



HAL
open science

La prise en charge à l'officine des différentes méthodes de récupération chez le sportif

Mathilde Beaurain

► **To cite this version:**

Mathilde Beaurain. La prise en charge à l'officine des différentes méthodes de récupération chez le sportif. Sciences pharmaceutiques. 2019. dumas-02114983

HAL Id: dumas-02114983

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02114983>

Submitted on 30 Apr 2019

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

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

THÈSE

PRESENTÉE ET PUBLIQUEMENT SOUTENUE DEVANT LA
FACULTÉ DE PHARMACIE DE MARSEILLE

LE 25 AVRIL 2019

PAR

M^{elle} **MATHILDE BEURAIN**

Née le 9 mai 1992 à Aix en Provence

EN VUE D'OBTENIR

LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

TITRE :

**LA PRISE EN CHARGE À L'OFFICINE DES DIFFÉRENTES
MÉTHODES DE RÉCUPÉRATION CHEZ LE SPORTIF**

JURY :

Président : *Docteur Carole DI GIORGIO*, Laboratoire de Parasitologie,
Faculté de Pharmacie, Marseille

Membres : *Docteur Thierry AUGIER*, Laboratoire de Biochimie
fondamentale, moléculaire et clinique, Faculté de Pharmacie, Marseille

Docteur Muriel TAWITIAN, Pharmacienne, Marseille

Docteur Mounia Drir, Pharmacienne, Marseille

THÈSE

PRESENTÉE ET PUBLIQUEMENT SOUTENUE DEVANT LA
FACULTÉ DE PHARMACIE DE MARSEILLE

LE 25 AVRIL 2019

PAR

M^{elle} **MATHILDE BEURAIN**

Née le 9 mai 1992 à Aix en Provence

EN VUE D'OBTENIR

LE DIPLÔME D'ÉTAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE

TITRE :

**LA PRISE EN CHARGE À L'OFFICINE DES DIFFÉRENTES
MÉTHODES DE RÉCUPÉRATION CHEZ LE SPORTIF**

JURY :

Président : *Docteur Carole DI GIORGIO*, Laboratoire de Parasitologie,
Faculté de Pharmacie, Marseille

Membres : *Docteur Thierry AUGIER*, Laboratoire de Biochimie
fondamentale, moléculaire et clinique, Faculté de Pharmacie, Marseille

Docteur Muriel TAWITIAN, Pharmacienne, Marseille

Docteur Mounia Drir, Pharmacienne, Marseille

27 Boulevard Jean Moulin – 13385 MARSEILLE Cedex 05
Tel. : 04 91 83 55 00 – Fax : 04 91 80 26 12

ADMINISTRATION :

<i>Doyen :</i>	Mme Françoise DIGNAT-GEORGE
<i>Vice-Doyens :</i>	M. Jean-Paul BORG, M. François DEVRED, M. Pascal RATHELOT
<i>Chargés de Mission :</i>	Mme Pascale BARBIER, M. David BERGE-LEFRANC, Mme Manon CARRE, Mme Caroline DUCROS, Mme Frédérique GRIMALDI
<i>Conseiller du Doyen :</i>	M. Patrice VANELLE
<i>Doyens honoraires :</i>	M. Jacques REYNAUD, M. Pierre TIMON-DAVID, M. Patrice VANELLE
<i>Professeurs émérites :</i>	M. José SAMPOL, M. Athanassios ILIADIS, M. Jean-Pierre REYNIER, M. Henri PORTUGAL
<i>Professeurs honoraires :</i>	M. Guy BALANSARD, M. Yves BARRA, Mme Claudette BRIAND, M. Jacques CATALIN, Mme Andrée CREMIEUX, M. Aimé CREVAT, M. Bernard CRISTAU, M. Gérard DUMENIL, M. Alain DURAND, Mme Danielle GARÇON, M. Maurice JALFRE, M. Joseph JOACHIM, M. Maurice LANZA, M. José MALDONADO, M. Patrick REGLI, M. Jean-Claude SARI
<i>Chef des Services Administratifs :</i>	Mme Florence GAUREL
<i>Chef de Cabinet :</i>	Mme Aurélie BELENGUER
<i>Responsable de la Scolarité :</i>	Mme Nathalie BESNARD

DEPARTEMENT BIO-INGENIERIE PHARMACEUTIQUE

Responsable : Professeur Philippe PICCERELLE

PROFESSEURS

BIOPHYSIQUE	M. Vincent PEYROT M. Hervé KOVACIC
GENIE GENETIQUE ET BIOINGENIERIE	M. Christophe DUBOIS
PHARMACIE GALENIQUE, PHARMACOTECHNIE INDUSTRIELLE, BIOPHARMACIE ET COSMETIQUE	M. Philippe PICCERELLE

MAITRES DE CONFERENCES

BIOPHYSIQUE

M. Robert GILLI
Mme Odile RIMET-GASPARINI
Mme Pascale BARBIER
M. François DEVRED
Mme Manon CARRE
M. Gilles BREUZARD
Mme Alessandra PAGANO

GENIE GENETIQUE ET BIOTECHNOLOGIE

M. Eric SEREE-PACHA
Mme Véronique REY-BOURGAREL

PHARMACIE GALENIQUE, PHARMACOTECHNIE INDUSTRIELLE,
BIOPHARMACIE ET COSMETOLOGIE

M. Pascal PRINDERRE
M. Emmanuel CAUTURE
Mme Véronique ANDRIEU
Mme Marie-Pierre SAVELLI

NUTRITION ET DIETETIQUE

M. Léopold TCHIAKPE

A.H.U.

THERAPIE CELLULAIRE

M. Jérémy MAGALON

ENSEIGNANTS CONTRACTUELS

ANGLAIS

Mme Angélique GOODWIN

DEPARTEMENT BIOLOGIE PHARMACEUTIQUE

Responsable : Professeur Philippe CHARPIOT

PROFESSEURS

BIOCHIMIE FONDAMENTALE, MOLECULAIRE ET CLINIQUE

M. Philippe CHARPIOT

BIOLOGIE CELLULAIRE

M. Jean-Paul BORG

HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE

Mme Françoise DIGNAT-GEORGE
Mme Laurence CAMOIN-JAU
Mme Florence SABATIER-MALATERRE
Mme Nathalie BARDIN

MICROBIOLOGIE

M. Jean-Marc ROLAIN
M. Philippe COLSON

PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE MEDICALE, HYGIENE ET
ZOOLOGIE

Mme Nadine AZAS-KREDER

MAITRES DE CONFERENCES

BIOCHIMIE FONDAMENTALE, MOLECULAIRE ET CLINIQUE	Mme Dominique JOURDHEUIL-RAHMANI M. Thierry AUGIER M. Edouard LAMY Mme Alexandrine BERTAUD Mme Claire CERINI Mme Edwige TELLIER M. Stéphane POITEVIN
HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE	Mme Aurélie LEROYER M. Romaric LACROIX Mme Sylvie COINTE
MICROBIOLOGIE	Mme Michèle LAGET M. Michel DE MEO Mme Anne DAVIN-REGLI Mme Véronique ROUX M. Fadi BITTAR Mme Isabelle PAGNIER Mme Sophie EDOUARD M. Seydina Mouhamadou DIENE
PARASITOLOGIE ET MYCOLOGIE MEDICALE, HYGIENE ET ZOOLOGIE	Mme Carole DI GIORGIO M. Aurélien DUMETRE Mme Magali CASANOVA Mme Anita COHEN
BIOLOGIE CELLULAIRE	Mme Anne-Catherine LOUHMEAU

A.H.U.

HEMATOLOGIE ET IMMUNOLOGIE	M. Maxime LOYENS
----------------------------	------------------

DEPARTEMENT CHIMIE PHARMACEUTIQUE

Responsable : Professeur Patrice VANELLE

PROFESSEURS

CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION	Mme Catherine BADENS
CHIMIE PHYSIQUE – PREVENTION DES RISQUES ET NUISANCES TECHNOLOGIQUES	M. Philippe GALLICE
CHIMIE MINERALE ET STRUCTURALE – CHIMIE THERAPEUTIQUE	M. Pascal RATHELOT M. Maxime CROZET
CHIMIE ORGANIQUE PHARMACEUTIQUE	M. Patrice VANELLE M. Thierry TERME
PHARMACOGNOSIE, ETHNOPHARMACOLOGIE, HOMEOPATHIE	Mme Evelyne OLLIVIER

MAITRES DE CONFERENCES

BOTANIQUE ET CRYPTOLOGIE, BIOLOGIE CELLULAIRE	Mme Anne FAVEL Mme Joëlle MOULIN-TRAFFORT
CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION	Mme Catherine DEFOORT M. Alain NICOLAY Mme Estelle WOLFF Mme Elise LOMBARD Mme Camille DESGROUAS
CHIMIE PHYSIQUE – PREVENTION DES RISQUES ET NUISANCES TECHNOLOGIQUES	M. David BERGE-LEFRANC M. Pierre REBOUILLON
CHIMIE THERAPEUTIQUE	Mme Sandrine FRANCO-ALIBERT Mme Caroline DUCROS M. Marc MONTANA Mme Manon ROCHE
CHIMIE ORGANIQUE PHARMACEUTIQUE HYDROLOGIE	M. Armand GELLIS M. Christophe CURTI Mme Julie BROGGI M. Nicolas PRIMAS M. Cédric SPITZ M. Sébastien REDON
PHARMACOGNOSIE, ETHNOPHARMACOLOGIE, HOMEOPATHIE	M. Riad ELIAS Mme Valérie MAHIOU-LEDDET Mme Sok Siya BUN Mme Béatrice BAGHDIKIAN

MAITRES DE CONFERENCE ASSOCIES A TEMPS PARTIEL (M.A.S.T.)

CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION	Mme Anne-Marie PENET-LOREC
CHIMIE PHYSIQUE – PREVENTION DES RISQUES ET NUISANCES TECHNOLOGIQUES	M. Cyril PUJOL
DROIT ET ECONOMIE DE LA PHARMACIE	M. Marc LAMBERT
GESTION PHARMACEUTIQUE, PHARMACOECONOMIE ET ETHIQUE PHARMACEUTIQUE OFFICINALE, DROIT ET COMMUNICATION PHARMACEUTIQUES A L'OFFICINE ET GESTION DE LA PHARMAFAC	Mme Félicia FERRERA

A.H.U.

CHIMIE ANALYTIQUE, QUALITOLOGIE ET NUTRITION	M. Mathieu CERINO
--	-------------------

ATER

CHIMIE ANALYTIQUE	M. Charles DESMARCHELIER
CHIMIE THERAPEUTIQUE	Mme Fanny MATHIAS

DEPARTEMENT MEDICAMENT ET SECURITE SANITAIRE

Responsable : Professeur Benjamin GUILLET

PROFESSEURS

PHARMACIE CLINIQUE	Mme Diane BRAGUER M. Stéphane HONORÉ
PHARMACODYNAMIE	M. Benjamin GUILLET
TOXICOLOGIE GENERALE	M. Bruno LACARELLE
TOXICOLOGIE DE L'ENVIRONNEMENT	Mme Frédérique GRIMALDI

MAITRES DE CONFERENCES

PHARMACODYNAMIE	M. Guillaume HACHE Mme Ahlem BOUHLEL M. Philippe GARRIGUE
PHYSIOLOGIE	Mme Sylviane LORTET Mme Emmanuelle MANOS-SAMPOL
TOXICOCINETIQUE ET PHARMACOCINETIQUE	M. Joseph CICCOLINI Mme Raphaëlle FANCIULLINO Mme Florence GATTACECCA
TOXICOLOGIE GENERALE ET PHARMACIE CLINIQUE	M. Pierre-Henri VILLARD Mme Caroline SOLAS-CHESNEAU Mme Marie-Anne ESTEVE

A.H.U.

PHARMACIE CLINIQUE	M. Florian CORREARD
PHARMACOCINETIQUE	Mme Nadège NEANT

CHARGES D'ENSEIGNEMENT A LA FACULTE

Mme Valérie AMIRAT-COMBRALIER, Pharmacien-Praticien hospitalier

M. Pierre BERTAULT-PERES, Pharmacien-Praticien hospitalier

Mme Marie-Hélène BERTOCCHIO, Pharmacien-Praticien hospitalier

Mme Martine BUES-CHARBIT, Pharmacien-Praticien hospitalier

M. Nicolas COSTE, Pharmacien-Praticien hospitalier

Mme Sophie GENSOLLEN, Pharmacien-Praticien hospitalier

M. Sylvain GONNET, Pharmacien titulaire

Mme Florence LEANDRO, Pharmacien adjoint

M. Stéphane PICHON, Pharmacien titulaire

M. Patrick REGGIO, Pharmacien conseil, DRSM de l'Assurance Maladie

Mme Clémence TABELLE, Pharmacien-Praticien attaché

Mme TONNEAU-PFUG, Pharmacien adjoint

M. Badr Eddine TEHHANI, Pharmacien – Praticien hospitalier

M. Joël VELLOZZI, Expert-Comptable

Mise à jour le 22 février 2018

**« L'UNIVERSITÉ N'ENTEND DONNER
AUCUNE APPROBATION, NI
IMPROBATION AUX OPINIONS ÉMISES
DANS LES THÈSES. CES OPINIONS
DOIVENT ÊTRE CONSIDÉRÉES COMME
PROPRES À LEURS AUTEURS. »**

SERMENT DE GALIEN

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

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

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

De ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine, de respecter le secret professionnel.

En aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

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

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

À mes parents

À ma sœur Marie

À mon frère Vincent

À Yann

À Alicia et Manon

À notre président de thèse et directeur de thèse,

Madame Carole GI GIORGIO

Maître de Conférences de Parasitologie à la faculté de pharmacie de Marseille.

*Je vous remercie,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger cette thèse,
Pour vos conseils et votre disponibilité tout au long de ce travail,
Pour vos enseignements au cours de notre formation universitaire,
Veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance.*

À nos juges,

Monsieur Thierry AUGIER

Maître de Conférences de Biochimie fondamentale, moléculaire et clinique à la faculté de pharmacie de Marseille.

*Je vous remercie,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire parti des membres du jury,
Pour votre engagement auprès des étudiants tout au long de ces années,
Votre disponibilité, votre gentillesse et vos qualités pédagogiques forcent mon admiration,
Veuillez trouver ici l'expression de mon plus grand respect.*

Madame Muriel TAWITIAN

Pharmacien d'officine et maître de stage

*Je te remercie,
Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire parti des membres du jury,
Pour m'avoir acceptée comme stagiaire et appris le métier de pharmacien d'officine,
Pour m'avoir tant apporté sur le plan professionnel et humain,
Pour tous ces moments passés ensemble,
Reçois toute ma reconnaissance, mon attachement et mon respect.*

Madame Mounia DRIR

Pharmacien d'officine

Je te remercie,

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de faire parti des membres du jury,

Pour m'avoir accordé ta confiance et donné confiance en moi,

Pour tout ce que tu m'as appris, m'apprends et m'apprendras du métier,

Pour tous ces moments passés ensemble sur ou en dehors d'un terrain,

Reçois toute ma reconnaissance et mon amitié.

À ma famille, à mes amis, à toutes les personnes présentes aujourd'hui, qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de cette thèse. Le chemin fut long mais l'aboutissement est enfin là. Je vous remercie d'être présents à mes côtés et de m'accompagner dans tous les moments de ma vie. Merci d'avoir pu vous libérer et de partager ce moment avec moi. Je vous suis reconnaissante de tout l'amour et l'amitié que vous m'apportez au quotidien.

À mes grands-parents partis trop tôt.

À toi Pépé, mon premier patient : « éééééh ben » j'y suis arrivée !!!

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	22
INTRODUCTION	24
I. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES ET ANATOMIQUES.....	26
A. LES DIFFERENTS TYPES DE MUSCLES	26
(a) Fonctions principales des muscles	27
(b) Caractéristiques fonctionnelles des muscles.....	28
(c) Structure du muscle squelettique	29
(1) Structure macroscopique.....	29
(a) Organisation générale du muscle	30
(b) Composition chimique	31
(c) Attaches du muscle	32
(d) Annexes	32
(e) Vascularisation des muscles.....	33
(f) Innervation des muscles	34
(2) Structure microscopique et types de fibres	35
(a) Sarcolemme.....	36
(b) Sarcoplasme	36
(c) Organisation des myofibrilles	37
(d) Sarcomère	39
(d) Mécanisme de la contraction musculaire	40
(1) Contraction d'une fibre musculaire squelettique lors de l'exercice	40
(a) Stimulation motrice.....	40
(b) Théorie des filaments glissants d'Huxley [13]	41
(c) Fin de la contraction, le relâchement	42
(2) Source d'énergie de la contraction musculaire [14] [15].....	42
(a) L'ATP	42
(b) Les trois filières de production de l'ATP.....	43
(i) Filière anaérobie alactique : voie du phosphagène.....	43
(ii) Filière anaérobie lactique : glycolyse anaérobie lactique	43
(iii) Filière aérobie	46

(a) Glycolyse aérobie.....	46
(b) La lipolyse.....	47
(e) Phénomène mécanique de la contraction musculaire [17].....	47
(1) Composante contractile (CC).....	47
(2) Composantes élastiques	48
(a) Composante élastique parallèle (CEP).....	48
(b) Composante élastique série (CES).....	48
B. LE SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE	50
(a) Anatomie	50
(1) Généralités	50
(2) Cavités et valves	51
(3) Les tuniques	53
(4) Vaisseaux	54
(b) Physiologie.....	56
(1) La circulation sanguine	56
(a) Système pulmonaire	56
(b) Système systémique	56
(c) Circulation coronarienne.....	57
(2) Le rythme cardiaque	58
(a) Composante mécanique : le cycle cardiaque [22] [23]	59
(b) Composante électrique : automatisme et conduction [25]	61
(3) Facteurs extrinsèques influant sur l'activité cardiaque [26]	62
II. L'EFFORT PHYSIQUE.....	63
A. QU'EST CE QUE L'EFFORT PHYSIQUE ?	63
B. LES DIFFERENTS TYPES D'EFFORTS	63
(a) Exercices de vitesse	63
(b) Exercices de force/résistance	64
(c) Exercices d'endurance	64
(d) Le surentrainement [29].....	65
C. LES EFFETS DE L'EFFORT SUR L'ORGANISME	67
(a) Répercussions les plus visibles, instantanées : modifications pendant l'effort.....	67
(1) Modification de l'appareil respiratoire [30].....	67
(2) Modifications du système cardio-vasculaire.....	69

(a) Adaptation du cœur	69
(b) Adaptation des vaisseaux	70
(3) La dépense énergétique	70
(b) Les réactions face à l'effort	71
(1) Hyperthermie et sudation	71
(2) Hypoglycémie	72
(3) Malaise vagal	72
(4) Syndrome d'hyperventilation	73
(c) Répercussions les moins visibles, tardives	73
(1) Mécanismes d'apparition des fatigues centrale et musculaire	73
(2) La fatigue centrale	74
(a) Rôle des neurotransmetteurs	74
(b) Diminution de la décharge des motoneurones	75
(3) La fatigue périphérique	75
(a) Définition [34].	75
(b) Explications physiologiques [35].....	76
(i) Altération de l'excitabilité du sarcolemme.....	76
(ii) Rôle du calcium dans la fatigue.....	77
(4) Courbatures [36]	77
(a) Définition	77
(b) Symptômes.....	77
(c) Explications physiologiques	78
(5) Crampes [37] [38]	78
(a) Définition	78
(b) Symptômes.....	79
(c) Explications physiologiques	79
(6) Contractures [39]	79
(a) Définition	79
(b) Symptômes.....	80
(c) Explications physiologiques	80
D. LA RECUPERATION [40]	80
(a) Récupération passive.....	81
(b) Récupération active.....	81

III. LES DIFFERENTES METHODES DE RECUPERATION	82
A. SOMMEIL	82
(a) Les différents cycles du sommeil.....	82
(b) L'horloge interne	84
(c) L'importance du sommeil chez le sportif	85
(d) Sommeil, blessures et infections [47]	85
(e) Les conseils à l'officine, règles hygiéno-diététiques	87
(1) Alimentation et boissons.....	87
(a) Les aliments et boissons qui favorisent le sommeil	87
(b) Les aliments qui nuisent au sommeil	88
(c) Boissons qui perturbent le sommeil	88
(2) Exposition à la lumière	89
(3) L'intérêt des siestes courtes	89
(4) Les conseils à l'officine, la prise de médicaments.....	90
(a) La prise d'inducteurs de sommeil	90
(b) La prise de spécialités en phytothérapie	91
(c) La prise d'antihistaminiques [58]	92
(d) La prise d'homéopathie [59].....	92
(e) La prise d'oligoéléments	93
(5) Autres conseils à l'officine	94
B. NUTRITION.....	95
(a) Les différents types d'apport énergétique [63]	95
(1) Les oligoéléments et minéraux	95
(2) Les vitamines	96
(3) Fruits	97
(4) Légumes.....	98
(5) Féculents	99
(6) Macronutriments	99
(a) Les glucides.....	99
(b) Les protéines	100
(c) Les lipides	101
(b) Les besoins nutritionnels des sportifs	101
(1) Besoins énergétiques.....	102
(2) Besoins en macronutriments	102

(3) Besoins en micronutriments.....	103
(c) L'alimentation d'un sportif	103
(1) Avant l'effort	103
(2) Pendant l'effort	104
(3) Après l'effort.....	105
(d) Les conseils à l'officine des produits diététiques	106
(1) Compléments alimentaires.....	106
(a) Avant l'effort	106
(b) Pendant l'effort	107
(c) Après l'effort.....	107
(2) Les catégories de produits.....	107
(a) Les acides aminés et protéines	107
(b) Les minéraux et oligoéléments	109
(c) Les vitamines et antioxydants	109
(d) Autres substances.....	110
(i) Effet ergogénique (caféine, cola, ginseng, taurine, quinine etc.)	110
(ii) Effet « brûleur de graisses » (caféine, carnitine, coenzyme Q10 etc.) ...	110
(iii) Effet sur l'augmentation de la masse et de la force musculaire (créatine, pro-hormone).....	110
(iv) Effet anti-inflammatoire et antidouleur (Harpagophytum, silicium, chondroïtine sulfate).....	111
C. HYDRATATION	112
(a) Risques et conséquences de la déshydratation	112
(b) Le mécanisme de l'hydratation.....	114
(c) Boire avant/pendant et après l'effort.....	115
(d) Les différents types d'eau	116
(e) Les différences entre boisson énergétique et énergisante	118
(f) Les conseils à l'officine.....	119
D. LA COMPRESSION SPORTIVE	122
(1) Définitions	122
(2) Mécanismes de compression dans le sport	123
(a) Compression dégressive.....	123
(b) Compression progressive	123
(3) Études comparatives	124

(4) Les différents types de produits	125
(a) BV Sport	125
(b) Sigvaris	128
(5) Les conseils à l'officine	129
(a) Prise de mesure (figure 52)	129
(b) Enfilage	130
(c) Entretien	130
(6) Conclusion	130
E. LA KINESITHERAPIE :	132
(a) La cryothérapie	132
(1) Définition	132
(1) Différentes techniques	132
(a) Le froid contre l'inflammation et la douleur (protocole GREC)	132
(b) Autres techniques pour sportif de haut niveau.....	133
(2) Les bienfaits et indications	134
(3) Les contre-indications	134
(4) Les produits et conseils à l'officine	134
(b) La thermothérapie	137
(1) Définition, bienfaits et indications	137
(2) Différentes techniques	137
(a) Par contact direct : patchs / compresses.....	137
(b) Par diathermie : appareil infra-rouge	138
(3) Les contre-indications	138
(4) Les conseils à l'officine	138
(c) La massothérapie.....	140
(1) Définition, bienfaits et indications	140
(2) Massage avant l'effort	140
(3) Massage après l'effort.....	140
(4) Les conseils à l'officine	141
(d) Les étirements actifs ou passifs	142
(1) Étirements actifs	142
(2) Étirements passifs	144
(3) Les conseils à l'officine	144
F. HOMEOPATHIE [86, 87, 88, 89]	147

(a) Qu'est ce que l'homéopathie ?.....	147
(b) Les sources de matières premières.....	147
(c) Procédé de fabrication.....	148
(d) Les domaines d'utilisation	148
(e) La trousse homéopathique du sportif	149
(1) Arnica Montana 9CH ou 15 CH	149
(2) Apis Mellifica 15CH.....	149
(3) Bryonia Alba 5CH ou 7CH.....	150
(4) China Rubra 9 CH ou 15 CH	150
(5) Coffea cruda 9CH	150
(6) Cuprum Metallicum 9CH	150
(7) Dulcamara 7CH	151
(8) Gelsemium 15 CH	151
(9) Hypericum Perforatum 15CH.....	151
(10) Rhus toxicodendron 9 à 30 CH	151
(11) Ruta Graveolens 5CH.....	152
(12) Sarcolaticum acidum 5 CH.....	152
(f) Les conseils à l'officine.....	152
G. RECUPERATION PSYCHOLOGIQUE	154
(a) Les facteurs psychologiques pouvant limiter la performance sportive.....	154
(b) La prise en charge psychologique.....	155
CONCLUSION	157
BIBLIOGRAPHIE	158

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Les différents types de muscles
- Figure 2 : Classification des muscles selon l'organisation des fibres musculaires
- Figure 3 : Enveloppes, attaches et vascularisation d'un muscle squelettique
- Figure 4 : Les différentes gaines tendineuses
- Figure 5 : Le système nerveux
- Figure 6 : Organisation RS et ST autour des myofibrilles
- Figure 7 : Molécule d'actine
- Figure 8 : Molécule de myosine
- Figure 9 : Structure d'un sarcomère
- Figure 10 : La glycolyse
- Figure 11 : Le cycle de Krebs
- Figure 12 : Modèle mécanique à 3 composantes
- Figure 13 : Schéma général du système cardio-vasculaire chez l'homme
- Figure 14 : Anatomie cardiaque
- Figure 15 : Circulation sanguine intracardiaque
- Figure 16 : Les tuniques du cœur
- Figure 17 : Structure des artères et des veines
- Figure 18 : La circulation sanguine
- Figure 19 : La circulation coronarienne
- Figure 20 : Les phases du cycle cardiaque
- Figure 21 : L'activité électrique du cœur
- Figure 22 : L'évolution de la fourniture d'énergie dans le temps
- Figure 23 : Mise en évidence du VO_2 max
- Figure 24 : L'activité respiratoire au sein des alvéoles
- Figure 25 : Les mouvements ventilatoires à l'effort et au repos
- Figure 26 : Équation de la réaction de la respiration cellulaire
- Figure 27 : Un cycle du sommeil
- Figure 28 : Sommeil et blessure
- Figure 29 : Sommeil et immunité
- Figure 30 : Euphytose nuit®

- Figure 31 : Novanuit®
- Figure 32 : Arkorelax sommeil fort®
- Figure 33 : Vectidyn® Nutergia
- Figure 34 : Pure L-Glutamine®
- Figure 35 : BCAA® Eafit
- Figure 36 : BCAA® Eric Favre
- Figure 37 : Arkogélules Spiruline®
- Figure 38 : Ergysport Oligomax® Nutergia
- Figure 39 : Déshydratation INSEP
- Figure 40 : Les effets de la déshydratation
- Figure 41 : Programme hydrique hors entraînement
- Figure 42 : Variation de pression
- Figure 43 : La compression dégressive
- Figure 44 : La compression progressive
- Figure 45 : La compression progressive BV Sport
- Figure 46 : Booster BV Sport
- Figure 47 : Chaussettes d'effort BV Sport
- Figure 48 : Chaussettes de récupération BV Sport
- Figure 49 : Booster Sigvaris
- Figure 50 : Chaussettes de récupération Sigvaris
- Figure 51 : Chaussettes de récupération Sigvaris
- Figure 52 : Prise de mesure BV Sport
- Figure 53 : Enfilage chaussettes compression
- Figure 54 : Akileine® bombe de froid
- Figure 55 : Nexcare® pack de froid
- Figure 56 : Arnica® laboratoire Phytomedica
- Figure 57 : Patchs chauffants thermacare
- Figure 58 : Patchs chauffants actipoche
- Figure 59 : Étirements actifs
- Figure 60 : Étirements passifs
- Figure 61 : Exercices d'étirement
- Figure 62 : Posologie homéopathie

INTRODUCTION

Depuis toujours le mouvement comme le repos est naturel à l'homme. L'activité physique a très vite fait partie de ses préoccupations quotidiennes. À l'époque de Darwin, on parlait déjà de "lutte pour la vie" quand on faisait référence à cette animation du corps. Dans un premier temps l'exercice physique ne fut pas le "sport" à proprement parler mais faisait plutôt référence à un chasseur qui tuait pour se nourrir en ne songeant pas à une quelconque compétition. Ce n'est que plus tard, quand il eut assuré sa sécurité et nourri toute sa famille, que l'homme chercha du plaisir dans l'activité physique.

Dans les pays industrialisés le mode de vie a bien évolué au XX^{ème} siècle. L'industrialisation et la mécanisation ont permis de faciliter le travail et la vie quotidienne, ainsi l'activité physique n'était plus une obligation. Elle était considérée comme un loisir et non plus comme une nécessité.

Actuellement synonyme de bien être, l'intérêt pour le sport ne cesse de s'accroître dans notre société que ce soit dans le monde professionnel ou dans le monde amateur. Plusieurs facteurs sont favorables au développement de l'activité physique : l'augmentation du temps libre et l'arrivée des 35 heures de travail par semaine, les messages diffusés par la publicité et les médias qui placent le corps au centre de nos intérêts ainsi que l'augmentation de l'espérance de vie et la nécessité de rester en bonne santé et d'entretenir son corps. Cependant aucune activité sportive n'est sans danger et parallèlement à l'augmentation de l'activité on observe une augmentation du nombre de blessures. Ces blessures surviennent à cause d'une mauvaise préparation physique et/ou d'une mauvaise récupération et sont un problème majeur dans le sport. Acteur de santé présent sur l'ensemble du territoire et disponible facilement, le pharmacien a un rôle important à différents niveaux : dans la prévention, le conseil ou encore la délivrance d'orthèses par exemple. En effet les activités du pharmacien d'officine sont diverses et variées. Bien sûr la délivrance des médicaments sur ordonnance reste une de ses principales activités à laquelle sont venues se rajouter la nutrition et la micronutrition, la parapharmacie, le matériel médical, les médicaments sans ordonnance. Le pharmacien a à sa disposition dans son officine tous les produits/méthodes permettant une bonne pratique sportive ainsi qu'une bonne récupération après l'effort. Il a un rôle important auprès des sportifs. Le conseil du pharmacien est aussi bien sollicité par des sportifs de haut niveau que par des amateurs qui cherchent à optimiser leurs performances.

Le pharmacien d'officine doit également promouvoir l'activité physique en raison de ses bienfaits sur la santé. Selon l'Organisation mondiale de la Santé, « pratiquer une activité

physique régulière et adaptée réduit le risque d'hypertension, de cardiopathies coronariennes, d'accident vasculaire cérébral, de diabète, de cancer du sein et du colon, de dépression et de chute ».

Dans cette thèse nous allons, dans une première partie, étudier l'anatomie et la physiologie des muscles et du système cardio-vasculaire.

Puis dans une deuxième partie nous verrons ce qu'est l'effort physique en détaillant les conséquences qu'il peut engendrer sur notre organisme et comment notre corps y répond.

Pour finir nous développerons les différentes méthodes de récupération pour lesquelles le pharmacien d'officine peut être consulté. En effet l'entraînement est indissociable de l'état de fatigue, phénomène physiologique normal au quotidien. Cette fatigue doit être reconnue, analysée et mise en relation avec des temps de récupération appropriés. Le pharmacien peut orienter vers d'autres méthodes de récupération complémentaires en fonction l'effort physique recherché.

I. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES ET ANATOMIQUES

A. Les différents types de muscles

Constitué des muscles, le système musculaire forme l'élément moteur du mouvement. Il assure la production de la force nécessaire au mouvement et au maintien postural. On distingue du point de vue morphologique et fonctionnel différents types de tissus musculaires (**figure 1**) :

- Les **muscles squelettiques** : ce sont des muscles striés qui peuvent se contracter sous l'influence de la volonté (contraction réflexe possible). Ils mobilisent en particulier le système squelettique. Solidaires du squelette, ils représentent environ 43% du poids du corps. On compte plus de 600 muscles squelettiques différents. Ils peuvent se contracter rapidement mais se fatiguent facilement. Leur couleur rouge provient du pigment appelé la myoglobine. Le tissu musculaire squelettique est formé de cellules très allongées, cylindriques et multi-nucléées ;
- Les **muscles lisses** : ce sont des muscles non striés qui échappent à l'influence de la volonté. Ils sont localisés dans les viscères du tube digestif, du système urinaire, du système respiratoire, de l'appareil reproducteur, de la peau et de l'appareil circulatoire. Contractions lentes et continues, ils ne se fatiguent pas. À la différence des muscles striés, ils sont pâles et fins. Le tissu musculaire lisse est formé de cellules fusiformes et mononucléées qui forment des feuillets ;
- Les **muscles mixtes** : le muscle cardiaque et les muscles de l'ouïe. Ce sont des muscles striés, mais indépendants de l'influence de la volonté. Ils possèdent une activité motrice ininterrompue et automatique. [1]

Au repos le muscle est responsable du quart de la dépense de fond de l'organisme. Celle-ci peut être multipliée par 15 ou 20 lors d'un exercice maximal.

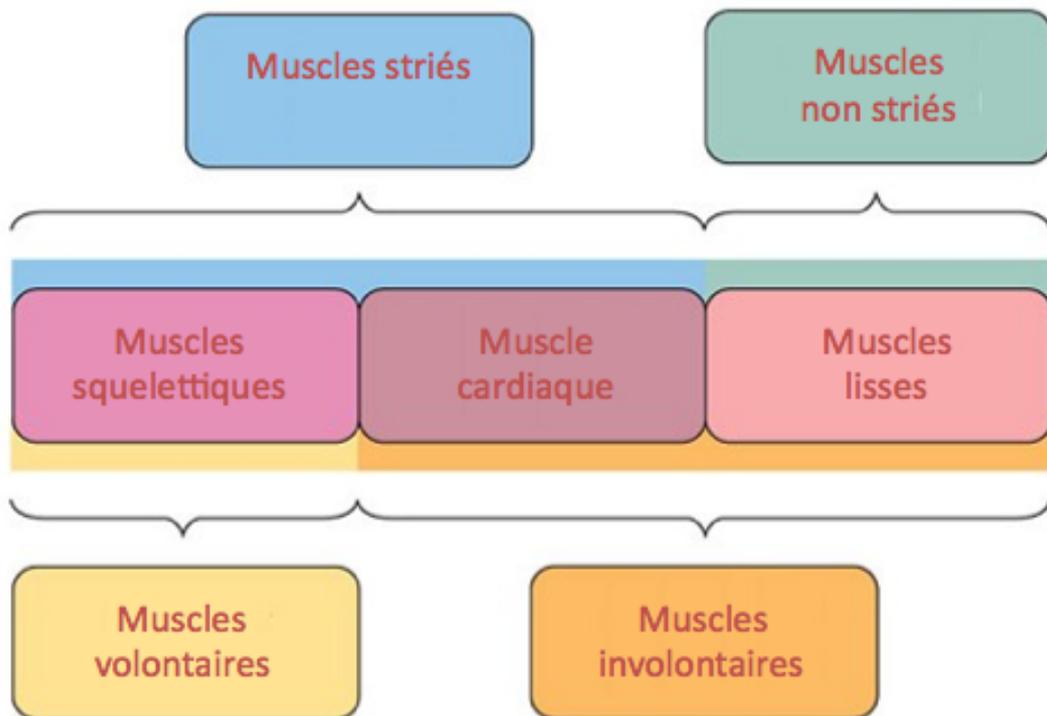


Figure 1 : les différents types de muscles
 (D'après (en ligne), <https://slideplayer.fr/slide/2730695/>)

(a) *Fonctions principales des muscles*

Les muscles dans leur ensemble exercent quatre fonctions principales :

Premièrement, ils assurent la **production des mouvements** du corps et le **déplacement** des substances de l'organisme. En mobilisant le squelette, les muscles striés squelettiques permettent de marcher, de courir, de parler ou encore de manipuler les objets qui nous entourent. Ils sont également nécessaires à l'expression de nos sentiments ou de nos émotions, notamment grâce à la contraction des muscles faciaux qui permettent de donner des expressions au visage. De plus ils ont un rôle dans le péristaltisme intestinal avec la propulsion de la nourriture, ainsi qu'au niveau des sphincters de l'estomac et de la vessie avec la présence des muscles circulaires.

Une seconde fonction est le **maintien postural**. Bien que le travail des muscles soit alors rarement conscient, leur action est quasi permanente et nous permet de rester debout ou de maintenir une position en équilibre.

Les muscles permettent aussi de **stabiliser nos articulations** par le travail de traction qu'ils exercent respectivement sur les os. Leur rôle est d'autant plus important lorsque les articulations ne sont pas complémentaires.

Enfin, ils participent à la **thermorégulation corporelle**. En effet, la contraction musculaire entraîne une perte d'énergie sous forme de chaleur. Ils participent également au mécanisme de frisson qui à l'inverse permet d'augmenter la température corporelle. [2] [3]

(b) Caractéristiques fonctionnelles des muscles

Le tissu musculaire strié squelettique est un tissu très particulier du corps humain, possédant des caractéristiques qui lui permettent d'exercer ses fonctions. Il est excitable, contractile, extensible et élastique.

- **L'excitabilité** : c'est la capacité de capter des signaux électriques et d'y répondre spécifiquement. Dans le cas des muscles squelettiques le stimulus est d'abord chimique transformé ensuite en stimulus électrique responsable du déclenchement de la contraction qui est une réponse mécanique.
- **La contractilité** : c'est la capacité de se contracter suite à un signal. Cependant la contraction du muscle n'est pas forcément synonyme de son raccourcissement. Un allongement du muscle peut être observé malgré sa contraction si une force extérieure plus importante s'exerce sur lui.
Cette propriété est celle qui différencie le plus le tissu musculaire de tous les autres tissus.
- **L'extensibilité** : c'est la capacité qu'a le muscle à s'étirer sans se déchirer. Les fibres musculaires totalement détendues peuvent être étirées au-delà de leur longueur de repos.
- **L'élasticité** : c'est la capacité du muscle à reprendre forme initiale. Après avoir été déformée sous l'influence d'une force, la structure dite « élastique » reprend sa forme initiale lorsque la force cesse. Les fibres musculaires ont cette capacité de revenir à leur taille de repos après leur raccourcissement.
- **La plasticité** : capacité à modifier sa structure en fonction du type d'effort effectué.
- **Le tonus musculaire** : en dehors de tout mouvement actif, le muscle demeure quand même dans un état de tension [2] [3] [4] [5].

(c) *Structure du muscle squelettique*

(1) Structure macroscopique

Le muscle strié squelettique montre une macroscopie simplifiée. Deux parties le constituent : une partie centrale, ou le corps du muscle, constituée des **fibres musculaires striées squelettiques** et les extrémités qui correspondent aux **tendons**. Ces tendons permettent d'insérer ce muscle au squelette. Cependant tous les muscles ne possèdent pas deux extrémités tendineuses. L'orientation des fibres musculaires et la structure tendineuse permettent de différencier plusieurs types de muscles (**figure 2**) :

- Les **muscles à faisceaux parallèles** ou **muscles fusiformes** (exemple : le biceps brachial) : les fibres convergent vers le tendon parallèlement à son axe. Elles s'étendent sur toute la longueur du muscle. La force qu'elles exercent est orientée dans l'axe du tendon. Les tendons plats sont présents au niveau des deux extrémités et présentent des dimensions similaires. Ce type de muscle favorise la vitesse de contraction.
- Les **muscles à faisceaux convergents** (exemple : le grand pectoral) : les fibres musculaires partent de plusieurs points d'insertion et convergent pour rejoindre un seul tendon. L'orientation de la force produite par le muscle est la résultante de l'action de ses différents faisceaux. Si certains faisceaux se contractent de manière isolée, la direction de la force produite varie.
- Les **muscles à faisceaux pennés** (exemple : le vaste latéral) : se caractérisent par des fibres très courtes et un tendon qui s'étend sur toute la longueur du muscle. Elles s'insèrent sur les expansions du tendon et sont orientées obliquement par rapport à son axe. L'angle formé entre les faisceaux et le tendon est appelé angle de pennation. C'est dans cette direction que la force est exercée par les fibres. Cette architecture favorise le développement de la force musculaire et la production de mouvements variés.
- Les **muscles triangulaires** : faisceaux larges et étalés qui se regroupent en direction du fin tendon central, ces muscles présentent une forme triangulaire caractéristique.
- Les **muscles fusiformes** présentent des faisceaux quasiment parallèles qui se rejoignent sur des tendons plats.

- Les **muscles à faisceaux circulaires** (exemple : les muscles orbiculaires de la bouche) présentent des faisceaux circulaires dont les extrémités se joignent au niveau du tendon unique formant une boucle fermée [1] [5] [6].

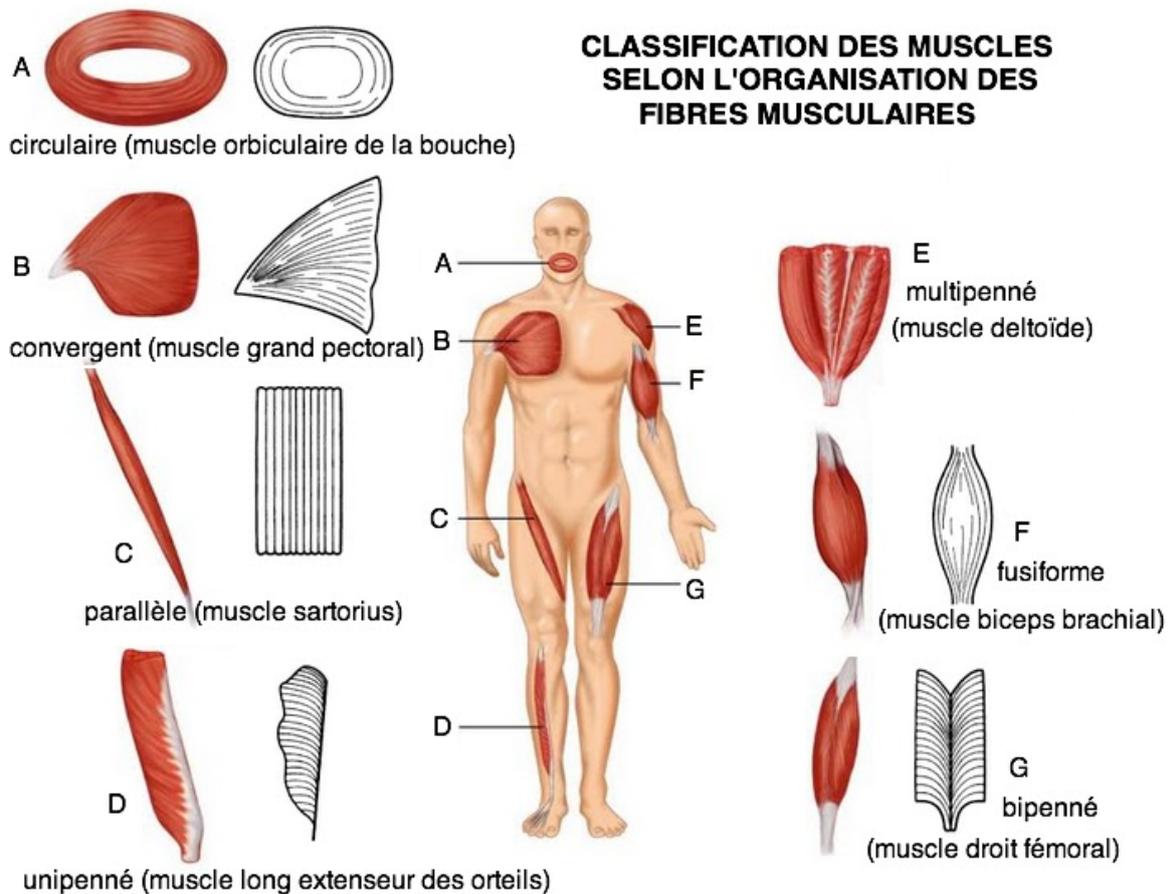


Figure 2 : Classification des muscles selon l'organisation des fibres musculaires

(D'après (en ligne), <https://4.bp.blogspot.com/-blIZH6CKmyo/WAKdF1ZTW3I/AAAAAAAAASg4/D0-FN3JhG2Q8oYMGFosJ5NfkayhGfpqrgCLcB/s1600/muscles%2Bstrie%25CC%2581s%2Bclassification.png>)

(a) Organisation générale du muscle

Les muscles striés squelettiques, observés sur des coupes transversales, montrent une organisation à trois étages, chacun étant séparé de l'autre par un tissu conjonctif de soutien.

Le muscle dans son ensemble est délimité par l'**épimysium**. L'épimysium ancre le tissu musculaire aux tendons à chaque extrémité du muscle, il protège les muscles du frottement et englobe également de multiples faisceaux, contenant eux-mêmes 10 à 100 fibres

musculaires. Ces faisceaux ou fascicules sont délimités par le **périmysium** qui permet le passage des nerfs et de la circulation sanguine. Le périmysium est lui-même constitué par les **fibres musculaires** séparées les unes des autres par l'**endomysium** (figure 3) [2] [3] [5].

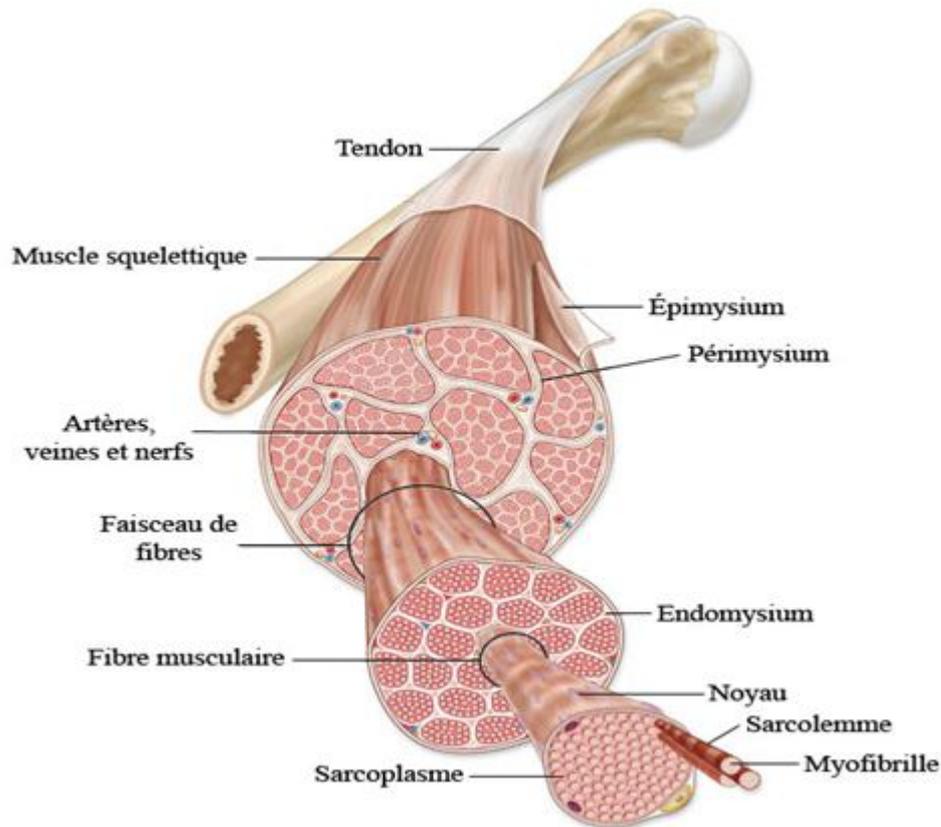


Figure 3 : Enveloppes, attaches et vascularisation d'un muscle squelettique

(b) *Composition chimique*

L'**eau** constitue 75 à 80% de la masse des muscles. Elle est présente à l'intérieur de la cellule et dans le tissu interstitiel.

Les **protéines** sont à classer en trois catégories et constituent 20% de la masse totale :

- la myoglobine : pigment rouge qui emmagasine de l'O²
- la myosine : filament épais qui permet la contraction
- l'actine : filament fin qui permet également la contraction

Le tissu musculaire contient des **éléments minéraux, des sels inorganiques, des phosphates, de l'urée, des enzymes** de l'ordre de 5%.

(c) *Attaches du muscle*

La plupart des muscles recouvrent des articulations et s'attachent à des os. Il existe deux attaches par muscle au minimum. On appelle « **insertion** » la fixation sur l'os mobile et « **origine** » la fixation sur l'os fixe ou le moins mobile.

Les attaches peuvent être **indirectes**, les plus nombreuses, dans ce cas l'enveloppe de tissu conjonctif du muscle se joint à un tendon cylindrique ou à une aponévrose plate et large. Ou alors **directes**, l'épimysium du muscle est soudé au périoste de l'os ou au périchondre du cartilage [1] [2] [3].

(d) *Annexes*

Les muscles ne sont pas des éléments isolés. Un certain nombre d'annexes leur permettent de fonctionner en bonne harmonie.

- Le **fascia musculaire** : c'est une formation conjonctive dense qui entoure un muscle. Il est au contact de l'épimysium et contient des fibres élastiques et des faisceaux de fibres de collagène. En se prolongeant avec le périoste ou le périchondre, il permet de renforcer les insertions et donc d'améliorer l'efficacité de la contraction musculaire. Il délimite ce qu'on appelle des **loges musculaires**.
- Le **septum intermusculaire** : c'est une cloison conjonctive qui sépare les groupes musculaires.
- Les **membranes interosseuses** : ce sont les septums tendus entre des os.
- La **bourse synoviale** : ce sac conjonctif est rempli d'un liquide appelé **synovie**. Il permet de faciliter le glissement d'un muscle contre un os, un autre muscle ou une articulaire.
- Les **gaines des tendons** : elles sont de deux sortes (**figure 4**).
 - Les gaines fibreuses, en forme d'arc, entourent le tendon et sont fixées à l'os. Elles constituent avec l'os ce qu'on appelle le **canal ostéo-fibreux**, dans lequel le tendon, entouré de sa gaine synoviale, glisse.
 - Les gaines synoviales entourent certains tendons et facilitent leurs glissements dans le canal ostéo-fibreux. Elles sont constituées de deux lames séreuses qui délimitent une cavité virtuelle remplie de liquide synovial et de culs-de-sac au niveau de la réflexion de ces deux lames [5] [6].

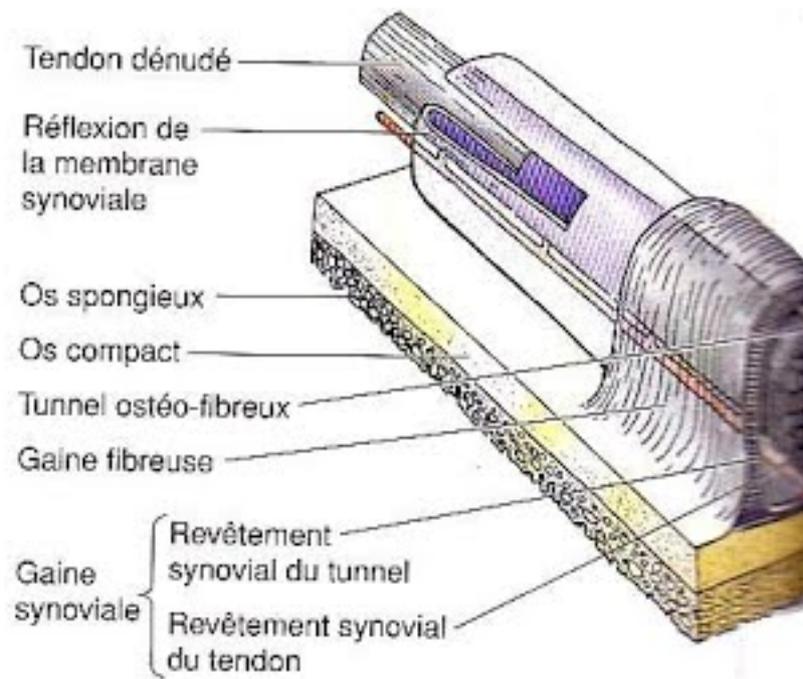


Figure 4 : Les différentes gaines tendineuses

(D'après (en ligne), Patient travailleur, tendinite et ténosynovite)

(e) *Vascularisation des muscles*

Assurée par des artères et des veines, la vascularisation est essentielle au fonctionnement musculaire.

Les artères fournissent au tissu musculaire les **nutriments** et l'**oxygène** nécessaires à son fonctionnement. Les veines suivent le chemin inverse de celui des artères. La circulation de retour débarrasse le muscle des déchets provenant du travail musculaire comme l'**acide lactique** ou le **dioxyde de carbone**. L'accumulation de l'acide lactique nuit à la poursuite de l'effort musculaire.

Les fibres musculaires sont entourées d'un réseau de capillaire à maille rectangulaire. Autour de chaque fibre en moyenne 4-6 capillaires sont présents. Cependant la densité par mm² de ces capillaires varie avec le type de la fibre et par conséquent avec la taille et le métabolisme de la fibre. Cette densité est importante pour les fibres de petite taille à **métabolisme aérobie** c'est à dire pour les fibres à **contraction lente**. Elle diminue pour atteindre son minimum pour les fibres de grande taille à **métabolisme anaérobie** que sont les fibres à **contraction rapide**. [7]

Habituellement les vaisseaux sanguins et les neurofibres pénètrent le muscle en son milieu puis se divisent en de nombreuses branches dans le perymysium avant de rejoindre l'endomysium.

Le massage et les exercices de type course favorisent le retour sanguin mais aussi le débit artériel qui peut être multiplié par 50.

Des vaisseaux lymphatiques sont également présents dans les muscles. Ils suivent les artères et les veines puis rejoignent les nœuds lymphatiques profonds.

(f) *Innervation des muscles*

Le ventre du muscle est innervé de plusieurs manières différentes (**figure 5**) :

- **L'innervation motrice** : va conduire l'influx nerveux en direction des muscles afin qu'ils effectuent le mouvement commandé par le cerveau. Elle se fait au niveau de la fibre musculaire par la **plaque motrice**, dont le neurotransmetteur est l'**acétylcholine** (Ach). L'**unité motrice** est constituée par un motoneurone, son axone, son arborisation terminale et plusieurs fibres musculaires. Le nombre de fibres musculaires branchées sur un motoneurone constitue le « taux d'innervation ». Pour les petits muscles de précision (exemple : les muscles moteurs de l'œil), il est de 1/10. Pour les muscles puissants (exemple : le muscle Triceps sural), il est de 1/1000. Les fibres musculaires qui composent une même unité motrice ne sont pas regroupées mais dispersées à différents endroits du muscle. Leur stimulation ne provoque donc qu'une faible contraction.
- **L'innervation sensitive** : est assurée par les fuseaux neuro - musculaires, petites fibres musculaires spécialisées, réparties dans la masse du muscle. Équipées de terminaisons nerveuses sensibles, elles enregistrent les variations de longueur et de tonus du muscle. Elles se comportent comme des capteurs de tension ou des jauges d'extensométrie. Ces informations intrinsèques sur l'état physique du muscle utilisent les voies de la sensibilité proprioceptive inconsciente qui montent dans la moelle jusqu'au cervelet.
- **Innervation vaso-motrice** est destinée aux vaisseaux musculaires. Elle est réalisée par des fibres amyélinisées du système sympathique. [7]

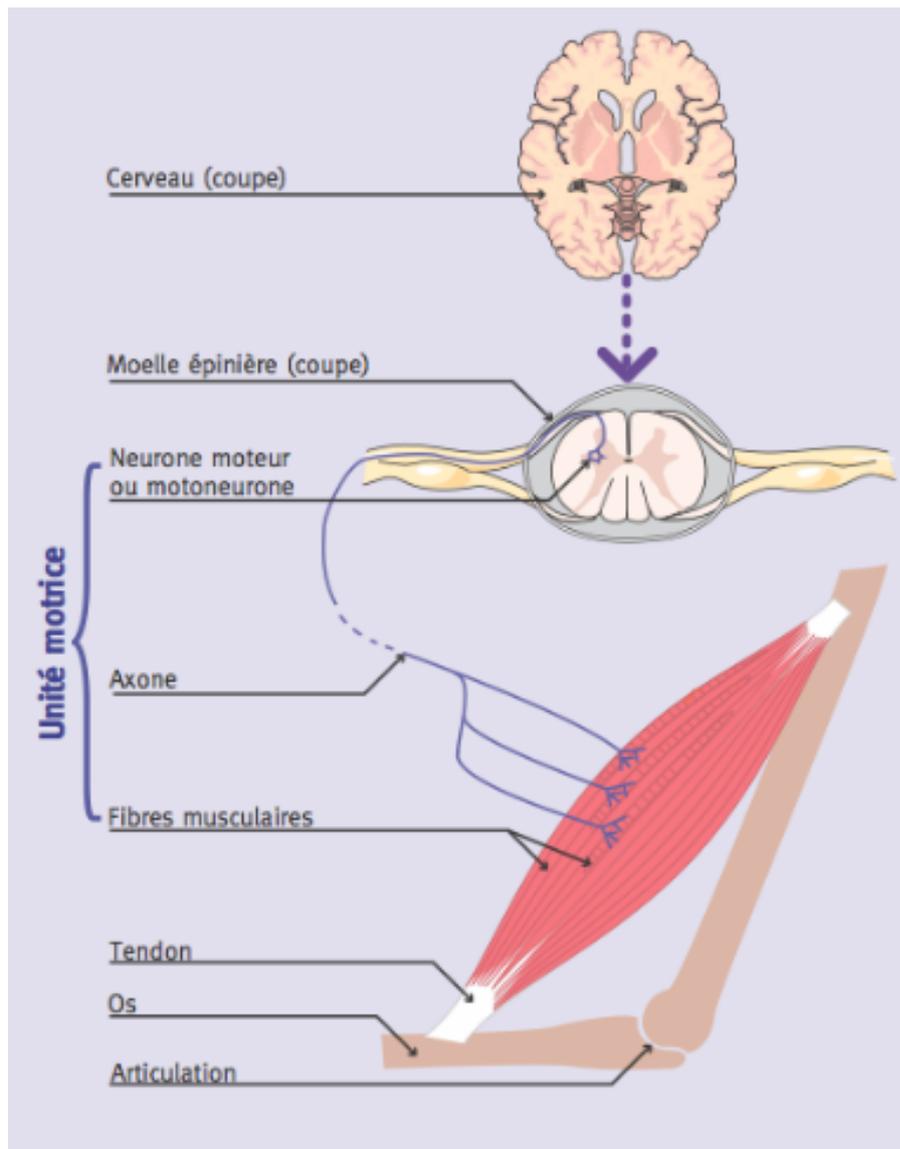


Figure 5 : Le système nerveux

(D'après (en ligne), institut de myologie, contrôle de l'activité musculaire par le système nerveux)

(2) Structure microscopique et types de fibres

Le tissu musculaire est constitué par des **cellules musculaires ou myocytes**, cellules spécialisées dans la contraction, ce qui permet la locomotion ainsi que les mouvements volontaires et involontaires. Leur membrane est appelée **sarcolemme** et est entourée d'endomysium. La propriété contractile de ces cellules est en relation avec la présence dans le cytoplasme (= **sarcoplasme**) des myocytes de filaments protéiques contractiles, les myofilaments groupés en **myofibrilles**.

(a) *Sarcolemme*

Le **sarcolemme** est une membrane cytoplasmique de la cellule qui est très élastique et résistant. Il s'invagine de façon tubulaire dans le cytoplasme, formant des canaux étroits transverses : le **système T**. Interconnectés au plus près des myofibrilles, ils permettent de transmettre rapidement les impulsions nerveuses reçues par le sarcolemme. Ils constituent également une voie d'échange pour les substances entrant et quittant la fibre musculaire.

(b) *Sarcoplasme*

Le **sarcoplasme** est le cytoplasme de la cellule, il contient des protéines, dont la **myoglobine**, qui permet la fixation de l'oxygène. On retrouve également des minéraux, du glycogène (en quantité beaucoup plus importante que dans la plupart des autres cellules) et des gouttelettes de lipides baignant dans du liquide.

Il renferme de nombreuses inclusions dont les **myofibrilles**. Les organites essentiels au bon fonctionnement de la cellule sont :

- *Le réticulum sarcoplasmique* : lieu de stockage du calcium, élément essentiel à la contraction. C'est un réticulum lisse disposé en tubules longitudinaux (ou **système L**) dont l'extrémité est dilatée en regard de la jonction disque A-disque I. Les tubules sont reliés les uns aux autres par des tubules transversaux en regard des stries Z. Le système T est un ensemble de canalicules transversaux qui sont des invaginations tubulaires de la membrane plasmique entourant les myofibrilles aux jonctions bande A- bande I. A ce niveau, le système T, associé aux extrémités dilatées du réticulum, forme les **triades (figure 6)**. Cette entité structurelle et fonctionnelle permet à l'influx nerveux de se propager de la surface du tissu musculaire jusqu'aux myofibrilles.
- *Les mitochondries* : très nombreuses entre les myofibrilles et sous la membrane plasmique, elles sont parfois appelées **sarcosomes**. Elles assurent l'énergie nécessaire à la cellule.
- *Les appareils de Golgi* : ils sont peu développés.
- *Le glycogène* : relativement abondant, il apparaît sous la forme de particules dispersées dans les bandes de sarcoplasme.

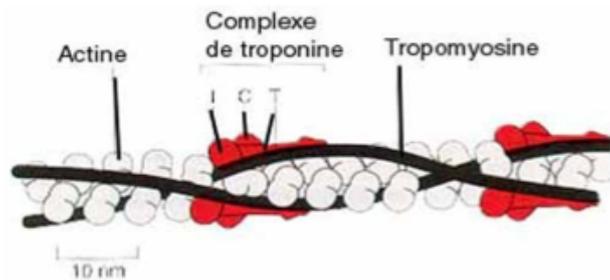


Figure 6 : Organisation réticulum sarcoplasmique et système T autour des myofibrilles [11]
 (D'après POIRIER J, RIBADEAU-DUMAS JL, CATALA M, GHERARDI RK, BERNAUDIN JF. *La contractilité cellulaire. Histologie moléculaire. 5e éd. Paris : Masson ; 1997.*)

(c) Organisation des myofibrilles

Ce sont les éléments contractiles de la cellule. Elles sont responsables de l'aspect strié du muscle. Chaque fibre ou cellule musculaire contient des centaines voire des milliers de **myofibrilles**. Ce sont des filaments de diamètre de 0,2 à 2 μm et de longueur équivalente à la fibre musculaire, divisées en sous-unités plus petites: les **sarcomères**.

Les myofibrilles sont constituées de deux types de microfilaments :

- les filaments fins qui contiennent de l'**actine**
- les filaments épais qui contiennent de la **myosine**

Ces deux protéines sont essentielles au fonctionnement de la **contraction des sarcomères**. On dénombre environ 3000 filaments d'actine et 1500 filaments de myosine dans chaque myofibrille.

- **Des filaments fins** : composés de l'enchaînement de plusieurs molécules d'actine globulaire. Deux chaînes de ce type sont torsadées pour former un filament d'**actine** (**figure 7**). Une des extrémités est fixée à la strie Z et l'autre s'étend au milieu du sarcomère entre les filaments de myosine. Sur ce filament sont fixées d'autres protéines. La **tropomyosine**, molécule filiforme, s'enroule autour du filament d'actine dans la rainure formée par les deux filaments d'actine. La **troponine**, quant à elle, vient se fixer tous les 40 nm, à la fois sur les filaments d'actine et de **propomyosine**. Elle est formée de trois sous-unités : la **TN-T** qui permet de se fixer à la tropomyosine, la **TN-I** qui inhibe la liaison actine-myosine au repos (inhibition levée lorsque TN-C est saturée en calcium)

et la **nébuline**, localisée dans la bande I, grosse protéine qui permet de réguler la longueur du filament d'actine. C'est une **actin-binding protein** (ABP).

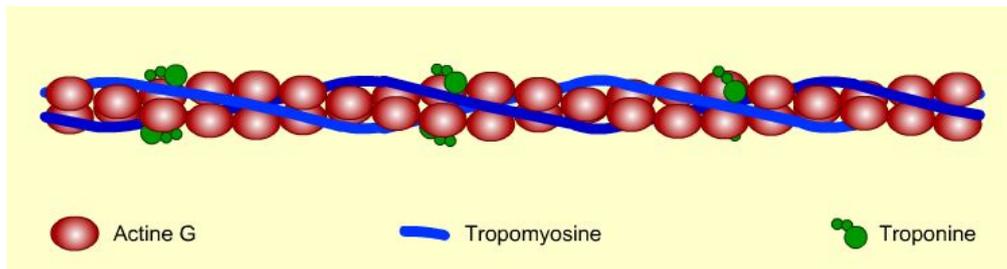


Figure 7 : Molécule d'actine

(D'après (en ligne), *Muscles et entraînement, structure des filaments fins*)

- Des **filaments épais** : la **myosine**. Ils sont constitués par l'association de 200 à 300 molécules de myosine native. Un filament est composé de deux protéines entrelacées. Chaque molécule a un poids moléculaire d'environ 470 000 daltons et présente une longueur de 140 à 170 nm. Elles sont formées d'une extrémité globuleuse, la « **tête de myosine** », qui est le siège de l'activité ATPasique (ATP = adénosine triphosphate), et d'une partie cervicale qui s'articule avec une partie caudale. C'est la mobilité de la tête de myosine qui permet sa fixation à l'actine lors de la contraction musculaire (**figure 8**).

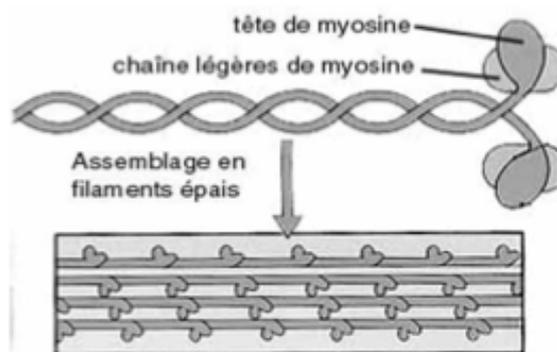


Figure 8 : Molécule de myosine

(D'après Stevens A, Lowe J, Copin H (trad.), Collet A (trad.), Validire P (trad.) *Cellules contractiles. Histologie. Paris : Éditions Pradel, 1993.*)

Le fonctionnement du muscle squelettique dépend de l'alignement précis des myofilaments d'actine et de myosine dans la myofibrille. Ceci est permis grâce à des **protéines accessoires** qui lient entre eux les filaments et leur confèrent l'élasticité nécessaire leur permettant de retrouver leur forme initiale après la contraction.

Liée à la myosine, la **titine** (ou connectine) permet de stabiliser longitudinalement les filaments épais. Elle part de la strie Z et s'étend jusqu'à la ligne M. C'est une protéine élastique qui participe à l'assemblage du sarcomère et qui régule son élasticité.

Les protéines de transmission (titine et **nébuline**) permettent le transfert des forces mécaniques à l'ensemble des éléments du muscle ainsi que le maintien de la structure hélicoïdale. Il existe également la **myosésine**, qui fixe la myosine dans la région de la strie M, ou la **desmine** qui lie entre elles les myofibrilles et à la membrane plasmique, puis enfin la **protéine C** qui lie la myosine. [12]

(d) *Sarcomère*

Chaque myofibrille est composée d'une chaîne d'unités contractiles répétitives : **les sarcomères (figure 9)**. Un sarcomère est la plus petite unité de contraction du muscle. **L'actine et la myosine** en glissant l'une contre l'autre vont réduire la taille du sarcomère. On parle alors du « **pont actine-myosine** ».

Ces sarcomères sont constitués de bandes sombres ou **bandes A** alternée de bandes claires ou **bande I**. Chaque bande A est composée de deux **zones de chevauchement** des myofilaments et d'une **zone H**, légèrement plus claire qui la scinde en deux.

Aux extrémités d'un sarcomère se situent les **disques Z**, ils constituent les limites du sarcomère, ils traversent chaque zone I.

Un sarcomère est donc formé d'une demie-bande I, suivie d'une bande A puis d'une autre demie-bande I. Le tout situé entre deux stries Z. [7] [9] [10]

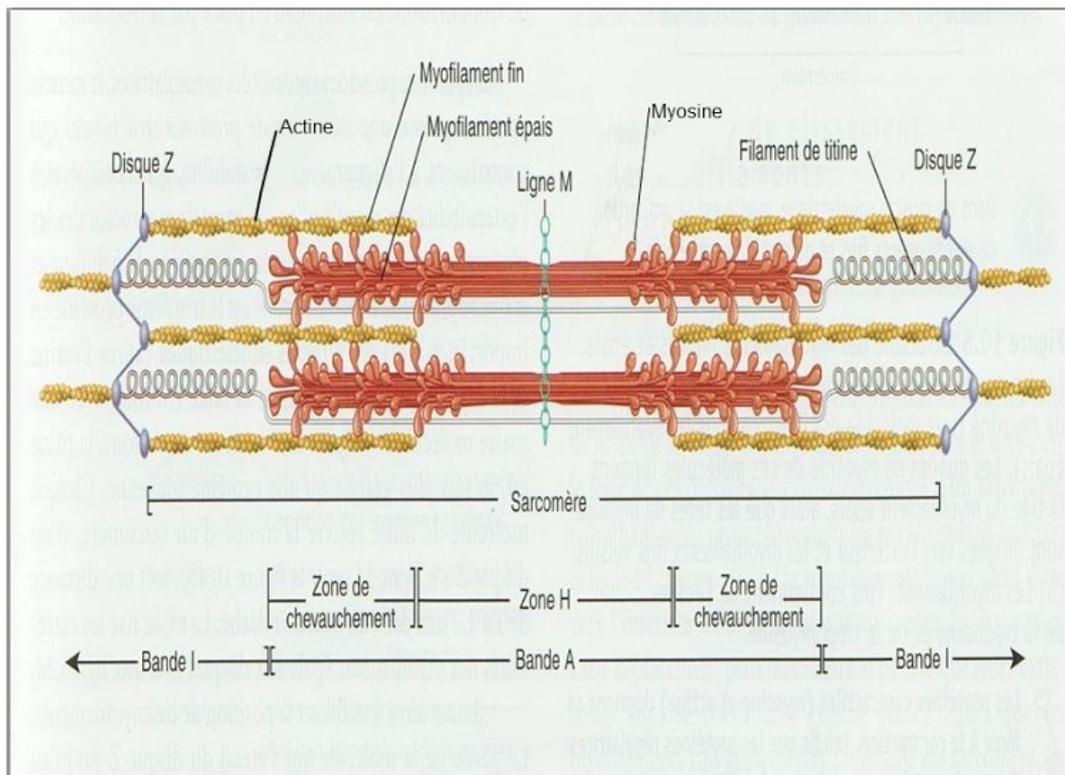


Figure 9 : Structure d'un sarcomère

(D'après « détails du sarcomère », Tortora et Derrickson, 2009)

(d) **Mécanisme de la contraction musculaire**

(1) Contraction d'une fibre musculaire squelettique lors de l'exercice

La contraction correspond au glissement des **filaments d'actine** par rapport à ceux de **myosine**. Les deux stries Z se rapprochent alors des extrémités des disques sombres entraînant la disparition des disques clairs. La zone H n'est plus identifiable en raison de l'arrivée des filaments d'actine à son niveau lui donnant le même aspect que la bande A. [4] [8] [9] [10] [11]

(a) *Stimulation motrice*

Une fibre musculaire se contracte lorsqu'elle est stimulée par une terminaison nerveuse. Un **signal électrique** se propage alors sur son sarcolemme.

Chaque fibre musculaire reçoit un filet nerveux qui commande ses contractions. Le contact entre la fibre nerveuse et la fibre musculaire s'effectue en une zone de la fibre musculaire qui s'appelle la **plaque motrice**.

Les cellules des muscles squelettiques sont stimulées par des neurones moteurs dont les longs prolongements (les axones) venant de l'encéphale et de la moelle épinière se rendent, regroupés en nerfs, jusqu'aux muscles qu'ils desservent. A l'endroit où il pénètre dans le muscle, l'axone se ramifie en plusieurs terminaisons axonales dont chacune établit une terminaison neuromusculaire avec une seule fibre.

Quand le stimulus arrive au niveau du bouton synaptique, cela déclenche la sécrétion d'un neurotransmetteur, l'**acétylcholine** (ACh). Libérée dans la fente synaptique, elle se fixe alors sur des récepteurs spécifiques présents sur le sarcolemme. Quand la quantité d'ACh est suffisante elle déclenche l'ouverture de canaux ioniques membranaires permettant l'entrée du sodium dans la cellule, entraînant alors une dépolarisation membranaire à l'origine du **potentiel d'action** (PA).

(b) *Théorie des filaments glissants d'Huxley [13]*

La contraction musculaire se traduit par un **raccourcissement** des "fibres" musculaires qui est visible uniquement au niveau des bandes I alors que les disques sombres gardent une longueur constante.

Lors de la contraction musculaire les myofilaments d'actine glissent entre les myofilaments de myosine. Ce mouvement est commandé par les têtes des molécules de myosine qui se lient puis se détachent de la molécule d'actine et "marchent" ainsi sur les filaments d'actine.

Le déplacement de la myosine sur l'actine est possible grâce à l'**hydrolyse de molécules d'ATP**.

La **régulation** de la contraction musculaire est réalisée par les molécules associées à la molécule d'actine dont la **tropomyosine** qui au repos masque le site de la liaison actine – myosine. La libération de ce site est sous l'influence des **ions Ca²⁺** (calcium) initialement contenus dans les citernes du réticulum sarcoplasmique. L'**influx nerveux** provoque une dépolarisation de la membrane plasmique qui s'étend le long des membranes du système T puis est transférée au réticulum par l'intermédiaire des triades. La dépolarisation du réticulum provoque la libération du Ca²⁺ qui active la contraction musculaire.

(c) *Fin de la contraction, le relâchement*

Tant que la concentration en Ca^{2+} est suffisante jusqu'à 50 secousses musculaires peuvent se produire selon la fréquence des potentiels d'action. Le Ca^{2+} est ensuite repompé vers le réticulum sarcoplasmique via des transporteurs actifs qui nécessitent également de l'ATP. Lorsque la concentration intracellulaire de calcium baisse, l'activité ATPase de la myosine cesse et la sous-unité TN-I de la troponine reprend son activité inhibitrice rompant les ponts actine-myosine. Les filaments fins et les filaments de myosine récupèrent leur conformation de repos. [2] [3] [5] [7] [8] [9]

(2) Source d'énergie de la contraction musculaire [14] [15]

(a) *L'ATP*

Pour qu'un muscle puisse se contracter et créer le mouvement, l'organisme a besoin d'énergie. Cette énergie provient principalement de la dégradation des aliments mais ne peut pas être utilisée comme telle. La seule source d'énergie que peut utiliser le muscle provient d'une molécule appelée « **adénosine triphosphate** » (**ATP**). Cet ATP est l'élément indispensable à la contraction musculaire et constitue le "réservoir" d'énergie, dans lequel les cellules puisent pour réaliser l'ensemble de leurs activités. Mais les concentrations d'ATP sont faibles et il est donc nécessaire de renouveler son stock au fur et à mesure qu'il se vide. Lorsque la dernière liaison phosphate est rompue, entre 7 à 12 kilocalories sont libérées et peuvent être immédiatement utilisées pour la contraction musculaire. Trois processus vont intervenir pour assurer en permanence la resynthèse de l'ATP : un processus **anaérobie alactique**, un processus **anaérobie lactique** et un processus **aérobie**.

(b) *Les trois filières de production de l'ATP*

(i) *Filière anaérobie alactique : voie du phosphagène*

Ce processus correspond au mécanisme de synthèse d'ATP en l'absence d'oxygène (**anaérobie**) et sans production d'acide lactique (**alactique**). Les cellules musculaires disposent de faibles réserves en ATP mais possèdent de l'**adénosine diphosphate (ADP)** et de la **phosphocréatine (PC)**. Ces molécules sont capables, en présence de **créatine phosphokinase**, de "transférer" un phosphate inorganique d'une molécule à l'autre selon la réaction :



Cette transphosphorylation est très rapide et met rapidement de nouvelles molécules d'ATP à la disposition de la contraction musculaire. C'est donc la première voie qui va fournir de l'énergie lors d'un exercice d'intensité élevée. Elle permet d'obtenir une grande quantité d'énergie dans un temps très court mais les réserves de phosphocréatine sont faibles. L'épuisement peut être très rapide (15 s) et la reconstitution du stock peut durer entre deux et cinq minutes. C'est le système qui est privilégié lors des **efforts de vitesse**. C'est le plus simple et le plus rapide.

Au cours de la récupération, la créatine-phosphate est reformée à partir de créatine et de phosphate grâce à l'énergie libérée par l'ATP resynthétisé par d'autres voies.

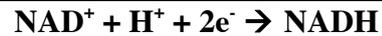
(ii) *Filière anaérobie lactique : glycolyse anaérobie lactique*

Le **métabolisme anaérobie lactique** où l'ATP est fourni par la glycolyse (**figure 10**) des hydrates de carbone provenant du foie et du muscle. La durée d'épuisement de cette voie est également rapide mais peut durer quelques minutes en fonction de l'intensité de l'effort. La restauration des stocks nécessite plusieurs heures, voire deux à trois jours. C'est la forme privilégiée pour les **exercices physiques en résistance**.

Pour être utilisé le glucose est obligé de subir les réactions de la **glycolyse anaérobie**.

L'ensemble de ces réactions ne nécessite pas d'oxygène et aboutit à la formation de deux molécules de **pyruvate** pour une molécule de glucose. Elle permet également la formation de

deux molécules de **NADH** (Hydrure de Nicotinamide Adénine Dinucléotide) qui sont transportées vers la mitochondrie pour fournir de l'ATP :



H^+ = proton

e^- = électron

Lorsque la vitesse de la glycolyse augmente (effort intense), le corps fait appel à la filière anaérobie lactique. Les transporteurs **NAD⁺** ne sont donc pas régénérés assez rapidement par la mitochondrie. Pour répondre à la demande, le NADH va donner directement son atome d'hydrogène au pyruvate qui va se transformer en acide lactique. Le lactate déshydrogénase (**LDH**) catalyse cette réaction. L'acide lactique va se dissocier rapidement en ion lactate et en proton H^+ , ce qui va entraîner de l'acidité au sein du muscle. Un des facteurs limitant la durée de l'exercice à haute intensité est l'accumulation de lactate et de protons H^+ dans les muscles et les liquides de l'organisme. Cette accumulation altère le fonctionnement enzymatique lors de la glycolyse, les échanges d'ions lors de la contraction musculaire et lors de l'influx nerveux.

À l'issue de sa production musculaire le lactate peut atteindre le compartiment sanguin et gagner différents organes :

- le foie où le lactate est transformé en **glucose** au cours du cycle de Cori ;
- le cœur et les muscles où le lactate est oxydé en **pyruvate** par la LDH ;
- le rein où le lactate est transformé en **glucose** au cours de la néoglucogenèse (moins importante qu'au niveau du foie). Le lactate contribue à la fourniture d'énergie *via* la formation de nouvelles molécules de glucose et *via* sa dégradation en présence d'oxygène.

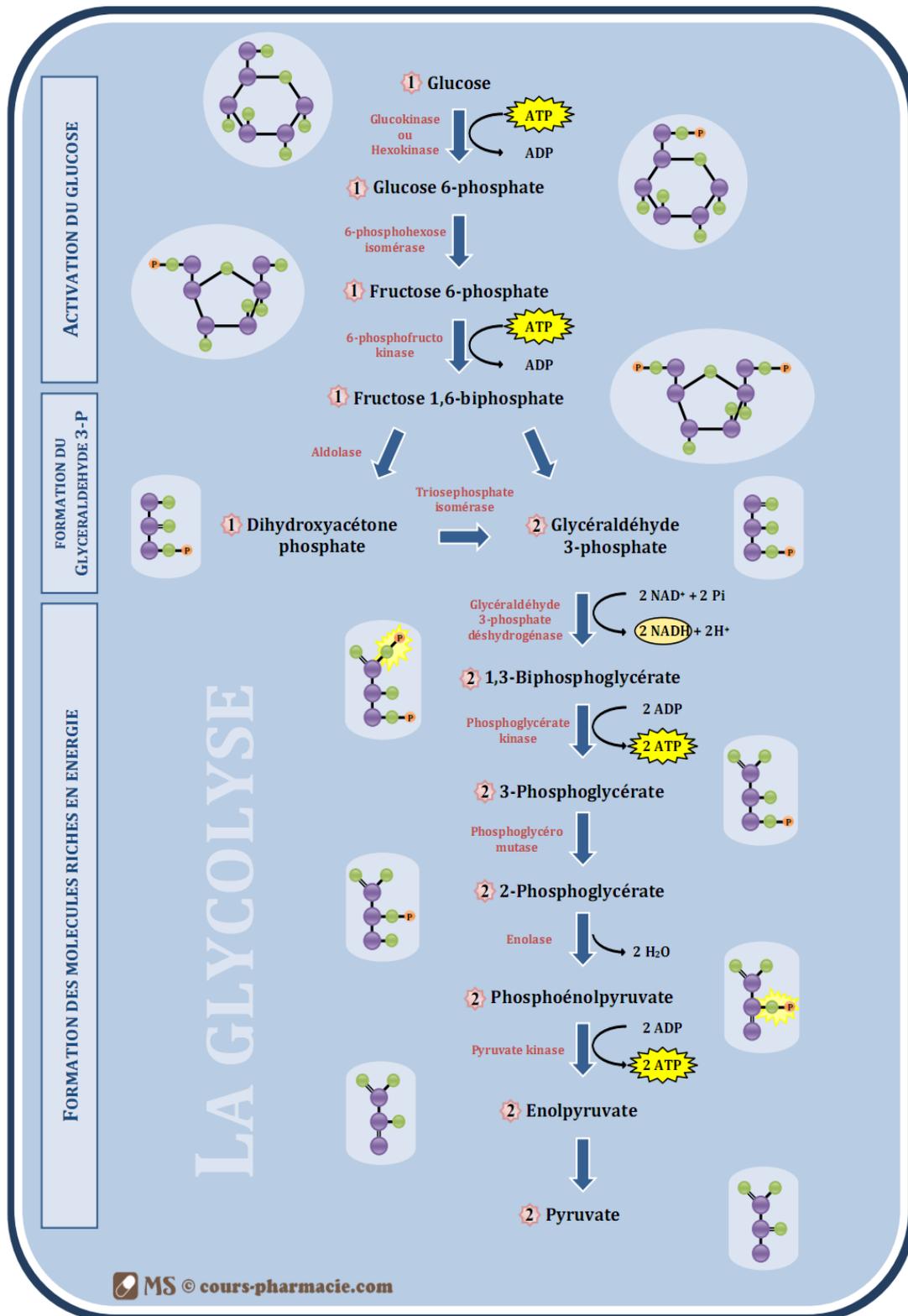


Figure 10 : La glycolyse

(D'après (en ligne), cours-pharmacie.com, métabolisme des glucides)

(iii) Filière aérobie

(a) Glycolyse aérobie

Lorsque la glycolyse est peu sollicitée, les transporteurs NAD^+ sont en quantité suffisante pour transporter tous les protons sous forme de NADH dans la mitochondrie. En présence d'oxygène, l'acide pyruvique s'associe au coenzyme A pour donner l'**acétylcoenzyme A** (acétyl-CoA). Ce dernier est oxydé dans la mitochondrie par un ensemble de réactions – appelé **cycle de Krebs (figure 11)** – qui va libérer du dioxyde de carbone (CO_2) et des atomes d'hydrogène. Les atomes d'hydrogène sont fixés sur des "transporteurs" pour former du NADH , acheminé vers la chaîne respiratoire où seront synthétisés les molécules d'ATP.

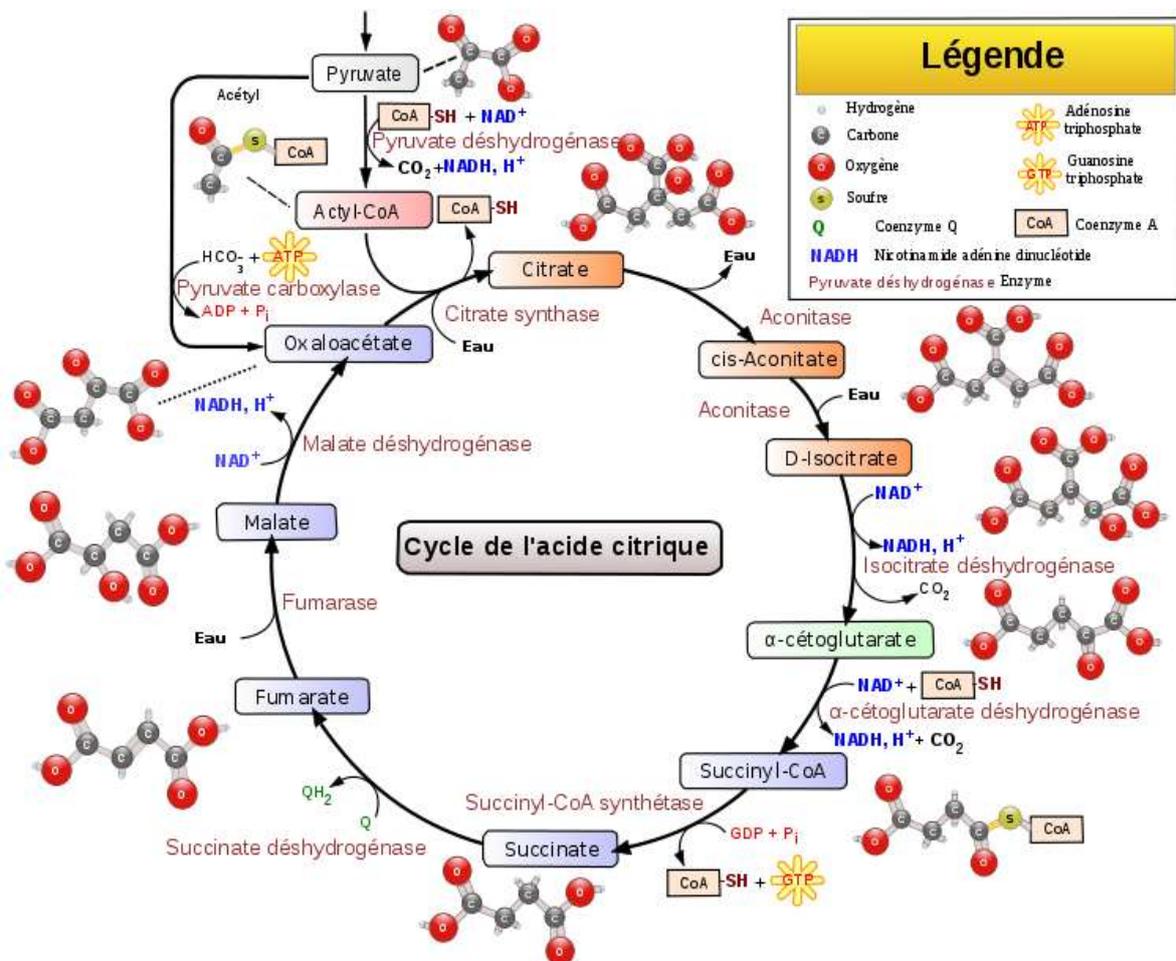


Figure 11 : Le cycle de Krebs [16]

(D'après (en ligne), futura science, le cycle de Krebs)

(b) La lipolyse

Le muscle utilise principalement les **AGL** (Acides Gras Libres), provenant de la dégradation des **triglycérides**. Ces derniers se trouvent initialement dans le plasma, les tissus adipeux et dans les cellules musculaires. La dégradation des triglycérides donne **trois AGL** et une molécule de **glycérol**. Le glycérol est transformé en **glucose** par la voie de la néoglucogenèse et emprunte la voie de la glycolyse. Les AGL sont oxydés (β -oxydation) pour former l'**acétyl-CoA** qui entre à son tour dans le cycle de Krebs. L'entraînement provoque une augmentation du contenu mitochondrial, ce qui permet un apport en énergie plus élevé suite à l'oxydation des acides gras et des glucides. Cette adaptation physiologique est d'une importance cruciale pour les athlètes d'endurance car une plus grande utilisation des graisses atténue l'épuisement des réserves endogènes de glucides. Ceci pourrait théoriquement prolonger la durée d'exercice.

(e) *Phénomène mécanique de la contraction musculaire [17]*

Le fonctionnement du système musculo-tendineux est modélisé par un système d'éléments contractiles (**Composante Contractile CC**) relié en série à un complexe d'éléments élastiques (**Composante Élastique en Série CES**), montés en parallèle à une autre composante élastique (**Composante Élastique en Parallèle CEP**). Ce modèle permet de rendre compte des mécanismes de contraction et d'allongement du système musculo-tendineux. Chaque composante est constituée de tissus différents aux caractéristiques élastiques particulières.

(1) Composante contractile (CC)

La composante contractile est composée de sarcomères. Elle possède :

- une **caractéristique visqueuse** (CV) : résistance au mouvement de protéines d'actine et de myosine
- une **capacité à générer de la force** (GV) : raccourcissement du sarcomère.

Lors de la contraction musculaire, le muscle peut se contracter selon différentes modalités :

- **Contraction isométrique** : la longueur du muscle ne change pas lors de la contraction
- **Contraction isocinétique** : le muscle se contracte en se raccourcissant ou en s'allongeant à vitesse constante
- **Contraction isotonique** : le muscle se contracte en produisant une force constante
- **Contraction concentrique** : le muscle se raccourcit lors de la contraction
- **Contraction excentrique** : le muscle s'allonge alors qu'il se contracte

(2) Composantes élastiques

Les propriétés élastiques du muscle (ou de certaines composantes du muscle) peuvent être caractérisées au travers de la notion de **raideur musculaire** (et son inverse la **compliance**).

On appelle raideur musculaire, le rapport entre la variation de force (ou tension) qu'il faut exercer sur un muscle pour l'allonger et la variation de longueur engendrée par cette variation de force (**figure 12**).

(a) Composante élastique parallèle (CEP)

Cette composante, placée en parallèle par rapport à la composante contractile, présente une résistance à l'allongement du muscle lorsque celui-ci n'est pas contracté. Elle est composée des gaines de tissu conjonctif maintenant les fibres musculaires (enveloppes fibrillaires, aponévroses, fascia).

(b) Composante élastique série (CES)

Placée en série par rapport au générateur de force, cette composante comporte une fraction passive et une fraction active.

- La partie passive est représentée par les tendons ;
- La partie active est située au niveau des ponts actine-myosine.

Lors de la contraction musculaire cette composante subit un allongement lié au raccourcissement des sarcomères. Elle est représentée par les ponts d'actine-myosine, la bande Z des myofibrilles et les tendons.

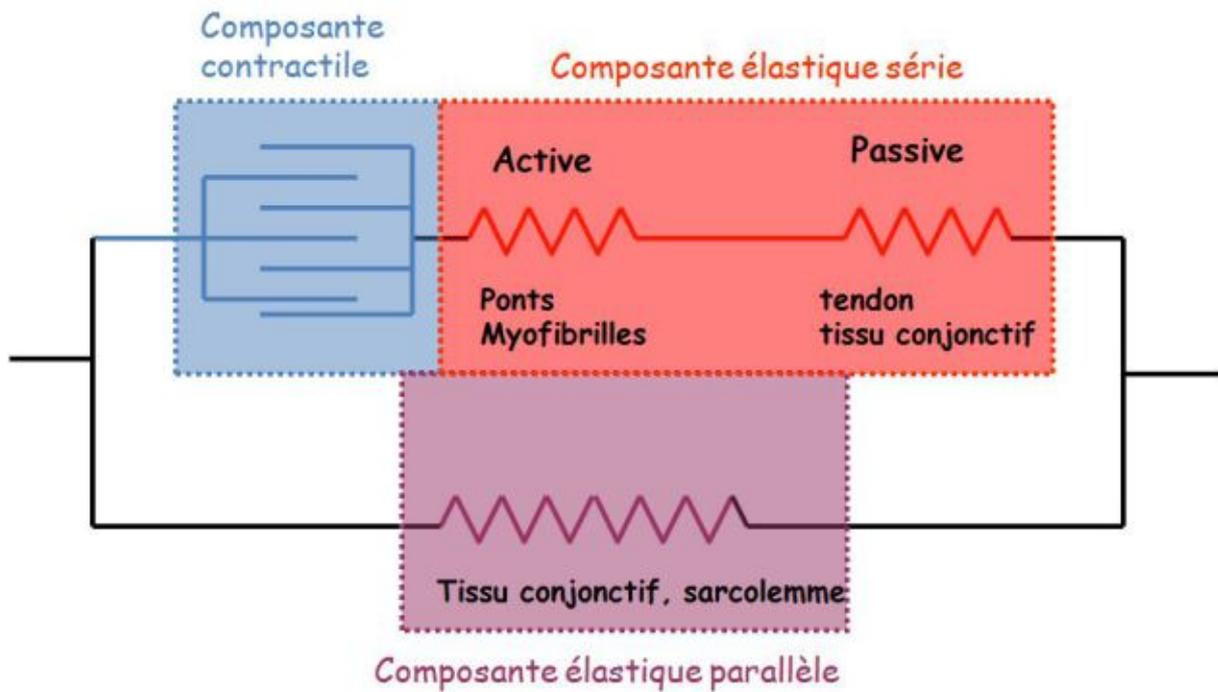


Figure 12 : Modèle mécanique à trois composantes

(D'après (en ligne), ressources unisciel, physiologie des systèmes intégrés)

B. Le système cardio-vasculaire

(a) Anatomie

(1) Généralités

Le système cardio-vasculaire est constitué du **cœur (figure 13)** qui pompe le **sang** et de deux réseaux parallèles (les **artères** et les **veines**) qui le transportent dans tout l'organisme. C'est un système continu et fermé mais non étanche.

Ses fonctions sont essentielles à la vie puisqu'il distribue oxygène et nutriments aux différents organes tout en acheminant les déchets du métabolisme cellulaire vers les systèmes d'épuration (poumons, foie, reins).

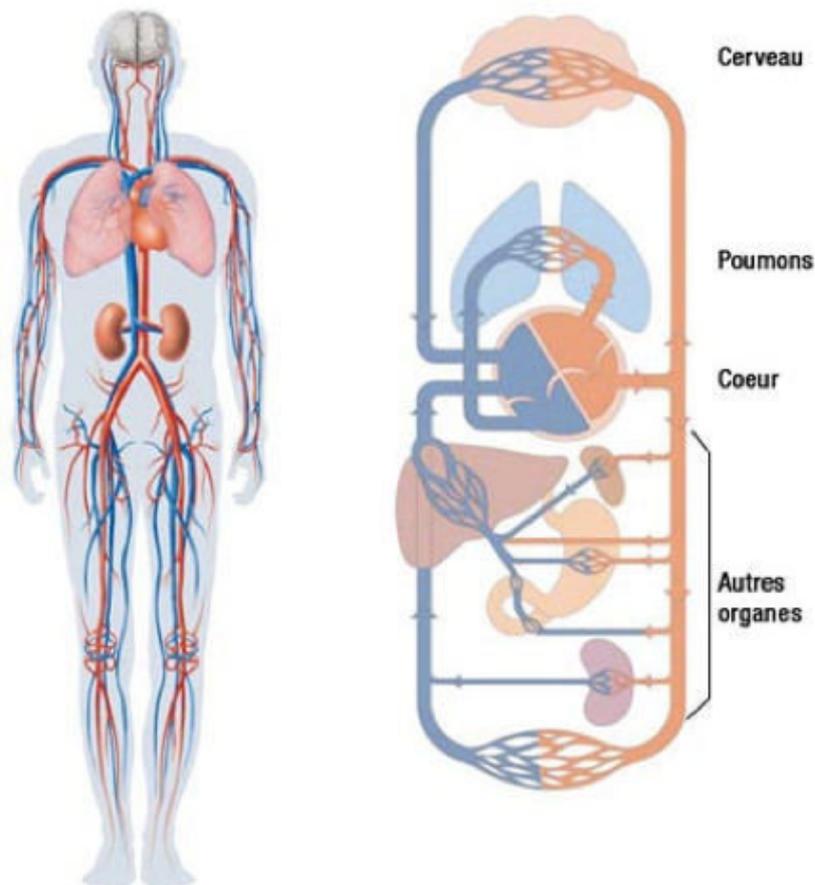


Figure 13 : Schéma général du système cardio-vasculaire chez l'homme

(D'après (en ligne), <http://svtfacile.e-monsite.com/pages/mes-pages/systeme-cardio-vasculaire.html>)

Le cœur se situe dans le **médiastin moyen**. C'est la partie médiane de la cage thoracique délimitée par les deux poumons, le sternum et la colonne vertébrale. Il repose sur le diaphragme dont il suit les mouvements. [18] [19] [20]

C'est un organe de forme conique dont le poids est d'environ 250 grammes (g) chez la femme pour 300 g chez l'homme adulte. Sa longueur est d'environ de 12 à 14 centimètres (cm) avec une largeur de 6 cm d'épaisseur.

C'est un muscle ; il présente deux cavités, le « **cœur droit** » et le « **cœur gauche** » permettant de faire circuler le sang dans le système vasculaire (**figure 14**).

Il est divisé en **4 chambres** appelées **cavités cardiaques** : les *atria* ou **oreillettes** (O) (droite et gauche) en haut, et les **ventricules** (V) (droit et gauche) en bas.

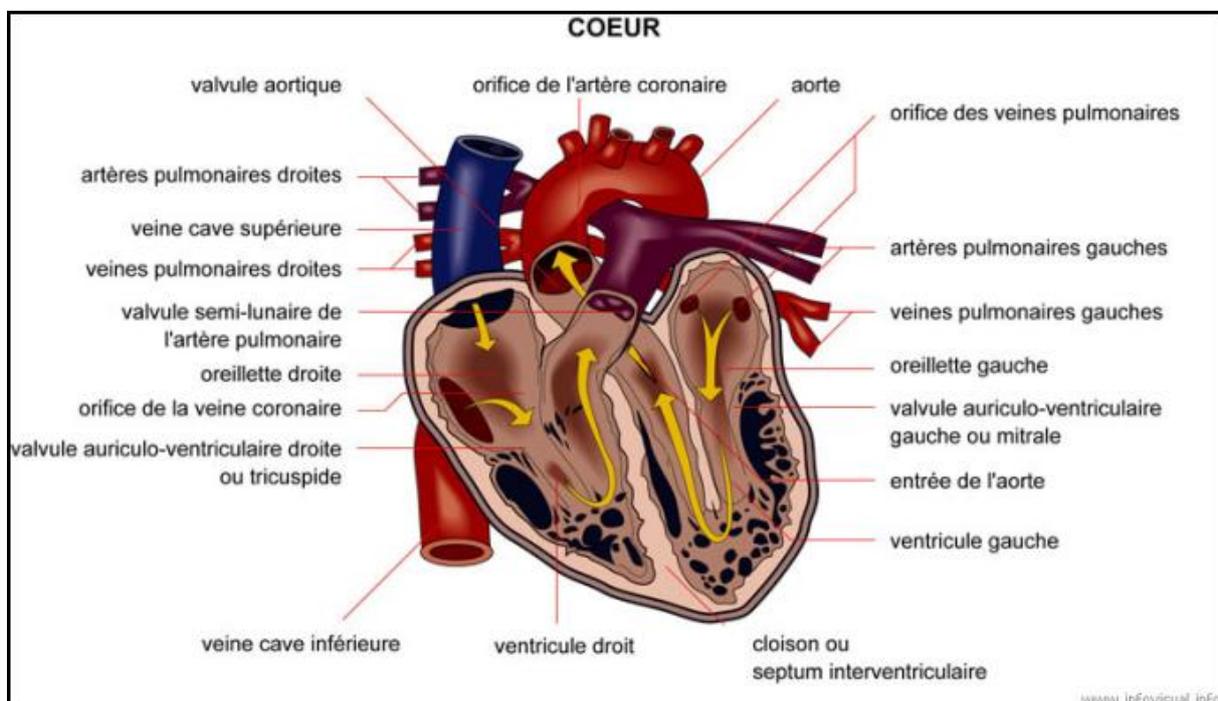


Figure 14 : Anatomie cardiaque

(D'après (en ligne) www.infovisual.info)

(2) Cavités et valves

Pour agir comme une pompe le cœur doit posséder des **cavités** dites « **réceptrices** », des cavités dites « **propulsives** », ainsi que des **valves** dirigeants le flux sanguin dans le cœur. Les **cavités** cardiaques forment un « **cœur droit** » et un « **cœur gauche** » (**figure 15**).

- Les **oreillettes** (droite et gauche) sont les cavités qui reçoivent le sang.
- Les **ventricules** (droit et gauche) sont les cavités qui éjectent le sang.

Ces « deux cœurs » sont séparés par une cloison étanche formée de **septums inter-atrial** (séparation entre les oreillettes) et **inter-ventriculaire** (séparation entre les ventricules).

Il existe deux **sillons** visibles à la surface du cœur indiquant les limites des quatre cavités et portant les vaisseaux sanguins qui irriguent le myocarde : le **sillon coronaire** qui tient son nom du fait qu'il entoure la jonction des oreillettes et des ventricules à la manière d'une couronne, et le **sillon inter-ventriculaire (antérieur et postérieur)** marquant la situation du septum inter-ventriculaire qui sépare les ventricules droit et gauche.

Le « cœur droit » ainsi que le « cœur gauche » sont partiellement cloisonnés par les **valvules atrio-ventriculaires** : la **valve mitrale**, entre l'oreillette gauche et le ventricule gauche, et la **valve tricuspide** entre l'oreillette droite et le ventricule droit.

Il existe également la **valve d'éjection aortique** entre le ventricule gauche et l'**aorte**, et la **valve d'éjection pulmonaire** entre le ventricule droit et l'**artère pulmonaire**.

Les valves cardiaques sont à l'origine de la **circulation unidirectionnelle** du sang dans le cœur.

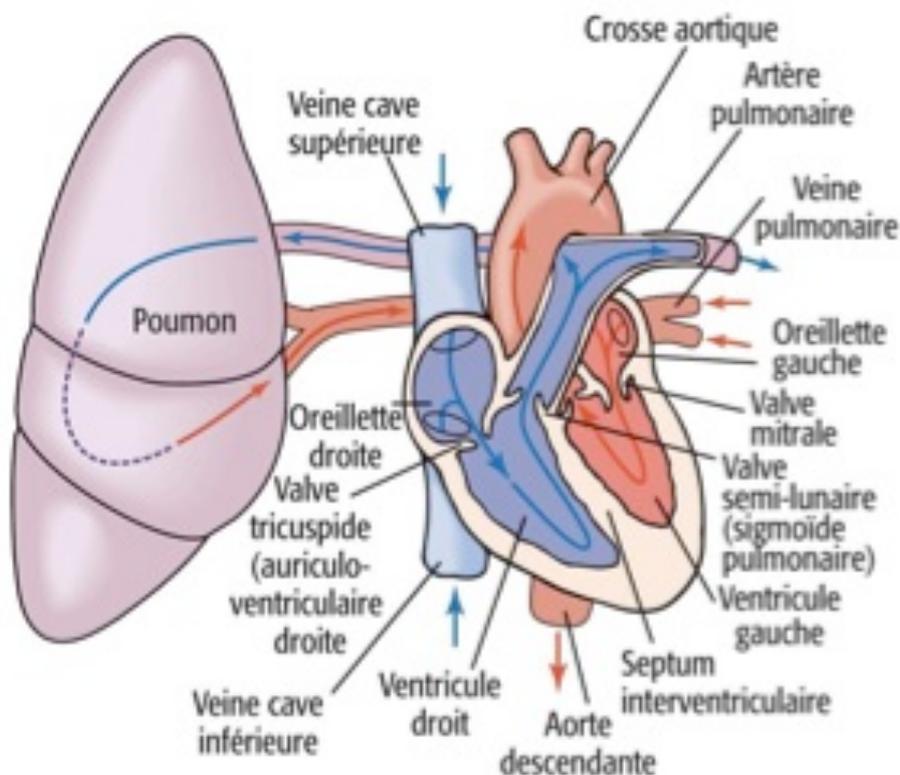


Figure 15 : La circulation intracardiaque

(D'après (en ligne) <https://www.medecine-integree.com/systeme-circulatoire-le-coeur/>)

(3) Les tuniques

Trois couches constituent la structure interne du cœur de l'intérieur vers l'extérieur : l'**endocarde**, le **myocarde** et le **péricarde** (figure 16) :

- l'**endocarde** est une mince membrane endothéliale. C'est la couche la plus interne tapissant la totalité du cœur et formant les valvules. Il s'agit d'un endothélium d'un blanc brillant posé sur une mince couche de tissu conjonctif lâche. Il est en continuité avec l'endothélium des vaisseaux sanguins qui aboutissent au cœur ou qui en émergent.
- le **myocarde** est le muscle cardiaque. Muscle strié autonome, régulé par les systèmes sympathiques et parasympathiques, il assure la contraction à proprement parlée. À l'intérieur du myocarde, les cellules ramifiées du muscle cardiaque sont rattachées par des fibres de tissu conjonctif enchevêtrées et elles forment des **faisceaux spiralés** ou **circulaires**. Ces faisceaux entrelacés relient toutes les parties du cœur.

Les **fibres collagènes** et **élastiques** du tissu conjonctif tissent un réseau dense, le squelette fibreux du cœur, qui renforce le myocarde. Le réseau peut s'épaissir par endroit pour former des anneaux de tissu fibreux qui soutiennent les points d'émergence des gros vaisseaux et le pourtour des valves.

- le **péricarde** est un sac à double paroi enveloppant le cœur. Il est composé de plusieurs feuillets : le **péricarde fibreux** (ou **péricarde épais**) qui constitue l'attache du cœur dans le thorax et le **péricarde séreux** comportant deux feuillets délimitant un espace de glissement : le **feuillet viscéral** (aussi appelé **épicaarde**) qui enveloppe le cœur et le **feuillet pariétal** qui le recouvre et tapisse la face interne du péricarde fibreux. Ces deux feuillets délimitent une cavité virtuelle, la **cavité péricardique**. Cette cavité contient le liquide péricardique sécrété par les couches séreuses du péricarde. Lorsque le cœur bat, ce liquide lubrifie les feuillets du péricarde permettant leur glissement avec un minimum de friction.

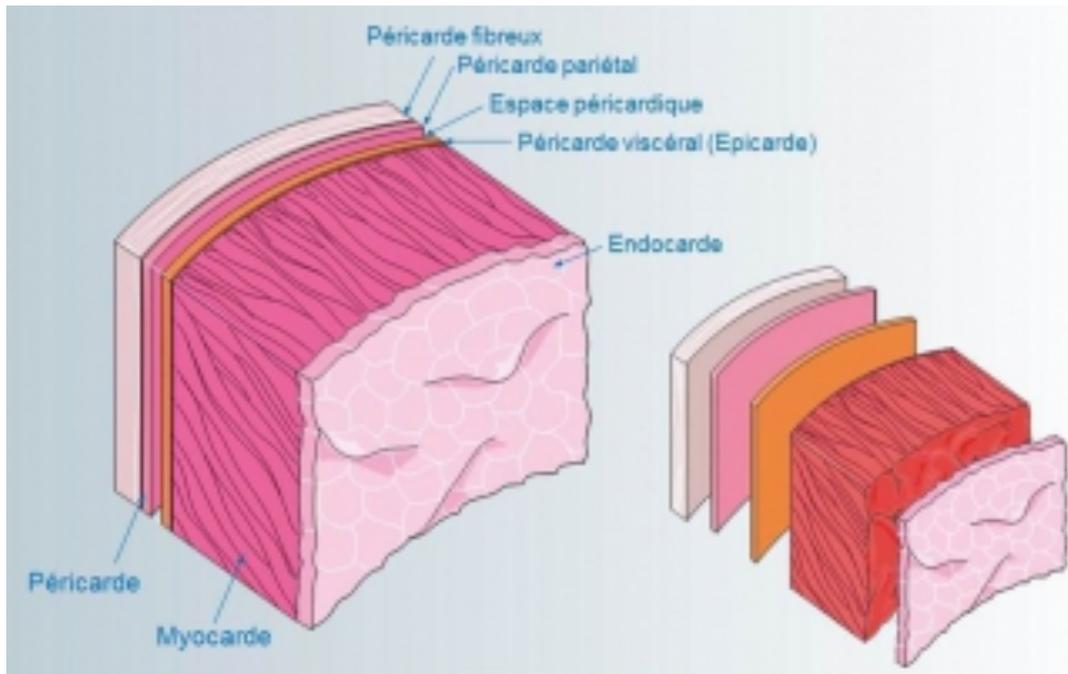


Figure 16 : les tuniques du cœur

(D'après (en ligne) <https://nsm08.casimages.com/img/2015/01/16/15011610550917173512881595.jpg>)

(4) Vaisseaux

Plusieurs types de vaisseaux assurent le transport du sang entre le cœur et les tissus. Ce système vasculaire est formé des artères, artérioles, veines, veinules et capillaires (**figure 17**).

La paroi des artères et des veines est formée de trois tuniques : [21]

- la tunique interne ou **intima**
- la tunique moyenne ou **media**
- la tunique externe ou **adventice**

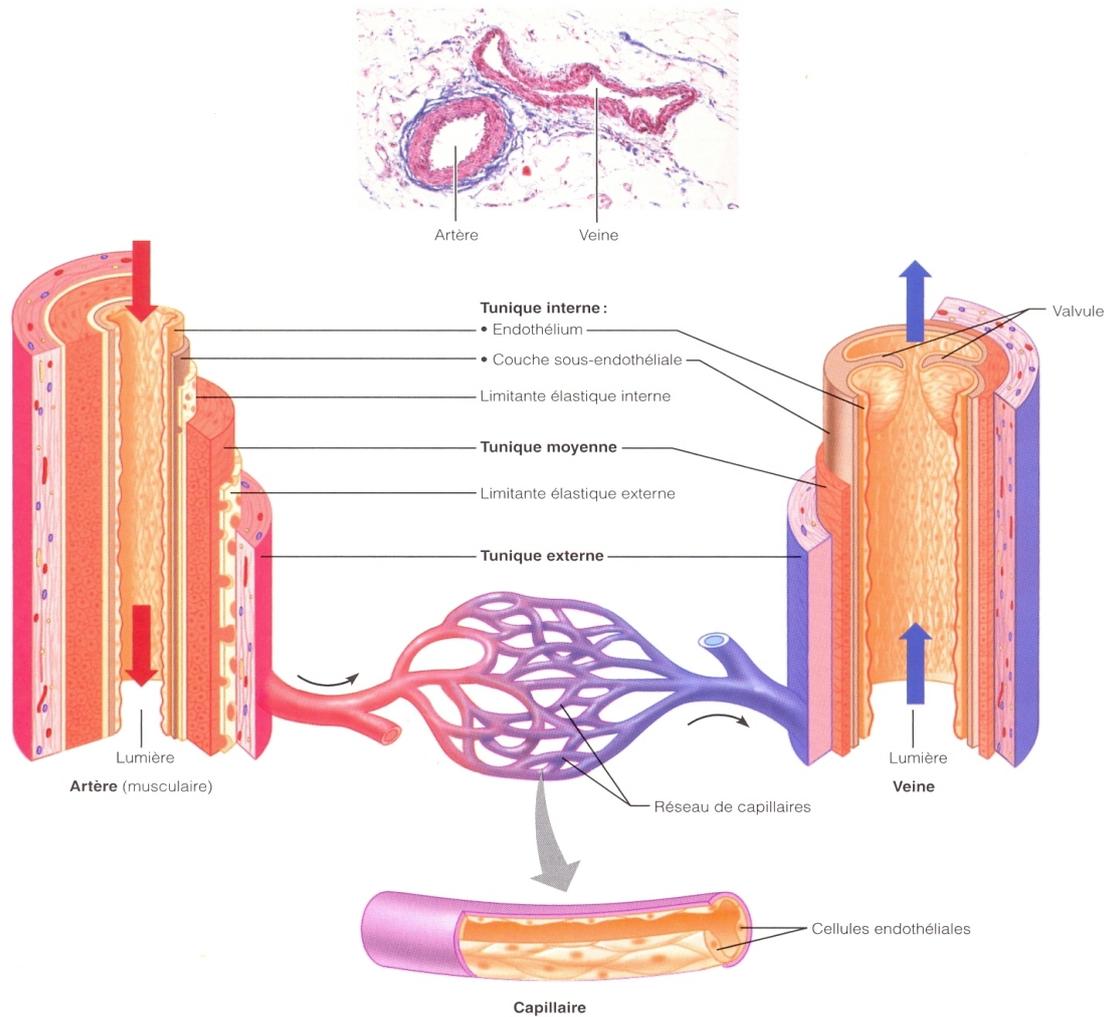


Figure 17 : Structure des artères et des veines

(D'après (en ligne) <http://app-asap.over-blog.com/article-les-differents-types-de-vaisseaux-sanguins-38825086.html>)

L'**intima** est formée d'une couche de cellules endothéliales qui sont directement en contact avec le sang. C'est une membrane fine, lisse et étanche protégeant la paroi vasculaire. Au niveau des veines et membres inférieurs l'intima forme des valvules qui empêchent le reflux du sang.

La **media** est formée de cellules musculaires lisses et de fibres élastiques. Elle a un rôle dans la modification du diamètre vasculaire via une contraction ou une dilatation et régule ainsi la pression artérielle (PA).

L'**adventice** est constituée principalement de tissus conjonctifs. Elle présente aussi des fibres nerveuses qui commandent les fibres musculaires de la media.

La **paroi des capillaires** est quant à elle formée uniquement de cellules endothéliales facilitant les échanges entre le sang et le liquide interstitiel.

(b) Physiologie

L'appareil cardio-vasculaire assure la circulation du sang pour véhiculer **oxygène** et **nutriments** vers les cellules et en évacuer les déchets permettant le maintien du métabolisme général.

(1) La circulation sanguine

(a) Système pulmonaire

Le sang veineux arrive de la périphérie du corps par la **veine cave inférieure** (VCI) ainsi que par la **veine cave supérieure** (VCS), pour se jeter dans un premier temps dans l'oreillette droite puis dans un second temps dans le ventricule droit (**figure 18**). À partir de là, l'éjection du sang veineux se fait vers les poumons par le biais de l'**artère pulmonaire** pour rejoindre le **lit capillaire pulmonaire** où s'effectueront les échanges gazeux.

On parle de **circulation** dite « **pulmonaire** » ou « **petite circulation** ».

(b) Système systémique

Après oxygénation, le sang rejoint l'oreillette gauche par l'intermédiaire des quatre **veines pulmonaires**, puis le ventricule gauche.

Pour finir l'éjection du sang oxygéné se fait en direction de tous les autres tissus de l'organisme en passant par l'**aorte** à travers une valvule.

C'est la **circulation** dite « **systémique** » ou « **grande circulation** ».

Ces deux systèmes sont interdépendants.

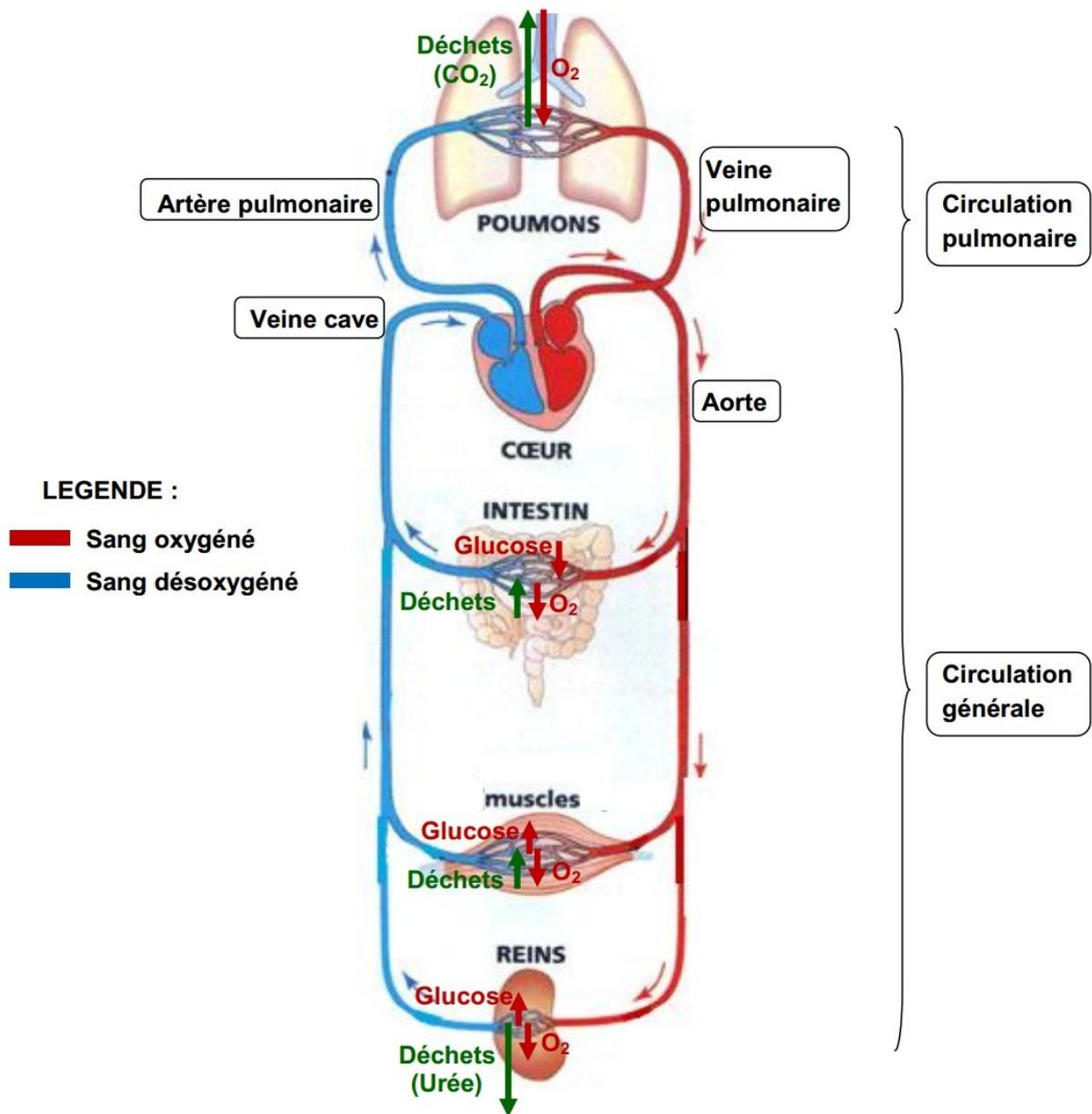


Figure 18 : La circulation sanguine

(D'après BELIN SVT 2008)

(c) *Circulation coronarienne*

Le sang circulant dans les cavités du cœur comme vu précédemment ne parvient presque pas à nourrir l'endocarde (**figure 19**), le myocarde étant trop épais pour que la diffusion des nutriments puisse se faire. Il existe donc une **circulation coronarienne** qui permet l'irrigation fonctionnelle du cœur, circulation assurée au point de vue artériel par les

artères coronariennes gauche et droite (artères qui débutent à la base de l'aorte et entourent le cœur dans le **sillon coronaire**).

Les coronaires fonctionnent en opposition de phase. Les artères se remplissent en général lors de la **systole** (contraction) et les coronaires se remplissent lors de la **diastole** (relaxation) car elles sont écrasées durant la systole.

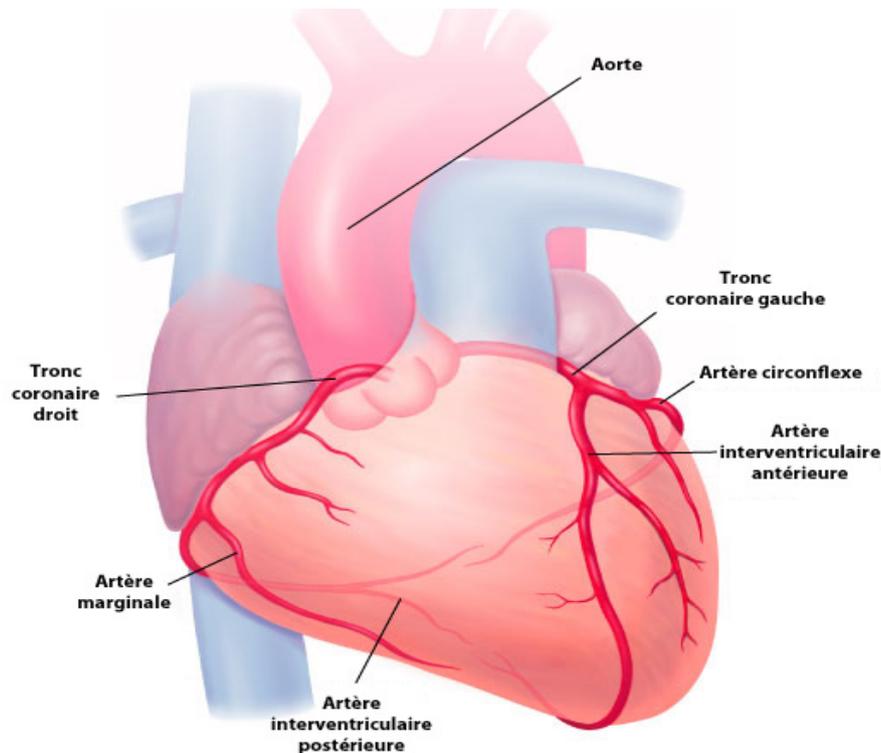


Figure 19 : La circulation coronarienne

(D'après (en ligne) : <https://coeurmaladiescoronariennes.wordpress.com/tag/circulation-coronaire/>)

(2) Le rythme cardiaque

Le rythme cardiaque possède deux composantes. Une **composante mécanique** avec le cycle cardiaque, qui est la succession de phases de contraction (**systole**) et de relaxation (**diastole**) permettant le remplissage de la cavité cardiaque.

Et une **composante électrique**, responsable de la phase mécanique avec laquelle elle est synchronisée.

(a) Composante mécanique : le cycle cardiaque [22]
[23]

La pompe cardiaque assure un débit pulsatile et cyclique d'où le terme de cycle cardiaque qui peut être décomposé en quatre temps [24] (**figure 20**) :

- **Contraction iso-volumique** (*systole ventriculaire*) : elle met fin à la diastole et survient lorsque les ventricules sont remplis. Cette phase ferme les valvules auriculo-ventriculaires (mitrale et tricuspide) et élève la pression intra-ventriculaire jusqu'à ce que les valvules sigmoïdes (aortiques et pulmonaires) s'ouvrent : ventricules et artères forment alors la chambre commune.
- **Éjection** (*systole ventriculaire*) : le sang contenu dans les ventricules est chassé, rapidement puis à vitesse décroissante lorsque la quantité de sang à éjecter diminue. À la fin de cette phase les sigmoïdes se referment car la pression à l'intérieur des ventricules devient inférieure à la pression artérielle.
- **Relaxation iso-volumétrique** (*diastole ventriculaire*) : phase très courte. La pression intra-ventriculaire diminue et devient inférieure à celle des oreillettes. Il y a donc ouverture des valves auriculo-ventriculaires.
- **Remplissage ventriculaire** (*diastole ventriculaire*) : c'est la plus grande partie de la diastole. Tout d'abord nous observons un remplissage initial rapide puis lent (qui correspond à l'égalisation des pressions entre les oreillettes et les ventricules, ce qui va ralentir l'écoulement sanguin) et de nouveau rapide avec la systole auriculaire qui éjecte le sang restant dans les oreillettes vers les ventricules et un nouveau cycle cardiaque peut reprendre.

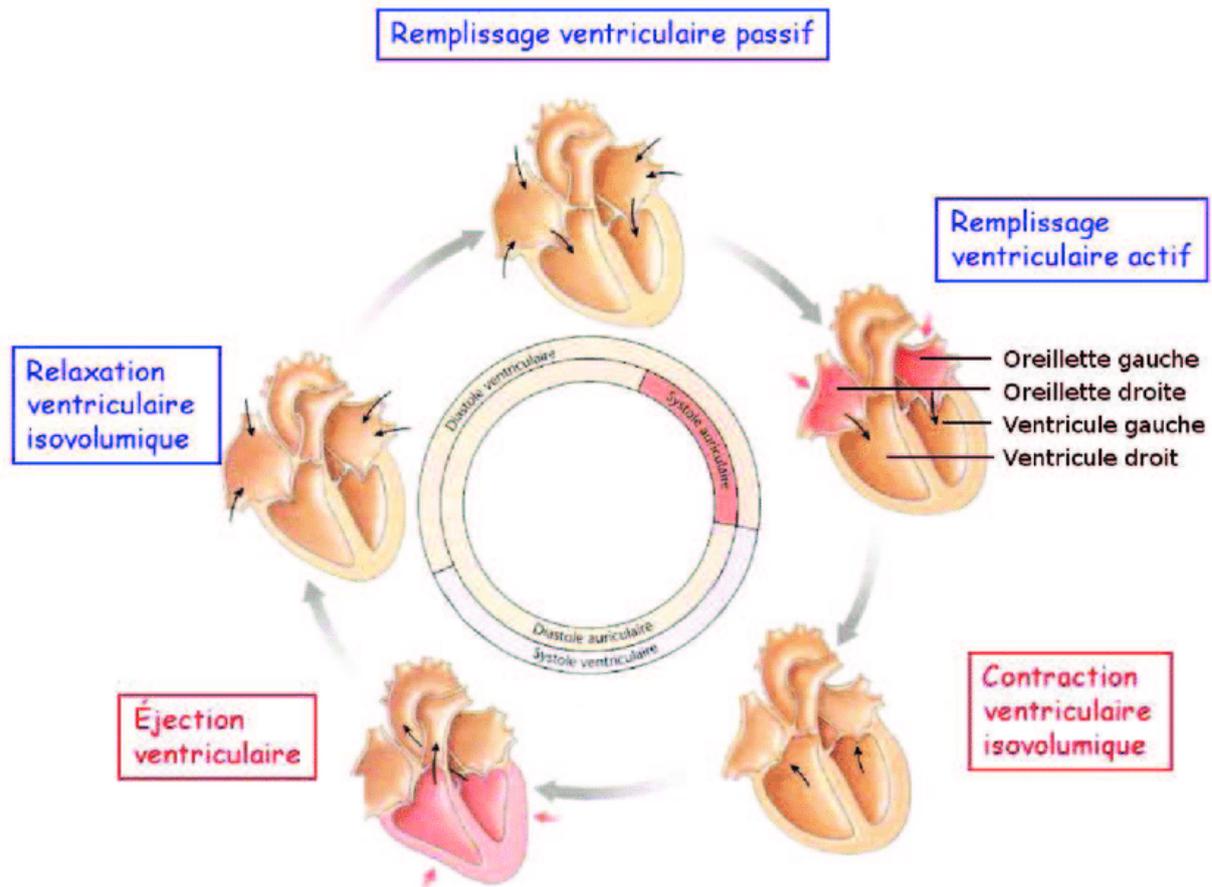


Figure 21 : Les phases du cycle cardiaque

(D'après (en ligne) https://www.researchgate.net/figure/Les-phases-du-cycle-cardiaque-Illustration-issu-de-Silverthorn-2007_fig2_279831665)

Le cycle cardiaque est perceptible à l'oreille sous forme de deux bruits et de deux silences :

- Le **premier bruit** est provoqué par la fermeture des valves mitrale et tricuspide. Il marque le début de la **systole**. Les ventricules vont donc éjecter simultanément le sang vers les poumons via l'artère pulmonaire pour le ventricule droit et vers le reste du corps via l'aorte et ses branches pour le ventricule gauche.

C'est la quantité de sang éjecté à chaque systole qui détermine le **débit cardiaque**.

- Vient ensuite le **grand silence** ou **diastole** dont le début est marqué par le **deuxième bruit** du cœur traduisant la fermeture des valves d'éjection aortique et pulmonaire. Il y a alors une phase de relaxation et de remplissage ventriculaire avant de préparer la systole suivante.

(b) Composante électrique : automatisme et conduction [25]

Le muscle cardiaque appelé **myocarde** est doué d'automatisme. Il possède des cellules musculaires cardiaques, les **cardiomyocytes**, qui ont la propriété de produire une activité électrique répétitive spontanée. L'ensemble de ces cellules forme le **tissu nodal** qui produit des impulsions électriques entraînant une contraction myocardique.

L'impulsion électrique naît au niveau du **nœud sinusal (NS)** (**figure 21**) qui est situé au sommet de l'oreillette droite puis la diffusion de l'influx se fait par contiguïté de cellule en cellule.

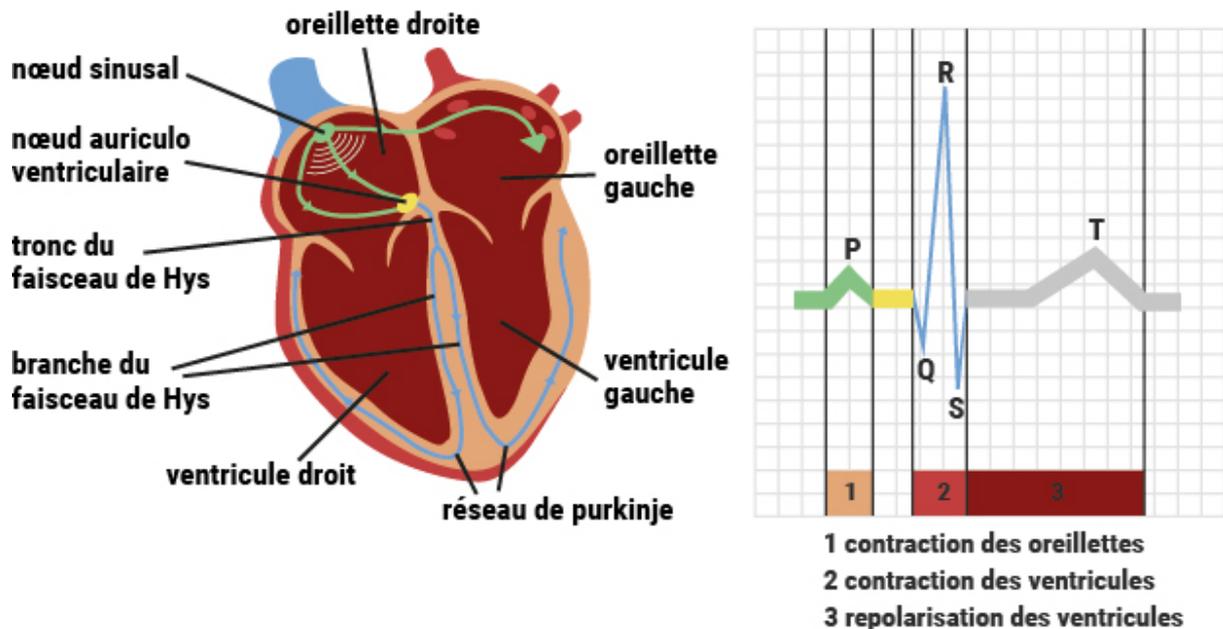


Figure 21 : Activité électrique du cœur

(D'après la fédération française de cardiologie, l'activité électrique du cœur (en ligne))

Ce nœud est composé d'un amas de cellules générant spontanément des potentiels d'action, à une fréquence modulée en permanence en fonction des besoins de l'organisme, provoquant une dépolarisation qui se propage de myocyte en myocyte dans les parois auriculaires droite et gauche entraînant ainsi la **contraction atriale**. Le courant converge alors vers la cloison séparant oreillettes et ventricules au niveau du **nœud auriculo-ventriculaire (NAV)**.

Après le passage du NAV l'influx progresse simultanément dans les deux ventricules en empruntant le **réseau de Purkinje** ainsi que le **faisceau de Hys** provoquant la contraction des ventricules. La contraction des ventricules se produit quelques fractions de seconde après celle des oreillettes compte tenu du temps de propagation de l'onde de dépolarisation.

(3) Facteurs extrinsèques influant sur l'activité cardiaque [26]

- **Système nerveux autonome (SNA)** : les systèmes sympathique et parasympathique dépendent d'un centre cardiorégulateur de contrôle situé dans le bulbe rachidien.
- **Système hormonal** (les catécholamines) : **adrénaline** et **noradrénaline** de la médullosurrénale augmentent à la fois le rythme cardiaque et la puissance de contraction.
- **Ions** : calcémie, natrémie et kaliémie peuvent influencer sur la fonction cardiaque.
 - Si la concentration en **ions Calcium** est trop élevée le cœur se contracte de façon spasmodique.
 - Une augmentation en **ions Sodium** ralentira le cœur et réduira la fonction cardiaque en interférant dans le rôle normal des ions Calcium dans leur fonction contractile.
 - Si il y a une augmentation trop importante des **ions Potassium** le rythme cardiaque baisse et le cœur devient dilaté, flasque et faible.
- **L'exercice physique** : des efforts violents et soutenus prolongés peuvent potentiellement entraîner l'hypertrophie du muscle cardiaque et l'augmentation des cavités ventriculaires augmentant alors le volume systolique.
- **La température corporelle** : si le cœur est réchauffé la fréquence des influx du nœud sino-auriculaire augmente.
- **Autres facteurs** : l'âge, le sexe, les facteurs pathologiques etc.

II. L'EFFORT PHYSIQUE

A. Qu'est ce que l'effort physique ?

Un **effort physique** est la réalisation d'un exercice qui met en œuvre des ressources physiques. C'est un paramètre important modifiant le fonctionnement de l'organisme.

L'effort physique est défini par l'OMS comme « *tout mouvement produit par les muscles squelettiques responsable d'une augmentation de la dépense énergétique* ». Les besoins en oxygène de l'organisme sont augmentés en raison du travail musculaire, c'est pourquoi le **débit cardiaque** et la **ventilation** vont s'accroître. En effet à l'effort deux mécanismes vont permettre d'augmenter les apports en oxygène des muscles :

l'augmentation du débit sanguin de ces derniers (par augmentation du débit cardiaque ou par la redistribution du sang des zones musculaires peu actives aux zones plus actives) et **l'augmentation de l'extraction d'oxygène** par le muscle du sang qui le vascularise [27].

B. Les différents types d'efforts

En fonction du type d'effort effectué le corps va solliciter des filières énergétiques différentes qui interviendront dans des proportions différentes avec une prédominance de l'une sur les deux autres (**figure 22**). Le développement des facultés de transport et d'utilisation de ces sources d'énergie va constituer un des buts de l'entraînement sportif [28].

(a) *Exercices de vitesse*

Un effort de **vitesse** sollicite prioritairement la filière énergétique **anaérobie alactique**.

Il fonctionne donc en absence d'oxygène (**anaérobie**) et **sans la production de lactate (alactique)**. Il va utiliser l'**ATP** et la **phosphocréatine** (substance permettant de resynthétiser l'ATP) stockés dans le muscle et immédiatement disponibles. Ce système permet des **efforts intenses mais brefs** (exemple du sprint en athlétisme ou les exercices de renforcement musculaire explosif). Bien que sa régénération soit rapide (environ 3 minutes),

la phosphocréatine s'épuise très vite ce qui implique une chute de la vitesse de l'exercice. Il y a alors apparition des **lactates**. On passe alors à la **filière anaérobie lactique**.

(b) Exercices de force/résistance

Un effort de **résistance** sollicite prioritairement la filière énergétique **anaérobie lactique**.

Alors qu'il ne reçoit pas encore assez d'oxygène le muscle va progressivement utiliser, comme substrat, le **glycogène stocké localement** incomplètement dégradé en lactate. Ce métabolisme est surtout utilisé pour les **exercices intenses** durant 15 secondes à 1 minute et 30 secondes (exemple du sprint en natation) ou lors d'**accélération soutenues**. Il correspond à l'entraînement par intervalles courts. La production de lactate s'accompagne **d'essoufflement** : le seuil anaérobie est franchi. Le système a l'avantage d'être rapidement disponible mais possède l'inconvénient de consommer le **glycogène** du muscle et donc de conduire rapidement à l'épuisement. De plus le **lactate** est long à éliminer (une heure ou plus).

Lors de l'utilisation de cette filière des produits non oxydés du métabolisme vont s'accumuler dans le sang et les tissus entraînant une **diminution du pH sanguin** et donc une acidité de plus en plus grande du milieu intérieur. Cette acidité va avoir pour conséquence une baisse des possibilités de contractions musculaires entraînant donc une baisse de la réalisation du travail sportif.

(c) Exercices d'endurance

Un effort d'**endurance** sollicite prioritairement la filière énergétique **aérobie**.

La **respiration et la fréquence cardiaque s'accélèrent** en quelques dizaines de secondes pour permettre un **transport accru d'O₂ aux muscles** en exercice. Le **glucose** provenant du muscle, du sang ou du foie peut alors être complètement **oxydé en dioxyde de carbone** et en eau avec libération d'un maximum d'énergie pour recharger l'ATP (exemple du basket-ball). Après quelques minutes les lipides vont aussi être utilisés d'autant plus que l'exercice est moins intense et plus long et que le sujet est à jeun et ne consomme pas de glucides pendant l'exercice. **C'est la zone d'endurance**.

Il existe des facteurs limitant l'apport en oxygène aux cellules sollicitées pendant l'effort musculaire :

- Facteurs pulmonaires : avec la quantité maximale d'oxygène que peut contenir les poumons ainsi que la vitesse de passage et de fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine.
- Facteurs circulatoires : avec l'amélioration de l'irrigation locale et les variations du débit sanguin.
- Facteurs tissulaires : avec la capacité maximale que possède une cellule musculaire à utiliser l'oxygène

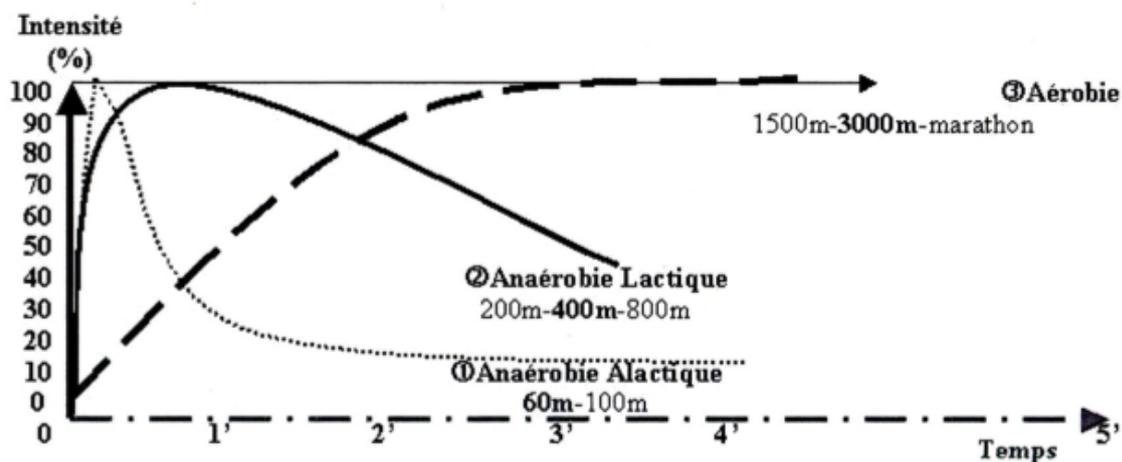


Figure 22 : Évolution de la fourniture d'énergie dans le temps
 (D'après (en ligne), http://www.riwa.be/WPRIWA/wp-content/uploads/2015/12/Des_Filieres_Energetiques_A_La_Seance_Entrainement.pdf)

(d) *Le surentraînement* [29]

La **performance** est l'objectif principal chez le sportif compétiteur. Ainsi un athlète est capable d'accepter de s'entraîner plusieurs heures par semaine pendant des mois pour atteindre la **victoire**. Cependant dans certains cas et malgré tous ces efforts, les objectifs sportifs ne suivent pas et une baisse inexplicée des performances apparaît. Ce qui provoque chez le sportif une augmentation de la charge de travail aux dépens de la récupération. Ce type de réaction ne fait qu'aggraver l'échec sportif et entraîne l'athlète vers un état de lassitude, de fatigue extrême et de douleurs musculaires et articulaires. On parle alors de « **syndrome de surentraînement** ».

Le surentrainement ne prévient pas, et les symptômes arrivent de façon progressive après plusieurs semaines. Il provoque un dysfonctionnement global du corps dont les causes sont diverses :

- Fréquence des entraînements ou des compétitions trop rapprochée
- Intensité trop forte des entraînements
- Récupération trop courte et/ou de mauvaise qualité
- Surmenage et/ou stress
- Mauvaise hygiène de vie (sommeil, nutrition)
- Environnement inhabituel (chaleur, froid)
- Mauvais état de santé

En plus d'une baisse des performances, les conséquences du surentrainement peuvent être :

- Perte d'efficacité du geste technique
- Diminution des performances sportives
- Fragilisation de l'organisme (augmentation de la sensibilité aux infections)
- Troubles du comportement

On peut suspecter le surentrainement lorsqu'on a une sensation de **fatigue persistante** (fatigue générale, physique ou intellectuelle), lorsqu'on constate une diminution des performances sans diminution de l'entraînement ou l'apparition de troubles psychologiques (baisse de la libido, dépression, troubles du sommeil).

Il n'existe aucun traitement de ce syndrome autre que **le repos sur plusieurs mois** ainsi qu'une alimentation saine et équilibrée. Le repos total permet de réparer le système musculaire et articulaire, de rééquilibrer le métabolisme, de réduire le stress pour retrouver la motivation.

Le meilleur moyen de l'éviter est la **prévention** :

- Diversité des séances d'entraînement
- Augmentation progressivement les charges d'entraînement
- Hygiène de vie correcte.

C. Les effets de l'effort sur l'organisme

(a) Répercussions les plus visibles, instantanées : modifications pendant l'effort

(1) Modification de l'appareil respiratoire [30]

Au repos, les muscles de l'organisme consomment une certaine quantité de dioxygène (O_2).

Lors d'un effort physique d'intensité croissante, la consommation en dioxygène de l'organisme augmente avec la valeur du travail effectué. On mesure celle-ci en terme de volume d'air consommé pendant une certaine durée : VO_2 . Donc plus l'effort est intense, plus le VO_2 est élevé.

Il existe cependant une limite : le VO_2 peut augmenter jusqu'à une valeur maximale appelée $VO_{2\max}$. Cette $VO_{2\max}$ est différente selon l'âge, le sexe, l'activité pratiquée et l'entraînement de l'individu (**figure 23**). C'est un indicateur de la capacité d'un individu à réaliser un effort physique d'endurance.

A partir du pallier d'effort correspondant à la $VO_{2\max}$, l'organisme utilise d'autres ressources énergétiques qui ne font pas appel à la consommation de dioxygène.

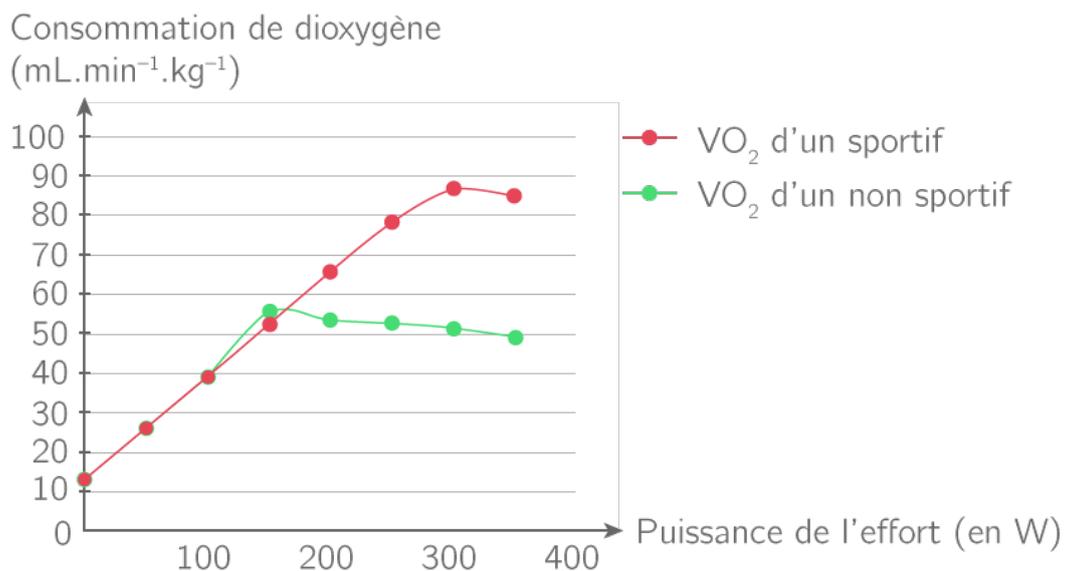


Figure 23 : Mise en évidence du $VO_{2\max}$

(D'après (en ligne), <https://www.kartable.fr/ressources/svt/cours/leffort-et-les-modifications-physiologiques/18953>)

Après l'arrêt de l'effort la consommation en O_2 diminue. Elle retrouve progressivement sa valeur initiale au bout d'un certain temps, appelé « **temps de récupération** ».

Au cours de l'effort les échanges gazeux sont modifiés. Les muscles, fonctionnant plus, ont besoin d'un apport plus important en dioxygène et rejettent une quantité plus grande de dioxyde de carbone (CO_2), ce qui permet d'assurer les besoins de l'organisme. Le CO_2 est alors rejeté en quantité similaire au volume de dioxygène consommé (**figure 24**).

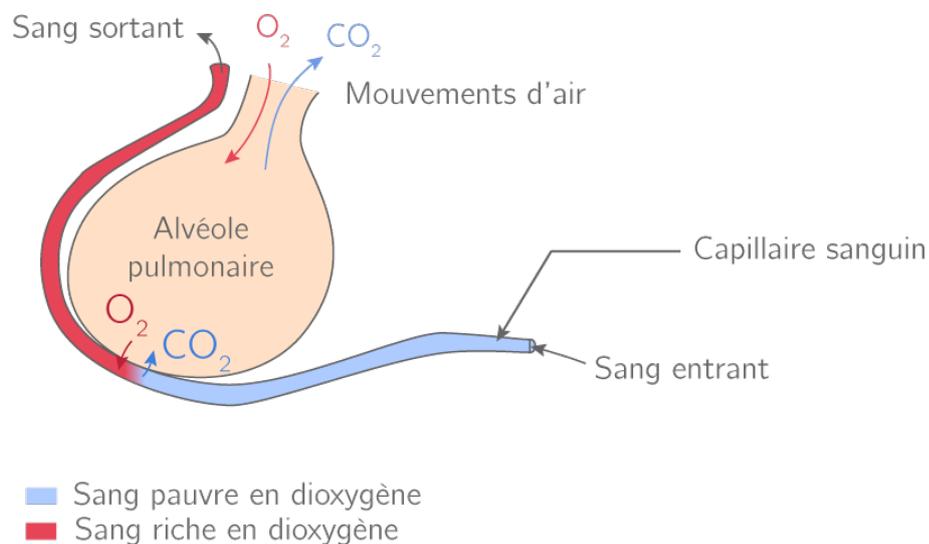


Figure 24 : L'activité respiratoire au sein des alvéoles

(D'après (en ligne), <https://www.kartable.fr/ressources/svt/cours/leffort-et-les-modifications-physiologiques/18953>)

Les mouvements ventilatoires lors d'un effort physique (**figure 25**) :

- La **fréquence respiratoire** (FR), qui correspond au nombre de cycles respiratoires (inspiration/expiration) par minute, augmente.
- Le volume d'air prélevé à chaque inspiration (à chaque cycle), appelé **volume courant** (VC), augmente également.
- Le **débit respiratoire** qui est le produit de ces deux éléments va donc augmenter lui aussi.

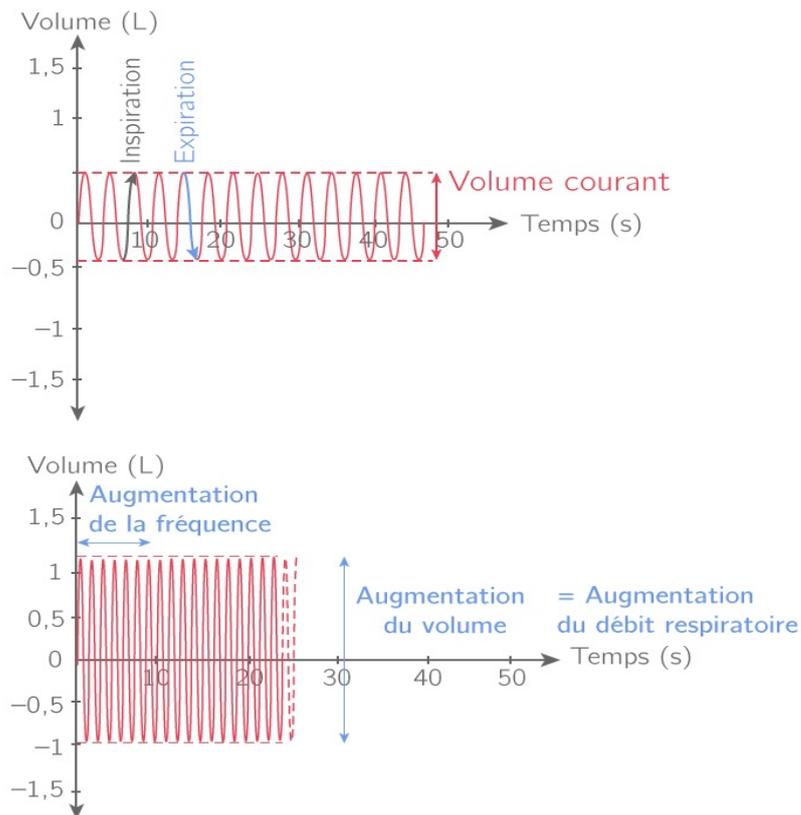


Figure 25 : Les mouvements ventilatoires à l'effort et au repos

(D'après (en ligne), <https://www.kartable.fr/ressources/svt/cours/leffort-et-les-modifications-physiologiques/18953>)

(2) Modifications du système cardio-vasculaire

(a) Adaptation du cœur

Avant même de commencer l'activité sportive en question, il se peut que la **fréquence cardiaque** de la personne augmente. Cette accélération est due à la tension nerveuse du sportif qui est provoquée par une **stimulation nerveuse** ainsi que par des hormones telle que l'**adrénaline**.

Lors de l'effort physique l'augmentation de la **fréquence cardiaque** va accroître le débit sanguin vers les muscles permettant un approvisionnement en oxygène et nutriments plus conséquent. Ce phénomène s'accompagne d'une augmentation de la puissance de chaque contraction cardiaque (le débit cardiaque au repos est compris entre quatre et six litres/minutes et peut être multiplié jusqu'à six fois sa valeur normale).

À la fin de l'exercice la fréquence cardiaque diminue en 2 temps : **rapidement** tout d'abord puis plus **lentement** ensuite jusqu'à revenir à la valeur de repos.

L'adaptation du cœur à long terme ne va concerner que les sportifs de haut niveau qui grâce à une pratique régulière vont développer le muscle cardiaque. Les contractions seront donc plus puissances et les apports plus conséquents. Il en est de même pour les muscles qui grâce à un exercice régulier vont s'enrichir en capillaires et donc avoir une meilleure irrigation sanguine [31].

(b) *Adaptation des vaisseaux*

Comme le cœur, les vaisseaux s'adaptent lors de l'effort physique afin d'améliorer les performances sportives.

Au début de l'effort physique, les muscles vont avoir un besoin accru en oxygène et nutriments, ce qui va être le signal d'alerte pour que les **artérioles** et les **capillaires** qui les irriguent se dilatent. Afin que la redistribution vers les muscles soit optimale les vaisseaux des organes au repos vont se contracter entraînant ainsi une diminution du débit sanguin.

Ensuite c'est au tour de la peau à s'adapter en **régulant la température** corporelle par la **sudation** et donc par la dilatation de ses artérioles.

Il en est de même pour le sang qui lui aussi possède une capacité d'adaptation à l'effort. En effet l'hémoglobine, qui au repos ne libère seulement qu'un tiers de l'oxygène qu'elle véhicule, va à l'effort jusqu'à doubler cette libération [32].

Grâce à toutes ces adaptations vues ci-dessus la quantité d'oxygène disponible pour les muscles pendant l'effort pourra atteindre jusqu'à soixante fois sa valeur au repos.

(3) La dépense énergétique

Au repos, chaque cellule de l'organisme consomme normalement une certaine quantité de nutriments (molécules provenant de la digestion des aliments comme le glucose, les acides gras ou les acides aminés) en effectuant la **respiration cellulaire**. Une fois produits dans le système digestif les nutriments passent dans le sang où ils sont véhiculés jusqu'aux cellules qui les consomment. La dépense énergétique varie en fonction du métabolisme de base, de la thermorégulation, de l'action dynamique spécifique des aliments et de l'activité physique.

Lors d'un effort physique la consommation en nutriments par les cellules augmente (**figure 26**) : en particulier celle de **glucose**, qui est présent dans les muscles sous forme de **glycogène**, et celle des **acides gras** qui constituent les principaux nutriments des cellules musculaires. Si l'effort est prolongé les cellules utiliseront également les **réserves lipidiques**.

La respiration cellulaire consiste en une réaction d'oxydation des molécules de glucose permettant la production d'énergie (chaleur) et de déchets selon l'équation suivante :

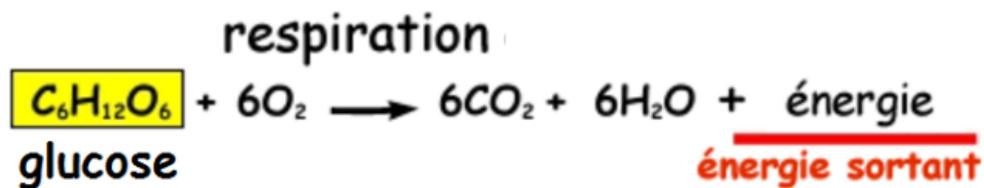


Figure 26 : Équation réaction de la respiration cellulaire

(D'après (en ligne), <https://svt07.wordpress.com/chapitre-3-le-fonctionnement-cellulaire-et-son-controle/>)

(b) Les réactions face à l'effort

(1) Hyperthermie et sudation

L'organisme utilise les nutriments en les transformant en énergie dont il a besoin ainsi qu'en **chaleur**.

Cette chaleur s'accumule et fait **augmenter** rapidement la **température corporelle**. En effet, seuls 25% des calories produites à partir des glucides et des lipides sont réellement utilisées pour mobiliser les muscles alors que les 75% restants sont perdus et dispersés sous forme de chaleur. Pour ne pas dépasser sa limite normale, qui est de 37.2° C, le corps doit procéder à un **processus de thermorégulation** : la **transpiration** qui est une méthode efficace de refroidissement. Le système consiste à évaporer de la vapeur d'eau venant des glandes sudoripares par l'intermédiaire des pores de la peau situés à la surface de l'épiderme.

Il existe deux sortes de glandes : les **glandes eccrines** et les **glandes apocrines**. Les premières sont à l'origine d'une transpiration **sans odeur**, composée principalement d'eau et de sel, libérée à la surface de l'épiderme. Les secondes sont à l'origine d'une sueur plus lourde située dans les zones les plus pileuses du corps comme les aisselles ou l'aîne. Elles

sont riches en protéines et en sébum attirant ainsi les bactéries à l'origine des **mauvaises odeurs**.

Il est important de rajouter que cette dispersion calorique ne serait pas le seul mécanisme participant à l'élévation corporelle à l'effort. En effet, plusieurs molécules sécrétées par l'organisme, comme les molécules pro-inflammatoires **interleukine 6** ou **TNF- α** , auraient un effet pyrogène.

(2) Hypoglycémie

Chez le sportif elle survient surtout en 2 circonstances.

Tout d'abord au début de l'exercice par l'ingestion de sucres juste avant, le corps étant à jeun depuis plusieurs heures. La glycémie augmente rapidement et l'organisme en réaction sécrète de l'insuline qui fait chuter le taux de sucre, parfois de façon trop importante. C'est **l'hypoglycémie réactionnelle**.

L'**hypoglycémie** peut également survenir en fin d'exercice lorsque les réserves en glycogène (muscles et foie) sont épuisées et que le muscle utilise le glucose du sang. Ce type d'hypoglycémie survient lorsque les réserves en glycogène n'ont pas suffisamment été fournies dans l'alimentation des jours et des heures qui précèdent ou que les apports glucidiques ont été insuffisants pendant l'épreuve.

(3) Malaise vagal

Le **malaise vagal** (ou syncope vagale) est un évanouissement, une perte de connaissance brutale, rapide et complète. Il est dû à une **hypotension** survenant à l'effort lors d'une grande fatigue ou de conditions climatiques extrêmes (grande chaleur). Ce phénomène est le résultat d'un **déficit soudain d'oxygène**.

De façon physiologique, lors d'un effort physique, le cœur s'accélère et provoque une tachycardie qui amène l'oxygène au cerveau et aux muscles. Le tout étant régulé par le système sympathique dont le **nerf vague** fait parti. Mais il se peut que, pour les raisons vues ci-dessus, le nerf vague « s'emballe » et ralentisse trop le cœur. Ce dernier, ne fournissant plus assez d'oxygène au cerveau et aux muscles, va entraîner un malaise dit « vagal » par **hypotension artérielle** [33].

(4) Syndrome d'hyperventilation

La définition proposée en 1984 est la suivante : « *Le syndrome d'hyperventilation est un symptôme caractérisé par une variété de signes somatiques, affectant plusieurs systèmes, induits par une hyperventilation physiologiquement inappropriée et reproductible par une hyperventilation volontaire* ».

En d'autres termes, dans le cas d'une hyperventilation, la respiration s'accélère et devient saccadée. Elle s'accompagne de vertiges, d'agitation, de tremblements, d'engourdissements, etc. On peut aussi constater des troubles de la vision (vision double par exemple), une sensation de flottement du corps, de perte de conscience ainsi que des tremblements. Elle se déclenche lors d'**efforts intenses** ou de **stress** (du à la compétition dans le cas du sport). Les signes de l'hyperventilation peuvent parfois être confondus avec ceux d'une autre maladie tel que l'asthme par exemple.

(c) *Répercussions les moins visibles, tardives*

(1) Mécanismes d'apparition des fatigues centrale et musculaire

La fatigue est « *une incapacité à maintenir le travail physique usuel, menant à une réduction du niveau de performance* », Fitts (1994). On peut également la définir comme une sensation désagréable de difficulté à effectuer des efforts physiques ou intellectuels, provoquée par un effort intense, par une maladie, ou sans cause apparente.

Il existe deux types de fatigue, la **fatigue centrale** avec des défauts de la commande motrice, et la **fatigue périphérique** avec une défaillance du mécanisme contractile. Pour ces deux types de fatigue on constate une rupture d'équilibre entre les réactions biologiques dues au stress de l'exercice et les capacités de restauration de ces dernières. La distinction entre ces deux types de fatigue se fait en fonction de la perte de force par rapport à la jonction neuromusculaire : soit en amont (**fatigue centrale ou nerveuse**), soit en aval (**fatigue périphérique ou musculaire**).

Plusieurs facteurs peuvent être à l'origine de la **fatigue centrale** comme une motivation insuffisante, une modification du recrutement des unités motrices, une altération

de la conduction des interneurons et de motoneurons ou encore le manque de sommeil, la faim, les drogues etc.

La **fatigue périphérique** peut être due à des facteurs électriques au niveau de la jonction neuromusculaire (problème de transmission ou de conduction du potentiel d'action ou problème de couplage excitation/contraction) ou à des facteurs métaboliques au niveau cellulaire (déséquilibres ioniques, épuisement des réserves énergétiques, accumulation des métabolites ou ischémie).

(2) La fatigue centrale

La fatigue centrale est un mécanisme adaptatif d'**épargne musculaire** qui précède la fatigue périphérique. C'est une diminution de la commande motrice à l'étage cortical couplée à une diminution de la fréquence de décharge des **motoneurons alpha** de la moelle épinière qui entraînent la fatigue centrale. Cette dernière provoque alors un ajustement de la commande motrice centrale et donc une épargne musculaire.

(a) *Rôle des neurotransmetteurs*

La diminution de la commande motrice est en relation avec l'action de facteurs neurochimiques. Les **neurotransmetteurs** assurent la transmission dans les structures cérébrales motrices. Au cours d'un exercice fatiguant il va y avoir une modification de la concentration en neurotransmetteurs et la fatigue centrale sera associée à des modifications comportementales.

Lors d'un exercice prolongé il y a une accélération de la libération de la **Noradrénaline** et de la **Dopamine** ainsi qu'une diminution de leur synthèse due à une diminution de la concentration en **Tyrosine estérase** entraînant donc une diminution de la Noradrénaline et de la Dopamine dans les structures cérébrales motrices à l'arrêt de l'effort.

Pour ce qui est des autres neurotransmetteurs comme la **Sérotonine** ou le **GABA** (acide gamma amino butyrique), la Sérotonine sera augmentée dans les exercices prolongés alors qu'il y aura une diminution du GABA au cours d'exercices fatigants.

(b) *Diminution de la décharge des motoneurones*

La diminution de la fréquence de décharge des motoneurones alpha est le résultat d'une inhibition de la décharge de ces motoneurones induite par les afférences musculaires. Il existe deux types de récepteurs : les **mécanorécepteurs** qui sont sensibles à des variations mécaniques du muscle (tension, étirement, etc.) et les **métaborécepteurs** qui comme leur nom l'indique vont être sensibles aux variations métaboliques du muscle (augmentation de la température, hypoxie, etc.).

Au cours d'un travail musculaire intense, il y a une diminution de la décharge des afférences fusoriales ainsi qu'une augmentation de la décharge des afférences métabosensibles, le tout entraînant une diminution de la décharge du **motoneurone alpha** qui est le facteur déclenchant de cette fatigue centrale. De ce fait il y a un ajustement de la commande motrice centrale puis une épargne musculaire. Cet ajustement au niveau du système nerveux central a pour but de **retarder le moment de défaillance musculaire**.

(3) La fatigue périphérique

(a) *Définition [34].*

La **fatigue périphérique (= musculaire)** est la fatigue qui aboutit à la défaillance mécanique. L'apparition de phénomènes métaboliques ou ioniques va entraîner une diminution de la capacité contractile et donc l'apparition de la fatigue périphérique afin de **protéger la cellule musculaire**. Des dommages cellulaires peuvent être observés à cause d'une défaillance de la jonction neuromusculaire, d'une altération d'excitabilité du sarcolemme, d'un problème au niveau du couplage excitation/contraction ou encore à cause d'une accumulation de métabolites. Il ne s'agit pas d'une pathologie mais plutôt d'une défaillance momentanée. Elle survient généralement suite à une sollicitation importante ou prolongée des muscles.

Scherrer et Monod, en 1960, donnent une définition assez précise de ce phénomène. Ils parlent de la fatigue musculaire comme étant « *une chute de la performance attendue ou une diminution transitoire de la capacité de travail du muscle consécutive à l'activité musculaire, survenant pour un niveau constant d'incitation des centres moteurs et réversibles par le repos* ».

La **fatigue** musculaire est dite **objective** lorsque celle-ci peut être mesurée ou bien observée par une personne neutre. En effet la fatigue musculaire est objectivable par l'augmentation des lactates sanguins et musculaires, par une modification du pH sanguin, par une élévation des enzymes musculaires.

À l'inverse la **fatigue subjective** est celle perçue et décrite par le sujet. Son évaluation dépend de plusieurs facteurs variant d'un individu à l'autre, chacun ayant son propre vocabulaire pour la décrire et son propre référentiel de comparaison.

Une fatigue causée par la réalisation d'un exercice par un petit nombre de muscles est appelée **fatigue locale**.

À l'inverse une **fatigue générale** est quant à elle générée par l'activité d'un grand nombre de muscles et touche toutes les grandes fonctions de l'organisme. Elle s'installe petit à petit commençant par toucher un petit nombre de fibres neuromusculaires. D'autres unités motrices prennent alors le relais avant d'être à leur tour touchées jusqu'à atteindre le seuil d'épuisement local. Avant d'atteindre ce stade, certains signes traduisent le niveau d'épuisement : **augmentation de la fréquence respiratoire, tremblements, difficultés à contrôler les mouvements, crampes musculaires ou contractures** (qui peuvent entraîner une perte de sommeil et donc aggraver la récupération), des **troubles digestifs** pouvant aggraver la déshydratation, ou encore une **élévation de la température centrale**.

(b) *Explications physiologiques [35]*

(i) *Altération de l'excitabilité du sarcolemme*

Les membranes cellulaires présentent un **potentiel de repos** au niveau de leur membrane. Cette différence de potentiel est le résultat des répartitions ioniques de part et d'autre de la membrane. Une perturbation de l'excitabilité membranaire peut être à l'origine du processus de fatigue fréquemment associée à des changements du potentiel d'action du sarcolemme. Une diminution de son amplitude associée à une augmentation de sa durée va entraîner une **inhibition de la libération de calcium** dans le réticulum sarcoplasmique ayant pour conséquence une **absence de contraction**.

(ii) *Rôle du calcium dans la fatigue*

La fatigue musculaire est liée à des perturbations de concentration de calcium qui affectent le **couplage excitation/contraction**. Elle est associée à 3 mécanismes impliquant le calcium :

- Diminution de sa libération par le réticulum sarcoplasmique
- Diminution de sa recapture par le réticulum sarcoplasmique
- Diminution de la sensibilité des myofibrilles vis-à-vis de celui-ci

La séparation entre la fatigue périphérique et la fatigue centrale est totalement artificielle car la **fatigue** est **multifactorielle**. Elle joue un rôle de « protection » pour l'organisme. Ainsi lorsque les mécanismes sont dépassés, des accidents parfois graves (exemple : coup de chaleur) peuvent survenir. La fatigue doit donc être respectée et l'entraînement doit prévoir des périodes de récupération suffisantes.

(4) Courbatures [36]

(a) *Définition*

Une **courbature** (ou douleur musculaire d'apparition retardée) est une sensation de douleur et de fatigue musculaire. Elle n'est pas une lésion musculaire anatomique.

(b) *Symptômes*

Elle se caractérise par une douleur sourde, située au niveau du muscle affecté, souvent combinée avec une sensibilité ou raideur du muscle. Elle survient en général 12 heures après un effort et persiste 2 à 3 jours. Il s'agit d'une douleur qui se réveille lorsque le muscle est étiré, contracté ou mis sous pression et non lorsqu'il est au repos. Cette gêne s'atténue avec l'échauffement.

(c) *Explications physiologiques*

Trois causes sont principalement à l'origine de ces courbatures :

- une **acidose** du muscle due à l'augmentation de protons
- des **petits épanchements de sang** dus à la rupture de capillaires sanguins
- une réaction inflammatoire des tissus conjonctivo-musculaires responsable de **microlésions cellulaires diffuses** qui provoquent une hyperpression musculaire occasionnant ces douleurs retardées

Concernant l'acide lactique, il arrive en bout de chaîne lors d'un effort de longue durée et sa concentration revient à la normale lors de l'arrêt de l'activité physique. Par conséquent on comprend que le mécanisme de la courbature n'est pas dû à l'acide lactique (comme il était expliqué par le passé) puisqu'une courbature peut survenir 12 à 24 heures après l'effort et avec un effort de courte durée. Une courbature est donc due à un effort de longue durée et supérieur à la capacité de l'individu ou, au contraire, comme dans le cas des sprinteurs, à des exercices courts, mais trop contraignants pour l'organisme (à la différence de la crampe). En effet, chez le sprinteur, lors d'entraînements durant lesquels l'athlète résiste contre une charge trop importante pour lui, le risque de courbature est maximal.

(5) Crampes [37] [38]

(a) *Définition*

Une **crampe musculaire** est la contraction violente, spontanée, involontaire, soutenue et douloureuse, intéressant un ou plusieurs groupes musculaires. Elle débute habituellement brutalement sans qu'aucun symptôme ne prévienne sa venue. Sa durée ne dépasse pas quelques minutes mais le muscle peut rester sensible plusieurs heures après.

Il existe deux types de crampes :

- **Les crampes à l'effort** sur un muscle fatigué qui apparaissent au cours d'un exercice musculaire le plus souvent intense, prolongé et peu préparé.
- **Les crampes au repos** (souvent nocturnes) qui sont localisées au niveau du mollet et du pied. Elles peuvent réveiller la personne atteinte l'obligeant à se lever ou à étirer le muscle.

(b) *Symptômes*

Elle se caractérise par une douleur brutale et intense au niveau du muscle qui est induré. Lors de la palpation le muscle apparaît contracté et très sensible. La douleur s'accompagne d'un léger déplacement du segment de membre auquel appartient le muscle concerné et entraîne une impotence fonctionnelle transitoire. Ce déplacement est dû à une augmentation brutale de la pression intramusculaire qui entraîne un « infarctus » transitoire du muscle.

(c) *Explications physiologiques*

Les crampes survenant dans la pratique du sport ont une origine complexe. On suppose qu'elles seraient le résultat d'une **insuffisance d'apport en oxygène ou d'électrolytes sanguins**. Habituellement, elles sont un signe d'épuisement ou de déshydratation. L'oxygène permet la transformation des sucres en ATP. Grâce à ce dernier, qui est une réserve d'énergie utile au repositionnement initial des têtes de myosine, le relâchement des fibres musculaires est possible. Le manque en oxygène pourrait engendrer un défaut de contraction et engendrer la crampe. De plus, une quantité d'oxygène insuffisante au bon fonctionnement de la voie aérobie d'apport énergétique induit systématiquement une augmentation des apports d'énergie au moyen de la voie anaérobie lactique, plus rapidement productive en terme d'énergie, mais entraînant la formation d'un déchet : l'**acide lactique**, certainement acteur dans le mécanisme de la crampe. Autres causes d'apparition des crampes : un effort inhabituel trop intense, une mauvaise alimentation, un déficit circulatoire veineux, une fatigue musculaire après un épisode infectieux, des chaussures trop serrées, un équipement inadapté ou un stress inhabituel.

(6) Contractures [39]

(a) *Définition*

Une **contracture** est un raccourcissement involontaire, transitoire et durable (1 à 3 jours), d'un ou plusieurs muscles. Ce n'est pas une lésion anatomique. La contracture est souvent douloureuse et empêche l'utilisation correcte de la zone atteinte.

Elle se rencontre le plus souvent dans le cadre d'une surutilisation du muscle et survient après l'effort. Elle peut également être due à un **mécanisme réflexe**, consécutif à la douleur, lors d'un lumbago ou d'un torticolis par exemple. Dans ce dernier cas la contracture a pour but de réduire le déplacement des membres ou des articulations d'où le blocage.

(b) *Symptômes*

Les symptômes apparaissent 12 à 48 heures après l'effort et se caractérisent par une sensation de gêne et de lourdeur musculaire, par une douleur très localisée qui est intense à la palpation ainsi que par la présence d'une zone indurée (boule au sein d'un groupe musculaire), pouvant durer jusqu'à une dizaine de jours. Elle se distingue de la crampe musculaire par une gêne ressentie sur une durée plus longue.

(c) *Explications physiologiques*

La contracture musculaire est due à une trop grande sollicitation du muscle (efforts répétés) ou à une carence en nutriments. L'hypothèse actuelle serait au niveau des ponts actine-myosine qui resteraient accrochés après la contraction au lieu d'être relâchés.

D. La récupération [40]

La **récupération** est la somme de toutes les actions engagées afin que le corps puisse se régénérer complètement après avoir subi un stress physique et mental. On peut également la définir comme étant « *le temps nécessaire après une performance pour que l'organisme retrouve un état compatible avec la reproduction d'une performance égale* ». Plus l'effort a été intense et/ou prolongé, plus il faudra prendre du temps pour récupérer et plus l'individu est entraîné, plus vite il récupérera. À court terme la récupération permet de limiter les courbatures et d'envisager sereinement une prochaine séance de sport. À moyen ou long terme elle s'annonce encore plus capitale pour prévenir la fatigue voire l'épuisement, le surmenage et surtout les blessures.

La dépense énergétique est proportionnelle à l'intensité et à la durée de l'effort musculaire (la récupération sera d'autant plus importante que l'organisme aura souffert pendant cet effort). L'ensemble des systèmes sollicités pendant l'effort se restructure et donc chaque phase de récupération comprend les adaptations suivantes :

- Recharge des réserves énergétiques de l'organisme
- Renouvellement cellulaire (surtout au niveau des muscles)
- Adaptation du système neuronal et optimisation des mouvements dont il est à l'origine
- Adaptation du système cardio-vasculaire

Toutes ces adaptations peuvent être réalisées par différentes méthodes de **récupération active** et **passive**.

(a) *Récupération passive*

Les méthodes de **récupération passive** comprennent entre autre un sommeil suffisant, une bonne alimentation, des méthodes physio-thérapeutiques (massages), des séances de sauna, des douches chaudes/froides et des exercices de relaxation. Ces techniques sont utilisées dans les heures qui suivent l'effort.

(b) *Récupération active*

La **récupération active** est souvent effectuée juste après une séance d'entraînement. C'est ce qu'on appelle le « *cool-down* » (= retour au calme) à savoir une phase de refroidissement progressive qui dure environ 30 minutes durant lesquelles des exercices faciles et de faible intensité (40% de la puissance maximale), tels que le footing, sont effectués suivis d'étirements statiques. Ce repos doit permettre de « rembourser la dette de l'effort ».

L'objectif de la récupération active consiste à favoriser la circulation sanguine et à améliorer ainsi l'approvisionnement de l'ensemble du corps en nutriments importants. Cela permettra d'accélérer activement la récupération du corps et de favoriser le rétablissement de l'homéostasie.

III. LES DIFFÉRENTES MÉTHODES DE RÉCUPÉRATION

A. Sommeil

Le sommeil joue un rôle essentiel sur le bon fonctionnement de notre organisme. Il est un gage de bonne santé et de longévité permettant aux enfants de grandir (sécrétion des hormones de croissance), de stimuler les défenses immunitaires, de régénérer les tissus, de récupérer physiquement et psychologiquement. L'hygiène du sommeil est tout aussi importante que la bonne alimentation et l'activité physique.

(a) *Les différents cycles du sommeil*

Le sommeil est composé de cycles qui durent environ 90 minutes. Chaque cycle est entrecoupé d'une **phase de semi-réveil**. Dans une même nuit 4 à 6 cycles se succèdent. Le cycle est lui même composé de 6 phases : 4 phases de **sommeil lent** puis vient ensuite la phase de **sommeil paradoxal** suivie d'une **phase intermédiaire** (figure 27). [41]

- **Endormissement** : il comprend les *stades IA (sommolence) et IB (assoupissement)* et correspond à la détente du corps permettant l'accès au sommeil.
 - Caractéristiques : c'est une phase de transition entre l'éveil et le sommeil durant laquelle il y a une **diminution du tonus musculaire** et du **rythme cardiaque**. Une personne réveillée durant cette phase n'a pas le souvenir d'avoir dormi.
 - Durée : quelques minutes (au delà de 20 minutes on parle d'insomnie).
 - Rôle : c'est porte d'entrée du sommeil. Il est important que cette phase se passe dans les meilleures conditions pour profiter au maximum des effets bénéfiques du sommeil.

- **Sommeil lent léger** : correspond au *stade 2* durant lequel le dormeur est encore facile à réveiller.

- Caractéristiques : début de l'apparition des **ondes électriques lentes** du cerveau. Les mouvements oculaires et le tonus musculaires diminuent progressivement et la respiration devient régulière. Une personne réveillée durant cette phase a le souvenir d'avoir dormi.
 - Durée : 50% du temps global du sommeil (augmentation avec l'âge au détriment des stades 3 et 4)
 - Rôle : début de la récupération physique de l'organisme
- **Sommeil lent profond** : correspond aux *stade 3 et 4* durant lesquels il devient très difficile de réveiller le dormeur.
- Caractéristiques : **ondes électriques très lentes**. L'activité des fonctions vitales se ralentit nettement avec une diminution des rythmes cardiaque et respiratoire ainsi qu'un abaissement de la température corporelle. Disparition quasi totale de l'activité musculaire et des mouvements oculaires.
 - Durée : 40% du temps global du sommeil
 - Rôle : favorise la sécrétion hormonale (hormone de croissance chez l'enfant), renforce l'efficacité des défenses immunitaires ainsi que l'ancrage des informations dans la mémoire.
- **Sommeil paradoxal** : période privilégiée à l'expression des **rêves**.
- Caractéristiques : les **ondes électriques** du cerveau sont **rapides**. Il y a une disparition totale du tonus musculaire accompagné des mouvements oculaires rapides (« Rapid Eye Movements »). Les fonctions vitales (respiration et rythme cardiaque) sont instables.
 - Durée : 10% du temps global du sommeil
 - Rôle : en plus de l'apparition des rêves, il joue un rôle primordial dans la maturation du système nerveux ainsi que dans l'augmentation des capacités de stockage en mémoire.

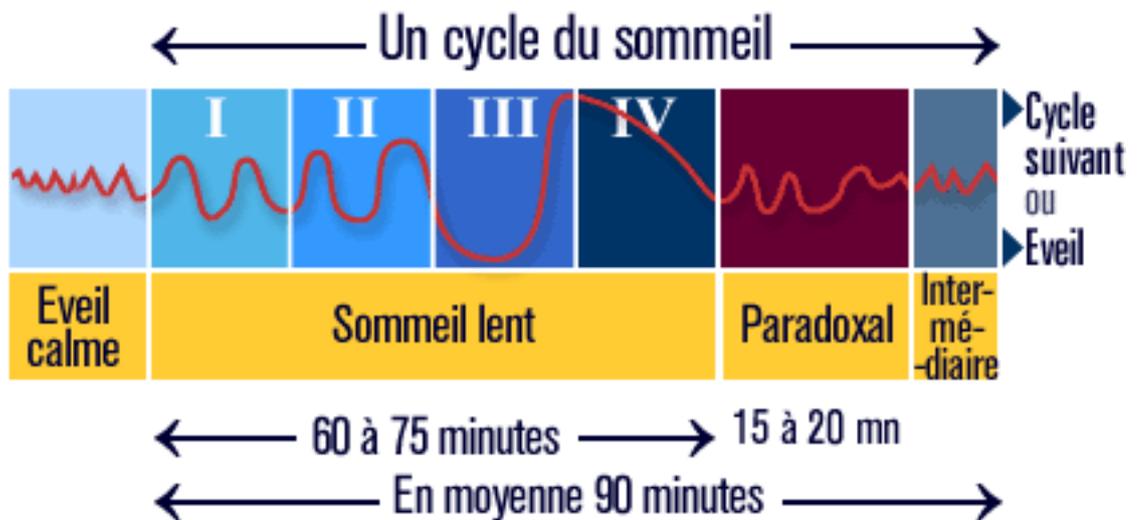


Figure 27 : Un cycle du sommeil

(D'après (en ligne), <https://solutions-sante.net/le-sommeil/cycle-sommeil.html>)

(b) *L'horloge interne*

L'**horloge interne** (ou horloge biologique) représente l'ensemble des mécanismes biochimiques et physiologiques qui permettent une activité rythmique de l'organisme.

Le rythme biologique de chaque individu est réglé sur ce qu'on appelle le **rythme circadien** proche de la durée d'une journée, soit 24 heures. Chez l'homme, c'est l'**hypothalamus** qui impose le rythme circadien de l'organisme. [42]

Ce rythme est généré naturellement par l'organisme mais le corps nécessite une synchronisation avec le cycle jour/nuit pour éviter de se décaler un peu chaque jour.

Pour se faire, il existe plusieurs synchroniseurs comme la **température**, l'**activité physique** mais surtout **la lumière**. Cette dernière est captée par les cellules photo-réceptrices de la rétine de l'œil puis transmise jusqu'au cerveau afin de resynchroniser l'organisme sur 24h. Elle peut faire varier la sécrétion d'une hormone, la **mélatonine**, qui augmente en fin de journée pour favoriser l'endormissement et diminue le matin. L'information est ensuite retransmise jusqu'au cerveau, via les hormones, à des hormones périphériques interne de chaque organe (cœur, poumon, foie etc.). Ces horloges périphériques permettent d'optimiser le fonctionnement de chaque organe en faisant le relais entre l'horloge interne et l'environnement.

(c) *L'importance du sommeil chez le sportif*

Les athlètes sont fréquemment sujets à des troubles du sommeil (*Bishop 2004 ; Richmond et al. 2004*) [43] [44] pouvant aller de l'insomnie modérée à une perturbation totale de la nuit de sommeil. Les conséquences de troubles du sommeil sur la performance d'un sportif varient en fonction de l'importance de ce manque ainsi que du type de performance nécessaire. Une mauvaise nuit ne perturbera pas automatiquement la performance d'un athlète de sprint le lendemain même s'il ne sera pas à son meilleur niveau. En revanche elle peut perturber celle d'un athlète d'endurance qui aura alors du mal à maintenir son effort. C'est la privation sur plusieurs jours qui peut avoir des conséquences sur la performance avec **diminution des capacités d'attention, de concentration, d'anticipation, de stratégie ou encore de temps de réaction**. Mais également cette privation ne va pas permettre une restauration inflammatoire, musculaire et cardio-vasculaire de qualité suffisante. Ces troubles du sommeil accroissent le stress psychophysiologique induit par l'exercice et engendrent un allongement de la période de récupération post exercice nécessaire (*Skein et al. 2011*). [45] Il est donc important pour les sportifs de ne pas se priver de sommeil les jours précédant une compétition. Il est également conseillé de terminer son activité physique par de la relaxation comme des massages pour favoriser l'endormissement. À noter qu'il faut éviter de pratiquer des activités sportives dans les 4 à 5 heures précédant le coucher. [46]

(d) *Sommeil, blessures et infections [47]*

Il existe une relation entre l'activité physique et le sommeil. Des études épidémiologiques (*Chennaoui et al, 2015*) [48] ont montré une corrélation positive entre **l'exercice physique** et le ressenti d'un **meilleur sommeil**. Ces recherches concernent autant les personnes n'ayant pas de problème de sommeil que les populations d'insomniaques chroniques. Les résultats ont montré que la sédentarisation diminue l'amplitude des rythmes circadiens et que les effets de l'exercice physique peuvent être assimilés à ceux de la lumière de haute intensité. On en a conclu que l'activité physique avait un effet positif sur le processus d'entrée dans le sommeil. On parle ainsi de « **cercle vertueux** » entre activité physique et sommeil. L'influence du sommeil sur la fonction immunitaire est aujourd'hui bien documentée et montre que le respect d'une quantité de sommeil suffisante est

indispensable à la préservation des défenses immunes (Lange et al. 2010) [49]. Deux autres études se sont penchées sur cette relation. La première a suivi pendant 21 mois une cohorte d'adolescents sportifs de haut niveau en mesurant les **heures de sommeil par nuit** et le **nombre de blessures** recensées pendant l'année (**figure 28**). Les résultats montrent que les athlètes dormant moins de 8 heures par nuit avaient 1,7 fois plus de risques de se blesser que ceux ayant au moins 8 heures par nuit. Cette étude appuie le fait que la restriction de sommeil aura une incidence sur les processus de récupération et pourra **augmenter les facteurs de risque de survenue de blessure**.

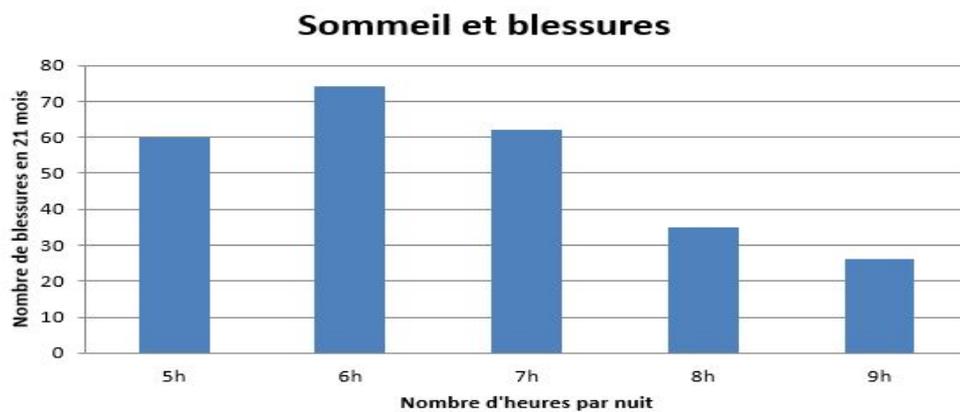


Figure 28 : Sommeil et blessures

(D'après (en ligne), <http://www.lepape-info.com/sante/limportance-du-sommeil-pour-le-sportif/>)

La seconde étude prend en compte le **nombre de rhumes** dans une population d'athlètes de haut niveau en fonction du **nombre d'heures de sommeil**. Les résultats montrent que les athlètes dormant 5 heures par nuit avaient 4,5 fois plus de risques d'attraper un rhume que ceux dormant plus de 7h par nuit.

Il semblerait qu'il y ait bien un **lien entre le sommeil et la récupération**.

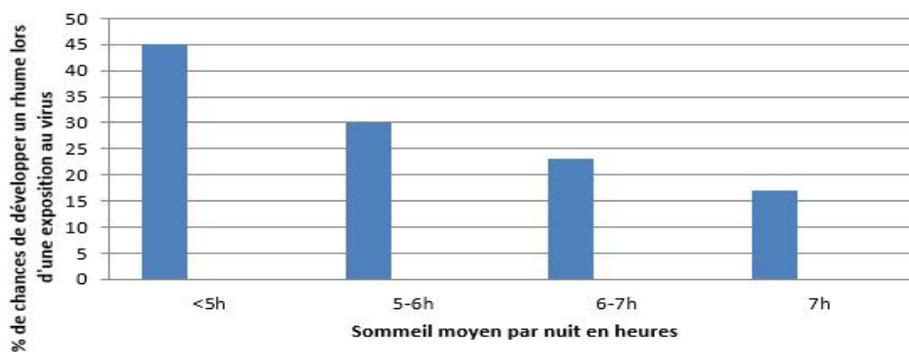


Figure 29 : Sommeil et immunité

(D'après (en ligne), <http://www.lepape-info.com/sante/limportance-du-sommeil-pour-le-sportif/>)

(e) *Les conseils à l'officine, règles hygiéno-diététiques*

Le sommeil est un élément essentiel de la récupération du sportif. Il est conditionné par de nombreux paramètres comme la régularité des horaires du coucher mais aussi par des facteurs nutritionnels. Cette relation entre nutrition et sommeil est à double sens. Ainsi certaines stratégies nutritionnelles peuvent en retour favoriser la somnolence et le sommeil tandis que d'autres ont au contraire un effet stimulant. **La composition qualitative des repas va influencer la qualité du sommeil.**

(1) Alimentation et boissons

(a) *Les aliments et boissons qui favorisent le sommeil*

La **sérotonine** est l'hormone qui contrôle l'état de vigilance en favorisant la sédation ainsi que l'endormissement. Certains aliments conditionnent la synthèse de cette hormone. Ils vont avoir pour conséquence de faciliter ou à l'inverse de nuire au sommeil.

C'est le cas en particulier du *lait*, des *produits laitiers* et autres produits animaux tel que la *volaille*. En effet, ces aliments sont riches en **tryptophane** (*Hartmann et Spinweber 1979*) [50] qui est l'acide aminé précurseur de la sérotonine. **Le bol de lait chaud pris le soir au coucher**, conseillé par nos grands-parents pour faciliter le sommeil, trouve ici une justification biochimique.

Les **hydrates de carbone** sont également des facilitateurs du sommeil (*pâtes, riz complet, pommes de terre, pain complet*). Il ne s'agit pas que d'un effet mécanique sur la distension de l'estomac et la satiété. En effet, un repas riche en **sucres lents** stimule la sécrétion d'**insuline**, ce qui facilite l'absorption de tryptophane par le système nerveux et donc sa transformation en sérotonine. Ainsi les féculents vont augmenter les phases de sommeil lent particulièrement réparatrices.

La consommation de **boissons chaudes** le soir au coucher est également connue pour faciliter le sommeil (mécanisme thermique sur les organes digestifs). **Certaines plantes** contenues dans les tisanes sont reconnues pour agir sur l'équilibre nerveux et l'endormissement, en particulier *tilleul, verveine, camomille, passiflore et valériane*. Il est conseillé d'éviter la réglisse et la menthe du fait de leurs vertus plus stimulantes. Il est évident qu'il faut **éviter les excitants** (caféine et théine) et privilégier les boissons décaféinées ou la chicorée.

(b) *Les aliments qui nuisent au sommeil*

Un **apport énergétique inadapté** est l'une des causes les plus fréquentes de perturbation du sommeil. En effet dans les régimes trop restrictifs, ou lors des **sauts de repas**, la carence énergétique entraîne un réveil nocturne.

A l'inverse un apport excessif est une cause évidente de difficulté de digestion ainsi que de lourdeur abdominale. Sur le plan qualitatif, il convient d'**éviter au dîner les graisses cuites** (*fritures, panures, sauces etc.*) mais également les **plats épicés**.

Certains légumes seront également écartés pour leur fermentation importante, source de ballonnement intestinal (*choux, légumes secs*).

De plus l'**apport protéiné excessif** est parfois mis en cause dans les insomnies. Les nombreux acides aminés apportés par l'alimentation vont conduire entre autre à la fabrication hormonale. Si le tryptophane intègre la synthèse de sérotonine qui facilite le sommeil, d'autres acides aminés participent à la fabrication d'**hormones excitatrices** (adrénaline, noradrénaline, GABA etc.) et conduisent à l'effet inverse. L'alimentation enrichie en acides aminés (surtout acides aminés branchés) stimule les phases de sommeil paradoxal et favorise la vigilance.

Il est nécessaire que le dîner ne soit pas trop tardif (jusqu'à deux heures avant le coucher). L'**alcool** est aussi à limiter le soir car il favorise l'endormissement mais entraîne des réveils nocturnes en deuxième partie de nuit. Enfin le **chocolat noir** peut aussi perturber le sommeil car il contient de la **théobromine** qui est une molécule voisine de la caféine.

(c) *Boissons qui perturbent le sommeil*

La **déshydratation** est une cause fréquente de perturbation du sommeil surtout lorsqu'elle devient chronique.

Cette déshydratation se développe insidieusement alors que le sportif a l'impression de boire suffisamment. Cet état évolue vers différents symptômes, dont les réveils nocturnes, avec sensation de soif, élévation de la fréquence cardiaque. Le sommeil ne devient plus récupérateur et la fatigue se fait ressentir dès le lendemain matin.

Les excitants apparaissent logiquement comme perturbateurs du sommeil : **café, thé, alcool** (réduction de la durée des phases de sommeil profond : *Rundell et al 1972*) [51], **sans oublier les sodas au cola** ou encore les **boissons énergisantes**. Ces dernières sont diurétiques

et déshydratent l'organisme. Par ailleurs ces produits contiennent une dose non négligeable de caféine ainsi qu'une multitude de molécules chimiques dont on ne connaît pas les réels effets sur l'organisme. Il est donc nécessaire d'éviter ces excitants après 16h car ils vont retarder l'endormissement et augmenter les réveils nocturnes.

(2) Exposition à la lumière

Une gestion adéquate de l'exposition aux lumières avant l'heure de coucher est une étape primordiale afin de faciliter l'endormissement. En effet la lumière est le principal synchronisateur de l'horloge biologique qui régule nos périodes d'éveil et de veille. Il est donc important de **diminuer l'exposition à la lumière de type bleue** (émise principalement par les écrans d'ordinateur ou bien de Smartphone) qui a un effet excitateur et qui ne facilite pas l'endormissement.

(3) L'intérêt des siestes courtes

Lors des périodes d'entraînement intense le sommeil peut être perturbé. La sieste peut permettre aux sportifs de compenser ce manque de sommeil.

Une sieste ne peut être bénéfique sur les processus cognitifs et les performances psychomotrices que si elle fait suite à une nuit de sommeil normal (*Petit-Chanteau et al 2017*) [52]. De plus, plusieurs règles sont à respecter pour une sieste récupératrice réussie. Tout d'abord **consommer son café avant de s'allonger** puis réaliser une sieste ne dépassant pas **20 minutes**. Au-delà le corps passe en sommeil profond et il est alors possible pour le sportif de se sentir encore plus fatigué après ce moment de repos. En effet des siestes de plus de 20 minutes vont « empiéter » sur le capital sommeil de la nuit et donc favoriser l'insomnie de la première partie car l'organisme sera déjà reposé et aura du mal à s'endormir. Elle peut être effectuée à tout moment de la journée, le meilleur moment étant entre 12 et 15 heures. Si l'on parvient à dormir le sommeil est bénéfique non seulement sur le plan physique mais également sur le plan de l'attention et du temps de réaction. Si l'on n'y parvient pas cette période de repos est tout de même relaxante et profitable. [45]

(4) Les conseils à l'officine, la prise de médicaments

(a) *La prise d'inducteurs de sommeil*

La prise d'inducteurs de sommeil n'est pas contre-indiquée chez un sportif en respectant bien la posologie et les heures de prises. **Ils provoquent le sommeil mais ne le prolongent pas au petit matin.** Ils sont donc sans effet sur les performances du lendemain. Un état de ralentissement le matin au réveil serait plus consécutif à une nuit profonde particulièrement réparatrice qu'à un effet secondaire du médicament. Une **prise occasionnelle** ne rendra pas dépendant le sportif. Le recours à ce type de médication **doit rester exceptionnel** avec un avis médical. Mais dans certaines situations (pré-compétition, stress, entraînement fractionné intense), il est conseillé d'avoir recours à une aide médicamenteuse et donc de bien dormir plutôt que de ne pas récupérer et d'accumuler une fatigue aux lourdes conséquences.

Les **hypnotiques** (connus sous le nom de « somnifères ») sont délivrés uniquement sur ordonnance et ne sont jamais à prendre sans avis médical. Le traitement va dépendre du type de trouble observé, de sa durée, de sa cause, du contexte. Seul un médecin peut prescrire le traitement qui convient, en tenant compte des symptômes, mais aussi de l'âge, de l'état de santé ou du mode de vie du patient. [53]

Parmi les plus courants :

- **Zopiclone** (Imovane®) et **Zolpidem** (Stilnox®) : familles chimiques apparentées à la classe des benzodiazépines. Leurs effets sont liés à une action agoniste spécifique sur un récepteur central faisant partie du complexe « récepteurs macromoléculaires GABA-OMEGA » et modulant l'ouverture du canal chlore. Chez l'homme, la **zopiclone** augmente la durée et améliore la qualité du sommeil, diminue le nombre de réveils nocturnes et de réveils précoces. Le **zolpidem**, quant à lui, raccourcit le délai d'endormissement, réduit le nombre de réveils nocturnes, augmente la durée totale du sommeil et en améliore la qualité.
- **Lormetazepam** (Noctamide®) : Hypnotique et sédatif, dérivé de la benzodiazépine. Même mode d'action que l'Imovane® et le Stilnox®. [54]

Leurs effets indésirables sont communs : agitation, cauchemars, modification de la conscience et de la libido, irritabilité, agressivité, hallucinations.

(b) *La prise de spécialités en phytothérapie*

La phytothérapie présente un grand intérêt pour le pharmacien d'officine dans le traitement d'une insomnie légère. En effet, elle ne présente pas les effets secondaires ni le risque de dépendance des médicaments psychotropes. Parmi elles :

- **Euphytose nuit**®, laboratoire Bayer (**figure 30**) :
 - Composition : complément alimentaire à base de **1mg de mélatonine** (réduction du temps d'endormissement) et de **passiflore** (maintient un sommeil de qualité).
 - Conseils d'utilisation : 1 comprimé par jour, entre 30 minutes et 1 heure avant le coucher (en usage ponctuel ou en programme jusqu'à 30 jours). [55]
- **Novanuit**®, laboratoire Sanofi (**figure 31**) :
 - Composition : complément alimentaire à base de **1mg de mélatonine** (réduction du temps d'endormissement), de **passiflore** (maintient un sommeil de qualité), d'**extraits de Pavot de Californie**, de **mélisse** et de **vitamine B6**
 - Conseils d'utilisation : 2 gélules par jour, entre 30 minutes et 1 heure avant le coucher (programme de 15 jours à renouveler si nécessaire). [56]
- **ArkoRelax sommeil fort**®, laboratoire Arkopharma (**figure 32**) :
 - Composition : **comprimé bicouche** avec une 1^{ère} couche à libération rapide contenant **1 mg de Mélatonine** (réduction du temps d'endormissement), de la **passiflore** et de la **valériane** (facilitent la détente). La 2^{ème} couche libère progressivement **0,9 mg de mélatonine**, de la **vitamine B6** ainsi que de l'**Eschscholtzia** (limitation des réveils nocturnes et augmentation du sommeil réparateur).
 - Conseils d'utilisation : Prendre **1 comprimé par jour 1 heure avant le coucher**, à avaler avec un grand verre d'eau (programme de 30 jours à renouveler si nécessaire). [57]



Figures 30, 31, 32 : Euphytose nuit®, Novanuit®, ArkoRelax sommeil fort®

Pour ces trois spécialités les précautions d'emploi sont les mêmes, à savoir : prise du médicament dans le cadre d'une alimentation variée, équilibrée et d'un mode de vie sain. Ne pas dépasser la dose journalière recommandée. Les personnes sous contrôle médical, les femmes enceintes ou allaitant doivent demander conseil à un médecin. Ce sont toutes les trois des spécialités réservées à l'adulte.

(c) *La prise d'antihistaminiques [58]*

En officine, des antihistaminiques H1 sont disponibles sans ordonnance et sont utilisés pour leur **effet sédatif**. Parmi eux :

- La **doxylamine** (Donormyl®, Noctyl®, Lidene®) est un antihistaminique H1 de la classe des éthanolamines qui réduit le délai d'endormissement et améliore la durée et la qualité du sommeil. La doxylamine est réservée à l'adulte de plus de 15 ans à la posologie de 1/2 à 2 comprimés, 15 à 30 minutes avant le coucher.
- La **prométhazine** (Phénergan®) est un antihistaminique H1 phénothiazinique possédant des effets sédatifs. La posologie est de 1 à 2 comprimé (s) le soir.

Le traitement à base d'antihistaminique H1 doit être de courte durée sur 2 à 5 jours. Comme tous les antihistaminiques H1 ces deux molécules possèdent des **effets anticholinergiques indésirables** tels que la constipation, la sécheresse buccale, des troubles de l'accommodation et une confusion. De plus elles sont contre-indiquées chez les personnes souffrant de glaucome à angle fermé et de troubles uréthro-prostatiques. Utilisation prudente d'un véhicule ou de machines car la doxylamine et la prométhazine ont une demi-vie de 10 heures en moyenne ce qui entraîne une somnolence diurne. Cette somnolence diurne fait qu'ils ne sont donc pas des produits de choix pour le traitement de l'insomnie chez le sportif qui doit être opérationnel dès son réveil.

(d) *La prise d'homéopathie [59]*

Dans le traitement de l'insomnie occasionnelle plusieurs souches homéopathiques pourront être prises suivant les symptômes à la posologie de 5 granules au coucher, à répéter une ou plusieurs fois avant l'endormissement et/ou en cas de réveil nocturne. Les granules devront être prises à distance des repas (entre 30 minutes à 2 heures après) ainsi qu'à distance

du thé, de la menthe ou encore de la cigarette pour avoir une bouche propre et permettre une meilleure absorption.

Les souches homéopathiques indiquées dans le traitement de l'insomnie que le pharmacien peut conseiller sont les suivantes :

- **Aconitum napellus 15 CH** : pour un réveil se produisant vers 1h du matin accompagné de palpitations, d'une sensation de chaleur et d'une certaine anxiété, qui peuvent être motivées par un cauchemar.

- **Arnica montana 9 CH** : pour un endormissement difficile en raison d'efforts physiques inhabituels.

- **Cocculus indicus 9 CH** : pour les sportifs souffrant de décalage horaire.

- **Gelsemium 7 CH** : pour les insomnies par anxiété d'anticipation (exemple des sportifs à la veille d'une compétition).

- **Kalium bromatum 9 CH** : pour les endormissements difficiles et les terreurs nocturnes.

- **Nux vomica 15 CH** : pour des personnes dont l'endormissement est gêné par une colère récente ou une déception. [60]

Des spécialités peuvent aussi être conseillées. Elles sont composées d'une ou plusieurs de ces souches homéopathiques et sont ainsi indiquées en cas d'insomnie occasionnelle. On peut citer parmi ces spécialités :

- **Homéogène 46®** : boîte de 60 comprimés. Médicament homéopathique utilisé dans les troubles légers du sommeil.

- **L 72®** : flacon de 30 ml. Médicament homéopathique utilisé dans les troubles mineurs du sommeil et les troubles liés à l'anxiété, l'hyperexcitabilité (émotivité, nervosité etc.) [61].

- **Sédatif PC®** : boîte de 40 ou de 90 comprimés. Médicament homéopathique utilisé dans le traitement de l'irritabilité, de la nervosité, des troubles du sommeil et autres troubles légers liés à l'anxiété et à l'émotivité.

(e) *La prise d'oligoéléments*

L'oligothérapie est une méthode thérapeutique qui emploie des **oligoéléments** : ce sont des substances indispensables à notre organisme dans le fonctionnement général du métabolisme et présentes en très faibles quantités. [62]

Le principal oligoélément utilisé dans l'insomnie est le **lithium** qui peut être associé au **magnésium** pour aider à retrouver un sommeil réparateur lors d'un traitement de plusieurs semaines.

Plusieurs spécialités sont disponibles :

- les ampoules **Oligosol®**
- les ampoules **Granions®**
- les comprimés à sucer **Oligostim®**.

La prise d'oligo-éléments est à faire à jeun ou avant les repas pour favoriser l'absorption au niveau du tube digestif.

(5) Autres conseils à l'officine

- Se coucher dès que les premiers signes d'endormissement apparaissent
- La température de la chambre doit être comprise entre 17 et 19°C, l'air de la pièce ne doit pas être trop sec pour que la respiration et donc le sommeil soient de meilleure qualité. Il est préférable d'utiliser une couette épaisse en hiver plutôt que d'augmenter la température du radiateur. Il faut aussi choisir une literie confortable.
- Se relaxer avant l'heure du coucher et ne pas mobiliser l'attention juste avant le coucher. Ainsi l'activité physique et intellectuelle est à favoriser en première partie de journée mais à proscrire après 17 heures. De même le fait de regarder la télévision au lit stimule le cerveau et est fortement déconseillé. Privilégier une activité calme facilitant l'endormissement.
- Les douches/bains chauds sont à éviter avant le coucher car la température corporelle baisse pendant la nuit et l'augmenter va à l'encontre de la physiologie du sommeil.
- Après une nuit courte, il est déconseillé de dormir toute la journée, le sommeil sera moins qualitatif et plus léger. Notre organisme se régulant selon un rythme binaire veille/sommeil, il y a un risque d'être déphasé. Il est alors conseillé de faire une sieste de 2h maximum et de se coucher plus tôt le soir suivant.
- Se lever tous les jours à la même heure a un effet synchronisateur qui améliore la qualité du sommeil.
- Respecter une bonne hygiène alimentaire et des stratégies hydriques adéquates.
- Rester calme lorsque le sommeil ne vient pas en ayant pour objectif de se relaxer.

B. Nutrition

L'adéquation de l'apport alimentaire aux dépenses énergétiques est un facteur clé de la récupération nutritionnelle. La phase de récupération doit permettre de compenser les pertes consécutives à l'effort physique fourni pendant un entraînement ou une compétition en adaptant l'alimentation à ces périodes avant, pendant et après l'effort.

(a) *Les différents types d'apport énergétique [63]*

(1) Les oligoéléments et minéraux

- **Magnésium** (oligoélément) : retrouvé dans les aliments énergétiques comme le *chocolat, les fruits secs, le riz* ou encore *les noix*. Un apport insuffisant augmente le risque de contractures ou de fatigues anormales. Il permet la dégradation d'ATP en ADP + P pour la contraction musculaire et il participe au métabolisme des glucides et à la synthèse des protéines.
- **Potassium** (minéral) : on le retrouve dans les *fruits secs*. Il participe à la bonne circulation des fluides dans le corps et permet aux muscles de se contracter sans blessure.
- **Calcium et phosphore** (minéraux): en grande quantité dans les *produits laitiers*, ils interviennent dans la construction de l'os ainsi que dans la transmission neuromusculaire.
- **Sodium** (minéral) : certains *fromages, céréales ou pains* sont riches en sodium. Le sodium contrôle la tension artérielle et participe au fonctionnement des muscles et des nerfs. Il est éliminé dans les exercices prolongés en forte chaleur.
- **Fer** (minéral) : retrouvé dans les *viandes rouges* mais également dans des épices tel que le *cumin* ou encore le *thym*. Il a un rôle primordial dans le transport de l'oxygène. Des carences entraînent une fatigue importante et rendent les os et les muscles plus fragiles.

(2) Les vitamines

Les **vitamines** sont des substances organiques indispensables au bon fonctionnement du corps humain (os, système cardiaque, digestion, appétit etc.). Une alimentation non équilibrée entraîne une carence en vitamines pouvant augmenter les risques de blessures chez le sportif. C'est pourquoi il est recommandé aux sportifs de surveiller leur apport en vitamines, surtout les B et C qui participent à l'apport d'énergie, qui sont antistress et luttent contre la fatigue. Le corps humain étant incapable de synthétiser lui-même les vitamines (hors vitamines K et D), c'est par la nutrition que l'apport se fait.

Parmi les vitamines indispensables chez le sportif, nous allons voir les vitamines C, D et B1.

➤ **Vitamine C** :

- **Rôle** : protège le corps des infections, lutte contre la fatigue et favorise d'absorption du fer.
- **Aliments** : certains fruits comme le *kiwi*, *l'orange* et *le cassis*, ainsi que certains légumes comme les *poivrons rouges*, *betteraves* ou *brocolis* en sont riches.
- **Stock** : la vitamine C est peu stockée dans le corps humain et s'élimine dans les urines et dans la transpiration. C'est pourquoi un sportif avec une activité physique quotidienne épuise rapidement son stock de vitamine C.
- **Conseils à l'officine** : en cas de grosse fatigue une cure de vitamine C en ampoules ou en comprimés est recommandée.

Plusieurs spécialités : Vitamine C® du laboratoire UPSA ou Berocca® du laboratoire Bayer

➤ **Vitamine D** :

- **Rôle** : elle permet de fixer le calcium sur les os les rendant plus résistants.
- **Aliments** : les *rayons UVB* sur la peau vont générer cette vitamine qui est donc largement fournie en été. En hiver, elle peut être apportée par du *poisson* et tout type de *produits laitiers*
- **Conseils à l'officine** : faire une cure de vitamine D au début de l'hiver et réitéré à intervalle de temps régulier tout au long de l'hiver.

➤ **Vitamine B1** :

- **Rôle** : elle permet de convertir les sucres en énergie lors de l'effort physique
- **Aliments** : *céréales*, *légumes*, *fruits*, *poissons*, *porc* et *abats*
- **Stock** : c'est une vitamine hydrosoluble qui reste donc peu de temps dans le corps

(3) Fruits

Tous les fruits sont bons et apportent chacun un bénéfice particulier de part leur richesse nutritionnelle spécifique. Certains fruits sont toutefois à privilégier chez le sportif :

- **L'orange** : par sa forte teneur en **vitamine C** qui favorise en particulier le stockage énergétique en glycogène. Du côté des minéraux le **calcium** domine. C'est également un puissant antioxydant. La consommation quotidiennement d'une orange assure les besoins en vitamine C chez le sportif.
Ce fruit contribue à la bonne santé osseuse et cartilagineuse ainsi qu'à l'absorption du fer par la complémentarité d'action de la vitamine C.
- **La banane** : fruit très riche en **potassium** et en **magnésium** qui contribuent à limiter l'apparition de crampes, de courbatures et de fatigue chez le sportif. Le magnésium a également un rôle à jouer dans l'adaptation au stress. La banane fait partie des fruits les plus énergétiques et peut participer à la restauration des stocks énergétiques (principalement les **glucides**) lors de la *collation de récupération*. Sont également présents en plus du potassium et du magnésium les **vitamines B et E** qui interviennent dans la constitution des stocks énergétiques pour la vitamine B et qui contribuent à renforcer le potentiel antioxydant en phase de *récupération d'effort*.
- **Le kiwi** : Comme l'orange le kiwi est très riche en **vitamine C**. C'est le fruit de référence du petit-déjeuner. Ce fruit en *ration de récupération* contribue aux défenses anti-radicalaires et à la récupération. On considère qu'un seul kiwi peut couvrir à lui seul les besoins quotidiens en vitamine C (Apports Nutritionnels Conseillés = 100 mg/j). On note également la présence de **vitamine E**, ce qui fait son originalité puisque les sources de vitamine E sont généralement retrouvées dans les produits gras. Avec sa richesse en vitamine C et E il possède une très importante activité antioxydante. L'apport en minéraux est quant à lui dominé par le **potassium**. De plus le kiwi possède une enzyme, l'Actinidine, qui facilite la digestion des protéines animales et leur assimilation.

- **Le raisin** : sa forte teneur en **eau** et en **potassium** lui confère une action diurétique, favorable à l'élimination des déchets, sous réserve d'une hydratation correcte. La présence de polyphénols renforce les défenses anti-oxydantes du sportif. Recommandé chez le sportif dans ses rations d'effort sous forme de raisins secs ou sous forme de boissons d'effort (jus de raisin dilué), il est également indiqué dans la ration de récupération par sa richesse en sucre facilement assimilable (et son pouvoir antioxydant et alcalinisant). De plus le raisin a d'autres bienfaits sur la santé comme la prévention des maladies cardiovasculaires, la diminution du mauvais cholestérol, la régulation de la tension artérielle.
- **La pomme** : souvent connue comme « coupe-faim », peu calorique, elle est très souvent consommée par les sportifs faisant une discipline à catégorie de poids. La pomme est riche en **fibres** qui vont « gonfler », contribuant à la sensation de satiété. Elles sont habituellement bien tolérées mais peuvent être agressives pour les intestins fragiles. Ce fruit a également une action diurétique par son rapport potassium (haut)/sodium (bas).

(4) Légumes

- **Le brocoli** : constitue une grande source de **vitamine C**, de **béta-carotène** (antioxydant), de **vitamine B9** et de **potassium** qui réduisent le risque de maladie cardiovasculaire.
- **Le chou-fleur, le navet, le radis** : sont riches en **vitamines C** et **B9** (les folates) ainsi qu'en substances soufrées.
- **La courge** : renferme une grande concentration de **béta-carotène**.
- **Les épinards, les bettes, la mâche, la salade verte** : jouent un rôle protecteur grâce à leur forte concentration en **vitamine C**, **vitamines B9**, en **béta-carotène**, en **fibres** et en **minéraux**.
- **Les légumineuses** (lentilles, pois chiches, haricots blancs) : ont un apport élevé en **fibres** solubles et insolubles et en **minéraux** comme le magnésium, le potassium et le phosphore.

- **L'oignon, l'ail et l'échalote** : possèdent des **phyto-composants actifs** (substances soufrées) qui favorisent la fluidité du sang, aident à abaisser le cholestérol et la tension artérielle. Ils possèdent aussi des propriétés antibactériennes et diurétiques.
- **Le poivron** : c'est l'un des légumes les plus riches en vitamine C mais aussi en **béta-carotène** et en **pigments flavonoïdes** (qui luttent contre les radicaux libres).
- **La carotte** : a un apport important en **provitamine A** (ou béta-carotène) ainsi qu'en **pectines**.

(5) Féculents

Au quotidien, il est préférable de privilégier les féculents qui évitent une libération excessive d'insuline. Il faut donc se tourner vers les **féculents les moins insulino-sécréteurs** et les moins transformés contenus dans des *céréales entières* (avoine ou autres), du *pain complet aux céréales ou au levain pur*, des *légumes secs* (lentilles, haricots secs..), *des pâtes et du riz complets*, *des pommes de terre*, *des patates douces* ou encore du *quinoa*.

Les **féculents** à oublier par leur **libération excessive d'insuline** sont les céréales « du matin » type corn flakes ou blé ou riz soufflé, le pain blanc, les purées industrielles ainsi que les pâtes et le riz à cuisson rapide.

(6) Macronutriments

Les macronutriments sont constitués des **glucides**, des **protéines** et des **lipides**. Ce sont les nutriments provenant de notre alimentation qui fournissent de l'énergie à notre corps et assurent le bon fonctionnement de ses fonctions vitales.

(a) Les glucides

Les glucides sont les fournisseurs d'énergie les plus importants dans notre alimentation que ce soit pour le cerveau ou pour toutes les activités physiques. En fonction de la longueur de leur chaîne, ils vont être classés en mono/di/oligo ou polysaccharides.

Les glucides sont stockés dans le corps sous forme de **glycogène** dans le foie ainsi que dans les muscles. Ces réserves en glycogène sont utilisées par le corps comme source d'énergie pendant un effort physique et sont ensuite ravitaillées par l'alimentation.

Les glucides doivent couvrir au moins 50 % des besoins énergétiques quotidiens d'une personne adulte. Il est aussi conseillé de privilégier les **glucides complexes** qui, contrairement aux **glucides simples**, n'occasionnent pas de pics de glucose, gardent plus longtemps le sportif rassasié, sont riches en minéraux, contiennent des fibres, contribuent à la santé de la flore intestinale et font baisser le niveau de cholestérol.

- Aliments riches en glucides complexes : fruits, légumes, légumineuses, céréales et graines, patates douces, produits au blé complet, riz nature.
- Aliments riches en glucides simples : le sucre, les bonbons, les produits à base de farine blanche, boissons gazeuses sucrées et jus de fruits.

Pour la récupération immédiate après exercice (0 à 4 heures), il est conseillé de consommer environ 1,0 g/kg/h d'hydrates de carbone à des intervalles fréquents (*Jentjens et al, 2003*) [64]. De plus il a été montré que les hydrates de carbones doivent constituer un choix prioritaire dans les menus de récupération post-exercice. En effet, grâce à leurs indices glycémiques élevés, ils fournissent une énergie rapide pour la resynthèse en récupération (*Burke et al, 2004*) [65].

(b) *Les protéines*

Les protéines se composent d'un assemblage d'acides aminés reliés entre eux par des chaînes. On retrouve au total 20 acides aminés dans notre corps. Ils sont classés en trois catégories : les **acides aminés essentiels** (non produits par notre corps), **conditionnellement essentiels et non essentiels**.

Les protéines agissent comme hormone, enzyme et anticorps du système immunitaire qui nous protège contre les infections. Environ 60% des protéines présentes dans notre corps sont stockées dans les muscles. Il est recommandé de consommer quotidiennement 1g de protéines par kilogramme de poids corporel.

- Les aliments riches en protéines : les poissons et fruits de mer, les produits laitiers, les œufs, les noix, les produits à base de céréales.

De nombreuses études (*Ivy et al. 2002*) [66] se sont penchées sur le rôle des protéines en phase de récupération et l'ensemble des résultats souligne l'importance d'une

réalimentation précoce en protéines (dès la fin de l'exercice). En revanche ils ne vont pas en faveur d'un apport de protéines et d'acides aminés insulino-gènes pour stimuler le stockage du glycogène musculaire post-effort.

(c) *Les lipides*

Les lipides apparaissent dans notre alimentation sous forme solide ou liquide :

- Acide gras saturés : viandes, produits laitiers, beurre, huile de coco
- Acides gras mono-insaturés et polyinsaturés : huile d'olive, huile de lin, huile de colza, poissons d'eau froide, noix et avocats. Les acides gras oméga-3 et oméga-6 font aussi partie des acides gras polyinsaturés et doivent être obtenus par le biais de l'alimentation : saumon, hareng, huile de lin et de noix.
- Acide gras trans : pâtisseries, friture

Les lipides facilitent également l'absorption des **vitamines A, D, E et K** dites **liposolubles**. Les graisses animales quant à elles contiennent aussi du cholestérol, qui, synthétisé à travers l'exposition au soleil, va fournir de la vitamine D à la peau. La proportion de graisses dans notre alimentation devrait se trouver entre 30 à 35 % avec 20 à 25 % de graisses insaturées et un maximum de 10 % de graisses saturées. Pour un exercice d'une durée supérieure à une heure et d'une intensité moyenne il a été montré (*Poortmans 2009*) [67] que l'organisme humain a suffisamment de réserves lipidiques disponibles et qu'une compensation post-énergétique en lipides n'est pas nécessaire pour un athlète ayant une alimentation équilibrée. En effet à ces intensité et durée précédemment citées, l'utilisation des réserves triglycérides avoisine les 30-50% des réserves des muscles en activité.

(b) *Les besoins nutritionnels des sportifs*

Pour un sportif la couverture de ses besoins nutritionnels est essentielle. Elle permet de placer l'organisme dans un environnement nutritionnel optimal pour être performant. A l'inverse, un déficit nutritionnel l'empêcherait de fonctionner au maximum de ses capacités. Chaque sportif a des besoins qui lui sont propres et qui dépendent de différents facteurs tels que l'âge, le sexe, le capital génétique, le type d'activité et le niveau d'entraînement. On peut néanmoins dégager les grandes lignes de ces besoins notamment en termes d'apports énergétiques et d'apports en macro et micronutriments.

(1) Besoins énergétiques

Les besoins énergétiques du sportif sont augmentés à hauteur des dépenses induites par l'exercice mais cette majoration n'est pas systématiquement compensée par une augmentation des apports alimentaires. Pour ne pas aboutir à une situation de déficit énergétique chronique préjudiciable à la performance et à la santé de l'athlète, il faudra veiller à maintenir une disponibilité énergétique suffisante de 30 kcal/kg de poids/jour.

La notion de **disponibilité énergétique** représente l'énergie qu'il reste à l'organisme pour assurer les fonctions métaboliques autres que celles liées à l'exercice. Elle se calcule en soustrayant les dépenses énergétiques engendrées par l'exercice aux apports énergétiques alimentaires.

(2) Besoins en macronutriments

- Glucides : les **besoins glucidiques** du sportif sont assez variables en fonction du type, du volume et de l'intensité de l'entraînement ainsi que du gabarit du sportif. Ils s'échelonnent entre **3 et 10 g/kg/j**, ce qui représente une fourchette très importante et rend difficile des recommandations générales.
- Protéines : les **besoins en protéines** des sportifs en endurance s'échelonnent entre 1,2 et 1,4 g/kg/j alors que les besoins des athlètes confirmés dans des exercices de force s'élèvent à 1,3 à 1,5 g/kg/j et peuvent atteindre 2 g/kg/j en période de prise de masse musculaire, sans jamais dépasser 2,5 g/kg/j. Il est recommandé de ne pas avoir recours à de telles quantités de protéines plus de 6 mois dans l'année. Par ailleurs, si une partie de l'apport en protéines est faite sous forme de supplément, cette proportion ne doit pas dépasser un tiers des apports protéiques.
- Lipides : Les données concernant **les lipides** sont moins fournies mais leur triple rôle, énergétique, structurel et fonctionnel, ainsi que la nécessité de couvrir les besoins en acides gras essentiels confère aux lipides une place majeure et justifie qu'un apport minimum soit recommandé. On peut ainsi déconseiller d'adopter des rations alimentaires comportant moins de 25% (1 à 1,2 g/kg/j) de lipides.

(3) Besoins en micronutriments

L'omniprésence des **micronutriments** (vitamines et minéraux) dans tous les mécanismes physiologiques liés à la réalisation d'un exercice pose la question de savoir si la pratique d'une activité physique augmente les besoins en micronutriments. En dépit de plusieurs arguments théoriques qui penchent en faveur de cette hypothèse cette question n'est pas clairement élucidée.

On part donc du principe que le sportif a des besoins au moins égaux à la population générale et ceux-ci doivent être couverts prioritairement par l'alimentation. Pour cela il est nécessaire de consommer des aliments présentant une **forte densité nutritionnelle**. Cette notion de densité nutritionnelle réfère à la richesse en micronutriments d'un aliment en fonction de son apport énergétique. Les aliments qui sont les plus susceptibles de contribuer favorablement à l'apport en micronutriments sont les fruits et légumes, les œufs, le lait, les produits laitiers pauvres en graisses et en sucres, la plupart des produits de la mer (poisson et fruits de mer) et les féculents non raffinés (pain complet ou aux céréales, pâtes au blé complet, riz complet, légumes secs). Les moins favorables sont les en-cas sucrés et salés, les sodas, certains fromages, la majorité des charcuteries, les viandes grasses et les laitages contenant une proportion importante de graisse et de sucre. Enfin il faut rappeler que, contrairement aux idées reçues, une supplémentation en micronutriments chez un sportif qui ne présente pas de déficit n'améliore en rien la performance.

(c) *L'alimentation d'un sportif*

(1) Avant l'effort

La préparation nutritionnelle d'un objectif sportif nécessite une adaptation annuelle des apports alimentaires. Elle s'effectue par conséquent bien au-delà des sept derniers jours qui doivent toutefois répondre à quatre objectifs : **saturer le muscle en glycogène**, **compenser les pertes minérales et vitaminiques** induites par l'entraînement, **garantir l'intégrité et le bon fonctionnement du tissu musculaire** et enfin **prévenir les troubles digestifs** de l'effort.

Des stocks insuffisants au départ de la compétition provoquent un épuisement rapide de ces réserves. Face au manque d'énergie le muscle réagit par la libération **de cytokines pro-inflammatoires** pour trouver un autre substrat. Cela entraîne des douleurs musculaires et une

sensation de fatigue, comme un coup d'arrêt. C'est le passage d'une source d'énergie quasiment glucidique à un mélange glucido-lipidique qui demande une réduction de l'allure. Un entraînement en endurance durant plusieurs mois majore naturellement la forme active de l'enzyme clé chargée du stockage du glycogène.

Voici un exemple de schéma diététique que le pharmacien peut proposer à un athlète pour un effort le dimanche :

- Du lundi au mercredi : 6 à 8 g de glucide/kg de poids corporel/jour, entraînement intense de courte durée le mercredi matin ou le mercredi soir (max 1h), augmentation des portions de pain et/ou de féculents (pâtes, riz, pommes de terre) au déjeuner et au dîner.
- Jeudi et vendredi : ce sont les jours de stockage, 9 à 10 g de glucides/kg de poids/jour, augmentation des portions de pain et/ou de féculents, pas d'entraînement durant ces deux jours (casse musculaire), réduction de l'apport en fibres à partir du vendredi afin de limiter les troubles digestifs à l'effort, produits céréaliers ou semi-céréaliers remplacés par des produits blancs (pain et riz blancs, pâtes blanches), 1,5 à 3 L d'eau.
- Samedi : apport glucidique identique à celui du début de la semaine. Les glucides sont déconseillés au dîner (24h minimum pour une bonne mise en réserve car la fermentation des glucides provoque des troubles digestifs pendant l'effort), suppression des végétaux, produits céréaliers blancs uniquement, boire 1,5 à 3L d'eau.
- Dimanche : Si l'effort a lieu le matin, substitution du petit déjeuner. Si effort a lieu l'après midi, petit-déjeuner fait de boisson chaude plus ou moins sucrée, pain blanc, beurre, confiture/miel, œuf à la coque ou jambon blanc découenné ; déjeuner sans fibres ni graisses : blanc de poulet sans la peau, riz blanc, yaourt au soja ou allégé. Si effort a lieu le soir, même chose que pour l'effort de l'après midi avec une collation supplémentaire faite de pain blanc, biscottes, miel/confiture, jambon blanc.

(2) Pendant l'effort

Le premier élément déterminant lors d'un effort, contrairement à ce que l'on pense encore souvent, n'est pas la dépense calorique. En effet la demande peut facilement dépasser les 1000 kcals à l'heure, ce qui demanderait de manger de grandes quantités, ce qui est

impossible. Il faut tenir compte des capacités digestives à l'effort qui sont très limitantes : le maximum assimilable par heure d'effort est de l'ordre de **240 kcal**.

De plus il est fortement déconseillé de manger dans les 3 heures précédant une activité physique. En effet il est physiologiquement impossible de digérer et de réaliser un effort physique simultanément. Cela entraînerait une diminution du rendement musculaire, des troubles digestifs ainsi que des anomalies cardio-respiratoires.

(3) Après l'effort

Souvent négligée, la récupération débute dès la fin de l'effort. Les quatre à six premières heures sont les plus importantes. Durant ces premières heures post-exercice, on constate une forte avidité du muscle pour le glucose et les acides aminés induite par les pertes en glycogène et la casse musculaire.

➤ Collation de récupération immédiate :

Dès la fin de l'exercice et pendant les deux premières heures, la priorité est à l'élimination des déchets et à la réhydratation. La prise alimentaire est déconseillée pendant l'heure qui suit pour éviter des troubles intestinaux. Il faut attendre la reperfusion du tube digestif. Il faut consommer environ 500 mL d'une boisson riche en ions carbonates pour restaurer l'homéostasie acido-basique. A partir de la deuxième heure la consommation d'une banane et des fruits secs est conseillée (alcalinisant).

➤ Repas de récupération à distance :

Dans les 2 à 4 heures suivantes :

- Il faut privilégier l'apport de protéines de bonne valeur (œufs et/ou poisson, la viande pour le lendemain) pour participer à la régénération tissulaire.
- La consommation d'un produit laitier ou d'un entremet lacté permet les resynthèses protéiques et est une source de tryptophane neurotransmetteur du repos.
- Consommer des pommes de terre plutôt que des pâtes ou du riz facilite le retour à l'homéostasie acido-basique (pouvoir alcalinisant élevé).
- Il faut privilégier les végétaux (légumes et fruits crus ou cuits) reminéralisants le corps
- Agrémenter les plats d'une à deux cuillérées à café de germe de blé et/ou de levure de bière permet d'apporter du zinc, du cuivre et du sélénium, cofacteurs d'enzymes anti-oxydantes.

- Un dessert est possible car le sucre ingéré dans la fenêtre thérapeutique participe à la réplétion du glycogène dans les muscles et le foie.
- La variation de la prise alimentaire (15 à 60 aliments différents) facilite la récupération.
- Limiter la consommation d'alcool (2 verres maximum) qui entretient les pertes urinaires et l'acidité tissulaire.

(d) Les conseils à l'officine des produits diététiques

(1) Compléments alimentaires

Définition des compléments alimentaires : (Directive 2002/46/CE du 10 juin 2002 et décret n°2006-352 du 20 mars 2006 JO n°72 du 25 mars 2006 p 4543) : « *denrées alimentaires dont le but est de compléter le régime alimentaire normal et qui constituent une source concentrée de nutriments ou d'autres substances ayant un effet nutritionnel ou physiologique seuls ou combinés ... destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité* »

Le corps n'arrive pas à assimiler la totalité d'un repas. Les **compléments alimentaires** sont là pour essayer de pallier à ce manque d'assimilation. Les compétences du pharmacien entrent ici en jeu. En premier lieu au moins une **cure de probiotiques** doit être réalisée chaque année pour faciliter l'absorption de tous les nutriments indispensables en redonnant une intégrité à la muqueuse intestinale. Le marché du sportif est partagé par plusieurs laboratoires dont EA Fit, Menarini avec Isoxan®, Eric Favre, Nutergia avec Ergysport®, Scientec Nutrition, Effinov.

(a) Avant l'effort

Le but recherché avant l'effort est d'optimiser le statut nutritionnel et l'alimentation que nous avons décrite plus haut permet de le faire. Mais on peut y ajouter des compléments alimentaires permettant d'apporter des micronutriments tels que des **vitamines** et des **oligoéléments**, principaux **cofacteurs des réactions métaboliques énergétiques**.

(b) Pendant l'effort

Pendant l'effort, les compléments alimentaires sont de trois sortes : **la boisson de l'effort, les barres et les gels**. Ils permettent de compenser les pertes dues à l'effort.

La prise de boisson doit se faire dès les dix premières minutes quelle qu'elle soit pour diminuer l'ischémie intestinale. Il faut boire toutes les 10-15 minutes et consommer au moins 500 mL de liquide par heure d'effort. L'adaptation de la dose de glucose doit être faite en cas de fortes chaleurs. Les barres, comme les gels, sont à prendre lors de chaque heure d'effort en ayant bu au moins 250 mL d'eau avant pour éviter les troubles digestifs.

(c) Après l'effort

Le but des **compléments alimentaires** d'après effort est de permettre de réhydrater, d'éliminer les déchets, de compenser les déficits en minéraux, oligoéléments et vitamines, générés par la transpiration et le métabolisme dans un premier temps puis, les jours suivants, rééquilibrer la flore intestinale, lutter contre le stress oxydatif et les atteintes radicalaires, neutraliser l'acidité tissulaire et réparer le tissu musculaire.

(2) Les catégories de produits

En nutrition sportive les compléments alimentaires constituent un appoint pour les sportifs de haut niveau comme pour les sportifs de niveau modeste qui s'entraînent régulièrement dans le but de se maintenir en forme. On doit les utiliser de manière raisonnée et sur une période courte de 15 jours à 3 semaines maximum. Le recours à des compléments doit toujours être réfléchi et justifié en fonction des charges d'entraînement, de carences éventuelles, de la forme physique de l'athlète.

(a) Les acides aminés et protéines

- **La glutamine** : acide aminé le plus abondant de l'organisme. Une activité physique intense va épuiser le stock de glutamine plus vite que sa régénération, ce qui peut

conduire à une destruction de cellules musculaires. De plus une supplémentation en glutamine peut diminuer un état de faiblesse du système immunitaire face aux infections post entraînement.

Exemples : Vectidyn® du laboratoire Nutergia (**figure 33**) ou encore Pure L-Glutamine® du laboratoire Eafit (**figure 34**)



Figures 33 et 34 : Vectidyn®, Pure L-Glutamine®

- **Les BCAA** (Branched Chain Amino Acids) : sont des acides aminés avec des chaînes ramifiées dans leur structure qui font partie des acides aminés dits essentiels dans notre organisme. Ils présentent un certain intérêt en nutrition sportive car ce sont les premiers acides aminés dégradés lors d'un effort sportif. Une supplémentation peut donc être conseillée pour diminuer la dégradation des protéines dans les muscles squelettiques. Ils sont aussi reconnus pour leur action sur la diminution de la production d'acide lactique et ainsi favorisent aussi l'augmentation de l'endurance et la récupération.

Exemples : BCAA® du laboratoire Eric Favre (**figure 35**) ou encore BCAA® du laboratoire Eafit (**figure 36**)



Figures 35 et 36 : BCAA® Eafit et BCAA® Eric Favre

(b) *Les minéraux et oligoéléments*

Les minéraux en principe sont apportés en quantité suffisante par l'alimentation, en particulier par la consommation de fruits, légumes et eaux de boisson variées. Cependant, lors des efforts de longue durée avec de fortes sudations, les pertes en minéraux doivent être compensées. Boissons de réhydratation et énergétiques peuvent apporter un supplément de **sodium** et des différents minéraux éliminés lors de l'effort.

Quant aux minéraux et oligoéléments essentiels : Le **fer** est important pour la synthèse des globules rouges et l'oxygénation des tissus. La **spiruline**, notamment riche en vitamines et en fer, est connue pour accroître la résistance et prévenir les crampes musculaires. Le **zinc** est présent dans notre organisme pour assurer le fonctionnement de plus de 200 enzymes qui permettent un métabolisme optimal des glucides, lipides et protéines. Enfin le **magnésium** participe à la transmission de l'influx nerveux et à la contraction musculaire en plus de sa participation à la solidité des os, des dents et au fonctionnement plus général de tous nos organes.

Exemples : Arkogélule Spiruline® du laboratoire Arkopharma (**figure 37**) ou encore Ergysport Oligomax® du laboratoire Nutergia (**figure 38**)



Figures 37 et 38 : Arkogélule Spiruline® et Ergysport Oligomax®

(c) *Les vitamines et antioxydants*

Les vitamines et antioxydants sont apportés en quantité suffisante dans le cadre d'une alimentation équilibrée. La consommation de vitamines en compléments alimentaires peut être envisagée en cas de **fatigue prononcée** ou lors des **changements de saison**.

Exemple : Isoxan Sport® du laboratoire Isoxan ou encore BeroccaBoost® du laboratoire Bayer.

(d) *Autres substances*

(i) *Effet ergogénique (caféine, cola, ginseng, taurine, quinine etc.)*

Les produits, tels que **caféine, cola, ginseng, quinine, taurine, carnitine**, aux effets excitants peuvent avoir un effet placebo mais ils restent les compléments alimentaires préférés des sportifs. Attention toutefois car ces produits consommés en grande quantité peuvent avoir des effets négatifs : insomnie, irritabilité, agressivité, troubles du rythme cardiaque, hypertension, troubles digestifs, etc. Il convient de les utiliser avec parcimonie et toujours en ayant pris conseil avant sur les potentiels effets secondaires et/ou indésirables auprès d'un pharmacien.

(ii) *Effet « brûleur de graisses » (caféine, carnitine, coenzyme Q10, guarana)*

La consommation de ces compléments est indiquée pour aider l'organisme à « brûler » plus de calories lors d'un effort sportif. Les brûleurs de graisse déstockent et mobilisent les graisses emmagasinées dans l'organisme. Accompagnés d'une baisse des apports caloriques et d'une augmentation de l'activité physique, les brûleurs de graisse font maigrir sans risque de fatigue et ils sont également utilisés par les sportifs pour "sécher" c'est à dire perdre du poids sans perte de muscle.

Exemples : CoenzymQ10® du laboratoire Arkopharma ou encore CoenzymeQ10® du laboratoire Granions.

(iii) *Effet sur l'augmentation de la masse et de la force musculaire (créatine, pro-hormone)*

La **créatine monohydrate** est une substance naturellement produite par l'organisme qui intervient dans la resynthèse de l'ATP (adénosine triphosphate), source d'énergie de la cellule lors des efforts explosifs et intenses. Or, lors de ces courtes périodes, l'organisme n'a pas le temps de régénérer son ATP, ce qui risque de limiter les performances.

Exemple : PureCreatine® du laboratoire EA Fit

(iv) *Effet anti-inflammatoire et antidouleur*

(*Harpagophytum, silicium, chondroïtine sulfate*)

L'effet attendu est de limiter les effets douloureux de certaines pratiques sportives notamment au niveau des articulations et des douleurs musculaires.

- Les omégas 3, acides gras polyinsaturés, permettent de réduire les processus inflammatoires. Cependant une consommation régulière de poissons gras et huiles adaptées permet d'avoir un apport tout à fait convenable de ces omégas 3 sans supplémentation. Exemples : Omega3® du laboratoire Arkopharma ou encore Omega3® du laboratoire 3 chênes.
- L'acide hyaluronique peut aussi être consommé par voie orale. Il est naturellement présent dans la peau et assure une très grande part de l'hydratation, de l'élasticité et de la tonicité des articulations. Exemples : Acide Hyaluronique® du laboratoire Granions ou encore ExpertHyauronic® du laboratoire Forté Pharma.
- Le collagène garantit la souplesse et l'élasticité des articulations et de la peau. Il est produit naturellement dans l'organisme mais peut aussi être consommé sous forme de complément alimentaire.
- La silice permet une régénération du cartilage et est naturellement présente dans les compléments alimentaires à base de bambou ou d'ortie.

C. Hydratation

L'apport d'eau quotidien est d'environ **3,5 L/jour**. La moitié provenant de l'alimentation et l'autre moitié étant apportée par les boissons. Elle permet une régulation de la température corporelle, un maintien de la pression artérielle et participe au bon fonctionnement du système cardio-vasculaire.

Lors d'un effort musculaire, l'organisme produit de la chaleur qu'il doit évacuer. 80 % se fait par la sudation et les 20 % restants vont vers les urines et la vapeur d'eau par l'air expiré. Ces pertes en eau varient en fonction de l'effort, de l'individu mais aussi de l'environnement (température, humidité), soit en moyenne 0,5 à 2,5 litres par heure.

L'homéostasie des liquides corporels est essentielle pour un bon fonctionnement de l'organisme mais l'exercice physique va perturber cet équilibre hydrominéral, ainsi, **l'hydratation chez un sportif est un point clé** dans ses habitudes quotidiennes.

L'hydratation est également importante pour prévenir les douleurs musculo-ligamentaires et tendineuses, les entorses et claquages ainsi que les lithiases rénales. Elle permet en outre une amélioration de la vidange gastrique.

Les recommandations chez l'adulte en dehors des phases d'entraînements sont :

- Apports Nutritionnels Conseillés (ANC) pour la population Française en 2001 : besoins hydriques totaux pour un adulte de 60 kilogrammes (kg) : 2,1 à 3 L par jour (35 à 50 mL/kg/j)
- Proposition de l'European Food Safety Authority (EFSA) en 2008 : 2 L/jour chez la femme et 2,5 L/jour chez l'homme (boissons : 1,4 à 2L/jour et aliments : 0,4 à 0,75 L/jour)
- OMS (Organisation Mondiale de la Santé) : 2,2 à 2,9 L/jour dont les 2/3 doivent être apportés par les boissons

(a) *Risques et conséquences de la déshydratation*

D'après une étude faite à l'INSEP (*Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance*) en 2011, environ 47% des athlètes consomment moins d'1,5 litre d'eau par jour en dehors des entraînements avec pour conséquence une déshydratation (**figure 39**).

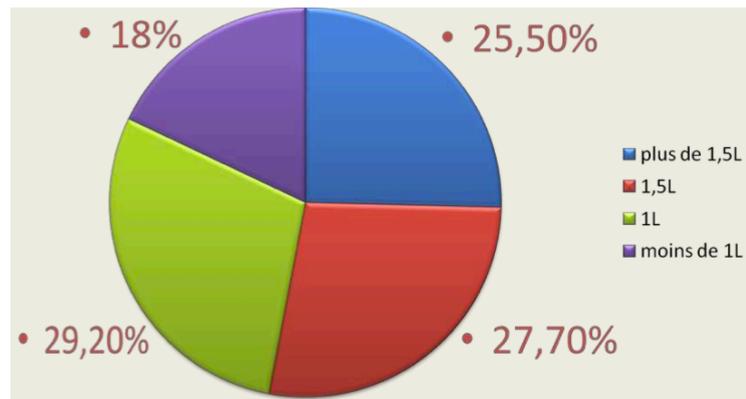


Figure 39 : Consommation d'eau chez les sportifs de l'INSEP en dehors des entraînements
(D'après (en ligne), Sport et Hydratation de l'INSEP)

L'eau représente 60 à 70 % du poids total de l'organisme. Les pertes en eau sont liées aux performances du sportif mais entraînent également une augmentation des risques d'accidents musculaires et tendineux. Une perte en eau de 2% fait chuter les performances de 20 % (**figure 40**). Suite à la déshydratation le sportif peut aussi contracter des troubles digestifs, des calculs rénaux, des troubles neurologiques, une augmentation de la température interne et de la fréquence cardiaque ou l'envie d'arrêter l'effort. Ces pertes en eau ont des répercussions dès le début de l'effort. Ainsi **le sportif devra boire régulièrement** même pour un entraînement de 30 minutes.

L'hypovolémie créée par la déshydratation entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque induisant un débit cardiaque maximal, une augmentation des troubles digestifs et de certaines lésions.

Dans certains cas l'exercice peut s'arrêter brutalement en raison d'un accident grave qui est le **coup de chaleur**. Ce phénomène arrive lors d'activités physiques intenses et prolongées dans un environnement gênant la thermolyse (température élevée, absence de vent). Ce coup de chaleur peut être prévenu par des prodromes (désorientation, agitation) et se terminer par un malaise général voir un coma. La seule solution est le **refroidissement actif**.

Les effets de la déshydratation sur l'activité physique vont différer en fonction du type d'exercice. On constate une diminution des capacités d'endurance en aérobie et anaérobie ainsi qu'une diminution de la force musculaire. Cela entraîne également une baisse des **performances mentales** avec une augmentation du temps de réaction, du nombre d'erreurs ainsi que de la sensation de fatigue. La déshydratation altère des capacités cognitives à court terme mais la mémoire à long terme est préservée. Ceci aura un retentissement sur les disciplines où la tactique et la perception du jeu sont primordiales.

PERTE DE POIDS CORPOREL	BAISSE DES PERFORMANCES AEROBIES	SYMPTOMES
1%	10%	SOIF
3%	30%	BOUCHE SECHE
4%	40%	FATIGUE ESSOUFFLEMENT
5%	50%	MAUX DE TETE TROUBLES DE CONCENTRATION
7%	70%	COUP DE CHALEUR PERTE DE CONNAISSANCE COMA

Figure 40 : Effets de la déshydratation

(D'après (en ligne), <http://lesuividusportif.com/savoir-et-comprendre/lhydratation-du-sportif/>)

(b) *Le mécanisme de l'hydratation*

L'hydratation passe par trois étapes : l'**acte de boire**, la **vidange gastrique** et l'**absorption intestinale**. Dans un premier temps, il faut **favoriser la prise de boisson** chez un sportif. La bonne température (10 -15 °C), un goût agréable, une belle couleur, une odeur agréable sont ces différentes caractéristiques qui vont donner aux sportifs l'envie de boire.

La **vitesse de la vidange gastrique** peut être modifiée par divers paramètres, principalement le volume. Pour un côté pratique, **une à deux gorgées de boisson toutes les 5 à 10 minutes d'effort** est à conseiller aux sportifs. En effet l'ingestion répétée de grands volumes à intervalles rapprochés ralentit la vidange gastrique et augmente les douleurs abdominales. Pour une meilleure vidange gastrique il faut diminuer l'osmolarité en ajoutant des polymères de glucose par exemple. Enfin la vitesse de la vidange gastrique peut être modulée très légèrement par la température de la boisson mais également par la température extérieure.

L'absorption hydrique au niveau de l'intestin est favorisée par les solutions hypotoniques ou isotoniques d'**hydrate de carbone** comprenant ou non des **électrolytes**. Une boisson est dite isotonique lorsqu'elle est de pression osmotique sensiblement égale à celle du plasma sanguin (280 à 300 mOsm/L). Ces **boissons isotoniques** (280 à 320 mOsm/L) ou **hypotoniques** (150 à 250 mOsm/L) ont leurs osmolarités proches de celle du sang, donc des concentrations en minéraux participant à la pression osmotique (sodium, potassium, chlorure) similaires ou légèrement inférieures à celles des liquides de l'organisme [68].

L'absorption intestinale sera ainsi augmentée par l'ajout de mélange de glucides grâce à des mécanismes de transferts entérocytaires. Il existe un lien entre transport de glucose, transport de sodium et l'absorption d'eau. Sous certaines concentrations, l'association glucose-sodium entraîne une absorption hydrique accrue par rapport à l'eau seule. Ainsi dans certaines boissons d'efforts on a rajouté des électrolytes, tel le sodium, pour permettre une meilleure absorption passive de l'eau dans les cellules.

Les **solutions hypertoniques** (500 à 600 mOsm/L) comme le cola, le jus d'orange, plus concentrées que le sang, vont créer un appel d'eau vers le tube digestif. Ainsi des troubles et une déshydratation peuvent survenir par une diminution de l'absorption intestinale de l'eau [69]. Elles seront utilisées à faibles volumes uniquement dans des exercices prolongés accomplis dans le froid.

(c) *Boire avant/pendant et après l'effort*

La **déshydratation préalable** même légère majore les troubles cardiovasculaires au cours de l'exercice et diminue la performance. Le sportif doit se trouver dans un état de normohydratation au début de l'exercice. On conseillera une **pré-hydratation active** d'environ 0,5 L d'une boisson iso-osmotique une heure avant le début de l'effort. Si l'activité à venir risque de durer longtemps, on peut ajouter à l'eau des sucres rapides (sucre, miel par exemple). L'**hyperhydratation préalable** est par contre inutile pour limiter la déshydratation au cours de l'effort.

La **réhydratation au cours de l'effort** est importante dans tous les cas d'exercices mais elle reste indispensable dans les exercices prolongés. Idéalement 80 % du volume perdu devrait être restitué en cours d'activité. La soif n'est pas un bon indicateur de nécessité de réhydratation au cours de l'exercice. Il faut boire avant que la soif n'apparaisse et boire régulièrement. Le volume à ingérer va dépendre également de la tolérance de chacun et de la perte engendrée par les efforts. Les pertes vont dépendre du type d'exercice (intensité, durée), des conditions environnementales (température ambiante, humidité, charge radiante) et de facteurs individuels (niveau d'entraînement et d'acclimatation à la chaleur) [70].

L'apport d'**hydrate de carbone** permet d'améliorer l'exercice prolongé à type d'endurance ou la capacité de travail maximale des exercices. La concentration qu'il faudrait dans les boissons d'effort dépend du type de sport pratiqué et du climat. Pour des sports où l'apport énergétique sera privilégié, comme dans les efforts de longue durée sans déperdition hydrique

importante (ambiance thermique froide), la concentration en hydrate de carbone devra être élevée (sucrose, maltose ou maltodextrines). Le sportif devra consommer sa boisson d'effort dès le début de l'exercice. Dès que l'hypoglycémie est formée il est trop tard pour renverser la situation. Par contre, pour des ambiances très chaudes, il faut boire de l'eau en grande quantité et dont la concentration en hydrate de carbone se situe entre 30 et 60 g/l.

L'ajout de **chlorure de sodium** (1, 2 g/l toutes les deux heures au delà de deux heures d'efforts continus) et d'**hydrate de carbone** dans ces boissons d'efforts a un effet favorable sur le maintien du volume plasmatique, ce qui va éviter des problèmes sur la fréquence cardiaque et la température interne. En effet la supplémentation sodée est indispensable pour des durées d'efforts supérieures à six heures (1,7 à 2,9 g/l) pour éviter le risque d'hyponatrémie qui peut être engendrée par des pertes sudorales de l'ordre de 4 à 5 litres [71].

La **réhydratation post-exercice** ne doit pas se faire uniquement avec de l'eau pure. Les pertes sudorales en électrolytes doivent également être remplacées parallèlement aux pertes hydriques. La boisson de récupération doit contenir du **sodium** et du **potassium** (exemples : Arvie® ou St Yorre®). Le volume consommé doit être plus important que le volume des pertes sudorales, environ 150 % (il faut donc boire un volume d'eau équivalent à 1,5 fois la perte de poids lors de l'effort). L'ingestion de solution d'hydrate de carbone permet de restaurer la capacité d'exercice plus efficacement que l'eau seule. L'eau est également un vecteur pour l'apport d'hydrate de carbone indispensable à la resynthèse du glycogène [72]. La boisson est importante à chaque étape de la vie d'un sportif, aussi bien dans le choix de la boisson que dans sa quantité :

- Avant l'effort : pour le maintien de la glycémie et de l'hydratation
- Pendant effort : pour l'apport de macro et micronutriments, la compensation des pertes hydriques et maintenir la performance
- Après l'effort : pour une récupération accélérée et les restaurations hydrique, glucidique et en micronutriments

(d) *Les différents types d'eau*

L'origine des eaux et leur composition en minéraux permettent de différencier l'eau minérale naturelle, l'eau de source et l'eau du robinet. Le sportif privilégiera les eaux minérales en bouteilles pour deux raisons. La première est que ces eaux se boivent plus facilement que celle du robinet et secondairement elles sont souvent plus « palatables ».

Les eaux minérales naturelles ont chacune un profil différent en fonction de leur composition en minéraux ou oligoéléments. C'est pour cela que le premier conseil donné aux sportifs est de varier ces eaux en sachant que certaines peuvent être consommées de façon plus régulière que d'autres. En effet certaines peuvent avoir un caractère acide et seront donc à limiter car cela accroît les pertes urinaires en magnésium et calcium.

Les eaux minérales **enrichies en sodium** doivent être limitées dans certaines pathologies et traitements (insuffisance cardiaque ou rénale, hypertension artérielle, corticoïdes au long cours). Jusqu'en 1950 certaines de ces eaux « thérapeutiques » étaient vendues en pharmacie.

Les eaux **enrichies en sulfate** sont à conseiller chez le sportif avec beaucoup de prudence pour éviter des diarrhées soudaines. On peut les conseiller en cas de constipation mais à des petites doses. Il faudra en tout cas associer du calcium car les sulfates sont hypocalcémiant.

On conseillera aussi au sportif de temps en temps des eaux minérales **riches en calcium** (fixation sur les os, coordination motrice) et en **magnésium** (fatigue, battements des paupières, crampes). Les eaux « dures », **enrichies en bicarbonates**, sont importantes dans les 8 heures après l'effort pour reminéraliser l'organisme et pour neutraliser les acides formés à l'effort. Cependant ces eaux peuvent favoriser des troubles digestifs chez des personnes déshydratées. On recommande donc d'en consommer peu à la fois mais souvent. Enfin le sportif consomme du sucre dans son alimentation et est donc sujet aux caries et aux parodontopathies. Une eau riche en fluor peut ainsi être consommée.

Exemples d'eaux minérales retrouvés dans le commerce :

- Eau riche en fluor : Quezac®.
- Eau riche en calcium : San Pellegrino®, Salvetat®.
- Eau riche en sulfates : Contrex®, Hépar®.
- Eau riche en sodium : Rozana®, Vichy Saint Yorre®.
- Eau riche en bicarbonates : Badoit®, Vichy Celestin®.
- Eau riche en magnésium : Quezac®, Hépar®.
- Eau de composition équilibrée : Vittel®, Evian®, Thonon®. Ces eaux sont parfaites pour accompagner le sportif dans sa vie quotidienne.
- Eau peu minéralisée : Volvic®, Mont Blanc®, Luchon®. Ces eaux sont idéales pour préparer des boissons d'effort.

(e) *Les différences entre boisson énergétique et énergisante*

Une **boisson énergétique** est adaptée à l'effort physique et répond à des critères nutritionnels tandis que, d'après l'ANSES (*Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*), les **boissons énergisantes** ne se réfèrent à aucune définition réglementaire et ne correspondent à aucune réalité physiologique.

L'eau minérale naturelle seule ne suffit pas lors d'activités physiques soutenues. Il faut un apport de glucides qui va permettre de fournir de l'énergie et de faire rentrer l'eau dans les cellules. La **boisson isotonique** sera la meilleure pour le sportif. Une boisson isotonique doit contenir :

- de l'eau pour la réhydratation ;
- des sucres rapides pour ralentir l'utilisation du glycogène musculaire et donc apporter un complément d'énergie. Il s'agira du glucose ou dextrose et du saccharose.
- des sucres retards qui interviendront 1h30 après le début de l'effort. Cela assurera un apport calorique suffisant tout en maintenant une osmolarité inférieure à celle du plasma (maltodextrines, fructose).
- des sels minéraux pour compenser les pertes sudorales en ions sodium, potassium, chlorure, bicarbonates, calcium, magnésium, ... ainsi que pour favoriser l'absorption intestinale des glucides et permettre une réhydratation rapide.

Dans ces boissons isotoniques on a souvent, en supplément, des vitamines B1, B6, C, des extraits de guarana et de raisin, des sels minéraux sous forme de bases aux effets alcalinisants. Cette boisson isotonique doit être bue à la dose d'une gorgée toutes les dix minutes à une température de 10 - 15 °C [68].

Les **boissons énergisantes**, quant à elles, ne contiennent aucune substance capable de rendre positif un contrôle antidopage mais elles n'en sont pas moins dangereuses pour l'organisme et leur consommation est à **proscrire chez un sportif avant, pendant et après l'effort**. Les boissons énergisantes sont très acides. Or l'activité sportive acidifie l'organisme et on aura donc une **augmentation des phénomènes pro-inflammatoires** à l'origine de **blessures musculaires ou tendineuses** ainsi qu'une mauvaise récupération.

Leur composition en minéraux n'est pas adaptée aux sportifs. La **caféine**, souvent en grande quantité, risque d'entraîner une déshydratation (par excrétion urinaire de calcium, magnésium, sodium et chlore) et donc de multiples effets indésirables (fatigue, blessure,

perles électrolytes, tachycardie). Certaines molécules aux concentrations élevées sont à éviter telles que la **taurine**, qui devient pro-oxydante, ou la **glucuronolactone**, néfaste pour le rein. Elles n'ont, en plus, aucune efficacité sur les performances. Les **glucides** sont apportés en excès et sont bien moins assimilés entraînant une mauvaise réhydratation. On arrive à un milieu hypertonique où la déshydratation va être accentuée et les effets indésirables augmentés (ballonnements, crampes). Il n'y a **pas de sucres lents** à assimilation facile, tels que les maltodextrines, dans ces boissons. Des **vitamines** à des taux très élevés, aux effets non démontrés, sont régulièrement présentes dans ces boissons. On y trouve également du **ginseng** mais à des teneurs trop faibles pour avoir un effet positif. Le sportif doit donc se faire conseiller par des professionnels et le choix se fera sur une des boissons énergétiques et non énergisantes. [73]

(f) *Les conseils à l'officine*

Deux cas extrêmes de mauvais apports hydriques pour le sportif sont dangereux.

Le premier cas est la **déshydratation** qui survient quand les apports en eau sont plus faibles que les pertes. On verra une diminution du volume des urines avec une coloration foncée, une langue sèche voire un coma. La concentration des urines peut aboutir à un risque de lithiase rénale.

Le deuxième cas est la **surcharge hydrique** où les sportifs boivent plus qu'ils ne transpirent. Le risque d'hyponatrémie est important et le volume plasmatique est diminué. Les symptômes seront des nausées, des vomissements, un problème respiratoire.

Il est donc primordial pour le pharmacien d'insister auprès du sportif sur l'importance de la fréquence, de la qualité et de la quantité de l'apport hydrique. Il peut alors conseiller et orienter le sportif vers différents programmes hydriques :

- Programme hydrique d'un sportif : Hors entraînement (**figure 41**)
 - Au réveil : 1 à 2 verres d'eau
 - Petit déjeuner : 1 apport hydrique
 - Matinée : Au moins 1/2 litre d'eau à répartir
 - Déjeuner : 1 à 2 verres d'eau
 - Après-midi : Au moins 1/2 litre d'eau à répartir
 - Dîner : 1 à 2 verres d'eau
 - Au coucher : 1 à 2 verres d'eau

➤ Programme hydrique d'un sportif : Entraînement

Toutes les 10 minutes 1 à 2 gorgées d'eau ou si possible de boisson énergétique.

➤ Programme hydrique d'un sportif : Jour de compétition

- 1 h 30 avant la compétition : 500 ml de boisson isotonique à boire régulièrement
- Durant la compétition : 1 à 2 gorgées d'eau et de boisson énergétique toutes les 10 minutes
- Après la compétition : Boisson de récupération (500 ml) ou boisson bicarbonatée (1 à 2 gorgées toutes les 15 minutes), puis eau de composition équilibrée en minéraux.



Figure 41 : Programme hydrique d'un sportif hors compétition

Fiche résumée des conseils pouvant être donnés par le pharmacien :

- Bien s'hydrater tout au long de la journée (emmener une bouteille d'eau avec soi).
- Consommer de l'eau à température ambiante (l'eau glacée entraîne des troubles digestifs).
- Boire de façon modérée pendant les repas (pour éviter de perturber la digestion).
- Ne jamais consommer de boissons gazeuses avant ou pendant un effort.
- Mettre une pincée de sel dans sa boisson d'effort (le sel retient l'eau et en transpirant on perd beaucoup de minéraux).

- En période d'effort ou si il fait chaud et sec les pertes augmentent, il faut donc augmenter les apports en eau.
- Certaines boissons sont inadaptées lors d'un effort (sodas, lait, alcools, boissons énergisantes...).
- Les potages, le lait et les jus de fruits favorisent la récupération après l'effort.
- Vérifier la couleur de l'urine pour savoir si il y a déshydratation ou pas (urines pâles = hydratation et urines foncées = déshydratation).
- La prise de café en grande quantité favorise la déshydratation ; il faut donc limiter sa consommation.

D. La compression sportive

(1) Définitions

Les termes de **contention** et de **compression** élastiques sont souvent utilisés à tort dans la langue française et la confusion est fréquente. Les bas, chaussettes et collants sont de compression, seules certaines bandes restent de contention (**figure 42**).

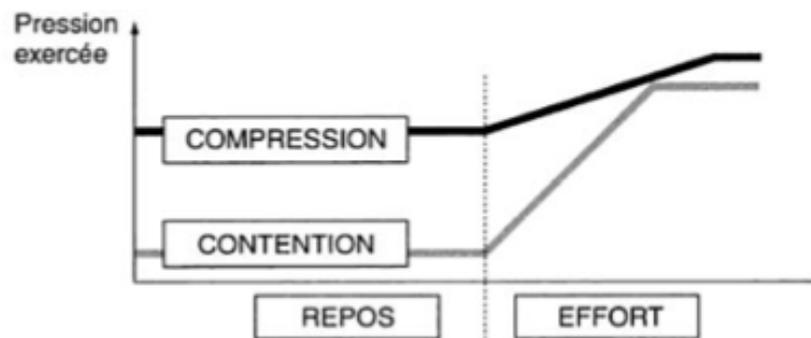


Figure 42 : Variation de pression

La contention se définit comme « *l'ensemble des effets provoqués par l'application sur un membre (inférieur ou supérieur) d'un textile non élastique ou à défaut à allongement court* ». La contention agit de manière passive sur un segment de membre : c'est le cas du bandage non élastique qui va s'opposer à l'augmentation de volume **uniquement à l'effort**.

Au repos cette bande exerce une pression faible, voire nulle. En revanche pendant la contraction musculaire elle s'oppose à l'augmentation de volume qui vient buter sur la structure non extensible de la bande : la force de pression se trouve ainsi augmentée. La jambe est contenue, elle n'est pas compressée.

La contention est donc efficace et active à l'effort et quasi inactive au repos, ce qui introduit les notions de **pressions de travail et de repos**.

La compression se définit comme « *l'ensemble des effets provoqués sur une jambe par un textile élastique* ». A l'inverse de la précédente, la compression agit sur le membre de manière active **au repos et à l'effort**. Ce sont les forces de rappel des fibres élastiques de l'orthèse, plus ou moins puissantes, qui vont agir de manière active et constante sur le membre. A l'effort, l'effet de la compression se trouve augmenté par la contraction des masses musculaires. Au repos, une compression trop forte sera rapidement intolérable pour le patient alité ou inactif. Le membre est alors compressé à la fois au repos et à l'effort. [74]

(2) Mécanismes de compression dans le sport

(a) Compression dégressive

La première des compressions utilisée dans le sport est la **compression dégressive** (**figure 43**). Elle consiste à appliquer une pression homogène sur les membres inférieurs, plus forte au niveau de la cheville et diminuant progressivement jusqu'au mollet. Cette action va permettre d'accroître la pression sanguine et de stimuler le retour veineux pour une meilleure oxygénation du sang. Utilisée sur l'organisme d'un sportif la compression dégressive va permettre **de limiter l'apparition des crampes** pendant les efforts intenses et **d'optimiser la récupération musculaire** pendant la phase de repos.

Généralement, on retrouve une compression de 15 à 25 mm Hg (classe II médicale).

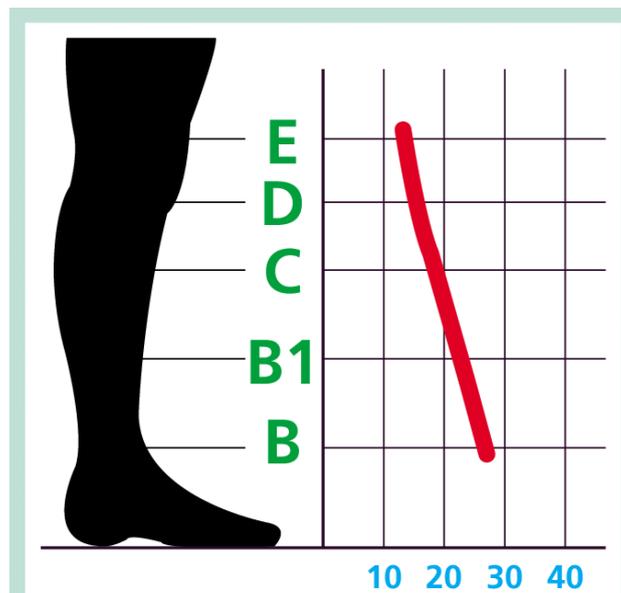


Figure 43 : La compression dégressive

(b) Compression progressive

Contrairement à la compression dégressive, la **compression progressive** (**figure 44**) propose un maximum de pression au niveau du mollet et des pressions plus faibles au niveau de la cheville sans, pour autant, exercer d'effet garrot au niveau du mollet. Par rapport à la compression dégressive on retrouve le gradient de pression.

On retrouve une pression de 7-8 mmHg au niveau des chevilles et on atteint 20-25 mmHg au niveau du mollet (20 à l'effort, 25 dans les deux heures qui suivent).

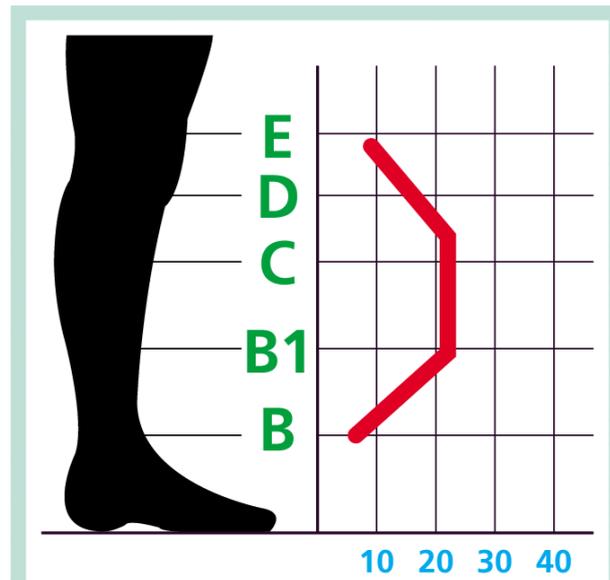


Figure 44 : La compression progressive

(3) Études comparatives

L'étude clinique du Dr.Kemmler (*Kemmler et al, 2009*) [75] valide l'efficacité de la **compression dégressive** sur la performance en course à pied (amélioration de la VMA à VO2Max égal). Mais cette étude est basée sur l'analyse de résultats avec versus sans port de chaussettes de compression dégressive et non avec chaussettes de compression dégressive versus avec chaussettes de compression progressive. Cette étude ne permet donc pas de conclure à la supériorité de l'un ou l'autre type de produit, ni même d'affirmer que l'amélioration observée n'est pas liée à un éventuel effet "placebo" attribué au port des chaussettes.

Une seconde étude est celle de Dr.Couzan (*Couzan et al, 2012*) [76]. Elle compare les deux modes de compression veineuse et prouve la supériorité de la compression progressive sur la réduction de la sensation de lourdeur et de fatigue chez des patients présentant une insuffisance veineuse. Il est important de préciser qu'il ne s'agit pas d'une population de sportifs. Sur la base d'imageries par résonance magnétique (IRM), cette étude démontre qu'il est inutile d'exercer des pressions fortes au niveau de la cheville. Les pressions exercées par le textile ne peuvent en effet atteindre de manière efficace les veines rétromalléolaires, tibiales postérieures et fibulaires, alors que par ailleurs les veines du dos du pied sont très facilement écrasées. De plus, pour être efficace sur le réseau veineux musculaire profond, les pressions appliquées au niveau du mollet doivent être au minimum de 20 mm Hg (la pression exercée

par des chaussettes de compression dégressive classique de classe 2, n'étant que de 14 mm Hg, n'agirait que sur le réseau veineux superficiel et sous-cutané).

La compression progressive est également validée comme plus facile à utiliser (enfilage des chaussettes) et plus confortable que la compression dégressive. Même si des conflits d'intérêts sont évidemment à prendre en compte, la rigueur méthodologique de l'étude lui confère un très bon niveau de preuve.

(4) Les différents types de produits

Au vu des études cliniques développées précédemment qui ne nous permettent pas de conclure sur une meilleure efficacité d'une des deux compressions, nous nous intéresserons aux deux laboratoires en tête du marché sur la compression sportive. Le laboratoire **BV Sport** qui utilise des produits à compression progressive et le laboratoire **Sigvaris** qui utilise des produits à compression dégressive. Les différents types de produits proposés par ces laboratoires pour une activité sportive sont : les **manchons de compression**, les **chaussettes d'effort**, les **chaussettes de récupération**.

(a) *BV Sport*

Créé en 1989 par les docteurs Serge Couzan et Michael Prufer, BV Sport a, entre autres, équipé l'équipe de France de football 1998 lorsqu'elle a été championne du monde. Le mode de compression utilisé est la **compression progressive**. Maximale au niveau du mollet, la pression est faible ou nulle aux autres zones (**figure 45**).

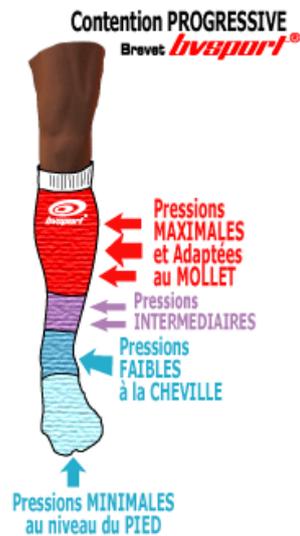


Figure 45 : Compression progressive BV Sport

(D'après (en ligne), <https://entrainement-sportif.fr/chaussettes-recuperation-contention-sport.htm>)

❖ **Booster (figure 46)**

Le **manchon Booster Original** est la gamme de référence chez BV Sport. Créé en 2003, il est fait de 77% de polyamides et 23% d'élasthanne.

Selon le laboratoire il favoriserait l'action longitudinale des muscles jumeaux et du soléaire en réduisant le mouvement oscillatoire et les vibrations. Il améliorerait le retour veineux, favoriserait l'oxygénation musculaire, tendineuse et ligamentaire, repousserait le phénomène de jambes lourdes et réduirait le risque de crampes. Il existe 10 tailles et 10 couleurs différentes. Il existe aussi les Night vision qui possèdent des logos réfléchissants pour être repéré dans la nuit.

Dernière née, la gamme **Booster Elite** a les mêmes fonctions que la gamme Original mais les innovations technologiques ont amélioré ses caractéristiques. Ils ont ajouté un tricotage renforcé au niveau du mollet pour le maintien musculaire, allégé le maillage au niveau du tibia pour protéger le périoste (ainsi que les nerfs superficiels et la microcirculation), fait un maintien au niveau du tendon d'Achille. Ce travail est effectué sur des machines à tricoter circulaires pour une maîtrise des pressions et un taillage précis avec un fil brin fin à section en croix chargé de nanoparticules à base de céramique, meilleur régulateur thermique. Ils sont faits de 79% de polyamides et 21% d'élasthanne. Ils sont asymétriques, une toujours pour la jambe gauche et l'autre toujours pour la jambe droite.

❖ Chaussettes d'effort (**figure 47**)

La dernière gamme est celle des **chaussettes d'effort XLR**. Elles ont les mêmes caractéristiques que les Booster au niveau du mollet. Les concepteurs ont travaillé sur le pied. La semelle est renforcée pour améliorer le maintien de l'aponévrose plantaire. Le talon et la pointe de pied sont en Friction Free pour éviter les échauffements et les ampoules. Le système Front Air assure une meilleure ventilation sur le dessus de pied. Le tricotage allégé au niveau du point de flexion facilite le mouvement du pied et est fait de 79% de polyamide, 13% d'élasthanne et 8% de polyester. Ces chaussettes sont asymétriques.

❖ Chaussettes de récupération (**figure 48**)

La gamme référence au niveau de la récupération chez BV Sport est la **ProRecup Elite**. Créée en 1998, elle est réalisée avec un tricotage spécifique et des pressions calculées sur des sportifs de haut niveau (25 mm Hg au niveau du mollet) qui favoriserait l'élimination rapide et optimale des toxines. Le soutien de l'aponévrose plantaire est réalisé par le biais de fils d'argent qui sont aussi antimicrobiens, antistatiques et anti-odeurs. Il existe aussi un maintien drainant, une protection du tendon d'Achille et une bande de contention de stabilisation de l'avant pied. La chaussette est composée de 80% de polyamide et 20% d'élasthanne. Elle doit être portée le plus tôt possible après l'effort et pendant au moins les deux heures qui suivent. Elle est faite en 10 tailles en blanc ou en noir.

Il existe aussi une gamme **Recovery SL** dédiée aux sportifs de loisir, ProRecup étant plus dirigée vers les sportifs de bon et de haut niveau. Elle possède les mêmes caractéristiques techniques mais les finitions sont moins précises.



Figures 46, 47 et 48 : Booster, Chaussettes d'effort et de récupération, BV Sport

(D'après (en ligne), <https://www.bvsport.com/fr/>)

(b) *Sigvaris*

Leader du marché français de la compression médicale, le laboratoire **Sigvaris** s'est donc logiquement intéressé aux sportifs. Ils équipent principalement des champions du monde de trail.

Contrairement à BV Sport, les produits de chez Sigvaris utilisent la **compression dégressive**, c'est-à-dire maximale à la cheville et moindre au niveau du mollet. Ils ont développé des manchons de compression, des chaussettes de récupération et, depuis peu, des vêtements de compression (short et legging gamme Pulse Elixir).

❖ **Manchon d'effort (figure 49)**

Première née chez le sportif, la gamme **Pulse Road** est la référence chez Sigvaris. A porter pendant l'effort, elle se décline en 7 couleurs différentes avec ou sans motifs dans 19 tailles. Les produits possèdent la fibre Aquarius permettant l'évacuation de l'humidité, facilitant l'enfilage et un certain confort à porter. Le label **DC.Fit** garantit une compression maîtrisée et adaptée à chaque morphologie qui permet un maintien du mollet pour éviter les microlésions, prévient les blessures et accélère le retour veineux.

Petite nouvelle chez Sigvaris, la gamme **Pulse Elixir** est la nouvelle génération des manchons de compression. Disponible en 8 tailles, elle est déclinée en 3 couleurs. Comportant elle aussi le label **DC.Fit**, son amélioration vient de plusieurs choses : la technologie Infra est une construction capable de capter l'énergie thermique du corps ; la fibre Emanas brevetée contient des cristaux de biocéramiques qui réfléchissent les infrarouges émis par le corps, ce qui a pour conséquence d'activer la microcirculation sanguine ; et enfin le traitement Pure à base d'argent qui permet de stopper la prolifération des bactéries supprimant ainsi les odeurs.

❖ **Chaussettes de récupération (figures 50 et 51)**

La chaussette de récupération de chez Sigvaris est la **Recovery**. Associant la technologie **DC.Fit** avec une technologie brevetée qui est **Sigfresh®**, elle permet une récupération optimale après effort. La zone Sigfresh® est une zone où le froid peut être conservé par la fibre Lunafa (coton + laine), le froid d'un spray cryogénique par exemple. Le froid a un effet vasoconstricteur, anti-inflammatoire et antalgique. La chaussette doit être utilisée tout de suite après l'effort et pendant au moins deux heures. Elle est disponible en 9 tailles, en noir ou en blanc. Il faut bien positionner le talon lors de la pose.



Figures 49, 50 et 51 : Manchon d'effort, Chaussettes de récupération, Sigvaris
(D'après (en ligne), <https://www.sigvaris.com/france/fr-fr/produits/sigvaris-sports/>)

(5) Les conseils à l'officine

(a) Prise de mesure (figure 52)

Comme dans la compression médicale, la prise de mesure doit être la plus précise possible. Il est préférable de la prendre le matin dans un endroit à l'écart de l'espace de vente pour un essayage en toute discrétion. Chaque marque a ses particularités mais généralement on retrouve la mesure de la cheville au plus fin et celle du mollet au plus fort.



Figure 52 : Prise de mesures, BV Sport
(D'après (en ligne), <https://www.bvsport.com/fr/>)

(b) Enfilage

C'est le moment le plus compliqué pour le sportif. Le choix de la marque sera dirigé vers l'une ou l'autre selon la facilité d'enfilage en plus de l'efficacité (**figure 53**). Bien sûr, chaque laboratoire a son protocole pour bien mettre sa compression mais généralement le mollet doit être bien positionné pour un confort maximal. Sigvaris a ajouté des repères à la zone du mollet par exemple. Les jambes doivent être propres et sèches pour un meilleur confort.

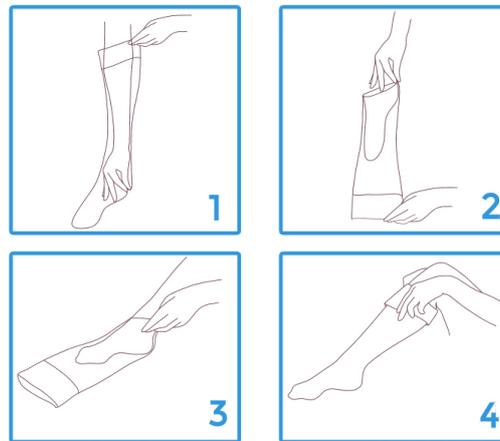


Figure 53 : Aide à l'enfilage

(c) Entretien

Pour l'entretien, le lavage à la main est plus que recommandé à 30 ou à 40°C selon les marques. Il ne faut pas d'adoucissant, un savon neutre est préférable. Pour le séchage, le mieux est qu'il se fasse à plat, loin d'une source de chaleur. Il faut absolument les laver après chaque effort pour retrouver une compression maximale à la prochaine utilisation. Il n'est pas nécessaire de les repasser.

(6) Conclusion

Les effets positifs de la compression sur les performances physiques font encore débat dans la communauté scientifique. En effet l'hétérogénéité des résultats peut être attribuée, en partie, à la grande variété des exercices étudiés (en termes de durée, d'intensité et de types de

contraction musculaire), au type d'entraînement des sujets, à la partie du corps comprimée par le vêtement, à la durée et la période de son utilisation (pendant/après l'exercice), à l'intensité des pressions appliquées mais aussi en partie à l'absence de caractérisation précise des dispositifs utilisés dans les études.

Portés pendant l'effort les vêtements de compression pourraient avoir quelques effets bénéfiques même si les résultats des études sont pour le moins contradictoires. L'utilité des vêtements de compression apparaît plus marquée dans le cadre de la récupération. Par une possible amélioration du retour veineux ils pourraient accélérer certains processus de récupération tels que le réapprovisionnement du muscle en glucose, la resynthèse aérobie de l'ATP ou encore l'élimination des métabolites.

La conclusion de Hamlin et al. (2012) [77] : « compresion garments are likely to be worthwhile and unlikely to be harmful » traduite par « si ça ne fait pas de bien, ça ne peut pas faire de mal » !

E. La kinésithérapie :

(a) *La cryothérapie*

(1) Définition

Le cerveau et en particulier la région de l'hypothalamus contrôle la régulation thermique. L'objectif est de maintenir la température corporelle constante à 37°C. Lors d'une exposition volontaire et rapide de l'organisme au froid, le cerveau va réagir et « ordonner » une réaction de défense en diminuant la fréquence cardiaque, en augmentant la tension artérielle et en effectuant une vasoconstriction au niveau des vaisseaux. Après le retour à la température normale, l'organisme va se réguler de façon symétrique en favorisant ainsi la récupération.

Le froid est utilisé en médecine du sport pour améliorer la **prise en charge des blessures** grâce à un choc thermique faisant passer la température cutanée de 35°C à 12°C (sans descendre en dessous de 7°C). L'application du froid a de nombreux effets positifs : **analgésique, vasoconstricteur** (contracte les vaisseaux et limite la diffusion de l'inflammation), **diminution des oedèmes** (limite le gonflement) et **reconstitution** plus rapide **des cellules musculaires lésées**. Ces modifications physiologiques permettent de **soulager la douleur** en cas de blessure (tendinite, entorse, lésions musculaires), d'améliorer la circulation sanguine pour réduire les oedèmes, de favoriser l'oxygénation des muscles pour **accélérer la récupération** et de réduire les méfaits du surentraînement en particulier les **courbatures**.

(1) Différentes techniques

(a) *Le froid contre l'inflammation et la douleur (protocole GREC)*

En cas de blessure, le protocole GREC est à mettre en place le plus rapidement possible : **Glaçage, Repos, Élévation, Contention.**

- **Glaçage** : appliquer rapidement de la glace sur la zone traumatisée de manière à prévenir la douleur et réduire les gonflements. Le glaçage doit être répété 3 à 4 fois par jour durant 20 minutes.
- **Repos** : il est impératif de mettre le muscle ou l'articulation blessé(e) au repos de manière à ne pas rajouter de traumatismes supplémentaires.
- **Élévation** : il faut placer le muscle ou l'articulation traumatisé(e) en décharge, c'est à dire surélevé(e) par rapport au reste du corps.
- **Contention** : pour une réduction de gonflement de la zone traumatisée

L'application locale de froid, rapidement et de façon prolongée, juste après une blessure musculaire, atténue bien la destruction cellulaire par les leucocytes et améliore la perfusion tissulaire des nutriments (*Schaser et al. 2006*). [78]

(b) *Autres techniques pour sportif de haut niveau*

Il existe d'autres techniques utilisant le froid et permettant la récupération chez le sportif mais ces dernières concernent principalement les sportifs de haut niveau et aucun de ces produits n'est disponible en pharmacie. Nous allons donc juste citer les différentes méthodes existantes sans rentrer dans les détails techniques ni sur les bienfaits qu'elles peuvent apporter au sportif lors de la récupération. Bienfaits discutables et non prouvés pour certaines.

- **Immersion dans l'eau froide** : Cela consiste à immerger une partie (souvent les membres inférieurs) ou la totalité du corps dans un bain d'eau froide à 10°C pendant au moins 10 minutes, 14 minutes étant recommandées.
- **CCE : Cryothérapie Corps Entier** : Les cabines de cryothérapie en froid sec et intense à -110°C pendant 2 à 4 minutes maximum permettent de faire descendre la température cutanée à environ 10 degrés. **Protocole** : Après une adaptation dans une pré chambre à -60°C pendant 30 secondes, le sportif entre dans la cabine en maillot de bain, chaussettes spéciales et gants en réalisant des petits mouvements des membres puis à la sortie retour de nouveau 15/30 secondes dans la préchambre à -60°C. La surveillance est stricte et le protocole peut être interrompu à tout moment en cas de problème. Les dangers sont l'hypothermie et les brûlures au froid.

- **La Cryo-sauna :** Il s'agit de cabines de cryothérapie ouvertes « corps partiel », la tête et le cou n'étant pas immergés. L'efficacité doit être étudiée par rapport à la méthode corps entier.

(2) Les bienfaits et indications

Lorsqu'on fait du sport le corps produit des toxines. L'exposition à un froid intense permet de mieux les éliminer et de mieux **oxygéner les muscles** afin de diminuer les courbatures. De plus cela aide à relancer le retour veineux, à diminuer les oedèmes et les microlésions musculaires, ce qui accélère la récupération physique et réduit les risques de blessure. Les bénéfices en sont : une meilleure récupération musculaire, la restitution des cellules lésées et la sensation de mieux-être qui a une action positive sur la qualité du sommeil.

(3) Les contre-indications

Il existe des contre-indications et des effets néfastes comme l'allergie au froid, l'urticaire au froid, le syndrome de Raynaud (trouble chronique de la circulation du sang aux extrémités du corps, le plus souvent doigts et orteils), les troubles de la sensibilité et les plaies sont autant d'interdits. Le danger principal est la **brûlure cutanée** par application directe sur la peau d'une poche de froid sortant du congélateur et aussi les crevasses, les engelures et la gelure cutanée. Le sportif doit rester à l'écoute de ses sensations et ne doit pas se forcer à supporter la douleur qui apparaît. La grossesse, l'HTA, l'asthme sont des contre-indications.

(4) Les produits et conseils à l'officine

L'application locale de froid peut se faire par l'intermédiaire d'un sac ou d'une vessie contenant des glaçons ou de la glace pilée, noyés ou non dans de l'eau. La glace est plus économique et plus facile à trouver, que ce soit sur le lieu de l'entraînement, dans un centre de soins, directement sur le lieu de compétition ou encore à l'hôtel. L'application de glace peut s'effectuer de manière **statique** (par application simple) ou **dynamique** (par massage sur une région plus étendue). Les techniques d'application de poches de glace, qu'elles soient statiques

ou dynamiques, ne seront mises en œuvre qu'après le retour au calme, tant physique que psychique. Ceci diffère de l'application thérapeutique précoce à réaliser immédiatement après un traumatisme musculo-squelettique aigu (comme une entorse ou une déchirure). Les produits de cryothérapie présents à l'officine peuvent être utilisés aussi bien lors de blessure que, comme vu précédemment, lors de la récupération post-entraînement ou compétition.

- Bombe de froid : soulage les traumatismes musculaires et ligamentaires. Le froid va diminuer la douleur et réduire l'inflammation. À appliquer le plus rapidement possible sur le muscle ou le ligament lésé.
 - Exemples : Nexcare® ou Sport Akileine® (**figure 54**)



Figure 54 : Bombe de froid Sport Akileine®

- Poche de froid instantané : coussin thermique à usage unique. Soulage la douleur par un froid instantané qui favorise la diminution des inflammations de petite traumatologie.
 - Exemples : Nexcare® ou Tensocold®
- Pack de froid : existe de différentes tailles et de différentes formes afin d'épouser au mieux la forme de la zone lésée. La poche est réutilisable pour le froid ou le chaud.
 - Exemples : Nexcare® (**figure 55**) ou Physiopack®



Figure 55 : Poche de froid Nexcare®

- Vessie à glace : Janwantanakul (2009) a mis en évidence que c'est plutôt la quantité de glace qui influence, en premier lieu, l'amplitude de la baisse de la température. L'auteur préconise donc des poches de glace d'au moins 0,6 kg pour obtenir les meilleurs résultats sur la température cutanée et donc sur la température intramusculaire. [79]
- Gel réfrigérant : la sensation de froid de ces gels apporte un effet calmant ainsi qu'une sensation de détente. Leur effet relaxant permet de réaliser des massages adaptés à la récupération sportive.
 - Exemple : Arnicadol® des laboratoire Phytomedica (**figure 56**)



Figure 56 : Arnicadol® des laboratoire Phytomedica

- Pack de froid et vessie à glace : leur utilisation peut s'effectuer après un entraînement ou une compétition afin d'améliorer la récupération au niveau des jambes (cuisses, mollets et chevilles) pour les sports de course. Elle sera plus ciblée au niveau des membres supérieurs (épaules, coudes, poignets) lors des sports à répétition de mouvements comme le tennis par exemple. À appliquer une vingtaine de minutes environ.

En plus de ces différentes techniques, le pharmacien peut insister également sur la prise d'une **douche froide**. Après des efforts intenses ou des efforts réalisés sous des chaleurs extrêmes, cette douche permet un refroidissement de l'organisme. Celle-ci va diminuer la perception de la fatigue et peut limiter les inflammations, atténuant ainsi les douleurs. Il est important d'insister sur le fait de faire attention aux douches froides intégrales et prolongées

notamment sur la tête qui risque de provoquer l'apparition d'angines, de rhumes ou autres affections. Les conseils d'utilisation sont de diminuer progressivement la température de l'eau, de prendre une douche de courte durée, d'effectuer des passages de 30 secondes pour les bras à une minute pour les jambes, répétés 3-4 fois et de passer le jet d'eau des extrémités vers le cœur. Idéalement il faut attendre que la température de corps retrouve une valeur normale avant de prendre la douche.

(b) La thermothérapie

(1) Définition, bienfaits et indications

La **thermothérapie** consiste à **appliquer localement de la chaleur** à des fins thérapeutiques au moyen de corps matériels de température élevée au-dessus des niveaux physiologiques (pour qu'un agent thermique soit considéré comme chaud, sa température doit être comprise entre 34 et 36 °C (au minimum) et s'élever à 58 °C au maximum)). C'est une méthode efficace pour soulager contractures musculaires et douleurs articulaires chroniques (arthroses, rhumatismes, raideurs sur anciennes blessures etc.) rencontrées par la pratique sportive.

Après une période d'effort intense **l'application locale de chaleur permet aussi une vasodilatation** et donc une augmentation de la circulation sanguine. Cela favorise ainsi l'apport en oxygène au niveau des tissus et l'élimination des déchets ainsi qu'une optimisation du drainage lymphatique. La thermothérapie diminue le tonus musculaire et assure ainsi une **relaxation des muscles**. Enfin, la chaleur, grâce à son action analgésique, réduit **les spasmes musculaires** et a une action contre **le phénomène de courbatures**.

(2) Différentes techniques

(a) Par contact direct : patches / compresses

La **thermothérapie de contact** consiste à appliquer directement la chaleur sur la zone douloureuse au moyen de patches chauffants, de pommades chauffantes, de compresses de paraffine. Auto-adhésifs, les patches chauffants peuvent être conservés au quotidien pendant plusieurs heures. Le massage aux pierres chaudes aux vertus relaxantes fait également partie des applications de la thermothérapie.

(b) *Par diathermie : appareil infra-rouge*

La **thermothérapie par diathermie** consiste à diffuser la chaleur à distance au moyen d'un appareil à rayonnement infrarouge. Les lampes à infrarouge sont généralement utilisées par les kinésithérapeutes et présentent l'avantage de permettre d'ajuster l'intensité de la chaleur en fonction de la douleur.

(3) Les contre-indications

La thermothérapie et l'utilisation de la chaleur sont déconseillées pour traiter les contusions, les élongations, les déchirures musculaires et les douleurs articulaires. Ces affections nécessitent au contraire l'application de froid. L'emploi de la thermothérapie est contre-indiqué aux personnes souffrant d'insuffisance veineuse, d'affections cutanées et de plaies ouvertes. Il existe peu d'effets secondaires à la thermothérapie, mais en cas de doute, il est conseillé de solliciter un avis médical.

(4) Les conseils à l'officine

Comme vu précédemment, les courbatures surviennent avec les microlésions sur le muscle qu'a pu provoquer un effort trop intense et long d'où la réaction inflammatoire. En cas de courbatures, utiliser **le chaud** favorise la circulation sanguine et la cicatrisation tissulaire (par vasodilatation). Grâce à son effet décontractant la thermothérapie permet une meilleure récupération des muscles. De plus le signal nerveux envoyé par la chaleur au cerveau diminue la sensation de douleur.

En pharmacie certains produits comme les patchs chauffants, les coussins thermiques ou encore les ceintures chauffantes vont permettre de diminuer les courbatures musculaires.

- **Les patchs chauffants** : ils permettent de soulager la douleur par leur action longue durée. Une fois appliqué sur la peau, le patch chauffant diffuse une chaleur constante pendant 8 heures, permettant de décontracter les muscles douloureux par une meilleure oxygénation et de soulager les douleurs articulaires.
 - Exemple : Thermacare® du laboratoire Pzifer (**figure 57**) et Actipoche® du laboratoire Cooper (**figure 58**)



Figures 57 et 58 : Thermacare® et Actipoche®

- **Les coussins thermiques** : de petits ou grands modèles ont des formes spécifiques pour s'adapter aux différentes parties du corps courbaturées : cervicales, trapèzes, cuisses, mollets etc.
- **Les ceintures chauffantes** : Les agents thermoactifs contenus dans les patches chauffants produisent naturellement de la chaleur au contact de l'air. Une fois placés dans la ceinture, les patches diffusent une chaleur constante pendant 8 heures. Celle-ci augmente le flux sanguin; ce qui facilite l'élimination des déchets métaboliques et favorise l'oxygénation des tissus. De plus la chaleur améliore l'élasticité musculaire. Les muscles sont donc décontractés, les douleurs articulaires soulagées et la mobilité ainsi améliorée.

La douche chaude comme la douche froide a un effet bénéfique. Elle va permettre de réchauffer l'organisme et a un effet décontractant. Les conseils d'utilisation sont de passer le jet d'eau chaude 30 secondes pour chaque jambe et 20 secondes pour chaque bras. À répéter 5 à 7 fois.

Les conditions principales à respecter pour l'utilisation de ces produits :

- vérifier l'absence de plaies, d'inflammations, d'infections et de brûlures.
- avoir la peau sèche de préférence.
- ne jamais mettre l'application en contact direct sur la peau (l'interposition d'un tissu permet d'éviter tout risque de brûlures).
- respecter une inactivité pendant le traitement.
- éviter de couvrir la tête.

(c) *La massothérapie*

(1) Définition, bienfaits et indications

Le massage occupe une place importante dans la prise en charge des sportifs, quels que soient leur niveau et leur discipline. De manière générale il vise à **optimiser les performances et limiter les dommages** causés par l'activité (Galloway et al, 2004) [80]. “Le massage consiste en la manipulation des tissus par des pressions et pétrissages visant à améliorer la santé et le bien-être”. Depuis des centaines d’années le massage est employé pour agir sur le bien-être des personnes qui en sont bénéficiaires. On leur attribue un grand nombre de bienfaits aussi bien sur un plan psychologique que physiologique (douleur, système neuromusculaire, circulation sanguine, relaxation). Il permettrait d’accélérer les processus inflammatoires et aurait une action sur le tonus musculaire ainsi qu’un effet sur la relaxation générale (Hauswirth, 2013).

(2) Massage avant l’effort

Malgré son utilisation fréquente, le **massage stimulant avant l’effort** n’aurait aucune efficacité physiologique prouvée sur la performance musculaire. Au contraire l’étirement des muscles lors du massage et son action réflexe sur les neurones moteurs semblent être à l’origine d’une diminution de la force musculaire quelques minutes après la manœuvre (Dufour et al. 1999) [81]. Le sujet reste néanmoins débattu et la littérature actuelle n’est pas suffisante pour trancher sur l’intérêt du massage pré-compétition (Brummitt et al, 2008) [82]. Toutefois les sportifs les apprécient et n’hésitent pas à solliciter leur physiothérapeute avant d’entrer sur le terrain ou commencer une course. Cela peut avoir un effet placebo sur le mental du sportif. C’est également un moyen de déstresser : son **impact psychologique** n’est donc pas à négliger.

(3) Massage après l’effort

La **récupération** est extrêmement importante pour les sportifs de bon niveau qui enchaînent souvent les compétitions à un rythme soutenu. C’est pourquoi tout est mis en

œuvre pour que les sportifs soient au meilleur de leur forme tout au long de la saison. Le massage figure donc en bonne position dans leur programme.

Entre deux efforts, le massage est utilisé pour éliminer les métabolites produits par l'activité physique grâce à son action supposée sur la circulation et également pour diminuer les tensions musculaires (*Holey & Cook, 2011*). [83]

Après un effort, le massage est censé **prévenir l'apparition de courbatures**. Il permet au sportif de se relaxer et rend possible le dépistage d'un trouble plus important lié à l'effort accompli. La majorité des athlètes sont convaincus de son potentiel pour alléger les douleurs musculaires post effort (*Howatson & Van Someren, 2008*). [84]

(4) Les conseils à l'officine

L'effleurage, les pressions, le pétrissage, les frictions, les tapotements et les vibrations sont tout autant de manœuvres élémentaires qui peuvent être employées en massage manuel et réalisés par des kinésithérapeutes. Nous verrons dans ce paragraphe les produits disponibles en pharmacie pouvant être conseillés par le pharmacien afin de permettre au sportif de réaliser seuls des massages post-exercice. Voici une liste non exhaustive des différents produits mis sur le marché :

- Huile de massage à l'Arnica (Weleda®) : elle facilite la préparation et la récupération sportive. L'extrait d'arnica soulage, les huiles de tournesol et d'olive garantissent une glisse optimale, les huiles de lavande et de romarin renforcent les effets tonifiants et décontractants du massage. À appliquer avant et/ou après l'effort sur une peau saine puis masser pour faire pénétrer.
- Lotion de massage baume du tigre : À appliquer 3 à 4 fois par jour, avant, pendant et après la pratique de sport, elle offre une sensation de chaleur suivie d'une sensation de froid qui aide à relaxer par le massage. Attention ce produit est contre-indiqué chez les enfants de moins de 7 ans, les femmes enceintes ou allaitantes. Il peut être mortel chez les enfants en cas d'ingestion. L'effet indésirable principal est une réaction allergique.
- Friction arnica (Puresentiel®) : cette friction allie l'arnica et 14 huiles essentielles ; elle favorise la relaxation musculaire, aide à décontracter, à détendre et à diminuer

la raideur, a une action défatigante et tonifiante. Elle soulage et apaise les zones sensibles, facilite la préparation et la récupération sportive.

- Gel défatiguant Sport Relax (Akileïne®) : il agit sur les causes de la fatigue musculaire par sa combinaison d'acides aminés, de magnésium et de potassium favorisant l'élimination des toxines accumulées lors de l'effort. Il est à appliquer après le sport en massage léger sur les muscles sollicités. En cas de sensation de fatigue musculaire plus prononcée, il faut renouveler l'application le soir et le lendemain matin.

(d) *Les étirements actifs ou passifs*

(1) Étirements actifs

Un **étirement actif** est un mouvement au cours duquel le muscle (ou la chaîne musculaire) agoniste se contracte tandis que le muscle (ou la chaîne musculaire) antagoniste s'étire. Une fois la limite d'étirement de l'antagoniste atteinte, on poursuit l'étirement en exerçant une légère traction (ou pression) de façon à augmenter de 10% l'amplitude du mouvement (**figure 59**).

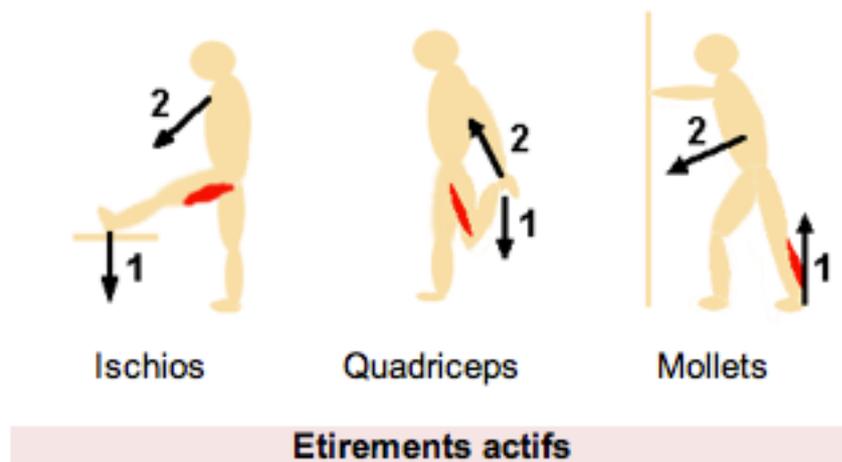


Figure 59 : Exemple d'étirements actifs

La respiration joue un rôle important. Il faut veiller à inspirer au commencement de chaque répétition puis expirer lentement pendant l'étirement. Il est important de garder **une cohérence entre les exercices**. Dans la mesure où durant un étirement actif il y a contraction

d'un muscle (ou une chaîne agoniste) afin d'étirer le muscle ou la chaîne antagoniste, il est important d'inverser le processus immédiatement après afin de conserver l'équilibre agoniste/antagoniste.

Ce type d'étirement peut se pratiquer avant l'entraînement, précédé ou non d'automassages et en complément d'un échauffement dynamique, ou après l'entraînement afin de favoriser une meilleure récupération. Ils peuvent également s'effectuer les jours de récupération ou de repos combinés avec toutes les formes d'automassages, de mobilisations et décompressions articulaires afin de d'augmenter la vitesse de récupération et de l'optimiser (6 à 12 répétitions en moyenne).

Les avantages des étirements actifs viennent du fait que la contraction musculaire des muscles agonistes favorise une **meilleure circulation sanguine et lymphatique** (donc une meilleure oxygénation et nutrition des tissus) contrairement aux étirements statiques. C'est la raison pour laquelle il est important d'effectuer des répétitions. Contrairement aux étirements statiques, **la souplesse développée par les étirements actifs sera fonctionnelle** car liée aux possibilités de contraction des muscles d'une chaîne musculaire et de relâchement (inhibition réciproque) de la chaîne opposée (antagoniste). En alternant ainsi le travail d'un muscle (ou d'une chaîne musculaire) et immédiatement après celui du muscle (ou de la chaîne) opposé, on maintient un équilibre physiologique autour de chaque articulation (équilibre entre mobilité et stabilité). Donc **les mouvements et les gestes sportifs deviennent plus fluides, plus puissants**, les compensations corporelles et **les risques de blessures diminuent**.

De plus dans la littérature il a été écrit que la longueur musculaire est connue pour être un élément pouvant affecter les propriétés contractiles d'un muscle. En effet, un muscle raccourci ou trop étiré peut ne pas développer sa tension maximale si sa longueur de repos a été altérée. Cette notion peut être ainsi intéressante à prendre en compte dans l'utilisation des étirements passifs ou actifs. White and Sahrmanns [85] ont évoqué à ce propos l'utilisation des étirements actifs comme un moyen combiné d'augmenter l'extensibilité musculaire tout en améliorant la fonction musculaire du muscle antagoniste. Ainsi la contraction musculaire du muscle antagoniste permettra tout en améliorant sa fonction contractile de faire gagner en souplesse au niveau du muscle agoniste tout en lui faisant garder une « longueur fonctionnelle ». Ceci n'est évidemment pas possible avec des étirements uniquement passifs qui agissent sur une seule composante : le muscle agoniste. Cela dit, bien que l'étirement actif pourrait jouer un rôle dans l'amélioration de la fonction du muscle antagoniste, il n'a pour l'instant pas été démontré supérieur à l'étirement passif dans l'amélioration de l'extensibilité musculaire.

(2) Étirements passifs

Les étirements passifs sont les plus connus et les plus pratiqués. Un étirement passif est réalisé en mettant progressivement le muscle en tension, sans à coups, en utilisant le poids du corps puis en maintenant le muscle étiré statiquement à la limite de sa tension (**figure 60**). Cette position est à maintenir 30 secondes ou plus. Il n'y a pas de déplacement des membres sollicités. À la différence des étirements dynamiques, il n'y a pas de mouvements d'élan. Les étirements passifs sont reconnus pour relâcher les tensions musculaires ou gagner en souplesse mais sont à éviter en début de séance ou avant une compétition car les temps de réaction sont augmentés et les capacités explosives du muscle sont réduites.

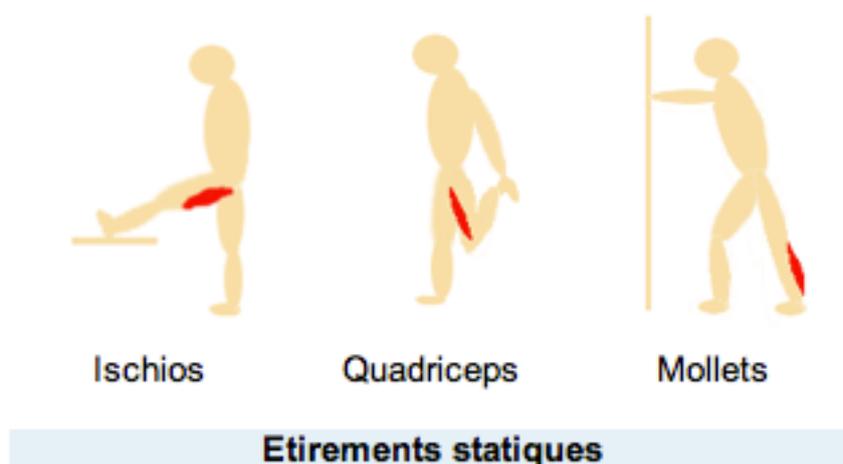


Figure 60 : Exemple d'étirements passifs

(3) Les conseils à l'officine

La reprise d'une activité sportive sans préparation, avec un échauffement insuffisant ou une mauvaise récupération contribue à la survenue des blessures. Ces étapes ne doivent donc pas être négligées. Le pharmacien en tant qu'acteur de santé doit favoriser le respect de ses étapes. Le pharmacien doit également rappeler le but et les principes généraux de l'échauffement, étape indispensable avant toute activité sportive. L'échauffement prépare l'organisme à la pratique de l'activité en sollicitant progressivement les articulations et les muscles et prévient ainsi les élongations, les courbatures etc. Il doit également permettre une accélération progressive du rythme cardiaque (120-140 battements/min). Un échauffement doit durer au minimum 10 minutes. Pour une activité de loisir, un démarrage doux et

progressif de celle-ci peut constituer un bon échauffement. Pour une pratique plus soutenue, il est recommandé d'effectuer une course à petite allure suivie de mouvements d'assouplissement puis de mouvements proches de ceux qui seront effectués lors de l'activité.

Pour ce qui est des étirements afin de favoriser une bonne récupération et de prévenir des pathologies tendineuses ou musculaires, il est conseillé de réaliser quelques étirements après une activité sportive. Ils doivent se faire sans mouvement brusque ou à ressort. Les **étirements passifs** gardent un intérêt dans la récupération par leurs effets sur l'amélioration de la souplesse, du drainage vasculaire ou encore sur la relaxation physique/psychologique. Quant aux **étirements actifs** il faut encourager leur pratique dans un objectif d'amélioration des performances pour leurs bénéfices sur la coordination motrice, le gain de souplesse, de vitesse et d'efficacité du geste sportif.

Le pharmacien peut mettre une fiche conseil avec quelques exercices d'étirements à disposition des patients. Celle-ci pourra leur servir pour la pratique de toute autre activité. Voici un exemple de fiche pouvant être mis à disposition des sportifs (**figure 61**) :

1. Etirement du mollet et du tendon d'Achille : 30 s par jambe.



2. Etirement du dos : 5 s.



3. Etirement des adducteurs : 30 s.



4. Etirement de la hanche et des ischio-jambiers : 20 s par jambe.



5. Etirement de la cage thoracique : 5 s par côté.



6. Etirement des quadriceps : 20 s par jambe.



7. Etirement du psoas iliaque et des lombaires : 20 s par jambe.



8. Etirement des fessiers : 10 s par jambe.



Figure 61 : Exercices d'étirement

D'après (en ligne) <https://www.entrainement-sport.com/etirement/course-a-pied-etirements-muscles.html>

Autres conseils complémentaires du pharmacien pour bien s'étirer :

- S'étirer au chaud.
- Ne pas réaliser d'étirements sur des muscles blessés ou courbaturés.
- Si on le pratique après un entraînement ou une compétition, attendre au minimum 30 minutes avant de s'étirer, voire plus si l'effort a été violent.
- S'étirer toujours de manière progressive et sans à-coups
- Lors de l'étirement on doit sentir une légère tension musculaire mais l'exercice ne doit pas être douloureux.
- Expirer toujours lorsque l'on est en phase d'étirement.
- Étirer en alternance les muscles agoniste et antagoniste.
- Répéter les exercices d'étirement plusieurs fois.

F. Homéopathie [86, 87, 88, 89]

(a) *Qu'est ce que l'homéopathie ?*

Le terme homéopathie vient du grec : « *homoios* » signifiant **analogue** ou **semblable** et « *pathos* », **souffrance**. Etymologiquement il s'agit donc de la thérapeutique de l'analogie. L'homéopathie peut être définie aujourd'hui de la façon suivante : « *Toute substance pharmacologiquement active, capable de provoquer à dose pondérale chez l'homme sain des symptômes, peut supprimer des symptômes semblables chez l'homme malade, à condition d'être employée à dose faible* ». Elle repose sur deux notions fondamentales : le phénomène de **similitude** et la **dose infinitésimale**.

- Le principe de **similitude** : va guider le choix du médicament. Une substance capable de provoquer chez un individu sain et sensible un ensemble de symptômes pourra à dose infinitésimale guérir le même tableau clinique présenté par un individu malade. Cette propriété d'inversion d'action selon la dose a été formulée dans la loi d'Arndt Schultz. Il est quand même important de noter qu'elle n'est pas valable pour toutes les substances.
- Le principe d'**infinitésimalité** : Le principe de similitude implique intimement le principe d'infinitésimalité. Pour qu'une substance soit efficace et non toxique, elle doit être utilisée à dose infra-pharmacologique ou infinitésimale.

(b) *Les sources de matières premières*

Les médicaments homéopathiques sont d'origine diverse :

- Végétale (70%) : les teintures mères d'origine végétale sont obtenues par macération alcoolique de plantes fraîches ou desséchées. Il peut s'agir de graines, de fleurs, de racines ou de champignons. Exemple : Chamomilla vulgaris préparée à partir de Camomille allemande.
- Animale : elles sont constituées d'une macération alcoolique au 1/20^{ème} d'animaux entiers vivants (exemple : Apis mellifica fabriqué à partir d'abeilles) ou de certaines parties/organes/sécrétions d'animaux (exemple : Sepia à partir d'encre de seiche) ;
- Minérale : divers métaux (Zincum metallicum), métalloïdes (Kalium phosphoricum) ou combinaisons (Mercurius solubilis, mélange de nitrate mercureux et mercure) ;
- Chimique ou biologique : il s'agit des médicaments de biothérapie comme Colibacillinum qui est un lyophilisat d'*Escherichia Coli*.

(c) *Procédé de fabrication*

Les **substances solubles** sont directement solubilisées pour obtenir une dilution au dixième ou au centième dans le même solvant.

Les **substances insolubles d'origine animale ou végétale** macèrent dans un mélange d'éthanol à 96°C et d'eau purifiée pendant 21 jours au vingtième du poids sec ou frais pour les premières, 10 à 21 jours, au dixième ou vingtième pour les secondes. Puis la préparation précédemment obtenue est filtrée sous pression. On obtient ainsi la **teinture mère** dont le titre alcoolique et la composition chimique sont strictement contrôlés.

Les **substances minérales insolubles** sont triturées directement dans du lactose, 1g de matière première étant mélangée à 99g de lactose pour obtenir la première décimale hahnemannienne. La mise en solution se fait à partir de 3CH.

Les dilutions se font ensuite au dixième ou au centième. Une partie de teinture mère est mélangée à 99 parties d'éthanol à 70°C. L'ensemble est ensuite fortement secoué (150 secousses/minutes pendant au moins une minute) : c'est ce qu'on appelle la **dynamisation** ou **succussion**. On obtient alors la première centésimale hahnemannienne ou 1CH. Une partie de ce mélange est récupérée puis mélangée à 99 parties de solvant. Le tout est dynamisé, ce qui permet d'obtenir la deuxième centésimale hahnemannienne ou 2CH etc.

La législation française autorise la commercialisation d'une dilution maximale de 30CH.

(d) *Les domaines d'utilisation*

L'homéopathie peut être utilisée dans tous les domaines de la médecine, en préventif ou curatif, à condition que les lésions soient réversibles (**figure 62**).

Elle ne permet pas de soigner les maladies graves (cancer par exemple) mais s'avère très utile pour accompagner le malade dans sa maladie afin de mieux supporter les effets indésirables de certains traitements lourds notamment.

Sans effet secondaire, non dopante, ayant une innocuité totale et une efficacité rapide, son utilisation paraît alors très intéressante chez le sportif, amateur ou professionnel.

En France, les médicaments homéopathiques sont inscrits à la Pharmacopée et pris en charge à 30% par la sécurité sociale pour la plupart.

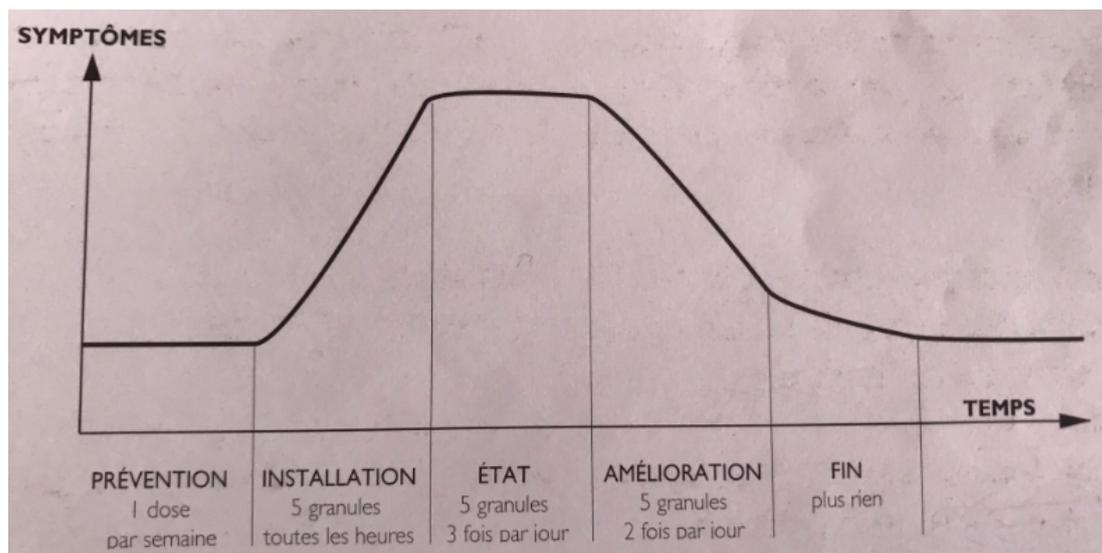


Figure 62 : Posologie homéopathie

(D'après « homéopathie le conseil au quotidien » de Michèle Boiron)

(e) *La trousse homéopathique du sportif*

(1) Arnica Montana 9CH ou 15 CH

Il s'agit d'une plante, l'**Arnique des montagnes**.

C'est le médicament des traumatismes physiques et moraux. Cette souche est utilisée pour les douleurs musculaires avec sensation de courbature ou de meurtrissure. La modalité la plus importante est l'aggravation par le toucher même le plus léger. Il calme la douleur, arrête l'hémorragie, redonne du tonus.

Il est indiqué dans toutes les affections dues à des traumatismes, au surmenage et à la fatigue.

(2) Apis Mellifica 15CH

La teinture mère est préparée à partir d'**abeilles** ouvrières vivantes.

Cette souche est utilisée dans toutes les douleurs avec sensation de brûlure ou de piqûre. Il y a souvent présence d'un œdème rosé. Les symptômes sont améliorés par le froid et aggravés par la chaleur et le toucher.

Elle est utilisée dès qu'il y a un gonflement articulaire, une tendinite, une entorse ou même une fracture.

(3) Bryonia Alba 5CH ou 7CH

Cette souche est préparée à partir des organes souterrains de **vigne blanche**.

C'est la souche des douleurs piquantes, localisées à un point précis chez un patient présentant une soif intense avec une sécheresse des muqueuses.

Les modalités sont très importantes : aggravation par le mouvement et amélioration par le repos et la pression forte.

Elle est utilisée dans les inflammations, surtout en cas de gonflement articulaire avec épanchement de liquide ainsi que dans les traumatismes musculaires.

(4) China Rubra 9 CH ou 15 CH

Ce médicament provient de l'**écorce de tige** ou bien de la **racine** d'un arbre poussant au nord de la Bolivie et est utilisé dans les céphalées pulsatiles et les acouphènes.

Il est utile en dilution moyenne chez le sportif pour le traitement de la fatigue liée à la déshydratation ou dans les suites d'hémorragies. Il peut également être conseillé en prévention, avant, pendant l'effort et la période de récupération.

(5) Coffea cruda 9CH

Il s'agit de la graine du **café vert**, originaire d'Ethiopie et d'Arabie.

Indiqué en cas d'hyperexcitation intellectuelle et physique, il est très utile chez le sportif hyperexcité présentant des insomnies avant une compétition. Autres indications : migraines, lumbagos et flatulences.

(6) Cuprum Metallicum 9CH

Il s'agit de l'**arsénite du cuivre** (cuivre métallique).

C'est le médicament des crampes et de toutes contractions musculaires indépendantes de la volonté, les spasmes. Ces crampes peuvent être améliorées par la consommation d'eau froide.

(7) Dulcamara 7CH

C'est un médicament issu de la **Douce-amère**, plante de la famille des Solanacées. C'est le médicament des maladies causées par l'humidité. Elle est particulièrement indiquée chez les nageurs ou chez tout sportif dans les suites d'exposition au froid humide notamment après avoir transpiré.

(8) Gelsemium 15 CH

Il s'agit du **jasmin sauvage** de Virginie aux Etats-Unis. C'est le médicament qui donne de l'assurance ; c'est le remède du trac et de l'émotivité. Il est utilisé chez le sportif présentant un trac important avant la compétition, entraînant tremblements, inhibition et diarrhée. Il est également utile lors de palpitations et/ou extrasystoles apparaissant le jour de la compétition.

(9) Hypericum Perforatum 15CH

Cette souche provient du **millepertuis**. Grâce à son action anti-inflammatoire, analgésique et sédative, elle permet de prendre en charge les douleurs nerveuses lancinantes avec irradiation le long du trajet du nerf, aggravées par le contact, notamment les suites de traumatismes. Elle sera utilisée pour les sciatiques et les douleurs nerveuses à la suite de contusions notamment.

(10) Rhus toxicodendron 9 à 30 CH

L'origine de ce médicament est le **sumac vénéneux** ou **lierre du Canada**. L'indication pour cette souche est une sensation de meurtrissure voire de raideur, améliorée par le mouvement lent et prolongé ainsi que par les applications de chaleur. En revanche l'immobilité et l'humidité entraînent une aggravation des symptômes.

C'est un médicament homéopathique indispensable chez le sportif pouvant être utilisé dans de nombreuses indications dues au surmenage physique : fatigue musculaire (courbatures), lombalgies et sciatiques, entorses ou encore luxations en phase de rééducation.

(11) Ruta Graveolens 5CH

Il s'agit de la **rue odorante** ou **rue des jardins**.

C'est le médicament de la fatigue et des courbatures. Les signes caractéristiques sont donc une sensation de courbature, meurtrissure, principalement au niveau des articulations (surtout poignets et chevilles) et des tendons. Le mouvement et la chaleur améliorent ces signes. Le repos est la principale modalité d'aggravation.

Cette souche est particulièrement indiquée dans les traumatismes au niveau des tendons et du périoste, les tendinites, les entorses et les luxations.

(12) Sarcolaticum acidum 5 CH

Il provient de l'**acide sarcolastique** extrait de la viande.

Indiqué dans le surmenage musculaire, il est très utile chez le sportif pour aider à l'élimination de l'acide lactique et ainsi éviter les courbatures et les douleurs musculaires à la suite d'efforts. Il peut être utilisé préventivement ou a posteriori en curatif.

(f) Les conseils à l'officine

Les pharmaciens d'officine sont confrontés quotidiennement à des demandes concernant l'activité sportive. Les réponses apportées doivent tenir compte du public et toute solution pouvant optimiser la récupération est la bienvenue. Les sportifs sont généralement très au courant et bien renseignés quant à la façon de prendre en charge les pathologies qu'ils rencontrent le plus fréquemment. Cependant l'expertise du pharmacien concernant certaines souches homéopathiques, encore peu connues dans ce domaine, est un plus fréquemment recherché.

Ainsi, dans le cadre d'une prise en charge globale, l'homéopathie peut permettre d'améliorer la récupération et de limiter l'importance des symptômes. C'est un conseil associé de choix, que ce soit suite à une demande spontanée ou en complément d'une prescription médicale. En prévention ou en traitement, elle trouve sa place au milieu de toutes les autres thérapeutiques qui peuvent être conseillées par le pharmacien.

G. Récupération psychologique

« *Motivation, mental, agressivité, concentration, confiance en soi, crispation, peur de gagner* ». Toutes ces expressions sont utilisées pour exprimer l'état psychologique d'un sportif lors d'une confrontation ou compétition et sont toujours associées à la réalisation d'une performance ou au contraire d'un échec.

L'optimisation de l'état psychologique pour la réalisation de la performance passe par une **préparation psychologique** correspondant à un ensemble de méthodes. Des qualités psychologiques élevées sont indispensables pour s'entraîner dur et élever le potentiel initial (ressources physiques, techniques, tactiques..), ainsi que pour restituer cette évolution le jour de la compétition.

(a) *Les facteurs psychologiques pouvant limiter la performance sportive*

Le sportif doit savoir identifier les signes qui créent ses perturbations pour pouvoir les comprendre (fatigue, stress, anxiété etc.) de manière à pouvoir gérer ces situations et ainsi agir notamment sur sa fatigue, ses peurs, ses sentiments contradictoires, joie, tristesse. Il doit enfin réguler ses émotions et se mettre en situation d'adaptation.

Sur le plan comportemental cela se traduit par une attention particulière à son **sommeil**, à son **alimentation** et à se trouver des **moments de détente**.

Un sportif ayant confiance en soi, réussissant à être concentré à l'instant T, à contrôler ses sentiments ou encore à faire abstraction de la pression, sera dans un état psychologique idéal afin de réaliser une performance sportive. Mais dans la réalité beaucoup de facteurs sont à prendre en compte et expliquent la complexité d'atteindre cet état psychologique idéal. En effet chaque individu a une personnalité qui lui est propre, avec des facteurs psycho-cognitifs, affectifs, comportementaux ou encore relationnels bien différents. Certains seront plus sûrs d'eux, d'autres auront plus d'ambition ou encore plus résistants au stress. D'autres seront plus motivés, avec une acceptation des charges de travail, une gestion des échecs ou encore une préparation au stress. L'environnement familial, social, scolaire, professionnel du sportif a une influence sur son épanouissement et donc sa personnalité. Il doit donc être pris en compte

dans la préparation psychologique pour prévenir et lutter contre une fragilisation de l'état psychologique du sportif.

(b) La prise en charge psychologique

La préparation mentale désigne le travail effectué sur le rapport de l'athlète à lui-même dans le cadre de sa préparation à la performance et à la gestion de ses résultats.

La qualité de la relation privilégiée entraîneur-entraîné permet l'essentiel du travail psychologique. Ce ne sera qu'en complément de celui-ci que le préparateur mental apportera au sportif des outils afin de lui permettre d'optimiser son propre potentiel au travers d'un travail progressif s'inscrivant dans la durée.

L'objectif du préparateur mental est de rendre le sportif autonome, de lui permettre de fonctionner seul et non de le mettre sous dépendance ou influence. [90]

- **Techniques de relaxation** : Elles s'appuient sur une régulation tonique musculaire pour équilibrer mentalement le sujet. Elles sont également efficaces contre les insomnies.

Différentes techniques existent :

- **la relaxation progressive** : a pour objectif de détendre progressivement tous les muscles. La personne va contracter puis décontracter successivement des zones musculaires (poing, dos, ventre etc.) et va sentir la tension musculaire et la détente musculaire qui se créent pour ensuite pouvoir les décontracter le moment voulu.
- **le training autogène** : signifie « s'entraîner soi-même ». Il s'agit d'une technique de relaxation proche de l'autohypnose grâce à des exercices mentaux. Le patient évoque des sensations de pesanteur et de chaleur dans différentes parties de son corps. La personne se couche, ferme les yeux et répète en elle-même une formule d'intention (par exemple : « ma jambe est lourde ») qui agit sur le corps pour déclencher le processus de relaxation.
- **le biofeedback** : est une discipline qui étudie les liens entre l'activité du cerveau et les fonctions physiologiques. Grâce à des capteurs et à un écran d'ordinateur, un patient nerveux voit et entend son rythme cardiaque, sa respiration, ses contractions musculaires... Ainsi le patient, à l'aide de l'appareil et des conseils du médecin, sait quels comportements et quel type de respiration lui permettront de se détendre plus facilement.

- **Techniques de méditation** : Provenant de l'Orient, elles ont pour objectif de permettre à l'individu de trouver un calme et un silence intérieur en libérant l'esprit des contraintes du corps, par la maîtrise de son mouvement, de son rythme et de son souffle.
- **Techniques cognitivo-comportementales** (ou restructuration cognitive) : Apparues dans les années 50, elles ont pour objectif de régler un comportement inadapté. En cas de pensées et sentiments négatifs perturbant le sportif, les techniques chercheront à les remplacer, les modifier, l'entraîner à contrôler les émotions perturbantes.
- **Techniques induisant des états modifiés de conscience** : Ces techniques réalisées avec un spécialiste ont pour objectif la modification de l'état de conscience de l'individu pour changer certains comportements individuels et les adapter à une situation. Ces techniques doivent être utilisées avec prudence et discernement car elles peuvent relever des méthodes de manipulation mentale.
- **Techniques d'imagerie et visualisation mentale** : Le principe de l'imagerie mentale est de répéter dans sa tête une action, un mouvement avec réussite, et ceci sans bouger la moindre partie du corps. Les images peuvent être visuelles, auditives, olfactives et kinesthésiques. La visualisation mentale permet de changer de temps et d'espace (retour sur le passé, projection dans l'avenir etc.), tandis que l'imagerie mentale peut se réaliser dans une perspective interne ou externe.

CONCLUSION

Le pharmacien est un acteur majeur dans la santé. De par sa proximité et sa disponibilité, il est en contact avec des sportifs amateurs, semi-professionnels voire même professionnels. De par ses connaissances il est à même de promouvoir et de conseiller la pratique d'une activité physique et sportive et a donc un rôle prépondérant à jouer dans l'accompagnement des patients.

Le corps humain est une machine complexe. Pour obtenir un mouvement harmonieux et performant, le sportif met en jeu un grand nombre d'appareils. Le système musculaire, le système osseux, le système articulaire et le système nerveux doivent fonctionner en parfaite harmonie. L'entraînement du sportif a pour but de développer les capacités de ces différents systèmes afin d'arriver à une performance meilleure que celle de ses adversaires. De plus, l'activité physique influence favorablement la solidité des organes de soutien, la force musculaire, l'équilibre, le système cardiovasculaire et aide à combattre l'obésité.

Cependant la pratique d'un sport n'est pas sans risque, le pharmacien se doit donc de mettre en garde ses patients contre d'éventuelles blessures en leur rappelant la nécessité de respecter certaines règles de prévention et en apportant toute solution pouvant optimiser la récupération. Il proposera des conseils appropriés permettant une augmentation des performances sportives. Ses conseils pourront regrouper une ou plusieurs thérapeutiques (homéopathie, cryothérapie, thermothérapie etc.) sans oublier les conseils nutritionnels et les règles hygiéno-diététiques. Le pharmacien doit savoir éduquer et conseiller le sportif concernant les trois piliers de la récupération sportive à savoir le sommeil, la nutrition et l'hydratation, tout en tenant compte de sa morphologie et de ses objectifs. En effet, pendant la période de récupération, le sportif doit permettre à ses muscles, tendons et articulations de se mettre au repos mais il doit également permettre à son métabolisme d'éliminer les déchets toxiques et de faire le plein de ses réserves. Tout ceci ne sera accompli que si les règles hygiéno-diététiques sont respectées.

La récupération est une période permettant au corps de se mettre au repos après un effort physique afin de retrouver l'intégrité de ses moyens physiques. Sa qualité et sa bonne gestion permettra de pratiquer à nouveau une activité physique et sportive saine.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] KAMINA P. Système musculaire, Anatomie clinique : Tome 1, anatomie générale, membres. 4^{ème} éd. Paris : Maloine, 2012, p.47-62.
- [2] MARIEB E. Muscles et tissu musculaire, Anatomie et physiologie humaine. 2^{ème} éd. Saint-Laurent : De Boeck Université, 1993, p.248-284.
- [3] HOEHN K, MARIEB E. Tissu musculaire : caractéristiques générales, Anatomie et physiologie humaines. 4^{ème} éd. Saint-Laurent : Edition du Renouveau Pédagogique Inc., 2010, p.315-367.
- [4] FLANDROIS R, MONOD H. Aspects mécaniques, thermiques et électriques de la contraction musculaire, Physiologie du sport : bases physiologiques des activités physiques et sportives. 4^{ème} éd. Paris : Masson, 2000, p.80-104.
- [5] DOUTRELOUX J. La fonction musculaire, Physiologie et biologie du sport. 2^{ème} éd. Paris : Vigot, 2013, p. 215-217.
- [6] DE PERETTI F, MAES B. Appareil locomoteur, Manuel d'anatomie générale avec notions de morphogénèse et d'anatomie comparée : introduction à la clinique. Paris : Ellipses, 2010, p.10-46. (Collection Les cours de PAES)
- [7] KATCH F, KATCH V, McARDLE W. Muscle du squelette : structure et fonction. Physiologie de l'activité physique : énergie, nutrition et performance. 4^{ème} éd. Paris : Maloine/Edisem, 2001, p.293-313.
- [8] FOX E, MATHEWS D. Structure du muscle squelettique. Bases physiologiques de l'activité physique. Paris : Vigot, 1984, p. 55-60.
- [9] COSTILL D, WILMORE J. Le fonctionnement musculaire. Physiologie du sport et de l'exercice : adaptations physiologique à l'exercice physique. 3^{ème} éd. Bruxelles : De Boeck, 2006, p. 27-47.
- [7] MARIEB E. Anatomie et physiologie humaine 2^{ème} édition, chapitre 9
- [8] MEKRAMI S., BRIGNOL T.N, AFM, le muscle squelettique, Juin 2003
- [9] McARDEL W. Physiologie de l'activité physique 4^{ème} édition, chapitre 18
- [10] FREY A, LE GARREC S., Pathologie traumatique du muscle strié squelettique. EMC - Appareil locomoteur 2017; 13(1):1-11 [Article 15-140-A-10].
- [11] POIRIER J, RIBADEAU-DUMAS JL, CATALA M, GHERARDI RK, BERNAUDIN JF. La contractilité cellulaire. Histologie moléculaire. 5e éd. Paris : Masson ; 1997.

- [12] STEVENS A, LOWE J, COPIN H (trad.), COLLET A (trad.), VALIDIRE P (trad.) : cellules contractiles. Histologie. Paris : éditions Pradel, 1993.
- [13] Tissus musculaires. Cours d'Histologie. Paris : Ellipses ; 1996.
- [14] Lactates : « mode d'emploi » [en ligne] <http://www.ffs.fr/pdf/dss/FFSdtinfo-physio-lactates.pdf> (dernière consultation : mars 2019)
- [15] Métabolisme des glucides – Cours Pharmacie [en ligne], <http://www.cours-pharmacie.com/biochimie/metabolisme-des-glucides.html> (dernière consultation : mars 2019)
- [16] Cycle de Krebs – Futurama Santé [en ligne], <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/biologie-cycle-krebs-696/> (dernière consultation : mars 2019)
- [17] Modèle mécanique à trois Composantes [en ligne], <http://ressources.unisciel.fr/physiologie/co/2g1.html> (dernière consultation : mars 2019)
- [18] KAMINA P. Anatomie clinique : Tome 3, thorax et abdomen. 3^{ème} éd. Paris : Maloine, 2011, p.103-165.
- [19] Comprendre la cardiologie [en ligne], http://www.cardiologie.info/anatomie/donnees_anatomiques/donnees_externes.shtml (dernière consultation : mars 2019)
- [20] D'ALCHE E-P, Comprendre la physiologie cardiovasculaire, 3^{ème} édition Lavoisier MSP, p21-26
- [21] Physiologie humaine. Les vaisseaux sanguins, [en ligne] <https://natyinfirmiere.files.wordpress.com/2010/10/les-vaisseaux-sanguins.pdf> (dernière consultation : mars 2019)
- [22] Bases de la cardiologie, [en ligne], <http://campus.cerimes.fr/semiologie-cardiologique/enseignement/cardiologie/site/html/cours.pdf> (dernière consultation : mars 2019)
- [23] Collège des enseignants de Cardiologie : Référentiel national
- [24] David E Newby et Neil R Grubb, éditions Elsevier : Cardiologie
- [25] Fédération française de Cardiologie, [en ligne], <https://www.fedecardio.org/Je-m-informe/Le-coeur/lactivite-electrique-du-coeur> (dernière consultation : mars 2019)
- [26] LE DOLLEY Y., Physiologie de l'appareil cardio-vasculaire, [en ligne], https://medecine.univ-amu.fr/sites/medecine.univ-amu.fr/files/diplome/2_2_ledolley_cardiovasc.pdf (dernière consultation : mars 2019)
- [27] Institut de recherche du bien-être de la médecine et du sport santé, [en ligne], <https://www.irbms.com/coeur-du-sportif/> (dernière consultation : mars 2019)
- [28] LELOUP D., Des filières énergétiques à la séance d'entraînement, [en ligne],

- http://www.riwa.be/WPRIWA/wp-content/uploads/2015/12/Des_Filieres_Energetiques_A_La_Seance_Entrainement.pdf
(dernière consultation : mars 2019)
- [29] KENTTA G., HASSMEN P., Prévention du surentraînement, évaluation des techniques de récupération, Paris : édition Masson 2002, p11-14.
- [30] WEST J., Physiologie respiratoire l'essentiel, 10^{ème} édition Maloine
- [31] CHUPS Jussieu, Adaptations cardio-vasculaires pendant l'exercice, [en ligne], <http://www.chups.jussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/dubioentrainementsport/adaptcardiovascvandewalle05/adaptcardiovascvandewalle05.pdf> (dernière consultation : mars 2019)
- [32] CARRE F., BRION R., Cardiologie du sport, édition De Boeck
- [33] Institut de recherche du bien-être de la médecine et du sport santé, [en ligne], <https://www.irbms.com/malaise-vagal-hypotension-deffort-et-malaise-a-leffort/> (dernière consultation : mars 2019)
- [34] FLANDROIS R., MONOD H., Physiologie du sport : bases physiologiques des activités physiques et sportives. 4^{ème} éd. Paris : Masson, 2000, p.105-136.
- [35] ATLAN G, BELIVEAU L., Aspects biochimiques et physiologiques. Paris : Masson, 1991.
- [36] CHANUSSOT J-C., DANOWSKI R-G., Traumatologie du sport, 8^{ème} édition
- [37] DROUET A. Comment optimiser la prise en charge des crampes musculaires, la revue du praticien, Mai 2003, n5, pp.619-623
- [38] DE LABAREYRE H, Les crampes musculaires, 2009, [en ligne], <http://amdts.free.fr/pps/2009/08.pdf> (dernière consultation : mars 2019)
- [39] SERRATRICE G, Contractures musculaires, EMC, Neurologie ; 17-007-A-40,2008.
- [40] Institut de recherche du bien-être de la médecine et du sport santé, [en ligne], <https://www.irbms.com/recuperation/> (dernière consultation : mars 2019)
- [41] DUPUIS C., Le sommeil ce grand ami, Dolfino Media, livre numérique
- [42] N. Cermakian, P. Sassone-Corsi: Institut de génétique et de biologie moléculaire et cellulaire, Cnrs, Inserm ULP, BP 163, 67404 Illkirch-Strasbourg, France.
- [43] D.BISHOP, The effects of travel on team performance in the Australian national netball competition. Journal of science and medicine in Sport/Sports Medicine Australia 7 :118-122 (2004)
- [44] L.RICHMOND, B.DAWSON, DR.HILLMAN, PR.EASTWOOD, The effects interstate travel on sleep patterns f elite Australian Rules footballers. Journal of science and medicine in Sport/Sports Medicine Australia 7 :186-196 (2004)

- [45] M. SKEIN, R. DUFFILED, J. EDGE, MJ.SHORT, T.MONTEL, Intermittent-sprint performance and muscle glycogen after 30h of sleppe deprivation. *Medicine and science in sports and exercise* 43 :1301-1311 (2011)
- [46] LÉGER D., DUFOREZ F., Sport et Sommeil, coll. « Sport et Santé », Éditions Chiron, Paris, 2012.
- [47] LÉGER D., DUFOREZ F., Effet de l'activité physique sur le sommeil, publication en ligne, <http://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/97/?sequence=39> (dernière consultation : mars 2019)
- [48] M. CHENNAOUI, D. GOMEZ-MERINO, P.ARNAL, F.SAUVET, D.LÉGER, Sommeil et exercice physique : y a-t-il une interrelation ?, *médecine du sommeil* (2005)
- [49] T. LANGE, S. DIMITROV, J.BORN, Effects of sleppe and circadian rhythm on the human immune System. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1193 :48-59 (2010)
- [50] E.HARTMANN, CL. SPINWEBER, Sleep induced by L-tryptophan. Effect of dosages within the normal dietary intake. *The journal of nervous and mental disease* 167 :497-499 (1979)
- [51] OH.RUNDELL, BK. LESTER, WJ. GRIFFITHS, HL.WILLIAMS, Alcohol and sleep in young adults. *Psychopharmacologia* 26:201-218 (1972)
- [52] E. Petit-Chanteau, H. Bourdint, G. Tio, effets d'une sieste en condition de sommeil normal ou de décalage simulé, sur les performances cognitives et psychomotrices du sportif (2017)
- [53] SCHWOB M., Les rythmes du corps : chronobiologie de l'alimentation, du sommeil et de la santé, édition Odile Jacob.
- [54] Vidal – les hypnotiques, [en ligne], <https://eurekasante.vidal.fr/maladies/psychisme/insomnie.html?pb=medicaments> (dernière consultation : mars 2019)
- [55] Site [en ligne], laboratoire Bayer, https://www.euphytosegamme.fr/euphytosenuit.php?gclid=EAIaIQobChMI7aKooY604AIVFobVCh388gnOEAAAYASAAEgLU1_D_BwE (dernière consultation : mars 2019)
- [56] Site [en ligne], laboratoire Sanofi, <http://nosmedicaments.sanofi.fr/Publicationmed/Medicaments/Complement-alimentaire/NOVANUIT> (dernière consultation : mars 2019)
- [57] Site [en ligne], laboratoire Arkopharma, <https://www.arkopharma.com/fr-FR/arkorelax-sommeil-fort> (dernière consultation : mars 2019)

- [58] DOROSZ P, VITAL DURAND D, LE JEUNNE C. Guide pratique des médicaments, 32^e Edition. Paris : Maloine ; 2012.
- [59] MASSON JL. L'homéopathie de A à Z. Paris : Marabout ; 2012.
- [60] Médicament homéopathique Boiron, [en ligne], <http://www.boiron.fr/> (dernière consultation : mars 2019)
- [61] Laboratoires Lehning, [en ligne], <http://www.lehning.com/> (dernière consultation : mars 2019)
- [62] Les oligoéléments, Oligomed les insomnies, [en ligne], <http://www.oligomed.com/insomnie.php> (dernière consultation : mars 2019)
- [63] JEANTET R., CROGUENEC T., La science des aliments, édition Lavoisier
- [64] JENTJENS RL., JEUKENDRUP AE., Determinants of postexercise glycogen synthesis during short-term recovery, *Sports Med* 33 :117-144 (2003)
- [65] BURKE LM., KIENS B., IVY JL., Carbohydrates and fat for training and recovery, *Sports sciences* 22 :15-30 (2004)
- [66] IVY JL., GOFORTH HW., DAMON BD., McCAWLEY TR., Early post-exercice muscle glycogen recovery is enhanced with carbohydrate-protein supplement. *J appl physiol* 106 :1394-1402
- [67] POORTMANS J.R, CARPENTIER Y.A, Sarcopénie, vieillissement et exercice, *Science et sports* 24 (2009)
- [68] RICHE D. L'alimentation du sportif en 80 questions. Paris : Vigot, 2015. -237p
- [69] RICHE D. Micronutrition, santé et performance. Bruxelles : De Boeck, 2008. -372p
- [70] SFNS (Société Française de Nutrition et du Sport), 2015, (en ligne), <http://www.nutritiondusport.fr> (dernière consultation : mars 2019)
- [71] CASCUA S, ROUSSEAU V, Alimentation pour le sportif. Paris : Amphora, 2005. -301p
- [72] CHOS D., RICHE D., Diététique et micronutrition du sportif. Paris : Vigot, 2001. -209p
- [73] ANSES (Agence nationale de sécurité de l'alimentation, de l'environnement et du travail), Evaluation des risques liés à la consommation de boissons dites énergisantes, 2013, (en ligne) <http://www.anses.fr> (dernière consultation : mars 2019)
- [74] C. GARDON-MOLLARD, A.A.RAMELET, La compression médicale, 2^{ème} édition Paris : Elsevier Masson. 2005, p425
- [75] KEMMLER W., VON STENGEL S., KÖCKRITZ C., MAYHEW J., WASSERMANN A., ZAPF J., Effect of compression stockings on running performance in men runners. *Journal of strength and conditioning research*. 2009

- [76] COUZAN S. et al., A randomized double-blind trial of upward progressive vs degressive compressive stockings in patients with moderate to severe chronic venous insufficiency. *J Vasc Surg*, 2012.
- [77] Hamlin MJ, Mitchell CJ et al., Effect of compression garments on short-term recovery of repeated sprint and 3-km running performance in rugby union players. *J Strength Cond Res*, 26(11): 2975-2982, 2012
- [78] Schaser KD, Stover JF, Melcher I, Lauffer A, Haas NP, Bail HJ, Stockle U, Puhl G, Mittlmeier TW (2006) Local cooling restores microcirculatory hemodynamics after closed soft-tissue trauma in rats. *J Trauma* 61:642-649
- [79] Janwantanakul P (2009) The effect of quantity of ice and size of contact area on ice pack/skin interface temperature. *Physiotherapy* 95:120-125.
- [80] Galloway, S. D. R., & Watt, J. M. (2004). Massage provision by physiotherapists at major athletics events between 1987 and 1998. *British Journal of Sports Medicine*, 38(2), 235–237. doi:10.1136/bjism.2002.003145
- [81] Dufour, M. (1999). *Massages et massothérapie : effets, techniques et applications*. Paris: Maloine.
- [82] Brummitt, J. (2008). The role of massage in sports performance and rehabilitation: Current evidence and future direction. *North American Journal of Sports Physical Therapy: NAJSPT*, 3(1), 7.
- [83] Holey, E. A., & Cook, E. M. (2011). *Evidence-based therapeutic massage □: a practical guide for therapists*. Edinburgh; New York: Churchill Livingstone/Elsevier.
- [84] Howatson, G, Gaze, D, & Van Someren, K. (2003). Ice massage: effects on exercise-induced muscle damage. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 43(4), 500–505.
- [85] White SG, Sahrman SA. A movement system balance approach to management of musculoskeletal pain. In: Grant R, ed. *Physical Therapy of the Cervical and Thoracic Spine*. New York, NY: Churchill Livingstone Inc; 1994:339–357.
- [86] BOIRON T., BOIRON C., Guide des principales spécialités Boiron, Laboratoire Boiron.
- [87] BORLIACHON L., Homéopathie familiale d'urgence, 3^{ème} édition Doin Deren et Cie
- [88] BINET C., L'homéopathie pratique, éditions Dangles
- [89] PAYRE-FICOT A., BOIRON M., Homéopathie le conseil au quotidien, éditions Boiron
- [90] BILLIARD M., DAUVILLIERS Y. Les troubles du sommeil, 2^e édition. Paris : Elsevier Masson ; 2012.