter sa consommation de sucre
- Limiter sa consommation de matières grasses
- Limiter sa consommation de sel

Au moins l'équivalent de 30 minutes de marche rapide par jour (1 heure pour les enfants)

Et pour chaque repère, il existe une fiche sensible à télécharger pour vous aider dans votre quotidien. Retrouvez les autres fiches et tous les conseils pratiques sur www.mangerbouger.fr





BOUGER CHAQUE JOUR, C'EST BON POUR LA SANTÉ




Bouger plus chaque jour, c'est possible... et cela peut très vite devenir un plaisir !








Pourquoi bouger plus tous les jours ?

La pratique d'une activité physique quotidienne procure de nombreux bienfaits :

- **pour la santé** : elle diminue les risques de développement de nombreuses maladies (maladies cardiovasculaires, diabète, certains cancers, ostéoporose...),
- **pour la condition physique** : elle augmente la force et le tonus, facilite la souplesse, l'équilibre et la coordination. Elle améliore l'endurance et les fonctions cardiaques et respiratoires. Elle aide également à rester plus autonome avec l'âge.
- **pour le bien-être** : l'activité physique permet d'améliorer la qualité du sommeil et la résistance à la fatigue, elle diminue l'anxiété et aide à se relaxer et à être plus déstressé.



Bouger au quotidien

Journees chargées, besoin de la voiture, vie de bureau... Intégrer au moins 30 minutes d'activité physique chaque jour n'est pas toujours simple.

- Il existe beaucoup de petits réflexes à adopter pour y arriver sans trop se compliquer la vie :
- Allez à votre travail ou à vos cours à pied ou en vélo, si vous le pouvez.
 - Descendez du bus ou du métro un arrêt ou une station avant votre destination.
 - Utilisez ascenseurs et escalators : montez et descendez les escaliers !
 - Gardez votre véhicule à distance de l'endroit où vous devez vous rendre, pour marcher un peu.
 - Faites vos petites courses (pain, journal) à pied !

Bouger plus, c'est possible !

Astuces pour ne pas se lasser

- **Fixez-vous des objectifs réalistes** : commencez par 5 à 10 minutes par jour, puis augmentez doucement la durée, pour atteindre progressivement au moins 30 minutes voire plus... C'est essentiel pour persévérer.
- **Apprenez à varier les activités** pour éviter la monotonie : de la marche pour les jours de la semaine, du foot, de la natation ou du vélo le samedi, du bricolage le dimanche...
- **Faites-vous plaisir** ! Vous êtes du genre « jardin » ? Bêchez, plantez, récoltez, tondez. Prêté du style « rythme » ? Dansez sur des airs de rock ou de disco, faites des claquettes, tenez-vous « douceur » ? Le yoga ou l'aquagym sont pour vous.

Astuces pour y arriver plus facilement

- **Vous êtes débordé ?** Escaliers plutôt que l'ascenseur, petites courses proches de chez vous... La moindre occasion est bonne pour bouger quand on n'a pas le temps.
- **Vous ne savez pas quoi faire ?** Essayez plusieurs types d'activités physiques avant de choisir celle qui vous plaît le plus et qui s'intègre au mieux dans votre quotidien. Renseignez-vous auprès de votre maître pour découvrir les activités près de chez vous.
- **Vous n'êtes pas motivé ?** Demandez à l'un de vos collègues de travail, à votre meilleur(e) ami(e) ou à un parent de pratiquer une activité régulièrement avec vous.



Ces conseils ne sont pas valables pour les enfants de moins de 3 ans, ils ne sont pas forcément adaptés si vous souffrez de certaines pathologies. Demandez conseil à votre médecin.

Pas facile de motiver mes enfants

- **Donnez-leur le bon exemple** ! Accompagnez-les et allez les chercher à l'école à pied ou à vélo.
 - **Organisez le week-end** des sorties en famille : marcher dans les bois, aller à la piscine, faire du vélo...
 - **Si vous le pouvez, encouragez-les à faire du sport en club**, ils se feront de nouveaux amis et ils progresseront plus facilement sous les conseils de l'éducateur sportif.
 - **Incluez-les à jouer et à se dépenser simplement**, en jouant au chat, à la marelle ou à la corde à sauter en plein air.
 - **Encouragez-les à laisser tomber** leur console de jeux ou leur clavier d'ordinateur et à étendre plus souvent la télévision.
- Il faut savoir que plus on commence tôt une activité physique, plus on garde cette habitude plus tard...



À retenir

- C'est la régularité de l'activité physique qui compte, pas seulement son intensité.
- Saisissez toutes les occasions du quotidien pour bouger : défilamment, activités ménagères, petites courses, jardinage, jeux avec les enfants, promenade avec le chien...
- Commencez progressivement, bougez en vous faisant plaisir et variez les activités... autout de recettes pour en faire une habitude sans se lasser.
- Bouger à plusieurs peut être plus motivant. Si votre entourage ne partage pas vos envies, renseignez-vous auprès de votre maître sur les différentes activités proposées près de chez vous.

Annexe 2 : Fiche conseil du PNNS sur la consommation de fruits et légumes

on peut tous y arriver !

Au moins 5 fruits et légumes par jour, ça signifie au moins 5 "portions" en tout de fruits et/ou de légumes.

Et une "portion", c'est quoi ?
C'est l'équivalent de 80 à 100 grammes, soit, pour avoir une idée simple, la taille d'un poing ou deux cuillères à soupe pleines. C'est par exemple :

- 1 petite pomme
- 2 abricots
- une tranche de melon
- une coupelle de salade de fruits
- 1 part de compote (sans sucre)
- 1 banane
- 5-6 fraises
- 1 orange (éventuellement pressée)
- 1 tomate
- 5-6 tomates cerises
- 1 part de salade
- 2 cuillères à soupe pleines d'épinards
- 1 grosse carotte
- 1 pleine poignée de haricots verts...



Bien manger, bouger plus, on fait comment ?

Il existe 9 repères de consommation pour vous aider au quotidien :

Au moins 5 fruits et légumes par jour

- De la viande, du poisson ou des œufs, 1 à 2 fois par jour
- Des féculents à chaque repas (sauf à l'appel)
- 3 produits laitiers par jour (yaourt, fromage, lait) pour les adolescents et les plus de 55 ans)
- De l'eau à volonté
- Limiter sa consommation de sucre
- Limiter sa consommation de matières grasses
- Limiter sa consommation de sel
- Au moins l'équivalent de 30 minutes de marche rapide par jour (1 heure pour les enfants)

Et pour chaque repère, il existe une fiche semblable à celle-ci pour vous aider dans votre quotidien. Retrouvez les autres fiches et tous les conseils pratiques sur www.mangerbouger.fr



AU MOINS 5 FRUITS ET LÉGUMES PAR JOUR SANS EFFORT

Les fruits et légumes, c'est bon pour la santé, et moins compliqué à consommer au quotidien qu'on ne le croit...



Pourquoi faut-il manger des fruits et légumes?



Où ils soient frais, surgelés ou en conserve, ils nous apportent divers éléments en quantité importante pour protéger notre santé et rester en forme, tout en se faisant plaisir !

- **Des fibres**, qui participent au bon fonctionnement intestinal.
- **De l'eau**, qui contribue à notre hydratation en plus de celle que nous buvons !
- De plus, sa présence dans les fruits et légumes en fait des aliments peu caloriques.
- **Des éléments nutritifs** (vitamines, minéraux, antioxydants, sucre...), indispensables au fonctionnement de notre corps.



Les fruits et légumes sont l'un des principaux éléments d'une alimentation favorable à la santé. Grâce à tous ces apports, ils jouent un rôle protecteur vis-à-vis de nombreuses maladies, comme les cancers, le diabète et les maladies cardiovasculaires. Et du fait de leur faible teneur en calories, ils permettent également d'éviter la prise de poids.

Le saviez-vous ?

Seulement 20% des enfants consomment 5 fruits et légumes par jour. Profitez de tous nos conseils pour en faire manger plus aux enfants.

Source : INRAE/ENNS



Comment en manger plus chaque jour ?



5 ? Je n'y arriverai jamais ...

Un des avantages des fruits et des légumes, c'est qu'ils peuvent être consommés crus, cuits ou préparés. Il existe mille manières de les intégrer à votre quotidien !

Quelques exemples ?

Les crudités (raisins, carottes râpées, salade de concombre...) que vous mangez en entrée, les compotes sans sucre et les fruits pressés, ça compte !

Vous déjeunez "sur le pouce" ? Choisissez une salade ou un sandwich à base de crudités. Et en dessert, préférez les fruits.

Ajoutez un fruit à votre petit-déjeuner : pressé ou coupe en morceaux dans des céréales ou du yaourt + un fruit au goûter (pomme, banane, clémentine...).

Ça en fait déjà 2 de plus dans la journée !



Ajoutez aussi souvent que possible des champignons, des tomates fraîches ou pelées en conserve, des poivrons ou des oignons à vos plats de pâtes, de riz, ou sur vos pizzas.

Bon à savoir !

Un verre de jus de fruits mélangés ne compte pas comme plusieurs portions, mais comme une seule. Et c'est pareil pour la soupe.

Un yaourt aux fruits ne compte pas comme une portion de fruits ! Il y a souvent peu de fruits et beaucoup de sucre.

Ces conseils doivent être adaptés si vous souffrez de certaines pathologies. Demandez conseil à votre médecin.

Je les trouve plus fades et je ne sais pas les cuisiner ...

Compotes, tartes, salades de fruits, potes au miel : vous pouvez, en quelques minutes de préparation, faire d'un simple fruit un super dessert !

Pensez à choisir les fruits les plus mûrs, qui ont plus de goût. Avec les légumes, c'est possible aussi : lavez-les et coupez-les en morceaux. Certains n'ont même pas besoin d'être épluchés. Pour la cuisson, vous avez le choix : à la poêle avec un peu d'huile ou de margarine ; à la vapeur ; à l'eau avec un peu de sel ; au micro-ondes ...

Avec quelques épices ou herbes aromatiques, de l'ail, de l'oignon, un peu d'échalote, un soupçon

de sauce de soja ou de crème fraîche, le plus nature des légumes devient un accompagnement délicieux. Il existe, au rayon surgelés, des mélanges de légumes déjà cuisinés : il suffit de les jeter dans une poêle chaude, et c'est prêt !

✨ ✨ ✨
Pour la santé, les fruits et légumes en conserves ou surgelés sont aussi bons que les produits frais !

Je n'ai pas le temps de faire la cuisine !

Des crudités préparées en 5 minutes ?

Coupez trois tomates, ajoutez un filet d'huile d'olive, du poivre et du basilic : votre salade de tomates est prête !

Coupez un concombre en rondelles, ajoutez de la crème liquide et de la ciboulette : voilà une délicieuse entrée !

Épluchez et râpez deux carottes dans une cuillère d'huile de colza. Lavez quelques radis et proposez-les en entrée avec du beurre frais.

Les soupes fraîches, en brique, ou surgelées, ça compte aussi !

Les enfants n'aiment pas ça

Souvent les tout-petits mangent de tout, puisqu'on commence par leur donner des fruits et des légumes. Voilà une habitude à poursuivre ...

Quand ils grandissent, ils deviennent attirés par ce qui est gras et sucré ... Le goût des fruits et légumes est plus subtil. Prenez le temps de leur faire apprécier et n'hésitez pas à leur proposer plusieurs fois le même légume ...

Vous n'aimez pas trop les légumes ou vous avez du mal à en faire manger aux enfants ?

Mélangez-les à des féculents ou cuisinez-les en tartes ou gratins.

Pour un enfant, une carotte crue n'a rien à voir avec une carotte cuite ou en purée ... Vous pouvez présenter un même légume sous différentes formes.

Faire un seul menu pour toute la famille est un bon moyen pour que tout le monde mange des fruits et des légumes.

c'est trop cher !

Misez sur les fruits et légumes de saison, moins chers et plus savoureux.

Allez au marché un peu avant l'heure de fermeture : les commerçants brident souvent leur marchandise.



Les fruits et légumes en conserve ou surgelés sont souvent moins chers ... Et ils ont aussi d'excellentes qualités nutritionnelles.

Annexe 3 : Scénario pour PROFFiteROLE : quelques exemples de questions

Exercice d'auto-évaluation

Bonjour

Classer les différents aliments selon leur index glycémique :

raisin | céréales du petit déjeuner (type riz soufflé sucré ou pétales de céréales au chocolat) | sucre de table | banane mûre | fromage | jus d'orange | lentilles | champignons | tomate | pain blanc | semoule | pommes de terre frites

IG faible (inférieur à 40)

IG Intermédiaire (compris entre 40 et 70)

IG élevé (supérieur à 70)

3/7

Énoncé
Classer les différents aliments selon leur index glycémique :

Résultat

Mauvaise réponse

Correction

Votre réponse

IG faible (inférieur à 40)

IG Intermédiaire (compris entre 40 et 70)

IG élevé (supérieur à 70)

Solution

IG faible (inférieur à 40)

IG Intermédiaire (compris entre 40 et 70)

IG élevé (supérieur à 70)

champignons | fromage | lentilles | tomate
 semoule | raisin | jus d'orange | banane mûre
 pain blanc | pommes de terre frites | sucre de table
 céréales du petit déjeuner (type riz soufflé sucré ou pétales de céréales au chocolat)

Explications

Au cours du syndrome métabolique, il convient de contrôler sa consommation de glucides. Il est important de limiter la consommation d'aliments dont l'index glycémique est trop élevé. De préférence, il faut consommer ces aliments au cours des repas.

Parmi ces propositions, lesquelles sont vraies ?

- Un gramme de glucides, de lipides ou de protéines apporte 4 kcal.
- Les vitamines liposolubles sont les vitamines A, D, E et K.
- La consommation de fer doit être plus importante chez l'homme que chez la femme.
- Les aliments industriels sont mauvais pour la santé en raison de leur faible densité en micronutriments
- On ne trouve le calcium que dans les produits laitiers
- La vitamine B12 est présente uniquement dans les produits animaux.
- Si le patient a une balance énergétique positive, il perd du poids.

**Énoncé**

Parmi ces propositions, lesquelles sont vraies ?

**Résultat**

Voire réponse est incorrecte.

**Correction**

Voire choix	Choix attendu	Réponse
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un gramme de glucides, de lipides ou de protéines apporte 4 kcal.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Un gramme de lipides apporte 9 kilocalories.
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Les vitamines liposolubles sont les vitamines A, D, E et K.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Il faut donc les apporter au cours d'un repas qui comporte des lipides pour qu'elles soient absorbées).
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	La consommation de fer doit être plus importante chez l'homme que chez la femme.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C'est l'inverse. En raison de leurs pertes menstruelles, les femmes ont des besoins en fer plus importants.
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Les aliments industriels sont mauvais pour la santé en raison de leur faible densité en micronutriments.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ils contiennent souvent peu de vitamines et minéraux (sauf s'ils sont enrichis).
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	On ne trouve le calcium que dans les produits laitiers.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	On le trouve également dans les légumes verts et certains agrumes.
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	La vitamine B12 est présente uniquement dans les produits animaux.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Les végétariens consommant peu d'œufs et de produits laitiers et les végétaliens doivent prendre des compléments alimentaires.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Si le patient a une balance énergétique positive, il perd du poids.
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	C'est l'inverse.

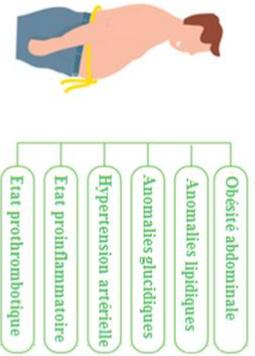
Annexe 4 : Fiche conseil sur le syndrome métabolique

Recto :

Le syndrome métabolique

Définition :

Le syndrome métabolique est caractérisé par une résistance à l'insuline. Cela signifie que le corps ne réagit pas suffisamment à l'insuline.



Anomalies rencontrées au cours du syndrome métabolique

On dit que quelqu'un a un syndrome métabolique s'il présente au moins 3 critères parmi les suivants :

	Homme	Femme
Tour de taille	> 102 cm	> 88 cm
Triglycérides	> 1,5 g/L	> 1,5 g/L
HDL (bon cholestérol)	< 0,4 g/L	< 0,5 g/L
Glycémie	> 1,1 g/L	> 1,1 g/L
Tension artérielle	> 130/85 mmHG	> 130/85 mmHG

Critères de diagnostic selon le NCEP ATP III, 2001

Ne présenter plus que 2 de ces critères retire le diagnostic de syndrome métabolique.

Quelques conseils à propos de l'alimentation

Pour manger plus de fruits et légumes :

- Afin de suivre les recommandations du PNNS, en plus des légumes consommés au cours des repas, vous pouvez manger des fruits 2 à 3 fois par jour, en entrée et en dessert, ou comme en-cas.
- Si vous manquez de temps, vous pouvez utiliser des légumes surgelés ou en conserve : ils sont de même qualité nutritionnelle que les légumes frais.
- Les fruits et légumes du marché sont souvent disponibles à bas prix, surtout en fin de marché.
- Si vous prenez vos repas à l'extérieur, vous pouvez commander un repas complet contenant des féculents, des légumes et une source de protéines, terminer le repas par un fruit. Le repas doit être le plus équilibré possible, afin d'éviter les fringales et le grignotage de l'après-midi.



Concernant les glucides :



- Evitez les céréales très sucrées du petit déjeuner, les barres de céréales sucrées, autrement, intégrez les à un repas, en dessert par exemple.
- Evitez les sodas et l'alcool : ils apportent des calories et du sucre sans apporter de vitamines et minéraux. L'eau est la seule boisson indispensable à la vie.
- Il faut privilégier les aliments complets (riz, pâtes, pain) et cuisés lentement.

Concernant les lipides (le gras) et le cholestérol :

- Bien que riches en calories, les lipides sont indispensables pour apporter certaines vitamines : il faut donc en intégrer à l'alimentation en privilégiant les huiles riches en oméga 3 (colza, noix) et les poissons gras (anchois, maquereau, sardine).
- Les aliments très gras (beurre, chocolat ...) sont à limiter. Il faut également éviter de faire les aliments, mais plutôt les cuire à la vapeur.
- Evitez les viandes grasses, la charcuterie, les abats et le jaune d'œuf riches en cholestérol.

Concernant les protéines :

- Si votre budget est limité, vous pouvez consommer des légumineuses (lentilles, pois, haricots blancs et rouges...), beaucoup moins chers que la viande et sans cholestérol.
- Certaines viandes (poulet) et certains poissons (sardine, maquereau) sont moins chers que les autres et tout aussi goûteux.

Quelques conseils sur l'activité physique

Il est recommandé chez l'adulte de pratiquer 30 minutes d'activité physique d'intensité modérée à élevée, au moins 5 fois par semaine. Ces activités peuvent entrer dans le cadre des déplacements, ou être une activité sportive.

Le MET est le reflet de l'intensité d'une activité physique. Idéalement, il faudrait réaliser au moins 30 minutes d'une activité dont l'intensité est de 3 à 6 MET (en vert dans le tableau). Les activités dont le MET est supérieur à 6 (en bleu dans le tableau) sont d'intensité élevée. Avec accord du médecin, leur pratique est possible.

activité	MET	
	Intensité faible : vitesse réduite ou avec peu de charge (port d'objets légers)	Intensité élevée : vitesse plus importante ou avec une charge plus importante (port d'objets lourds)
dormir, être allongé, conduire une voiture	0,9	1,5
jardinage	1,5	6
marche	2,0	5
ménage/nettoyage	2,5	4
danse	3	5,5
soin des enfants, jeux actifs avec les enfants	3	5,0
monter des escaliers	3,5	9,0
natation	4,0	10,0
vélo	4,0	16,0
course	4,5	18,0
musculation	5,0	9,0

Les 30 minutes d'activité physique journalières peuvent être réalisées en plusieurs fois (deux fois 15 minutes, ou trois fois 10 minutes).

Le niveau d'activité total est défini comme l'ensemble des activités physiques que vous réalisez à la maison, dans le cadre de votre travail, de vos déplacements, ou au cours de vos loisirs. Afin d'augmenter votre niveau d'activité physique total, vous pouvez notamment utiliser les astuces suivantes :

- Prendre les escaliers au lieu de prendre l'ascenseur.
- Se garer un peu plus loin de son lieu de travail, ou descendre un arrêt de bus avant l'arrêt habituel, et terminer le trajet à pied.
- Si vous avez des animaux, les promener un peu plus loin ou plus souvent.
- Faire des promenades à vélo ou à pied. Entre amis, c'est encore mieux !
- S'il fait chaud, aller à la piscine et nager quelques longueurs.

Si vous souhaitez pratiquer un sport, choisissez une activité qui vous plaît.



Pour en savoir plus

Il existe des guides du PNNS (Programme National Nutrition Santé) à propos de la nutrition : "la santé vient en mangeant", et de l'activité physique : "la santé vient en bougeant"

Liens :

- <http://impes.santepubliquefrance.fr/CFESBases/catalogue/pdf/581.pdf>
<http://impes.santepubliquefrance.fr/CFESBases/catalogue/pdf/715.pdf>
<http://www.mangerbouger.fr/Bouger-Plus/Vos-outils/Test-de-niveau-d-activite-physique>



Bibliographie

- Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET Intensities. *Med Sci Sports Exerc*. sept 2000;32(Supplement):S498-516
<https://www.ergotron.com/portals/0/literature/compendium-of-physical-activities.pdf>
 Bonnet F, Laville M. Le syndrome métabolique : définition, épidémiologie, complications 2005
http://www.spectrablogie.fr/wp-content/uploads/2012/05/SB145_27-29.pdf

Verso :

BIBLIOGRAPHIE

2. who_constitution_fr.pdf [Internet]. [cité 15 févr 2018]. Disponible sur: http://www.who.int/governance/eb/who_constitution_fr.pdf
3. INPES - ISS: Qu'est-ce qui détermine notre état de santé ? [Internet]. [cité 15 févr 2018]. Disponible sur: <http://inpes.santepubliquefrance.fr/10000/themes/ISS/determinants-sante.asp>
4. Khaw K-T, Wareham N, Bingham S, Welch A, Luben R, Day N. Combined impact of health behaviours and mortality in men and women: the EPIC-Norfolk prospective population study. *PLoS Med.* 8 janv 2008;5(1):e12.
5. PNNS | Manger Bouger [Internet]. [cité 15 févr 2018]. Disponible sur: <http://www.mangerbouger.fr/PNNS/>
6. Roberts A. *Le Grand guide visuel du corps humain.*
7. Kenney WL, Wilmore JH, Costill DL. *Physiologie du sport et de l'exercice.* 6e éd.
8. Rizwan Q. *Myonuclear organization and regulation of muscle contraction in single muscle fibres.* 2012.
9. Huxley HE. The mechanism of muscular contraction. *Science* 164:1356-1366, 1969. *Clin Orthop.* oct 2002;(403 Suppl):S6-17.
10. Poirier. *La contractilité cellulaire. Histologie moléculaire.* Masson. Paris; 1997.
11. structuresarcomerevandewalle05.pdf [Internet]. [cité 9 nov 2017]. Disponible sur: <http://www.chups.jussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/capadumedsport/structuresarcomerevandewalle05/structuresarcomerevandewalle05.pdf>
12. Agarkova I, Schoenauer R, Ehler E, Carlsson L, Carlsson E, Thornell L-E, et al. The molecular composition of the sarcomeric M-band correlates with muscle fiber type. *Eur J Cell Biol.* juill 2004;83(5):193-204.
13. Poortmans J, Boisseau N. *Biochimie des activités physiques et sportives.* 2017.
15. Barclay CJ. Energy demand and supply in human skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil.* 12 mars 2017;
16. rebioch.pdf [Internet]. [cité 14 déc 2017]. Disponible sur: <http://www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/REbioch/rebioch.pdf>
17. Thibault C, Gimenez-Roqueplo A-P. Mutations de gènes impliqués dans le métabolisme énergétique et cancer. *Oncologie.* 1 sept 2013;15(9):441-7.
18. Yadav NN, Xu J, Bar-Shir A, Qin Q, Chan KWY, Grgac K, et al. Natural D-glucose as a biodegradable MRI relaxation agent. *Magn Reson Med.* sept 2014;72(3):823-8.
19. KAZMIERCZAK E. *L'amincissement au naturel : phytothérapie, oligothérapie, mécanismes d'action et conseils à l'officine.* 2017.

21. Kuramori C, Hase Y, Hoshikawa K, Watanabe K, Nishi T, Hishiki T, et al. Mono-(2-ethylhexyl) phthalate targets glycogen debranching enzyme and affects glycogen metabolism in rat testis. *Toxicol Sci Off J Soc Toxicol.* mai 2009;109(1):143-51.
22. Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. *Glycogen Metabolism.* 2002;
23. Houten SM, Wanders RJA. A general introduction to the biochemistry of mitochondrial fatty acid β -oxidation. *J Inherit Metab Dis.* oct 2010;33(5):469-77.
24. GARRIGUE, E, DE GLISEZINSKI, I, HARANT, I, MORO, C, PILLARD, F, CRAMPES, F, et al. Métabolisme lipidique et exercice musculaire chez le sujet obèse. 2006.
26. Guerrero K. ORGANISATION STRUCTURALE ET FONCTION METABOLIQUE DES UNITES ENERGETIQUES INTRACELLULAIRES (ICEUs) DANS LE MUSCLE CARDIAQUE ET SQUELETTIQUE :Conditions physiologiques et pathophysiologiques. 2005.
27. Dimroth P, von Ballmoos C, Meier T. Catalytic and mechanical cycles in F-ATP synthases: Fourth in the Cycles Review Series. *EMBO Rep.* mars 2006;7(3):276-82.
28. Heiske M. Modeling the respiratory chain and the oxidative phosphorylation. *Modélisation Chaîne Respir Phosphorylation Oxydative.* 2012;
29. Physiologie de l'exercice - Vers une compréhension des limites de la performance motrice. - Schéma et prise de notes [Internet]. [cité 6 févr 2018]. Disponible sur: http://campusport.univ-lille2.fr/physio/co/grain4_Sch.html
30. Andersen P, Saltin B. Maximal perfusion of skeletal muscle in man. *J Physiol.* sept 1985;366:233-49.
31. expertise collective, inserm. *Activité physique, contexte et effets sur la santé.* 2008. 811 p.
32. Lacour J-R. Activité musculaire et dépense d'énergie. *Rev Mal Respir.* déc 2011;28(10):1278-92.
33. MARTIN A. *Apports nutritionnels conseillés pour la population française.* 2001.
34. *Medicine I of. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements.* 2006.
35. DUPUIS PF. DOCTEUR DE L'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ – NANCY. :301.
36. Hormone antidiurétique, HAD ou vasopressine [Internet]. *Pharmacorama.* 2016 [cité 8 avr 2018]. Disponible sur: <https://www.pharmacorama.com/pharmacologie/hormones-cytokinesantigenes-anticorps/hormones-post-hypophysaires/hormone-antidiuretique-had-vasopressine/>
37. Rahimi Z. Review: The Role of Renin Angiotensin Aldosterone System Genes in Diabetic Nephropathy. *Can J Diabetes.* 1 avr 2016;40:178-83.

38. Pujol F. Les 100 mots de la diététique et de la nutrition. [Ressource électronique]. Paris : P. U. F, 2010. ; 2010. (Que sais-je ?).
39. Matsuzawa Y, Tokunaga K, Kotani K, Keno Y, Kobayashi T, Tarui S. Simple estimation of ideal body weight from body mass index with the lowest morbidity. *Diabetes Res Clin Pract.* 1990;10 Suppl 1:S159-164.
40. OMS | Obésité et surpoids [Internet]. WHO. [cité 1 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/fr/>
41. Macronutriment [Internet]. Vulgaris Médical. [cité 8 févr 2018]. Disponible sur: <https://www.vulgaris-medical.com/encyclopedie-medicale/macronutriment>
42. Wémeau J-L. Chapitre 28 - Les bases de la nutrition: Nutriments, aliments, énergétique, comportement alimentaire. In: *Endocrinologie, Diabète, Métabolisme et Nutrition pour le Praticien.* Paris; 2014. p. 327-38.
43. Universalis E. RATION ALIMENTAIRE [Internet]. Encyclopædia Universalis. [cité 1 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.universalis.fr/encyclopedie/ration-alimentaire/>
44. Avis de l'Anses, Rapports d'expertise collective. Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles. 2016.
45. Larousse É. Définitions : triglycéride - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 2 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/triglyc%C3%A9ride/79637>
46. Legrand P. Les acides gras : Structures, fonctions, apports nutritionnels conseillés. *Huiles Santé.* 2007;
47. Spielmann D, Mendy F. Nomenclature, synthèse et métabolisme des acides gras insaturés / Nomenclature, synthesis and fate of unsaturated fatty acid. *Nutr Clin Métabolisme Paris.* 1993;(1):3.
48. Larousse É. Encyclopédie Larousse en ligne - acide gras [Internet]. [cité 2 mars 2018]. Disponible sur: http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/acide_gras/10906
49. Ciqual Table de composition nutritionnelle des aliments [Internet]. [cité 3 mars 2018]. Disponible sur: <https://ciqual.anses.fr/>
50. Lecerf J. Acides gras, huiles et risque cardiovasculaire: une saga. (French). *Fat Acids Oils Cardiovasc Risk Saga Engl.* avr 2010;8(2):77.
51. MINISTERE DE L'ALIMENTATION, DE L'AGRICULTURE, ET DE LA PECHE. Rapport du groupe PNNS sur les lipides. 2009.
52. Tchernof A, Després J-P. Pathophysiology of human visceral obesity: an update. *Physiol Rev.* janv 2013;93(1):359-404.
53. Paniagua JA, Gallego de la Sacristana A, Romero I, Vidal-Puig A, Latre JM, Sanchez E, et al. Monounsaturated fat-rich diet prevents central body fat distribution and

- decreases postprandial adiponectin expression induced by a carbohydrate-rich diet in insulin-resistant subjects. *Diabetes Care*. juill 2007;30(7):1717-23.
54. Maxfield FR, Tabas I. Role of cholesterol and lipid organization in disease. *Nature*. 2005;(7068):612.
 55. Wémeau J-L. Chapitre 49 - Métabolisme des lipides. In: *Endocrinologie, Diabète, Métabolisme et Nutrition pour le Praticien*. Paris; 2014. p. 469-74.
 56. Paul J-L, Baudin B. Physiopathologie de l'athérosclérose et marqueurs précoces. *Rev Francoph Lab*. 1 févr 2009;2009(409):41-50.
 57. Brand-Miller JC, Stockmann K, Atkinson F, Petocz P, Denyer G. Glycemic index, postprandial glycemia, and the shape of the curve in healthy subjects: analysis of a database of more than 1000 foods. *Am J Clin Nutr*. 1 janv 2009;89(1):97-105.
 58. Salermón J, Manson JE, Stampfer MJ, Colditz G, Wing AL, Willett WC. Dietary fiber, glycemic load, and risk of non-insulin-dependent diabetes mellitus in women. *JAMA*. 12 févr 1997;277:427-77.
 59. Jacob A. Indice glycémique, charge glycémique et profil de risque cardiovasculaire /. 2007;
 60. Pigeyre M, Romon M. L'index glycémique est-il utilisable en pratique ? / Is glycemic index of practical use? *Cah Nutr Diététique*. 2006;(4):247.
 61. Young V, Pellett P. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. 2012; *The American Journal of Clinical Nutrition*.
 62. Berg J, Tymoczko J. *Biochimie 7eme édition*. Lavoisier; 2013.
 63. Agence française de sécurité sanitaire des aliments. Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations. 2007.
 64. Larousse É. Définitions : oligoélément - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 8 févr 2018]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/oligo%C3%A9l%C3%A9ment/55873>
 65. Salle B-L, Delvin E, Claris O. Vitamines liposolubles chez le nourrisson / Liposoluble vitamins in infants. *Arch Pédiatrie Paris*. 2005;(7):1174.
 66. RÈGLEMENT (UE) No 1169/2011 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 octobre 2011. *Journal officiel de l'Union européenne*; 2011.
 67. Larousse É. Encyclopédie Larousse en ligne - xérophtalmie [Internet]. [cité 6 mars 2018]. Disponible sur : <http://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/xérophtalmie/17059>
 68. C* V, Institute CR, Silvana@teknoscienze. com E-M, L B, Institute CR, M K, et al. Supplémentation en vitamine K: des effets méconnus pour l'os et le système cardiovasculaire. *Phytothérapie*. 1 févr 2006;4(1):hs52-7.

69. Yoon JH, Thompson L, Jenkins DJA. The effect of phytic acid on in vitro rate of starch digestibility and blood glucose response. *Am J Clin Nutr.* 1 janv 1984;38:835-42.
70. Morosanova MA, Samodelov ZV, Morosanova EI. Determination of Food Oxalates Using Silica-Titania Xerogel Modified with Eriochrome Cyanine R. *Sensors.* 15 mars 2018;18(3):864.
71. Tilman B. Drüeke, Bernard Moinier. Le sel dans tous ses états : VRAI/FAUX sur un aliment trop critiqué. [N. p.]: EDP Sciences; 2016. (Alimentation et Santé).
72. PNNS. Fiche Conseil 8 - « De l'eau sans modération ! » 2008.
73. Savoie F-A. L'hyperhydratation au sodium réduit la diurèse et améliore la rétention de liquide comparativement à l'hyperhydratation au glycérol et à l'eau. DE SHERBROOKE; 2014.
74. Belmahi N, Ouahabi HE. Les hyponatrémies en pratique. *Médecine Thérapeutique.* 1 mai 2017;23(3):185-9.
75. Maillot F, Farad S, Lamisse F. Alcool et nutrition / Alcohol and nutrition. *Pathol Biol.* 2001;(9):683.
76. Ghimlpe LR. Les Fondements Physiques et Physiologiques du Métabolisme de Base. 1932;188.
77. Magne J-H (1804-1885). *Energétique : métabolisme de base, action dynamique spécifique, thermorégulation.* 1939.
78. Black AE, Coward WA, Cole TJ, Prentice AM. Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. *Eur J Clin Nutr.* févr 1996;50(2):72-92.
79. Courat L, Preux P-M, Archambeaud-Mouveroux F, Pillegand B, Desport J-C. La mesure du métabolisme de base reste fondamentale pour établir les apports énergétiques conseillés aux patients obèses / Resting energy rate measured is still important for fixing the level of energetic intakes proposed to obese patients. *Cah Nutr Diététique.* 2005;(2):109.
80. Mbungu Mwimba R, Tandu-Umba N F B, Muls E. Évolution de la composition corporelle et du métabolisme basal au cours de la grossesse chez la noire congolaise de kinshasa, République Démocratique du Congo (RDC) / A longitudinal study of body composition and basal metabolic rate during pregnancy in a black population of kinshasa, Democratic Republic of Congo (RDC). *J Gynécologie Obstétrique Biol Reprod.* 2007;(7):699.
81. Larousse É. Définitions : thermogénèse - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 21 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/thermogen%C3%A8se/77800>
82. Larousse É. Définitions : postprandial, postprandiale, postprandiaux - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 21 mars 2018]. Disponible sur:

- http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/postprandial_postprandiale_postprandiaux/62944
83. El Bitar N, Le Bars D. Douleur et thermorégulation. La thermorégulation chez l'animal. (French). *Pain Thermoregul Thermoregul Anim Engl.* déc 2015;28(4):186.
 84. Bittel J, Savourey G. Travail au froid. *Work Cold Environ Engl.* 1 janv 2004;1:124-39.
 85. Lecerf J-M. Poids et obésité. 2001.
 86. Tourneux P, Libert J-P, Ghyselen L, Leke A, Delanaud S, Degrugilliers L, et al. Échanges thermiques et thermorégulation chez le nouveau-né. *Heat Exch Thermoregul Neonate.* 2009;(7):1057.
 87. OMS | Activité physique [Internet]. WHO. [cité 28 oct 2017]. Disponible sur: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/fr/>
 88. ANSES. Actualisation des repères du PNNS - Révisions des repères relatifs à l'activité physique et à la sédentarité. 2016.
 89. OMS | La sédentarité, une cause majeure de maladies et d'incapacités [Internet]. WHO. [cité 21 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/release23/fr/>
 90. OMS | Qu'entend-on par activité physique modérée ou intense? [Internet]. WHO. [cité 21 mars 2018]. Disponible sur: http://www.who.int/dietphysicalactivity/physical_activity_intensity/fr/
 91. Ainsworth BE, Haskell WL, Whitt MC, Irwin ML, Swartz AM, Strath SJ, et al. Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities: *Med Sci Sports Exerc.* sept 2000;32(Supplement):S498-516.
 92. PNNS | Manger Bouger [Internet]. [cité 28 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.mangerbouger.fr/PNNS/>
 93. Larousse É. Définitions : mortalité - Dictionnaire de français Larousse [Internet]. [cité 28 mars 2018]. Disponible sur: <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/mortalit%C3%A9/52714>
 94. Jaeger M. Les effets du sport sur le cœur. *Bull Société Fribourgeoise Sci Nat Bull Naturforschenden Ges Freibg.* 1993;(1-2):3.
 95. Wémeau J-L. Chapitre 31 - Activité physique et nutrition: Comment la prescrire. In: *Endocrinologie, Diabète, Métabolisme et Nutrition pour le Praticien.* Paris: Content Repository Only!; 2014. p. 361-5.
 96. Labarde S, Sicard J. Le sportif, des besoins particuliers. *Specif Requir Sportspeople Engl.* 1 avr 2018;57:20-4.
 97. Bricout V-A, Guinot M, Duclos M, Koulmann N, Serrurier B, Brun J-F, et al. Revue générale: Position de consensus: apport des examens biologiques dans le diagnostic

- de surentraînement. Position Statement Contrib Biol Anal Diagn Overtraining Syndr Engl. 1 janv 2006;21:319-50.
98. Territoire - Population – La France et ses territoires | Insee [Internet]. [cité 15 mars 2018]. Disponible sur: https://www.insee.fr/fr/statistiques/1372998?sommaire=1373022#tableau-multi_graph1_regions2016
 99. La population des principaux zonages du Nord-Pas-de-Calais - Pages de Profils | Insee [Internet]. [cité 23 oct 2017]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1293204>
 100. Les espaces du Nord-Pas-de-Calais : Diagnostic et dynamiques (Tome 1 - Manuels thématiques) - Insee Dossier Nord-Pas-de-Calais - 2 [Internet]. [cité 23 oct 2017]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1894056>
 101. AUTÈS M. LA SANTE DES HABITANTS : UN ENJEU PERMANENT POUR LE NORD PAS-DE-CALAIS. 2006.
 102. Bonin B, Rencontres de Psychiatrie(5 ; ; 2007-03-15). Le syndrome métabolique : clinique, facteurs de risque, prise en charge. Metab Syndr Clin Approach Risk Factors Manag. 2007;
 103. Vernay M, Salanave B, Peretti C de, Druet C, Malon A, Deschamps V, et al. Metabolic syndrome and socioeconomic status in France: The French Nutrition and Health Survey (ENNS, 2006–2007). Int J Public Health. 1 déc 2013;58(6):855-64.
 104. Eschwège E. Données cliniques recentes: Le syndrome métabolique : quelle(s) définition(s) pour quel(s) objectif(s) ? Metab Syndr Which Defin Which Object Engl. 1 janv 2005;66(Part 2):32-44.
 105. Magnan C. Lipotoxicité et insulino-résistance. Lipotoxicity Insul Resist. juin 2006;20(2):108-13.
 106. Verges B. Physiopathologie de la dyslipidémie du syndrome métabolique et du diabète de type 2 / Pathophysiology of dyslipidemia in patients with metabolic syndrome or type 2 diabetes mellitus. Nutr Clin Métabolisme Paris. 2007;(1):9.
 107. BONNEFONT-ROUSSELOT D. Le bilan lipidique en 2016. Feuille Biol. 2016;14.
 108. Brochet L, Gressier B. Le syndrome métabolique. [Texte imprimé] : prise en charge, prévention et règles hygiéno-diététiques. [S. l.] : [s. n.], 2011. ; 2011.
 109. Bauduceau B, Bordier L, Burnat P, Abdoulaye I, Dupuy O, Rousseau C, et al. Un éclairage original du syndrome métabolique en France l'étude EPIMIL (épidémiologie des facteurs de risque et du syndrome métabolique en milieu militaire). MT Médecine Thérapeutique. 2006;(4):271.
 110. Wémeau J-L. Chapitre 38 - Syndrome métabolique. In: Endocrinologie, Diabète, Métabolisme et Nutrition pour le Praticien. Paris: Content Repository Only!; 2014. p. 407-10.

111. Alberti KGMM, Zimmet P, Shaw J, IDF Epidemiology Task Force Consensus Group. The metabolic syndrome--a new worldwide definition. *Lancet Lond Engl.* 24 sept 2005;366(9491):1059-62.
112. Bonnet F, Laville M. Le syndrome métabolique : définition, épidémiologie, complications. 2005.
113. Wémeau J-L. Chapitre 50 - Alcool : métabolisme et consommation. In: *Endocrinologie, Diabète, Métabolisme et Nutrition pour le Praticien.* Paris; 2014. p. 475-81.
114. Magis D, Geronoz I, Scheen A. Tabagisme, insulinoresistance et diabete de type 2. ; Smoking, insulin resistance and type 2 diabetes. 2002;
115. Urakawa H, Katsuki A, Sumida Y, Gabazza EC, Murashima S, Morioka K, et al. Oxidative stress is associated with adiposity and insulin resistance in men. *J Clin Endocrinol Metab.* oct 2003;88(10):4673-6.
116. Morelle-Lauzanne E. L'alimentation, le stress oxydatif : Sources de lipoperoxydation, comment s'en protéger. *Phytothérapie.* 1 déc 2006;4(5):234-40.

Université de Lille
FACULTE DE PHARMACIE DE LILLE
DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE
Année Universitaire 2017/2018

Nom: LEROUX

Prénom : Cindy

Titre de la thèse : Conseils en nutrition et en activité physique en officine : détermination des besoins de formation et proposition de remédiations pour les pharmaciens et les étudiants en pharmacie

Mots-clés: activité physique, nutrition, conseil à l'officine

Résumé : En contact direct avec les patients, le pharmacien joue un rôle important dans le conseil à l'officine, notamment à propos des habitudes de vie du patient (nutrition et d'activité physique).

Au cours de ce travail de thèse, nous avons en premier lieu mené une enquête auprès des pharmaciens d'officine. Celle-ci nous a permis de déterminer si les pharmaciens estiment suffisante leur formation à propos de la nutrition et de l'activité physique, et de savoir s'ils pensent avoir besoin de supports de conseil (fiche conseil, site internet, etc.) ou d'une formation.

Enfin, nous avons mis en place des supports de conseil (fiches conseil) et produit un scénario pour PROFFItEROLE, afin de former les étudiants en amont.

Membres du jury:

Président : Duriez Patrick, Professeur de Physiologie à l'Université de Lille

Directeur, conseiller de thèse : Murielle Garcin, Professeur à la Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique, Université de Lille

Assesseur(s) : Annie Standaert, Maître de conférences à l'Université de Lille