

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

**Soutenue publiquement le 19 juin 2020  
Par Mr Deroissart Lucas**

---

**Rôle du pharmacien d'officine dans l'accompagnement  
du coureur de trail**

---

**Membres du jury :**

**Président** : Dr Thierry Hennebelle, Professeur en Pharmacognosie, Université de Lille

**Directeur de thèse** : Mme Céline Rivière, Maître de conférences en Pharmacognosie, Université de Lille

**Assesseur(s)** : Dr Wattel Anne, Docteur en Pharmacie  
Mr Henri Noisette, Kinésithérapeute diplômé d'Etat







Faculté de Pharmacie  
de Lille



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

☎ 03.20.96.40.40 - ✉ : 03.20.96.43.64

**Université de Lille**

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

**Faculté de Pharmacie**

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

**Liste des Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers**

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	ALLORGE	Delphine	Toxicologie
M.	BROUSSEAU	Thierry	Biochimie
M.	DÉCAUDIN	Bertrand	Pharmacie Galénique
M.	DEPREUX	Patrick	ICPAL

M.	DINE	Thierry	Pharmacie clinique
Mme	DUPONT-PRADO	Annabelle	Hématologie
M.	GRESSIER	Bernard	Pharmacologie
M.	LUYCKX	Michel	Pharmacie clinique
M.	ODOU	Pascal	Pharmacie Galénique
M.	STAELS	Bart	Biologie Cellulaire

### Liste des Professeurs des Universités

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	ALIOUAT	EI Moukhtar	Parasitologie
Mme	AZAROUAL	Nathalie	Physique
M.	BERTHELOT	Pascal	Onco et Neurochimie
M.	CAZIN	Jean-Louis	Pharmacologie – Pharmacie clinique
M.	CHAVATTE	Philippe	ICPAL
M.	COURTECUISSÉ	Régis	Sciences végétales et fongiques
M.	CUNY	Damien	Sciences végétales et fongiques
Mme	DELBAERE	Stéphanie	Physique
M.	DEPREZ	Benoît	Lab. de Médicaments et Molécules
Mme	DEPREZ	Rebecca	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	DUPONT	Frédéric	Sciences végétales et fongiques
M.	DURIEZ	Patrick	Physiologie
M.	FOLIGNE	Benoît	Bactériologie
M.	GARÇON	Guillaume	Toxicologie
Mme	GAYOT	Anne	Pharmacotechnie Industrielle
M.	GOOSSENS	Jean François	Chimie Analytique
M.	HENNEBELLE	Thierry	Pharmacognosie
M.	LEMDANI	Mohamed	Biomathématiques
Mme	LESTAVEL	Sophie	Biologie Cellulaire
M.	LUC	Gerald	Physiologie
Mme	MELNYK	Patricia	Onco et Neurochimie
M.	MILLET	Régis	ICPAL
Mme	MUHR – TAILLEUX	Anne	Biochimie
Mme	PAUMELLE-LESTRELIN	Réjane	Biologie Cellulaire
Mme	PERROY	Anne Catherine	Législation
Mme	ROMOND	Marie Bénédicte	Bactériologie
Mme	SAHPAZ	Sevser	Pharmacognosie
M.	SERGHÉRAERT	Eric	Législation
Mme	SIEPMANN	Florence	Pharmacotechnie Industrielle
M.	SIEPMANN	Juergen	Pharmacotechnie Industrielle
M.	WILLAND	Nicolas	Lab. de Médicaments et Molécules

### Liste des Maîtres de Conférences - Praticiens Hospitaliers

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	BALDUYCK	Malika	Biochimie

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

### Liste des Maîtres de Conférences

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
Mme	ALIOUAT	Cécile Marie	Parasitologie
M.	ANTHERIEU	Sébastien	Toxicologie
Mme	AUMERCIER	Pierrette	Biochimie
Mme	BANTUBUNGI	Kadiombo	Biologie cellulaire
Mme	BARTHELEMY	Christine	Pharmacie Galénique
Mme	BEHRA	Josette	Bactériologie
M	BELARBI	Karim	Pharmacologie
M.	BERTHET	Jérôme	Physique
M.	BERTIN	Benjamin	Immunologie
M.	BLANCHEMAIN	Nicolas	Pharmacotechnie industrielle
M.	BOCHU	Christophe	Physique
M.	BORDAGE	Simon	Pharmacognosie
M.	BOSC	Damien	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	BRIAND	Olivier	Biochimie
M.	CARNOY	Christophe	Immunologie
Mme	CARON	Sandrine	Biologie cellulaire
Mme	CHABÉ	Magali	Parasitologie
Mme	CHARTON	Julie	Lab. de Médicaments et Molécules
M	CHEVALIER	Dany	Toxicologie
M.	COCHELARD	Dominique	Biomathématiques
Mme	DANEL	Cécile	Chimie Analytique
Mme	DEMANCHE	Christine	Parasitologie
Mme	DEMARQUILLY	Catherine	Biomathématiques
M.	DHIFLI	Wajdi	Biomathématiques
Mme	DUMONT	Julie	Biologie cellulaire
Mme	DUTOUT-AGOURIDAS	Laurence	Onco et Neurochimie
M.	EL BAKALI	Jamal	Onco et Neurochimie
M.	FARCE	Amaury	ICPAL
Mme	FLIPO	Marion	Lab. de Médicaments et Molécules
Mme	FOULON	Catherine	Chimie Analytique
M.	FURMAN	Christophe	ICPAL
Mme	GENAY	Stéphanie	Pharmacie Galénique
M.	GERVOIS	Philippe	Biochimie
Mme	GOOSSENS	Laurence	ICPAL

Mme	GRAVE	Béatrice	Toxicologie
Mme	GROSS	Barbara	Biochimie
M.	HAMONIER	Julien	Biomathématiques
Mme	HAMOUDI	Chérifa Mounira	Pharmacotechnie industrielle
Mme	HANNOTHIAUX	Marie-Hélène	Toxicologie
Mme	HELLEBOID	Audrey	Physiologie
M.	HERMANN	Emmanuel	Immunologie
M.	KAMBIA	Kpakpaga Nicolas	Pharmacologie
M.	KARROUT	Youness	Pharmacotechnie Industrielle
Mme	LALLOYER	Fanny	Biochimie
M.	LEBEGUE	Nicolas	Onco et Neurochimie
Mme	LECOEUR	Marie	Chimie Analytique
Mme	LEHMANN	Hélène	Législation
Mme	LELEU-CHAVAIN	Natascha	ICPAL
Mme	LIPKA	Emmanuelle	Chimie Analytique
Mme	MARTIN	Françoise	Physiologie
M.	MOREAU	Pierre Arthur	Sciences végétales et fongiques
M.	MORGENROTH	Thomas	Législation
Mme	MUSCHERT	Susanne	Pharmacotechnie industrielle
Mme	NIKASINOVIC	Lydia	Toxicologie
Mme	PINÇON	Claire	Biomathématiques
M.	PIVA	Frank	Biochimie
Mme	PLATEL	Anne	Toxicologie
M.	POURCET	Benoît	Biochimie
M.	RAVAUX	Pierre	Biomathématiques
Mme	RAVEZ	Séverine	Onco et Neurochimie
Mme	RIVIERE	Céline	Pharmacognosie
Mme	ROGER	Nadine	Immunologie
M.	ROUMY	Vincent	Pharmacognosie
Mme	SEBTI	Yasmine	Biochimie
Mme	SINGER	Elisabeth	Bactériologie
Mme	STANDAERT	Annie	Parasitologie
M.	TAGZIRT	Madjid	Hématologie
M.	VILLEMAGNE	Baptiste	Lab. de Médicaments et Molécules
M.	WELTI	Stéphane	Sciences végétales et fongiques
M.	YOUS	Saïd	Onco et Neurochimie
M.	ZITOUNI	Djamel	Biomathématiques

### Professeurs Certifiés

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

### Professeur Associé - mi-temps

Civ.	NOM	Prénom	Laboratoire
M.	DAO PHAN	Hai Pascal	Lab. Médicaments et Molécules



M.	DHANANI	Alban	Droit et Economie Pharmaceutique
----	---------	-------	----------------------------------

### Maîtres de Conférences ASSOCIES - mi-temps

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

### AHU

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





## ***Faculté de Pharmacie de Lille***

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

Tel. : 03.20.96.40.40 - Télécopie : 03.20.96.43.64

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

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



## ***Remerciements***

A Mme Céline Rivière, sans qui ce travail n'aurait pas été possible. Merci pour votre gentillesse et vos conseils.

A Mr Thierry Hennebelle, qui a bien voulu me faire l'honneur de présider ce jury.

A Mme Anne Wattel, désormais confrère pharmacien en qui je me retrouve dans la conception du métier, pour les conseils et les partages de point de vue, et qui me fait l'honneur de faire partie de mon jury.

A mon ami, mon pote Henri Noisette qui partage ma passion du sport et qui m'a fait le grand plaisir et honneur d'accepter de faire partie de mon jury.

A mes parents, Christine et Guy, pour votre amour constant et inconditionnel, pour m'avoir permis et pousser à faire ces études, pour votre soutien dans les bons et mauvais moments, pour l'éducation et les leçons de vie que vous m'avez apportés et que vous continuez à me donner, pour votre patience et votre bonté quotidienne. Vous êtes mes modèles et j'espère vous rendre aussi fiers de moi que je le suis de vous avoir comme parents.

A ma sœur, Charlotte, pour ta présence, pour ton soutien infaillible, pour notre affection mutuelle profonde bien que discrète, pour les bons moments partagés, les concerts, les fiestas, les week-ends familiaux et tant d'autres à venir.

A toute ma grande famille, grands-parents, oncles, tantes, cousins et cousines, ainsi qu'à ceux partis trop tôt, pour vos encouragements, pour les leçons de vie, pour tous les instants festifs, joyeux, rares et précieux.

A Rémi, mon coloc, mon bro, pour tous ces supers moments passés ensemble, pour ton soutien et ta patience à la coloc' pendant les années concours, pour tes conseils et ton écoute au fil des années peu importe la distance, pour cette montagne de fun qu'on partage depuis le collège, des soirées au championnat de France de hockey UNSS aux apéros aléatoires à la coloc'.

A Quentin, mon frangin de cœur, pour tous les délires, les premières virées nocturnes, les cinés, les journées et même week-ends entre cousins geeks mais aussi les conversations sans fin, les discussions à cœur ouvert et sans jugement.

A toute la bande des années collège/lycée, les copains des Carabines & Pissenlits, Wiwi, Zé, Ganicott, Pi3rr09, Soso, la bande du ski, du Queens, Kimi, Léo, Thomas, Deb, Charlou, Kiki, Arthur, Foufou, Paul et tous les autres... Pour tous les délires, toutes les rigolades, les vacances, les soirées, les festivals, pour tous ces moments partagés ensemble au fil des années.

Aux potes du hockey, la famille HCV, pour la passion du sport, l'envie et la gagne, le don de soi au service du collectif, le respect des engagements, toutes ces valeurs importantes dans la vie quotidienne.

Aux copains des années concours, Vincent, Gaëtan, Robin, et tous les autres, pour votre soutien solidaire, pour les conseils et pour les moments de vie partagés à l'époque et depuis.

A la bande de la fac, Alice, Joseph, Augustin, Saensie, Val, Thomas, Clovis et Camille, pour votre présence et les bons moments tout au long de ce long parcours.

Aux potes de la geeksquad, les troissards géniaux Tim, Léo et Sixte, Binch, Nono et Tintin, pour toutes les parties de kodo, KrossCup, soirées à Mouchin et autres geek weeks.

A la team trail, Gaet, Rémi & Julien, pour le partage et l'envie de pousser toujours plus loin les limites personnelles mais de le faire ensemble.

Et surtout à toi Marie, ma chérie, ma partenaire de vie, pour toutes ces années passées à tes côtés, pour ton soutien, pour ta présence, pour ta patience, pour ton amour, pour tous tes petits gestes et attentions, pour ton côté geek, pour ton humour, pour ton amour du voyage, pour nos désaccords et nos points communs, pour chaque instant partagé du plus banal et quotidien au plus extraordinaire.



## ***Table des matières***

Introduction	20
Première partie :	22
Le Trail-running et le coureur de trail	22
A) Généralités sur l'activité sportive	23
B) La place du trail dans le sport	24
C) La physiologie de base de l'exercice musculaire	26
1) Le muscle et la contraction musculaire	26
2) Voies énergétiques	29
3) les différents indicateurs énergétiques	34
4) la fatigue et facteurs limitants de performance	35
D) Adaptation cardiorespiratoire avec l'entraînement, au cours d'un effort long et en altitude	37
1) Le système cardiovasculaire	38
2) Le système respiratoire	41
Deuxième partie :	47
Principales pathologies liées à la course à pied	47
A) Le pied	48
1) L'entorse de la cheville	48
2) La fracture de fatigue métatarsienne	51
3) La tendinite du tendon d'Achille	51
	16



4)	L'aponévrosite plantaire	53
5)	L'éperon calcanéen	55
6)	L'hématome sous-unguéal	56
7)	Les ampoules	56
B) Le genou		57
1)	Le syndrome de la bandelette ilio-tibiale ou syndrome de l'essuie-glace	57
2)	Le syndrome rotulien ou fémoro-patellaire	60
3)	L'entorse du genou	62
4)	Les lésions méniscales	63
C) La jambe		65
1)	La périostite tibiale	65
2)	Syndrome des loges de la jambe	66
3)	La fracture de fatigue	68
D) La cuisse		68
1)	Etirement du tenseur du fascia lata	68
2)	Syndrome de la loge postérieure de la cuisse	69
E) Hanche et bassin		69
1)	Le syndrome trochantérien	69
2)	Le syndrome du piriforme	70
F) L'abdomen		71
1)	Les troubles digestifs	71
2)	Le point de côté	72

3)	L'hématurie d'effort	73
G) Pathologies musculaires		73
1)	La déchirure (lésions anatomiques)	74
2)	Le claquage (lésions anatomiques)	75
3)	L'élongation (lésions anatomiques)	75
4)	La contracture (absence de lésions anatomiques)	75
5)	La courbature	75
6)	La crampe	76
H) Brûlures de frottement		76
Troisième partie :		79
La nutrition chez le coureur de trail		79
A) Besoins physiologiques chez l'adulte sain sédentaire		80
1)	Le bilan énergétique	80
2)	Les macronutriments	81
3)	Les micronutriments	89
4)	Les fibres	99
5)	L'eau	100
B) Modifications des apports et conseils nutritionnels chez le coureur de trail au quotidien		101
1)	Les macro-nutriments	102
2)	Les micronutriments	109
3)	L'eau	110

C) Le programme nutritionnel en vue d'une compétition	111
1) En période de pré-course	111
2) Durant l'effort	115
3) En période de récupération post course	117
Quatrième partie :	119
Conseils et prévention en officine pour le coureur de trail	119
A) Les compléments alimentaires dans la pratique du trail	120
1) La réglementation	120
2) Habitudes de consommation chez l'ultra-traileur, exemple du Grand Raid 2015 (Ile de la Réunion)	121
3) Compléments alimentaires à conseiller	121
B) Contre-indications et précautions quant à la pratique du trail	128
1) Le certificat médical de non contre-indication à la pratique de la course à pied en compétition	128
2) L'automédication dans la pratique du trail	129
3) Le dopage dans la pratique du trail	131
Conclusion	137
Références bibliographiques	138
Bibliographie des figures et tableaux	148



## ***Introduction***

Le pharmacien d'officine est un professionnel de santé de proximité. Son rôle d'écoute, de conseil, son devoir d'empathie et le maillage territorial actuel font qu'il se retrouve dans une position de choix afin d'accompagner le patient dans son parcours de soin d'une part mais aussi dans la vie quotidienne de ce celui-ci d'autre part.

Le trail est une discipline particulière qui propose un panel très large de courses à pied se composant de plusieurs paramètres : dénivellation, distance, conditions climatiques, ...

Il se pratique par définition en semi autonomie voir en autonomie totale, ce qui implique d'optimiser sa nutrition avant, pendant et après la compétition afin de pouvoir pratiquer la discipline en restant compétitif et surtout en étant en sécurité. La difficulté des sentiers, la durée des courses, la limite de l'encadrement durant la compétition font que le sportif est soumis à un risque accru de blessures, d'hypoglycémie, de problèmes digestifs et d'autres inconforts.

La popularisation relativement récente de la pratique, dans un souci de retour à la nature et de dépassement de soi, fait qu'on observe une multiplication des courses, avec des organisations parfois limitées en terme de ravitaillements et encadrements. Par ailleurs, une partie de la population de traileurs n'a pas forcément une connaissance précise des épreuves physiques dans lesquelles ils s'engagent ; bien que la communauté du trail reste en grande majorité bien informée sur les difficultés et la préparation nécessaire à ce type de compétition.

On a donc un sujet sportif d'endurance qui est, soit informé sur les risques et blessures et recherche un moyen de les limiter, soit peu expérimenté et devant être mis en garde sur la préparation nécessaire avant de s'engager dans cette discipline. C'est dans cet objectif que nous allons voir le rôle que peut avoir le pharmacien d'officine sur ce type de sportif.

Dans une première partie, nous allons détailler les caractéristiques de la pratique du trail, ainsi que les particularités de ses pratiquants : les "traileurs"

Nous verrons ensuite les principales pathologies qui peuvent survenir durant la pratique du trail, incluant traumatismes musculaires, osseux, brûlures,... ainsi que la façon de les traiter.

Nous évoquerons dans un troisième temps la nutrition chez le coureur de trail afin de prévenir les blessures d'une part et d'optimiser la performance d'autre part.

Enfin, nous verrons les différents angles d'approche du pharmacien d'officine qui lui permettent d'accompagner le "traileur", notamment via les compléments alimentaires, l'aromathérapie, l'orthopédie et l'équipement ainsi que l'orientation vers d'autres professionnels de santé (médecin du sport et/ou kinésithérapeute) et la mise en garde sur le dopage.

***Première partie :***

***Le Trail-running et le coureur de trail***

## ***A) Généralités sur l'activité sportive***

« On entend par « sport » toutes formes d'activités physiques et sportives qui, à travers une participation organisée ou non, ont pour objectif l'expression ou l'amélioration de la condition physique et psychique, le développement des relations sociales ou l'obtention de résultats en compétition de tous niveaux » (1).

S'il est communément admis que l'activité physique régulière est bonne pour la santé, notamment pour prévenir ou contribuer au traitement de certaines maladies chroniques, la relation entre activité physique ou sportive et santé est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. Cette relation dépend en effet de nombreux paramètres individuels tels que l'âge, le genre, l'état de santé, les déterminants psychosociologiques mais également des caractéristiques de l'activité elle-même, son volume et sa fréquence au cours de la vie (2).

L'étude Esteban est une reconduction de l'ENNS (Etude Nationale de Nutrition Santé) ayant pour but de mesurer le niveau d'activité physique et de sédentarité dans toutes les classes d'âge et de les mettre en relation avec les recommandations en matière de santé. Cette reconduction a permis de mettre en évidence une tendance qui est l'augmentation des activités sédentaires, et, suivant le sexe et les tranches d'âge, un recul du temps d'activité physique journalier (à l'exception des hommes de 40 à 54 ans) entre 2006 et 2015. En 2015, 53% des femmes et 70% des hommes atteignent les recommandations de l'OMS en matière d'activité sportive. Les activités sédentaires et le temps passé devant un écran ont largement progressé sur la période 2006-2015.(3).

Dans notre société de plus en plus sédentaire, il est crucial de tenir compte des paramètres impactant la relation activité sportive et santé. Le pharmacien d'officine ne doit pas seulement recommander une pratique régulière d'activité physique mais surtout proposer des activités adaptées au patient, à ses traitements, son mode de vie, son alimentation...



Le pharmacien d'officine pourra également avoir un rôle d'accompagnement chez le sujet qui décide de pratiquer une activité de grande endurance, comme le trail, que ce soit dans l'intérêt de minimiser le risque de blessures, d'optimiser les performances, d'informer le patient sur les risques de la pratique et de l'automédication ou de l'orienter vers un autre professionnel de santé si besoin.

## ***B) La place du trail dans le sport***

Trail signifie chemin ou piste. Le trail peut se définir par opposition au running où il y a d'un côté les courses hors stade (10 km, semi, marathon par exemple) et d'un autre côté les courses sur piste d'athlétisme. En définissant le trail par opposition au running, on considère que le trail c'est de la course nature. D'ailleurs, le mot trail est un raccourci de "trail-running" qui signifie course à pied sur sentiers (par opposition à route, bitume, ville).(4).

Historiquement, c'est la Fédération britannique d'athlétisme qui a défini pour la première fois en 1995 les compétitions de trail running : toutes courses sur des sentiers pédestres ou des chemins ouverts au public mais interdits aux véhicules motorisés. L'ITRA (International Trail-Running Association) a récemment précisé "Le trail est une compétition pédestre ouverte à tous, dans un environnement naturel (montagne, désert, forêt, plaine...) avec le minimum possible de routes cimentées ou goudronnées (qui ne devraient pas excéder 20% de la distance totale). La course est idéalement – mais pas nécessairement – en semi autosuffisance ou en autosuffisance et se déroule dans le respect de l'éthique sportive, de la loyauté, de la solidarité et de l'environnement."(4).

### Les origines du trail (4) :

- 1921 : le Comrades Marathon. C'est le premier trail officiellement organisé et recensé. Ce trail de 89 km reliait les villes de Pietermaritzburg et Durban, en Afrique du Sud.
- 1977 : la SaintéLyon. A l'origine, la fameuse SaintéLyon était une randonnée de 64 km reliant les villes de Saint Etienne et de Lyon. Cette randonnée qui se déroulait sur deux jours n'avait pas pour but de désigner un champion mais tout simplement de garder la forme en hiver. Jusqu'en 1977, il était interdit de courir sur la SaintéLyon sous peine de disqualification.
- 1988 : La première poche d'hydratation.

- 1995 : Naissance officielle du trail. C'est en 1995 seulement que les courses sur chemin et sentiers sont officiellement appelées trail.
- 2003 : premier UTMB (Ultra Trail du Mont-Blanc)
- 2007 : premiers championnats du monde de trail
- 2013 : création de l'ITRA, International Trail Running Association

#### Structure du Trail Running à l'heure actuelle(4) :

Il y a de plus en plus de trails et de plus en plus de traileurs à travers le monde. Aux États-Unis, le nombre de coureurs de trail est passé de 4,5 à 6 millions entre 2006 et 2012. En Europe, les pratiquants seraient huit millions. Si le trail n'est pas encore reconnu au niveau olympique, toutes les fédérations essaient de récupérer cette pratique sportive et la question est de savoir si le trail est plus proche de la randonnée et de l'escalade ou de la randonnée et de l'alpinisme. Cet entre-deux se reflète dans le nombre de challenges organisés par de multiples instances.

- La Fédération internationale de Skyrunning (ISF, créée en 2008) a succédé à la Federation for Sport at Altitude (1995) pour l'organisation et la réglementation des épreuves internationales de skyrunning (multisport, à plus de 2 000 mètres d'altitude). Ce circuit organisé depuis 1993 comprend notamment des courses sur distance marathon (skymarathon) et autres distances (skyrace) et kilomètre vertical. Peu connue en France, cette organisation semblait en 2013 la plus structurée et ses compétitions avaient le plus de légitimité sportive dans le milieu du trail.
- La Fédération internationale ultra (IAU), rattachée à l'Association internationale des fédérations d'athlétisme (IAAF), fédère dans le monde de nombreuses courses hors-stade (distances supérieures au marathon) et parraine de nombreux trails, notamment aux États-Unis et en Europe. L'IAU organise depuis 2012 des championnats du monde de trail, mais ceux-ci sont peu représentatifs dans le milieu du trail.
- American trail running association (ATRA)
- L'ITRA
- Fédération française d'athlétisme (4)

#### L'International Trail Running Association ITRA (5) :

Les principaux objectifs de l'ITRA sont :

- De développer et promouvoir le trail comme un sport à part entière, accessible à tous, riche de sa diversité de cultures et de lieux de pratique,
- De promouvoir son éthique sportive qui s'appuie sur des valeurs fortes (authenticité, humilité, fair-play, équité, respect, solidarité) auprès de tous les acteurs du trail mais aussi du grand public,
- De contribuer à améliorer la qualité des organisations et la sécurité des participants,

- De promouvoir des actions de prévention en matière de santé et de tout mettre en oeuvre pour lutter contre le dopage,
- De contribuer à améliorer une pratique respectueuse de l'environnement et de promouvoir le développement durable au sein du trail,
- De permettre à l'ensemble de ses membres de pouvoir s'exprimer et d'être entendu au niveau international,
- D'entretenir des relations constructives et de collaborer avec les associations nationales de trail, les fédérations nationales et internationales,
- De promouvoir et de collaborer à l'organisation de championnats ou de circuits de trail continentaux ou mondiaux qui renforcent la visibilité internationale du trail et permettent de mettre en valeur les athlètes élites.

#### Classification des trails selon l'ITRA (5) :

Dans le cadre de la réécriture de l'article 252 des Règles de Compétition de l'IAAF définissant le trail, l'ITRA a apporté des précisions, en changeant d'indicateur de calcul, dans la définition des catégories de trail afin de regrouper les courses de manière cohérente. L'ancienne classification, basée sur les distances (sans tenir compte des dénivelés), n'apportait pas suffisamment de cohérence au regard des efforts fournis par les coureurs. En effet, deux courses de 100km, mais avec des dénivelés très différents, rentraient dans les mêmes catégories alors que l'effort fourni par les coureurs n'est pas du tout le même (en témoignent les temps de course).

Dorénavant, la classification des courses se base sur les mêmes km-effort que ceux utilisés pour attribuer les points ITRA (calculés en additionnant la distance (en km) et le centième du dénivelé positif (en m)).

Les limites entre catégories ont été définies de manière à ce que ces catégories de trail reflètent plus fidèlement l'effort qu'aura à fournir un coureur sur une course.

Cette nouvelle classification, mise en application en mars 2018, compte 7 catégories différentes de courses de trail (du XXS au XXL) toutes associées aux nouveaux points ITRA.

Ce système de points permet aussi de limiter l'accès à certains ultras trails, comme l'UTMB ou le Grand Raid à la Réunion, aux coureurs ayant déjà de l'expérience dans les longues distances, étant donné qu'il faut un certain nombre de points pour accéder à l'inscription pour ces courses. Ce concept n'est pas unique en son genre, l'ATRA raisonne quant à lui avec un système de courses qualificatives internationales.

### ***C) La physiologie de base de l'exercice musculaire***

## **1) Le muscle et la contraction musculaire**

Les muscles forment l'ensemble des tissus le plus important de l'organisme et représentent environ la moitié du poids du corps. Les muscles squelettiques à eux seuls, valent environ 40% du poids du corps chez l'homme et 32% chez la femme, alors que les muscles lisses et le muscle cardiaque représentent environ 10% du poids total. C'est en déplaçant des composants intracellulaires spécifiques que les muscles produisent de la force et se raccourcissent, c'est-à-dire se contractent. (6)

On distingue trois types de muscles : les muscles squelettiques, les muscles lisses et le muscle cardiaque. Leur contraction contrôlée rend possible les mouvements du corps ou de parties de celui-ci (comme la marche ou un signe de la main), la manipulation d'objets (comme le déplacement d'un meuble ou la conduite automobile), la progression du contenu d'organes creux (comme la circulation du sang ou les mouvements des aliments dans le tube digestif) et l'évacuation de certains organes vers l'environnement (comme l'émission d'urine ou l'accouchement).

La structure et les fonctions de ces trois types de muscles sont différentes ; mais on peut les classer de deux façons en fonction de caractéristiques communes :

- Premièrement, on distingue les muscles striés (muscles squelettiques et cardiaque) et les muscles non striés (lisses) selon qu'il y a ou non une alternance régulière de bandes sombres et claires quand on examine le muscle au microscope optique.
- Deuxièmement, on distingue les muscles volontaires (muscles squelettiques) et involontaires (muscles lisses et cardiaque) selon qu'ils sont innervés par le système nerveux somatique et soumis au contrôle volontaire ou par le système nerveux autonome et indépendant du contrôle volontaire.

Bien que les muscles squelettiques soient qualifiés de volontaire, de nombreuses activités sont inconscientes et indépendantes du contrôle volontaire comme celles liées à la posture par exemple.(6)

Le muscle est constitué de milliers de cellules musculaires de forme cylindrique qu'on appelle les fibres musculaires. Plusieurs fibres musculaires forment un faisceau et plusieurs faisceaux forment l'ensemble du muscle. Chaque fibre musculaire est entourée par une fine couche de tissu conjonctif : l'endomysium qui la sépare des autres fibres. Le sarcolemme, situé sous l'endomysium, délimite le contenu cellulaire. De même chaque faisceau musculaire est entouré du périmysium, alors que l'épimysium entoure l'ensemble du muscle. Ces différentes enveloppes conjonctives se réunissent pour former un tissu dense et très solide : le tendon. Elles se sont entrelacées avec les fibres de l'os. Cet ensemble constitue donc un lien très solide entre le muscle et l'os. Le muscle est composé d'environ 75 % d'eau. Mais les éléments les plus importants d'un point de vue fonctionnel sont les protéines car elles sont responsables de la contraction musculaire. Les principales protéines sont la myosine, l'actine, la troponine et la tropomyosine. Elles correspondent à environ 20 % de la masse musculaire. (7)

Au microscope optique on peut observer une alternance de bandes claires et de bandes sombres qui donnent un aspect strié à la fibre musculaire. Les bandes claires sont dites isotropes, ce qui signifie qu'elles laissent passer la lumière. C'est pourquoi on les appelle les bandes I. Si elles laissent passer la lumière, c'est parce qu'à cet endroit, seuls les filaments fins constitués principalement d'actine et de tropomyosine sont présents. A l'inverse les bandes sombres sont dites anisotropes et on les appelle bandes A et c'est parce qu'à cet endroit on peut observer la présence des filaments fins mais également des filaments épais constitués de myosine. La bande I est séparée en deux parties par la ligne Z. L'unité comprise entre 2 lignes Z s'appelle le sarcomère. C'est l'unité fonctionnelle de la cellule musculaire. C'est à l'intérieur de cette unité fonctionnelle que la contraction musculaire va se dérouler.(7)

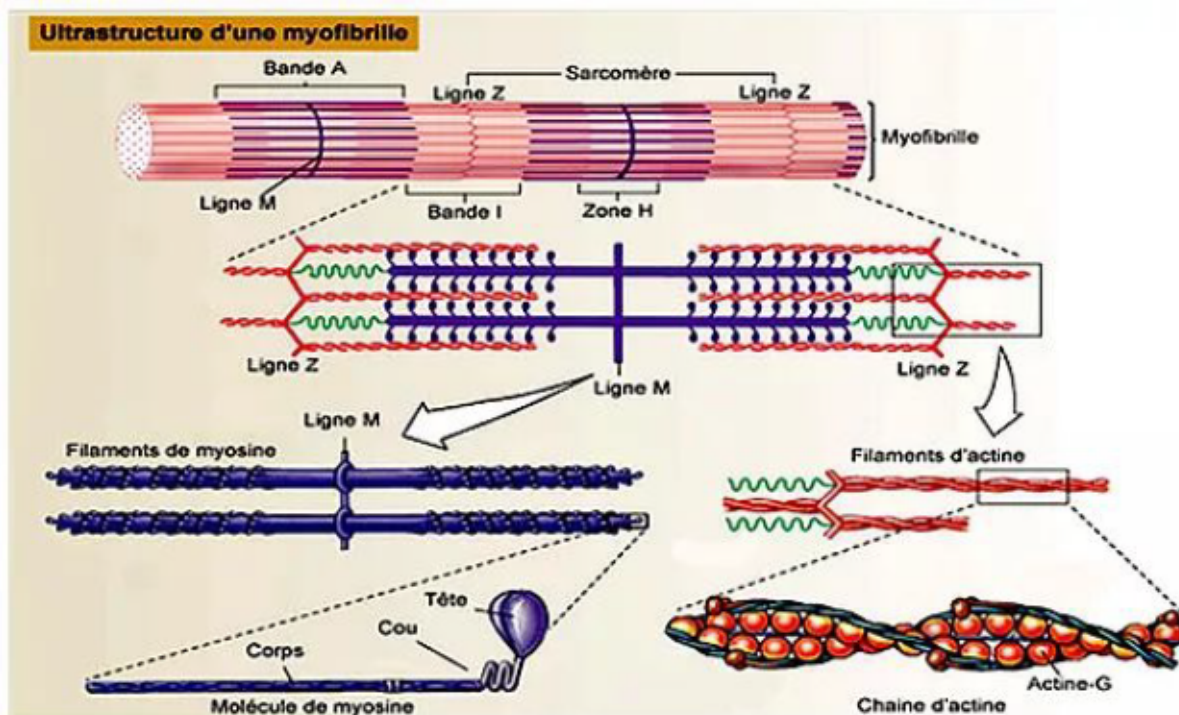


Figure 1 : Structure d'une myofibrille (a)

### La contraction musculaire :

Elle se déroule en plusieurs étapes qui permettent de transformer une énergie chimique en énergie mécanique à partir d'une décharge électrique.

La première étape correspond à l'arrivée du message nerveux sur la fibre musculaire. Le potentiel d'action émis par le système nerveux arrive au niveau des tubules transverses de la cellule musculaire. C'est l'étape de l'**excitation musculaire** (7).

Le réticulum sarcoplasmique est un compartiment intracellulaire qui stocke le calcium en grande quantité. Ce calcium ( $Ca^{2+}$ ) va être libéré dans le cytoplasme cellulaire. C'est l'étape du **couplage excitation-contraction** qui correspond à l'ensemble des phénomènes permettant de transformer le signal nerveux en un signal intracellulaire vers les fibres contractiles. La propagation du potentiel d'action va se faire via

l'utilisation du système T (tubules T qui sont des invaginations du sarcolemme en délimitation du contenu cellulaire).

Vient ensuite l'étape de la **contraction musculaire** proprement dite. Le calcium libéré du réticulum sarcoplasmique se fixe sur le système troponine-tropomyosine. Alors que celui-ci empêche habituellement l'interaction entre l'actine et la myosine, l'arrivée du calcium lui fait perdre son pouvoir inhibiteur. L'actine et la myosine se fixent alors. (7)

D'un point de vue chimique on peut représenter cette interaction par la réaction :

**actine + myosine ATPase → Actomyosine ATPase.**

L'ATP est alors hydrolysé : Actomyosine ATPase → Actomyosine + ADP + P + NRJ.

Le transfert d'énergie entraîne le mouvement entre les filaments fins et épais, par une rotation de la tête de myosine, et la diminution de la zone H et de la bande I. La fibre musculaire est alors contractée, le sarcomère est raccourci.(7)

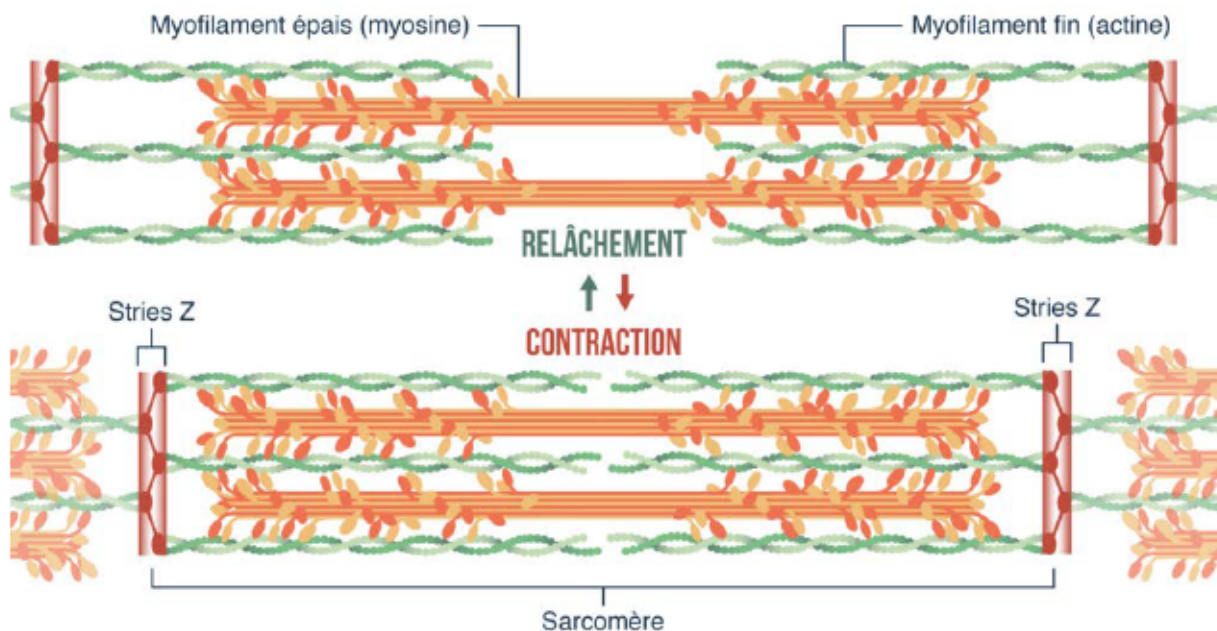


Figure 2 : Contraction-relâchement du sarcomère (b)

Ce phénomène dure tant que la concentration de calcium est suffisante pour inhiber le système troponine-tropomyosine. Lorsque la stimulation nerveuse s'arrête le calcium est pompé à nouveau vers le réticulum sarcoplasmique, le système troponine-tropomyosine reprend son pouvoir inhibiteur. L'actine et la myosine restent alors séparées. C'est l'étape de la décontraction. Il faudra attendre l'arrivée d'un nouveau potentiel d'action que la fibre musculaire puisse à nouveau se contracter (7).

## 2) Voies énergétiques

## - sources et substrats énergétiques

L'énergie provient de l'alimentation par l'apport de glucides, lipides et protéines. Cependant, les liaisons moléculaires sont faibles et leur rupture ne libère que peu d'énergie. Ainsi, ces aliments ne sont pas directement utilisés pour le fonctionnement cellulaire mais l'énergie provenant de ces aliments est libérée à l'intérieur de nos cellules et donc stockée sous la forme d'un composé hautement énergétique : l'ATP (adénosine triphosphate). Il est utilisé directement par la fibre musculaire pour se contracter.

L'ATPase agit ensuite en hydrolysant l'ATP et en libérant l'ADP, Pi et l'énergie nécessaire.  $ATPase \text{ ATP} \rightarrow \text{ADP} + \text{Pi} + \text{énergie chimique}$

L'énergie se mesure en calories. C'est la quantité d'énergie nécessaire pour élever la température d'un gramme d'eau de 14,5°C à 15,5°C. 1 cal = 4.1855 Joules

On utilise chez l'homme la kilocalorie (=kcal).

### Les glucides :

Ils apportent environ 4,1 Kcal d'énergie/g.

La digestion des sucres les transforme en un monosaccharide : le glucose. Il est ensuite transporté par le sang vers toutes les cellules. Il est stocké au niveau des muscles et du foie, où il est transformé en une molécule plus complexe : le glycogène. La glycogénolyse libère le glucose pour être transporté par le sang vers le tissu en activité.

Les réserves sont facilement disponibles mais limitées (1200 à 2000 Kcal au maximum).

### Les lipides :

Ils apportent environ 9,4 Kcal d'énergie/g.

Les graisses ingérées sont converties en glycérol et acides gras (AG). Le stockage se réalise sous une forme complexe : les triglycérides (glycérol et acides gras libres (AGL)). Seuls les AGL permettent de former de l'ATP. Les réserves sont importantes : plus de 70000 Kcal mais les AGL sont difficilement mobilisables, le débit énergétique est trop faible pour subvenir à la demande musculaire lors d'un exercice intense mais on les verra plutôt mobilisés lors d'effort de longue durée.

### Les protéines :

Ils apportent 4,1 Kcal d'énergie/g.

La gluconéogenèse et la lipogenèse sont des processus qui permettent de former du glucose à partir d'acides aminés (AA) et d'AG. La lipogenèse intervient seulement

dans les cas de privation alimentaire sévère. Lors d'un exercice prolongé, les protéines fournissent 5 à 10 % d'énergie.(8)

On a une hiérarchie d'utilisation des différentes sources d'énergie suivant l'intensité de l'exercice et la privation alimentaire : les glucides en premier lieu, les lipides dans un second temps et les protéines en cas de grande nécessité (exercice de longue durée ou alimentation insuffisante). Ces sources étant alimentaires, on voit bien le rôle crucial d'une alimentation adaptée à l'exercice. Nous reverrons l'importance de l'équilibre alimentaire plus avant dans notre propos.

## - L'ATP

L'adénosine triphosphate, ou ATP, est un nucléotide formé à partir d'un nucléoside à un triphosphate qui va stocker l'énergie nécessaire aux efforts de l'organisme, les réactions endergoniques. Ce stockage va être permis via la formation de deux liaisons extrêmement riches en énergie, celles liées aux groupements phosphates. C'est grâce à l'hydrolyse de ces groupements qu'on aura libération d'énergie. Ce sont ces réactions exergoniques qui rendront possibles les réactions endergoniques (réactions de l'organisme consommant de l'énergie, comme la contraction musculaire par exemple).

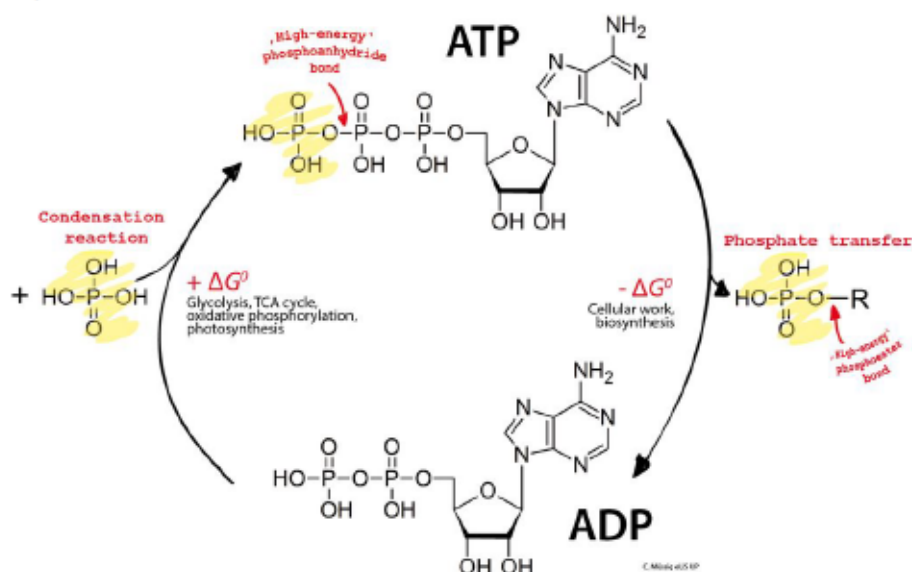


Figure 3 : Conversion ATP-ADP (c)

L'ATP sarcoplasmique est toujours considérée comme la seule molécule hydrolysée sous l'activité ATP phasique de la myosine. Elle est présente en faible concentration dans le muscle. Elle ne permet au plus que quelques secondes de contractions musculaires. Pour leur poursuite, leur resynthèse doit être rapide. Trois filières énergétiques sont particulièrement disponibles pour cette resynthèse. Leurs caractéristiques diffèrent en de nombreux points:

- deux systèmes anaérobies :
- ATP-PCr ou anaérobie alactique
- Glycolytique ou anaérobie lactique



- et un système aérobie ou oxydatif
- systèmes anaérobies

**a) Le système ATP-PCr -> anaérobie alactique :** (8)

Ce système intervient en l'absence d'oxygène (anaérobie) et sans production de lactate (alactique). Dans le muscle, la créatine phosphate (CrP) est 3 à 4 fois plus abondante que l'ATP, ce qui est encore très faible par rapport aux besoins de l'exercice. La resynthèse de l'ADP en ATP est réalisée en présence de créatine kinase (CK) une réaction très rapide, de faible inertie, intervenant dès le début de l'exercice et lorsqu'il est très intense (arrivée au sprint).

Elle va produire une molécule d'ATP pour une molécule de Phosphocréatine consommée. Son groupement en phosphate, riche en énergie (Pi), est transféré à l'ADP sous l'action de la créatine-phosphokinase. La PCr diminue au fur et à mesure qu'elle est utilisée pour régénérer l'ATP et se rapproche de l'épuisement. Si l'exercice dure plus de 15 secondes, ce système est limité. Il intervient surtout dans les exercices de force et de vitesse. D'autres systèmes vont donc intervenir dans la formation de l'ATP.

**b) Le système glycolytique -> anaérobie lactique :** (8)

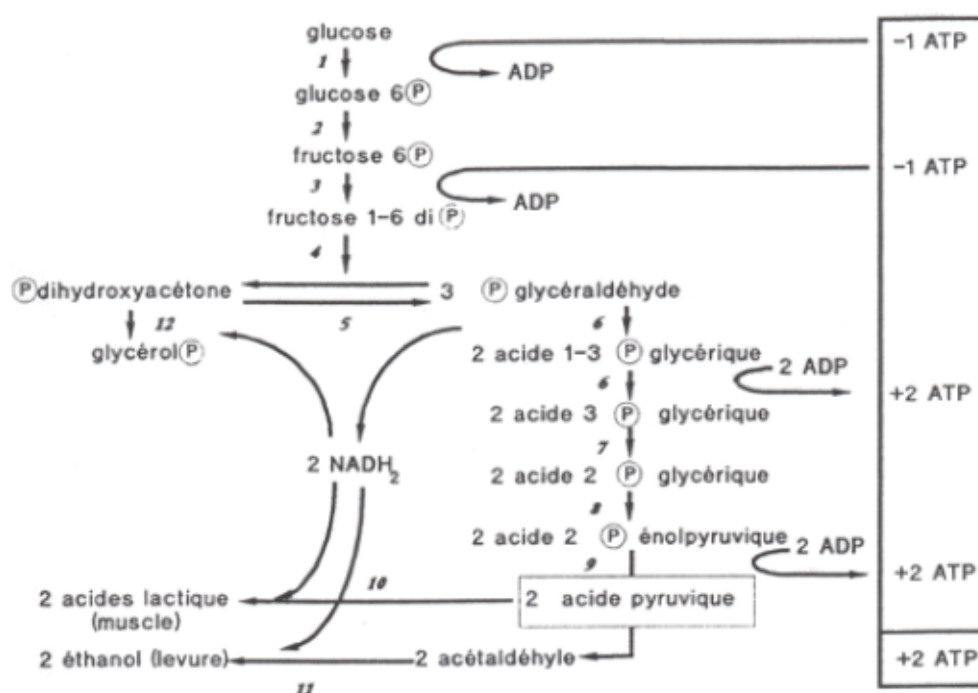


Figure 4 : Principales étapes de la glycolyse anaérobie lactique (d)

Ici c'est le glucose qui sera utilisé en tant que substrat énergétique. Il va être fourni via la digestion des glucides et la dégradation du glycogène hépatique. Le glycogène

est la forme de stockage du glucose. Il est réparti au niveau du foie et des muscles. La glycogénolyse est la dégradation du glycogène en glucose 1-phosphate (G1P). Le glucose nécessite une molécule d'ATP pour se dégrader en glucose-6-phosphate (G6P). Au contraire, la transformation du glycogène en G6P se fait en passant par le G1P et ne demande aucune énergie. C'est au niveau de la G6P que la glycolyse peut commencer et elle se termine avec la formation de l'acide pyruvique grâce aux enzymes glycolytiques. En l'absence d'oxygène, l'acide pyruvique est converti en lactates. Ce système est plus complexe que le premier et nécessite douze réactions successives.

Le rendement de ce processus est faible : une molécule de glucose fournit deux ATP et une molécule de glycogène en fournit trois. Cependant l'accumulation de lactate va limiter le fonctionnement enzymatique de la glycolyse en inhibant la dégradation du glycogène.

Les systèmes anaérobies constituent les principales sources d'énergie lors des premières minutes d'un exercice de haute intensité. Si l'exercice dure plus de deux minutes, on a recours au système aérobie.

- système aérobie -> le système oxydatif (8)

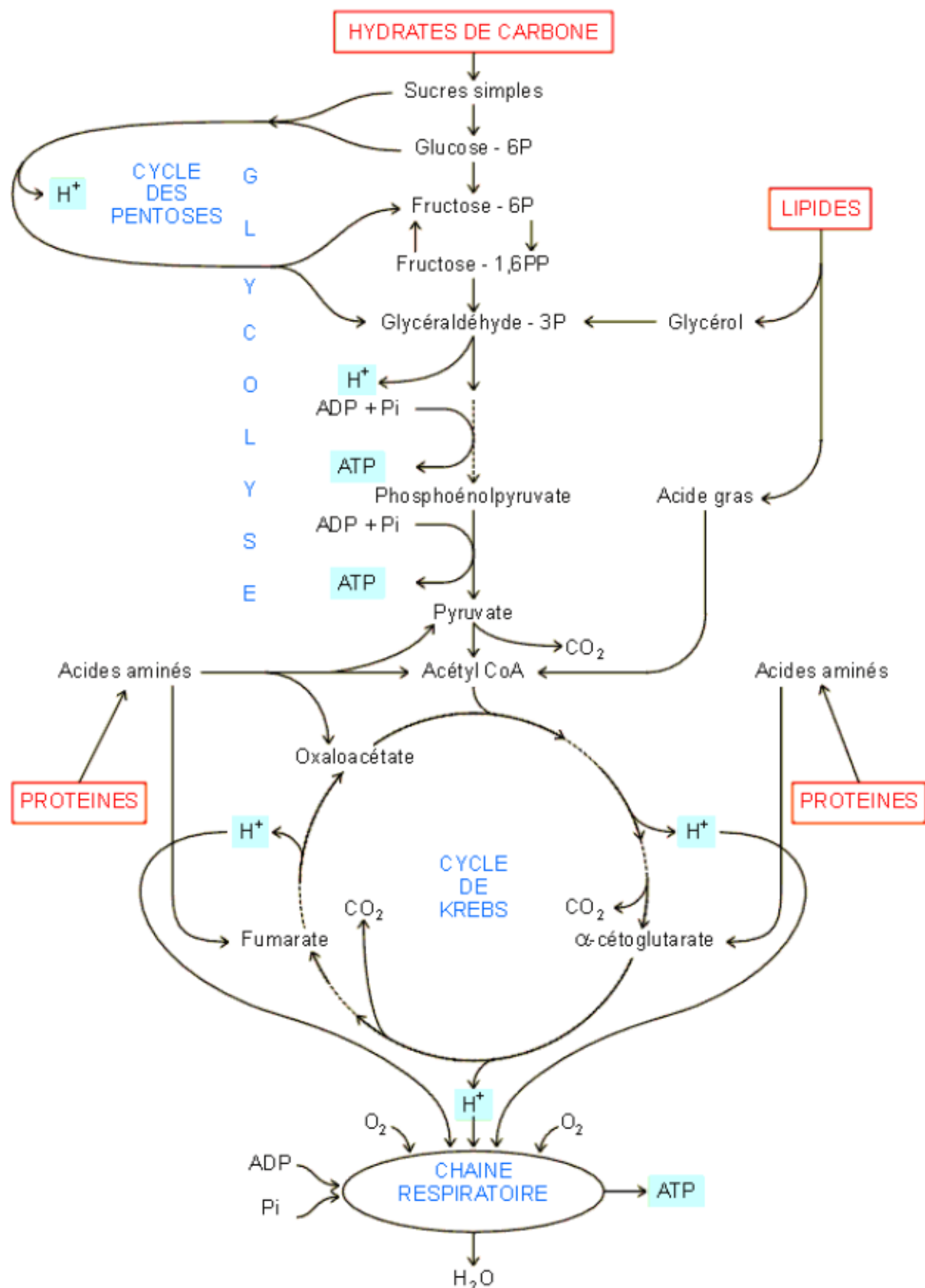


Figure 5 : Principales étapes du métabolisme oxydatif (e)

Il correspond à la dégradation des substrats énergétiques en présence d'oxygène. Elle s'effectue dans les mitochondries et dans le muscle. La chaîne respiratoire est une cascade de réactions de phosphorylation oxydative avec transferts d'électrons et de protons catalysés par des enzymes. Trois processus interviennent : la glycolyse,

le cycle de Krebs et la chaîne de transport d'électrons. Cette filière apporte un rendement énergétique considérable par rapport aux deux autres systèmes anaérobies : l'oxydation complète d'une molécule de glucose permet la resynthèse de 38 molécules d'ATP (contre 3 lors de la glycolyse). Ce système nous intéresse particulièrement car il intervient principalement lors des épreuves d'endurance avec des retombées essentielles sur l'entraînement et la stratégie en compétition.

Suivant les différents substrats énergétiques on aura des variations dans les chaînes métaboliques empruntées :

- l'oxydation des glucides va fonctionner de la même façon qu'en condition anaérobie mais on va avoir production d'acide pyruvique en présence d'O<sub>2</sub> ce qui va permettre la production d'acétyl CoA via la pyruvate déshydrogénase. L'acétyl CoA va être lui-même utilisé dans le cycle de Krebs
- L'oxydation des lipides est essentiellement identique, la consommation d'un triglycéride va passer par une bêta-oxydation pour amener à la production d'acétyl CoA. Il est à noter que cette bêta-oxydation va nécessiter la consommation d'énergie mais va produire beaucoup plus d'acétyl CoA et donc à terme va produire beaucoup plus d'énergie.
- L'oxydation des protéines va être plus négligeable car minoritaire (5% de l'énergie totale dépensée) et moins rentable pour l'organisme. En effet les composés azotés des acides aminés ne peuvent être oxydés, ils devront être recyclés afin de former de nouveaux acides aminés ou éliminés dans les urines sous forme d'urée. De plus l'oxydation des protéines consomme de l'énergie afin d'en produire tout comme pour les lipides. (9)

Globalement l'organisme utilise ces trois voies métaboliques durant l'exercice, cependant il va toujours en prioriser une plutôt que les autres en fonction des réserves énergétiques disponibles.

### ***3) les différents indicateurs énergétiques***

- VO<sub>2</sub>max

La VO<sub>2</sub> max correspond au volume maximal d'oxygène consommé par l'organisme en 1 minute. Elle s'exprime en ml/kg.min (unité normalisée permettant la comparaison entre des individus de gabarits différents). C'est une mesure de la puissance maximale aérobie et elle détermine le potentiel du métabolisme aérobie d'un individu. Elle peut servir de base à la détermination de l'indice d'endurance d'un sportif voire d'extrapolation sur des temps de course théoriques. La VO<sub>2</sub>max varie selon le sexe, la génétique, l'âge, la discipline sportive et le niveau sportif. La VO<sub>2</sub>max chez la femme varie entre 25 et 70 ml/kg/mn selon le niveau alors que chez

l'homme elle est de 30 à 90 ml/kg/mn. Cette différence de  $VO_2$ max entre les sexes est due en partie à un taux en hémoglobine (Hb) plus faible chez la femme (Hb Homme 150-155 mg/ml vs 135-140 mg/ml soit + 12 % chez les hommes). Bien que fortement sous l'influence de facteurs héréditaires, la  $VO_2$  peut être améliorée par un travail approprié basé sur l'augmentation de sa VMA (vitesse maximale aérobie) et de son endurance. La méthode de l'intervalle training est la méthode la plus connue pour augmenter sa  $VO_2$  max en développant sa VMA.

insérer graphe.(10)(11)

Une  $VO_2$  max élevée n'est pas le seul facteur de performance ou indicateur énergétique existant : ce qui va être essentiel c'est la capacité du sportif à travailler sur une longue durée sur sa  $VO_2$  max c'est ce qu'on appelle la Vitesse Maximale Aérobie ou VMA. (10)(11)

- VMA

La VMA est l'intensité de travail exprimée en km/h qu'un coureur développe au cours d'un effort dont la dépense énergétique correspond à la consommation d'oxygène maximale ( $VO_2$  max) ou puissance maximale aérobie (PMA).

L'endurance va se ressentir sur la capacité d'un sportif à maintenir une allure proche de 100% de la VMA sur une grande distance, tandis qu'en développant sa VMA le sportif va pouvoir augmenter sa  $VO_2$ max et ainsi augmenter son allure sur un temps donné.(10)(11)

- PMA

La PMA (en watt ou en kcal/min) est la quantité d'énergie utilisée chaque minute lorsque la consommation d'oxygène est égale à la  $VO_2$  max.(10)(11)

#### ***4) la fatigue et facteurs limitants de performance***

- production de lactates

Lors d'une course d'endurance, la filière anaérobie lactique va être très peu sollicitée, on aura donc une synthèse minimale de lactates. C'est uniquement en cas d'augmentation de l'intensité de l'exercice qu'on aura recours à cette voie.

Contrairement aux idées reçues, ce n'est pas la production de lactates qui est néfaste en soi mais plutôt la capacité de l'organisme à gérer son utilisation. Le lactate produit lors d'un exercice physique intense a en effet 3 destinations possibles : une grande partie du lactate produit (75%) sera oxydé par la mitochondrie de la

cellule musculaire via la lactate déshydrogénase et redeviendra du pyruvate, avec donc à la clé une nouvelle production d'ATP; l'autre partie (25%) sera exportée via la voie sanguine soit pour participer à la glyconeogenèse hépatique soit pour être oxydée par le myocarde; enfin c'est uniquement si les deux autres systèmes sont surchargés qu'on assiste à l'élimination du lactate, cette dernière option est vraiment mineure.

En résumé, on peut dire que le lactate n'est pas un "déchet" néfaste à la performance, c'est en réalité un métabolite intermédiaire à fort pouvoir énergétique. Cependant, l'accumulation sanguine de ce métabolite va conduire à une acidose lactique qui elle va avoir un impact négatif important sur la performance. On a donc un réel intérêt à entraîner l'organisme à gérer l'accumulation de lactate et donc à développer les deux premières voies de récupération des lactates (oxydation et glyconeogenèse hépatique).

Bien que cela concerne principalement les sprinteurs et autres adeptes de sports à effort court et intense, on peut également voir un intérêt chez les sportifs d'endurance en cas de variation d'intensité d'effort notamment dans les gains d'altitude au cours de trails. (12)

- épuisement du glycogène

Le glycogène musculaire va être le premier "carburant" consommé lors d'un exercice musculaire, la diminution du stock de glycogène musculaire va être corrélée à l'apparition de la sensation de fatigue. La constitution de réserve de glycogène quelques jours avant une compétition ainsi que des apports nutritifs adaptés durant l'effort vont avoir une incidence sur la performance, ce concept sera revu dans la partie nutrition.(8)

- épuisement des phosphocréatines

Bien qu'étant utilisée lors des premières secondes de l'exercice intense, on observe que sur un exercice d'une plus longue durée, notamment lorsqu'on atteint la  $VO_2$  max, le système aérobie va permettre un équilibre entre consommation et régénération du stock de phosphocréatines. Cette capacité à régénérer est sensible à l'entraînement aérobie, c'est ce qui va permettre aux sportifs d'enchaîner accélérations et courses lentes de multiples fois.(8)

- impact du système digestif

Sur les très grandes distances type ultra, le système digestif va souvent avoir un rôle crucial sur la performance des athlètes. Il est important de noter que les troubles digestifs vont être la première cause d'abandon sur ce genre de compétition. Les stratégies de renforcement du système digestif ( via probiotiques entre autres ), la gestion du stress des compétitions, l'éviction de certains aliments à proximité des compétitions sont différents leviers afin d'optimiser la tolérance digestive et minimiser

le risque d'apparition de troubles digestifs. Tout cela sera également développé lors de la partie dédiée à la nutrition.(13)

- la fatigue neuromusculaire

La fatigue neuromusculaire est la cause principale impliquée actuellement dans les pertes de performance dans les épreuves d'endurance comme le trail. Elle peut avoir une origine centrale, avec une altération des mécanismes spinaux et supra spinaux, ou périphérique c'est à dire au niveau de la jonction neuromusculaire.

La fatigue centrale, étudiée via la technique de la stimulation surimposée, peut être causée par différents mécanismes, comme des altérations neurobiologiques du cortex, des changements des propriétés intrinsèques des motoneurones  $\alpha$ , la défacilitation des motoneurones  $\alpha$ ...

Pour la fatigue neuromusculaire d'origine périphérique, l'étude Millet de 2011(13) a mis en évidence que le couplage excitation-contraction va être altéré progressivement, notamment au niveau des muscles extenseurs du genou et fléchisseurs plantaires. Les causes probables de cette altération pourraient être une diminution de la sensibilité au calcium des myofibrilles, ou une baisse de libération calcique par le réticulum sarcoplasmique.(14)

A l'heure actuelle, avec des apports nutritionnels adaptés et une bonne tolérance digestive chez un athlète suffisamment préparé à sa compétition, la fatigue neuromusculaire et le manque de sommeil devraient en théorie être les seuls facteurs limitants dans la durée d'un point de vue fatigue.(8)

## ***D) Adaptation cardiorespiratoire avec l'entraînement, au cours d'un effort long et en altitude***

Sur la pratique du trail, l'entraînement ne va pas avoir pour but de développer la musculature du sujet, cela ne ferait qu'augmenter la charge pondérale et donc le risque de blessure. De plus, l'endurance musculaire n'est impliquée que sur les efforts courts, qui vont mobiliser les systèmes anaérobies; or, sur les courses d'endurance l'aérobie est largement prépondérant. C'est donc l'endurance cardiorespiratoire qui va nous intéresser, la capacité de l'organisme à maintenir un effort dans une durée prolongée. Cette endurance va être directement liée à l'efficacité du système aérobie du sujet, c'est donc là que la  $VO_2$  max va avoir une

importance en tant qu'indicateur, notamment pour mesurer la meilleure consommation maximale de l'oxygène et extrapoler l'indice d'endurance du traileur.

## **1) Le système cardiovasculaire**

### **a) La fréquence cardiaque ( FC )**

La fréquence cardiaque représente le travail effectué par le cœur pour subvenir à l'augmentation des besoins lors de l'exercice. Il correspond au nombre de battements par minutes de notre cœur. Au repos, elle se mesure le matin au réveil. Elle est d'environ 60 à 80 battements par minute (bpm). Elle augmente en fonction du mode de vie, de la température et de l'altitude. Elle baisse chez les endurants (40 bpm) et avec l'âge. Elle varie également avec le stress (noradrénaline et adrénaline). A l'exercice, la FC augmente proportionnellement à l'intensité jusqu'à son maximum : FC max.

Il est possible de la calculer :  $FC \text{ max} = 220 - \text{âge (années)}$ . Cette formule n'est qu'indicative et il peut comporter des écarts de plus de 10bpm.

D'autres formules existent cependant mais elles ne semblent pas forcément plus précises.

Au cours d'un exercice d'intensité constante, la FC peut atteindre un plateau d'équilibre : « steady-state », elle représente la FC optimale pour satisfaire aux besoins de l'exercice. Si l'intensité de l'exercice augmente, un nouveau palier d'équilibre est atteint au bout d'une à deux minutes. (8)

Pour un même niveau d'exercice, l'augmentation des volumes systolique et plasmatique vont permettre un meilleur rendement du muscle cardiaque ce qui se traduira par une FC qui va diminuer. Le cœur devient plus efficace et se fatigue beaucoup moins pour un même effort. La FC peut éventuellement faire partie des marqueurs d'entraînement à condition de maintenir un niveau d'exercice proche de celui de référence.

La FC maximale varie peu, même après de longues périodes aérobies.

A l'arrêt de l'exercice, la FC ne redescend pas tout de suite, mais reste élevée pour retourner progressivement à sa valeur de repos. Chez un athlète entraîné, le délai de récupération de la FC diminue.



## **b) Le volume d'éjection systolique ( VES )**

Il représente la quantité moyenne de sang expulsé à chaque fin de contraction du muscle cardiaque. Il varie avec l'intensité d'exercice d'environ 40 à 60 % des possibilités maximales pour atteindre un plateau. Si l'exercice est au maximum, le niveau du palier est identique.

C'est un déterminant important de la capacité d'endurance cardiorespiratoire.

Il dépend de quatre facteurs :

- le retour veineux,
- la capacité de remplissage ventriculaire (précharge),
- la contractilité ventriculaire,
- et la pression sanguine dans l'aorte et le tronc artériel pulmonaire (postcharge).

La précharge et la contractilité du myocarde vont tous deux être des facteurs sensibles à l'entraînement. L'augmentation de la précharge mène à une augmentation du VES via une hypertrophie cardiaque, aussi appelée cardiomégalie du sportif.

A l'altitude, on remarque globalement peu de variations du VES. (8)(15)

## **c) Le débit cardiaque ( DC )**

Le débit cardiaque correspond à la quantité de sang qui circule par unité de temps dans notre corps.

$$\mathbf{DC=FC \times VES}$$

Toute variation d'un des deux facteurs retentit sur l'autre, si le VES augmente on va voir une FC plus faible, d'où le concept de " cœur de sportif", un muscle cardiaque hypertrophié mais à la fréquence au repos très basse.

Le débit cardiaque au repos est d'environ 5 L/min mais va augmenter également proportionnellement à l'intensité de l'exercice et peut atteindre des valeurs maximales de jusqu'à 6 fois supérieures au débit cardiaque de repos, jusqu'à 40 L/min chez les grands sportifs.

Entre 40 et 50% de l'exercice maximal la valeur maximale du volume d'éjection systolique est atteinte. L'augmentation du débit cardiaque au-delà de ces intensités est due uniquement à l'augmentation de la fréquence cardiaque. (14)

L'augmentation du débit cardiaque va avoir une influence directe sur l'augmentation de la pression artérielle (PA) à l'exercice, car celle-ci assure l'apport à tous les tissus. Dans les courses d'endurance, la PA systolique augmente proportionnellement à l'intensité de l'exercice. Elle peut varier de 120mm Hg au repos jusqu'à plus de 200mm Hg à l'exercice maximal. L'inverse est également vrai, l'augmentation de la PA va augmenter les résistances en post charge du VES et donc, sans

compensation par augmentation de la contractilité du myocarde, influer négativement sur le débit cardiaque. (8)(15)

#### **d) Le débit sanguin**

Au repos, les muscles n'utilisent qu'environ 20% des 5L éjectés par le cœur à chaque minute.

A l'exercice, la vasodilatation musculaire va permettre aux muscles de recevoir une proportion beaucoup plus importante du débit sanguin, même si celui-ci est pourtant largement augmenté. Environ 80% du débit sanguin va être distribué aux muscles actifs lors de l'exercice. A toute fin utile, l'organisme privilégie donc fort logiquement l'irrigation de la partie du corps qui nécessite d'être la plus efficace à cet instant donné dédié à la réalisation d'un exercice physique important : les muscles eux-mêmes. Mais ce ne sont pas les seules parties de l'organisme dont l'irrigation sanguine va augmenter pendant l'exercice. Le cœur doit être capable de répondre favorablement à une augmentation de sa sollicitation durant l'exercice. Même s'il reste à un pourcentage d'utilisation du débit identique aux conditions de repos, le débit étant augmenté, le cœur bénéficie au final d'une irrigation beaucoup plus importante durant l'exercice.

De la même façon, l'irrigation du cerveau doit être préservée durant l'exercice. Si la proportion du débit sanguin qui lui est réservée diminue durant l'exercice, l'irrigation effective est en réalité légèrement augmentée du fait de l'augmentation du débit global.

Enfin, la peau voit la proportion de débit sanguin qui lui est réservée diminuer à l'exercice mais son irrigation globale est également augmentée. Son rôle dans la dispersion de la chaleur accumulée durant l'exercice est cruciale dans la thermorégulation de l'organisme afin d'éviter un des plus grands risques lié au trail longue distance : l'hyperthermie maligne d'effort.

Mis à part ces organes particuliers, les autres voient leur irrigation diminuer durant l'exercice. L'organisme fait ainsi le choix de privilégier les organes dont il faut absolument préserver le fonctionnement et ceux directement utiles à l'exercice, au détriment des autres. Ainsi, l'irrigation du système digestif diminue significativement, même si le débit sanguin global augmente, expliquant les troubles digestifs souvent observés lors de compétitions d'endurance ou d'ultra endurance. (15)

#### **e) Variations au niveau sanguin**

- contenu en O<sub>2</sub>

Le contenu en oxygène dans le système artériel au repos est de 20 ml pour 100 ml alors qu'il est de 14 ml pour 100 ml dans le système veineux. La différence

artério-veineuse représente la quantité d'oxygène prélevée dans le sang par l'ensemble des tissus. Elle est donc de 6 ml au repos. A l'exercice, elle augmente proportionnellement avec l'intensité. La quantité d'oxygène dans le sang veineux est proche de zéro à la sortie des muscles actifs, tandis que celle dans le sang artériel reste stable. (8)

- volume plasmatique : hémococoncentration

Au début de l'exercice, il existe déjà une diminution du volume plasmatique en faveur des espaces interstitiels. Ceci s'explique par l'augmentation de la PA et donc de la pression hydrostatique qui joue contre la paroi des capillaires. L'accumulation de produits métaboliques dans les muscles actifs, augmente également la pression osmotique et produit un appel d'eau. De plus, les pertes plasmatiques peuvent être rajoutées en cas de sudation. La réduction du volume plasmatique peut altérer la performance, surtout dans les épreuves de longue durée où la production de chaleur est immense et de là, une partie du sang est déviée vers la peau au lieu des muscles actifs. De plus, la diminution du volume plasmatique entraîne une augmentation de la viscosité et va jouer sur le débit sanguin ainsi que le transport de l'oxygène qui va être ralenti. Lors d'un marathon, la déshydratation et l'hyperthermie peuvent être un risque vital.

La diminution du volume plasmatique entraîne une hémococoncentration, ce qui signifie que la part des éléments figurés du sang est supérieure à celle du volume plasmatique et que la concentration en hémoglobine du sang est augmentée pour améliorer la capacité de transport de l'oxygène. (8)

- pH

Au repos, le pH du sang artériel est d'environ 7,4. Pour un exercice inférieur à 50 % des capacités maximales, le pH est stable. Si on augmente l'intensité, le pH tend à devenir acide par l'intermédiaire du métabolisme anaérobie avec la production d'acide lactique. (8)

- Réponses hématologiques à l'altitude

Dès les premières heures après l'arrivée en altitude, le volume plasmatique commence à diminuer provoquant une augmentation de la concentration en hémoglobine (Hb) et donc de l'hématocrite. Cette hémococoncentration a parfois pu être interprétée à tort comme une augmentation du nombre total de globules rouges circulants en hypoxie aiguë. En effet l'augmentation des globules rouges ne peut pas se faire avant 3 à 4 jours puisqu'il s'agit du temps nécessaire entre l'augmentation de l'érythropoïétine (EPO) et la libération des jeunes globules rouges (16). La sécrétion accrue d'EPO commence après 90 minutes d'exposition pour atteindre un pic au bout de 24 à 48h. La stimulation de la sécrétion d'EPO va dépendre de plusieurs facteurs. Elle est fonction du degré d'hypoxie : + 20 à 30% à 2000 m contre + 300% à 4500 m. (17)

En hypoxie aiguë, l'augmentation de l'hémoglobine est due à une diminution du volume plasmatique tandis qu'en hypoxie chronique, le volume plasmatique se normalise et la masse des globules rouges augmente. Toutefois les réponses hématologiques en hypoxie chronique sont très interindividuelles et participent à la notion de répondeurs et non répondeurs à l'altitude.

## **2) Le système respiratoire**

### **a) La ventilation à l'exercice**

L'adaptation de la ventilation à l'exercice s'effectue en deux phases :

- la première est immédiate, l'augmentation de la ventilation est fonction du mouvement, cette augmentation va pouvoir se faire de deux façons, via l'augmentation de la fréquence respiratoire (le nombre d'inspirations/expirations) ou via l'augmentation du volume respiratoire passant par une plus grande contraction des muscles respiratoires (intercostaux et diaphragme). La fréquence respiratoire augmente lors d'activité court et intense; alors que pour l'exercice d'endurance qui nous intéresse c'est l'entraînement et l'adaptation des muscles respiratoires qui va être important.
- la seconde phase est plus progressive, elle est liée à l'activité métabolique avec des modifications du pH, de la température, et des pressions partielles du CO<sub>2</sub> et de l'O<sub>2</sub>.

Les valeurs de ventilation maximale vont être conditionnées par les dimensions corporelles du sportif : elles sont de 100 L/min pour des personnes de petites tailles et augmentent jusqu'à 200 L/min pour les grandes personnes voir 250L/min pour les athlètes de haut niveau.

La ventilation continue d'être augmentée à l'arrêt de l'exercice, non plus par besoin d'énergie mais par nécessité de réguler le pH, la température et les pressions partielles.

### **b) Les problèmes respiratoires à l'exercice**

- La dyspnée : Elle se caractérise par la difficulté, une gêne à respirer. Le pH et la pression partielle de CO<sub>2</sub> ne sont plus régulés correctement et les muscles respiratoires n'arrivent pas à rétablir l'homéostasie. Elle peut survenir lors de variations d'intensité dans l'exercice de type changement d'allure ou élévation importante de terrain entre autre.

- L'hyperventilation : Elle correspond à une réduction du CO<sub>2</sub> dans le sang et les besoins en O<sub>2</sub> sont dépassés. On peut la retrouver à cause de l'anxiété avant un exercice. Elle peut entraîner des étourdissements ou encore des pertes de conscience. Elle peut être un problème comme la dyspnée, mais aussi parfois la preuve d'une adaptation. Elle va notamment être la première réponse réflexe à l'hypoxie liée à l'altitude afin de compenser la chute de la pression artérielle en oxygène et de la saturation en oxygène. Cependant lors d'exercices d'endurance, cette hyperventilation réflexe peut être limitée par le coût énergétique des muscles respiratoires. Ce qui explique qu'on considère que des athlètes soient plus ou moins bons dans leur adaptation à l'altitude.

### c) Les seuils ventilatoires et seuils lactiques

En physiologie du sport il existe deux seuils ventilatoires.

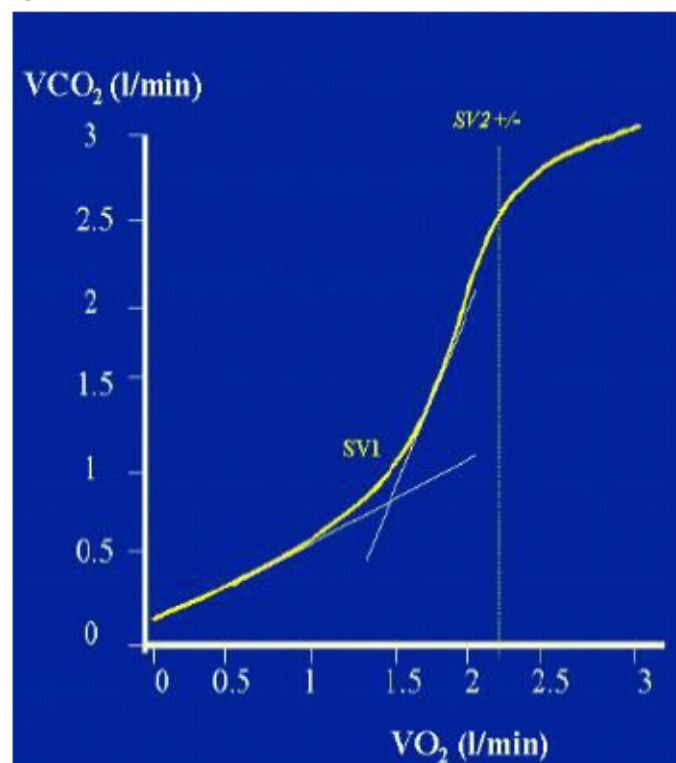


Figure 6 : Détermination du premier seuil ventilatoire SV1 par la méthode de Beaver (f)

Le SV1 correspond au seuil d'adaptation ventilatoire, situé entre 55% et 70% de la VO<sub>2</sub>max. C'est un indicateur de la capacité d'endurance maximale aérobie. C'est à ce moment, que la filière oxydative n'est plus suffisante pour satisfaire à la demande énergétique. Si on est en dessous du seuil, les processus oxydatifs suffisent à la ventilation.

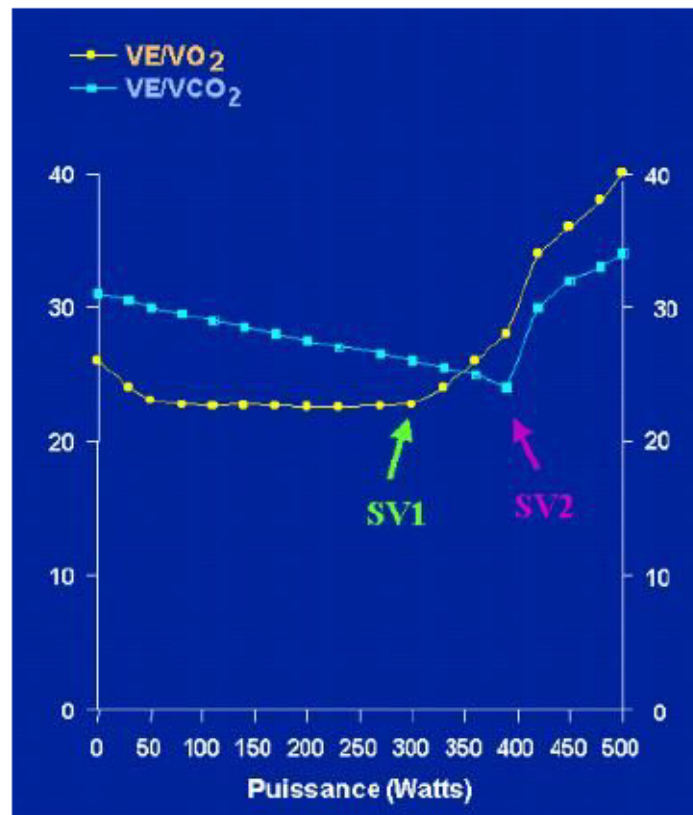


Figure 7 : Détermination de SV2 par la méthode de Wasserman (g)

Au-dessus du SV2, qui correspond à 80% de la VO<sub>2</sub>max, la voie aérobie ne suffit plus et le muscle fait appel à la glycolyse qui produit de l'acide lactique. Les substances tampons entraînent la formation de CO<sub>2</sub> qui stimule les chémorécepteurs centraux et donc le centre inspiratoire. Cette augmentation de la ventilation permet ainsi d'éliminer le CO<sub>2</sub> en excès et de tamponner l'acidose.

Dans le cadre de l'entraînement d'un sportif, entre SV1 et SV2 on va travailler l'endurance du sportif, soit sa capacité aérobie; alors qu'à partir du SV2, on travaille la capacité anaérobie, plus utile lors des efforts intenses comme vu précédemment. (18)

Les SV1 et SV2 ont une correspondance en terme de production de lactates, qui est un facteur limitant de performance. Ce sont les seuils lactiques (SL1 et SL2).

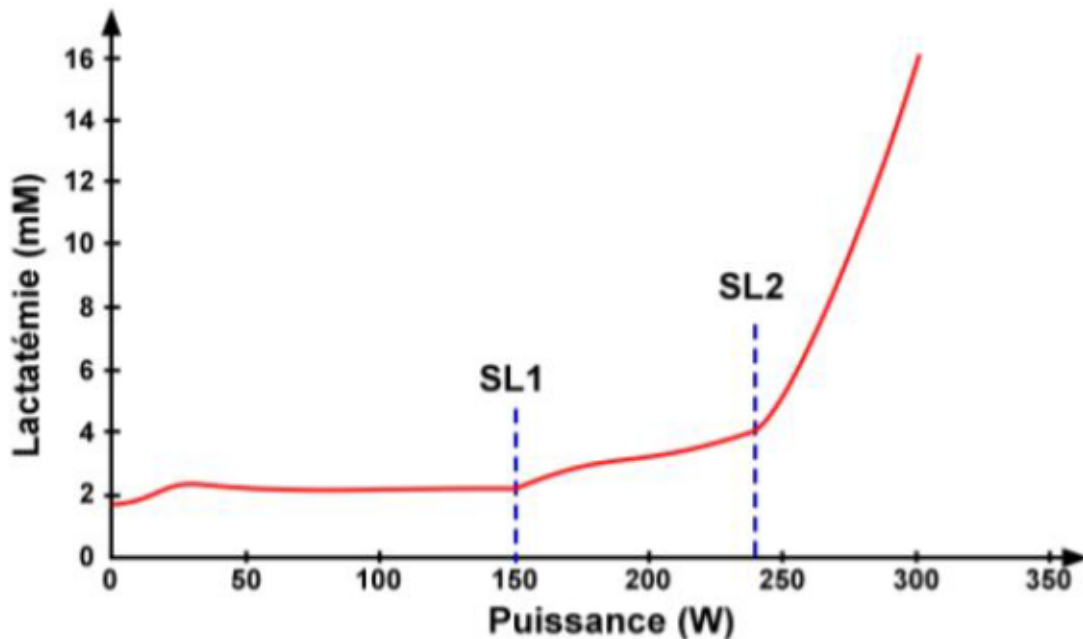


Figure 8 : Représentation graphique des seuils lactiques (h)

Si SV1 marque la production importante de lactates, SV2 est encore plus important puisque c'est à partir de SV2 que les filières "énergétiques" de traitement des lactates ne suffisent plus. C'est à partir du SV2 que l'accumulation de lactates devient néfaste et que l'organisme va devoir l'éliminer de façon pulmonaire afin de limiter l'acidose lactique.

La connaissance de ces seuils lactiques peut être importante pour programmer des entraînements spécifiques et individuels (18).

#### d) La performance respiratoire et sa limite

Les muscles respiratoires lors d'un exercice intense, utilisent jusqu'à 11 % de la consommation d'oxygène et 15 % du débit cardiaque.

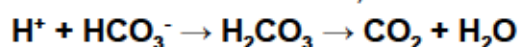
La ventilation n'est apparemment pas un facteur limitant de la performance, car même à l'exercice maximal, la ventilation n'est pas saturée, puisqu'une hyperventilation volontaire est encore réalisable. Cependant le volume ventilatoire peut être augmenté par l'entraînement des muscles respiratoires afin d'optimiser la contractilité, le taux de mitochondries, et l'ensemble des éléments vus pour les muscles en général tout comme pour le myocarde.

Le diaphragme possède une grande capacité oxydative grâce à son activité enzymatique oxydative élevée, sa forte composition en mitochondries et en capillaires. Ainsi, lors d'un exercice prolongé, les muscles respiratoires sont activement présents comparés aux autres muscles périphériques. Cependant, un syndrome obstructif : l'asthme, est un facteur limitant de la performance. (19)

### e) L'équilibre acido-basique et sa régulation respiratoire

La production et l'accumulation de lactates et d'ions  $H^+$  sont importantes lors d'un exercice intense, cela est moins vrai lors d'exercice d'endurance, mais c'est tout de même un facteur limitant la performance. En dehors des systèmes de "recyclage" des lactates, lorsque la production de lactates est trop importante, à SL2 par exemple, trois systèmes coexistent pour réguler le pH sanguin : les reins, les tampons du plasma et le système respiratoire.

Pour en limiter ces effets, les bicarbonates réagissent avec les ions  $H^+$  :



Toute augmentation des ions  $H^+$  stimule le centre respiratoire, se traduisant par une élimination pulmonaire accrue du  $CO_2$ .

Après l'exercice, le retour aux valeurs de repos du lactate sanguin et musculaire est un travail lent qui demande une à deux heures. Un exercice léger de récupération va permettre un retour plus rapide à ces valeurs en utilisant les lactates comme métabolites énergétiques d'une part, et en améliorant le flux sanguin d'autre part.(20)





***Deuxième partie :***

***Principales pathologies liées à la course  
à pied***

Un des plus importants rôles du pharmacien dans l'accompagnement des coureurs de trail va être l'orientation et la prise en charge des blessures du coureur. Le pharmacien doit être capable de reconnaître quelle pathologie peut être correctement prise en charge dans le cadre de l'officine, et quelle pathologie nécessite un avis complémentaire vis à vis d'un médecin ou d'un kinésithérapeute. En cas de doute, le pharmacien d'officine ne doit pas poser de diagnostic, cela ne fait pas partie de ses prérogatives, mais doit plutôt orienter chez un autre professionnel de santé.

Dans le cadre d'un sujet ayant une pathologie clairement diagnostiquée, le pharmacien doit être capable d'assurer la prise en charge et de donner les conseils appropriés pour les différentes pathologies. Le coureur aura souvent à cœur de connaître la période de repos obligatoire avant de pouvoir reprendre son activité par exemple ; cette période va varier énormément suivant la pathologie.

Dans cette partie, nous allons aborder les pathologies les plus fréquentes chez les coureurs de trail, leur étiologie, leurs symptômes et leurs traitements. Par contre, nous ne verrons pas les démarches diagnostiques, qui relèvent plutôt des domaines de la médecine et de la kinésithérapie.

## ***A) Le pied***

### ***1) L'entorse de la cheville***

L'entorse de la cheville est la lésion la plus fréquente en traumatologie de l'appareil locomoteur. Souvent considérée comme une lésion bénigne, elle ne doit pas être négligée pour ne pas être à l'origine d'une incapacité fonctionnelle prolongée (18).

Les entorses ont plusieurs stades de gravité :

- L'entorse bénigne, sans rupture : c'est la simple foulure avec une distension ligamentaire.
- L'entorse moyenne : avec déchirure d'un faisceau.
- L'entorse grave : c'est la rupture de tout le ligament avec arrachement osseux (20).

- Etiologie

L'entorse la plus courante (95% des cas) est l'entorse du ligament latéral externe (LLE). Un coureur de trail va par définition évoluer dans des sentiers et pistes en pleine nature, au moins plus de 80% de son parcours. Cela signifie qu'une des caractéristiques de cette discipline est la technicité de la piste empruntée que ce soit en sous-bois ou en montagne. La survenue d'une entorse est souvent à mettre en relation avec la foulée du coureur : une attaque de pied trop supinatrice va avoir tendance à entraîner une surélévation de la partie médiane du pied et donc imposer une surtension sur le LLE qui est le plus fragile des ligaments de la cheville.



Figure 9 : Représentation schématique d'une entorse (i)

- Symptômes

L'entorse va survenir après une torsion du pied qui va entraîner une forte douleur, parfois syncopale, avec présence ou non d'un craquement/claquement caractéristique. Cela va causer une impotence fonctionnelle plus ou moins importante ainsi qu'une claudication à la démarche.

Dans les heures qui vont suivre, on va retrouver les symptômes suivants :

- une douleur pré- et sous-malléolaire externe
- parfois un œdème en « œuf de pigeon » en pré-malléolaire externe
- parfois un œdème de tout la cheville

- une mobilité diminuée dans les amplitudes extrêmes, cela permet la marche mais souvent difficilement

Le lendemain, les symptômes évoluent, on a une aggravation de la douleur, un oedème de toute la cheville ainsi que parfois une ecchymose diffusant sur le dos du pied.

- Traitements

Après établissement du diagnostic, on applique le protocole GREC (Glace, Repos, Élévation, Compression), on réévalue la gravité de l'entorse à J3-J5 (21).

- Si l'entorse est bénigne, un strapping (10 jours) ou une stabilisation par une attelle type Aircast associé à la cryothérapie (si le patient y répond bien) suffit pour obtenir une cicatrisation en 8 à 15 jours. Le retour en compétition doit attendre environ 10 à 15 jours.

- Si l'entorse est de gravité moyenne, l'immobilisation est nécessaire par une attelle semi-rigide amovible ou des cannes anglaises. Elle permet les mouvements de flexion et extension et la marche avec l'attelle. L'appui se fera dès que la douleur aura disparu. En complément, on démarre immédiatement une prise en charge par kinésithérapie. Il existe deux types de rééducation dans ce cas :

- La classique qui consiste à assouplir le ou les faisceaux atteints, remuscler les stabilisateurs de la cheville et retrouver l'amplitude des mouvements articulaires. On y associe des massages, de la physiothérapie (chaleur, ultrasons, électrothérapie), des étirements et un entraînement croisé.
- La seconde correspond à la rééducation proprioceptive par des exercices sur un plateau instable (plateau Freeman®, trampoline ...). La reprise de l'activité se fera après 45 jours (22).

- Si l'entorse est grave, deux solutions sont proposées : la première consiste à une immobilisation plâtrée (botte plâtrée) ou via une orthèse pendant six semaines minimum dont trois semaines en décharge et trois en charge. La chirurgie (suture) est la deuxième alternative proposée surtout aux jeunes sportifs mais elle reste minoritaire. La kinésithérapie est à démarrer immédiatement, sauf dans le cas d'une botte plâtrée où elle se fera en relai. Une anticoagulation préventive est envisageable. Des cannes anglaises peuvent être prescrites en cas de douleur à la marche. Dans tous les cas, la reprise de l'entraînement sera très progressive (22,24).

Consécutivement à une entorse de la cheville, tous types de gravité confondus le kinésithérapeute proposera souvent une correction de troubles de la posture ainsi qu'un conseil sur le choix des chaussures (22-24).

## ***2) La fracture de fatigue métatarsienne***

- **Etiologie**

Tous les types de fractures de fatigue vont présenter les mêmes origines : surentraînement avec une période de repos trop courte, distance inhabituellement longue, augmentation anormale de l'intensité d'effort sur une période longue, modification du terrain de pratique (sols durs).

De manière générale, une augmentation inhabituelle de la charge de travail (quantitatif ou qualitatif) va avoir le potentiel de générer une fracture de fatigue.

- **Symptômes**

Les symptômes reposent sur une douleur mécanique d'apparition progressive, qui disparaît au repos, mais avec la zone atteinte restant douloureuse à la palpation.

- **Traitements**

Le traitement repose principalement sur une mise au repos du patient, pour une période minimale de 4 semaines. Suivant la précocité du diagnostic, la reprise de l'activité physique peut se faire en 1 à 8 mois suivant la zone touchée, mais celle-ci devra être encadrée par un kinésithérapeute ayant établi un programme individualisé. Globalement les recommandations vont être de courir sur des sols plus naturels, donc les courses en forêt par exemple, éventuellement de passer par un port de chaussures adaptées, avec si nécessaire des séances de kinésithérapie et une rééducation posturale.

Pour la fracture de fatigue du métatarse, la durée de la mise au repos va être minimale : 4 semaines de repos au niveau des impacts, ce qui n'empêche pas de conserver une autre activité sportive durant ce laps de temps afin de ne pas perdre en condition physique.

Ni la prise d'antalgiques, ni la prise d'anti-inflammatoires ne présente d'intérêt pour ce type de pathologie (23,25).

### **3) La tendinite du tendon d'Achille**

C'est la tendinite la plus fréquente au niveau du pied.

La douleur s'accroît progressivement avec l'effort et se calme au repos.

La complication majeure de cette tendinite est la rupture complète qui impose un traitement chirurgical avec un arrêt sportif de trois à six mois.

- **Etiologie**

Les facteurs favorisant l'apparition de tendinopathies du tendon d'Achille sont très nombreux, mais parmi ceux en rapport avec la pratique du trail on peut citer :

- port de chaussures non adaptées, avec un talon trop mince ou un contrefort de chaussures trop rigide ;
- surentraînement, aussi bien en fréquence qu'en allure, sur des sols trop durs ;
- des troubles morphostatiques type calcaneum varum ou valgum (le talon n'est pas aligné dans l'axe de la jambe, soit à angle fermé avec le talon vers l'intérieur pour le varum, ou à angle ouvert, talon vers l'extérieur pour le calcaneum valgum), les pieds plats ou creux. Ces troubles vont être remarquables via l'usure des semelles de chaussures ou simplement à l'examen par un médecin du sport.

Il est à noter que l'âge (> 40 ans) est globalement un facteur de risque de survenue de tendinite du talon d'Achille, de part un raccourcissement de la chaîne musculaire postérieure de la jambe (muscles gastrocnémiens courts) qui provoque un stress mécanique excessif sur le tendon d'Achille (23) (25-26).

- **Symptômes**

Parmi les tendinopathies, on distingue :

Les tendinoses, état de dégénérescence chronique non inflammatoire du tendon, également appelées « tendinopathies de surcharge » ;

Les ténosynovites : la gaine synoviale qui entoure le tendon est enflammée, ce qui provoque son gonflement (et la compression du tendon qui souffre à chaque mouvement). Il est à noter que la distinction entre les deux pathologies ne peut se faire qu'à la suite d'une échographie ou d'une IRM (23, 26).

Lorsqu'elle n'est pas traitée de façon adaptée, une tendinopathie peut devenir chronique. Le tendon et sa gaine se collent l'un à l'autre et se calcifient, provoquant des douleurs et diminuant la mobilité de l'articulation. À terme, le tendon ne retrouve jamais ses capacités de résistance et d'élasticité, et reste fragilisé.

Le symptôme principal va être la douleur ressentie par le patient. On distingue différents stades de sévérité des tendinopathies (classification de Blazina) :

- Stade 1 : douleur après l'effort disparaissant au repos ;
- Stade 2 : douleur pendant l'effort ;
- Stade 3 : douleur continue avec gêne dans la vie quotidienne et sportive ;
- Stade 4 : rupture du tendon (23, 26)

- Traitements

La prise en charge débute par une mise au repos immédiate, qu'on peut associer à la cryothérapie voire à la prise d'anti-inflammatoires en phase aiguë.

La période de mise au repos totale va être assez courte de l'ordre de quelques semaines à un mois mais peut nécessiter le port d'une orthèse.

La prise d'anti-inflammatoires ne doit pas être systématique et doit être cantonnée à de courtes durées pour deux raisons : elle n'a aucun effet sur la cicatrisation et peut également conduire à un faux sentiment de sécurité de la part du patient et à une reprise d'activité trop rapide. De manière générale, la prise d'anti-inflammatoires par voie orale ou topique doit être réservée à la prise en charge de phase aiguë de la ténosynovite (forme minoritaire de tendinite du tendon d'Achille).

La kinésithérapie est à débiter dès la fin de la phase aiguë, durant la phase de repos relatif consécutive à la mise au repos total, et va durer de 1 à 4 mois. Cette rééducation fonctionnelle utilise diverses techniques : étirements doux, exercices de



renforcement dits « de renforcement excentrique », ultrasons, ondes de choc dites « radiales », massages profonds transversaux au sens du tendon, etc. Elle vise à stimuler la formation de nouvelles fibres de collagène parfaitement alignées dans le sens de la longueur du tendon.

Au niveau de la course, le recours aux semelles orthopédiques peut être envisagé si jugé nécessaire. Cependant, les semelles ne doivent pas dépasser un centimètre voire un centimètre et demi pour éviter de modifier la proprioception au niveau du pied (23, 26).

#### 4) L'aponévrosite plantaire

L'aponévrose (ou fascia) plantaire est une membrane conjonctive fibreuse en forme triangulaire qui s'insère au niveau du calcanéum sous le talon et rejoint les orteils en avant du pied (*figure 10*). Elle participe au maintien de la voûte plantaire et a un rôle de transmission des forces du triceps sural vers les orteils (23,27).

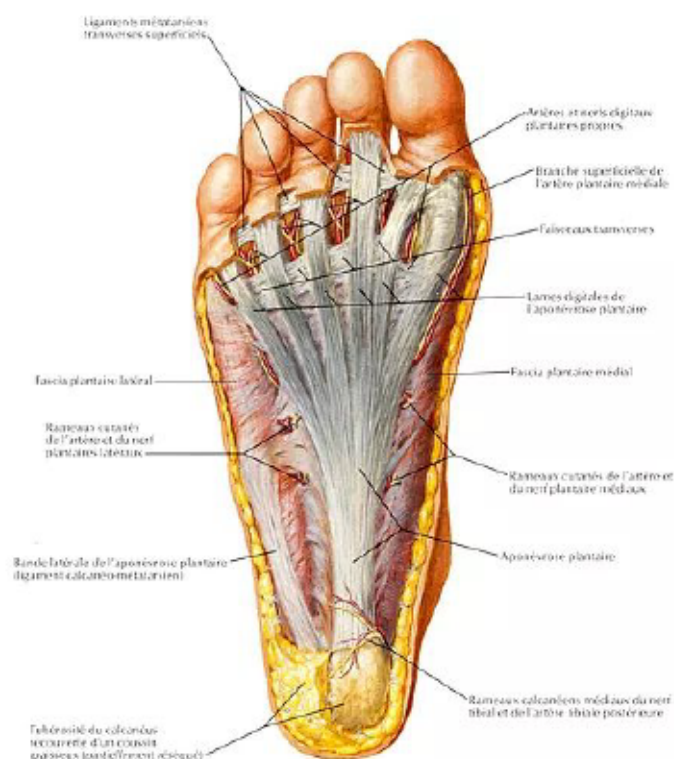


Figure 10 : Représentation schématique de la plante du pied (j)

- Etiologie

Comme pour la plupart des pathologies du pied vues jusqu'ici, les facteurs favorisants vont être un surentraînement, le port de chaussures inadaptées, la

station debout prolongée (notamment dans certaines professions), les troubles morphostatiques.

- Symptômes

Le patient va ressentir des douleurs d'apparition progressive sous le talon, les symptômes sont intenses le matin au lever, et s'aggravent à la marche ou lors des stations debout prolongées.

- Traitements

Le repos est important, allant de quatre semaines à deux mois. La glace, des anti-inflammatoires, des massages et des étirements complètent ce traitement. Le traitement par ondes de choc (kinésithérapie) montre des résultats variables selon les individus. De même, les infiltrations corticoïdes montrent de bons résultats. Cependant, elles doivent être associées à une diminution durable de l'activité physique ; dans le cadre du patient sportif leur intérêt est donc limité (27).

La correction des troubles statiques peut se faire par une semelle viscoélastique avec un talon ou une talonnette légèrement amortissante (27).

## ***5) L'éperon calcanéen***

L'éperon calcanéen est une excroissance osseuse anormale retrouvée au niveau du calcanéum, sur le point d'attache de l'aponévrose plantaire. Elle correspond en fait à la calcification de ce point d'insertion.

- Etiologie

L'étiologie pour l'épine calcanéenne va être la même que pour l'aponévrosite plantaire, c'est-à-dire un état de surtension prolongée sur l'aponévrose plantaire qui va induire une calcification progressive de son insertion calcanéenne. Cette calcification va ensuite évoluer sous forme de bourgeonnements osseux.



Figure 11 : Epine calcanéenne sur radiographie (k)

- Symptômes

L'épine calcanéenne seule n'est pas douloureuse en elle-même, cependant elle est très souvent associée à une douleur due à l'inflammation de l'aponévrose plantaire.

- Traitements

La prise en charge va reposer sur les mêmes protocoles de soins que pour l'aponévrosite plantaire, une fois la phase inflammatoire terminée la douleur due à l'inflammation de l'aponévrose va décroître. L'épine calcanéenne peut persister mais étant indolore et avec une potentielle compensation orthopédique elle n'est pas considérée comme pathologique (23, 27).

## **6) L'hématome sous-unguéal**

Très courant chez les coureurs de trail de moyenne et longue distance, ou lors de période intensive d'entraînement, l'hématome sous-unguéal correspond à un amas sanguin situé sous l'ongle d'orteil. On a donc un ongle qui "noircit" et qui va devenir douloureux à la palpation (25).

- Etiologie

Généralement, le port de chaussures avec une forme ou une pointure non adaptée vont souvent être à l'origine de survenue d'hématomes sous-unguéaux. Cependant, pour les ultra traileurs, on remarque la survenue d'un hématome sous-unguéal

malgré le port de chaussures adaptées, ce qui s'explique par la durée prolongée de l'exercice et du stress mécanique (25).

- Traitements

Dans les cas extrêmes avec purulence ou gonflement de l'ongle avec rougissement des pourtours de l'ongle, il faudra perforer ce dernier avec une aiguille stérile pour permettre l'évacuation de l'hématome. Par la suite, on va laver avec de l'eau de Dakin et appliquer des compresses de Dakin de façon nocturne en les maintenant avec une bande élastique adhésive.

En prévention, on va généralement conseiller le port de chaussures une demi voir 1 pointure au-dessus de la taille standard (25).

## **7) Les ampoules**

Une ampoule, appelée phlyctène, est une lésion dermatologique de la peau, avec élévation de l'épiderme, due à une collection de liquide clair contenu dans une cavité néo-formée.

Elle est accompagnée par une douleur localisée. Cela provient d'un frottement engendrant une irritation de l'épiderme. Cette dermatose fait suite à l'écartement de deux couches de la peau (l'épiderme superficiel et le derme, situé entre l'hypoderme au-dessous et l'épiderme au-dessus).

L'ampoule peut parfois se remplir de sang (25, 28).

La survenue d'ampoules est très courante et sa probabilité va logiquement augmenter proportionnellement à la distance parcourue par le traileur.

De nombreuses astuces existent dans la communauté des coureurs de trail, que ce soit en préventif ou en curatif (percer ou non l'ampoule), cependant les recommandations élémentaires vont toujours être les mêmes :

- pas de port de chaussures/chaussettes neuves le jour de compétition, et changement de chaussettes sur les courses type ultra ;
- application d'un pansement hydrocolloïde de type Compeed® dès l'apparition des premières rougeurs ;
- certains podologues recommandent des protocoles de tannage/graisage des pieds, à démarrer 3 semaines avant la compétition, le tannage consistant en un massage matinal des pieds avec du jus de citron (vert ou jaune), le graissage se faisant à l'aide de crème grasse type Nok (du laboratoire Akileïne®) (25, 28).

## ***B) Le genou***

Statistiquement le genou est la partie du corps la plus touchée par les blessures lors de la pratique du trail. C'est une articulation intermédiaire portante du membre inférieur ayant deux degrés de liberté de mouvement (flexion-extension et rotation en flexion) qui va être soumise à de grandes sollicitations mécaniques de par ses rôles de stabilisation mais aussi de mobilité (29).

### ***1) Le syndrome de la bandelette ilio-tibiale ou syndrome de l'essuie-glace***

La bandelette ilio-tibiale, ou Tractus Ilio-Tibiale (TIT), se constitue à partir du corps charnu du muscle tenseur du fascia lata et de son insertion tendineuse qui est fixée sur la partie supérieure et externe du tibia (*voir figure 12*).

Le syndrome de la bandelette ilio-tibiale est une tendinopathie courante chez les coureurs qui impose un arrêt de tout exercice physique occasionnant une flexion extension du genou. Il est associé à une douleur, parfois de type brûlure. Il est fréquemment associé à une capsulite du genou.

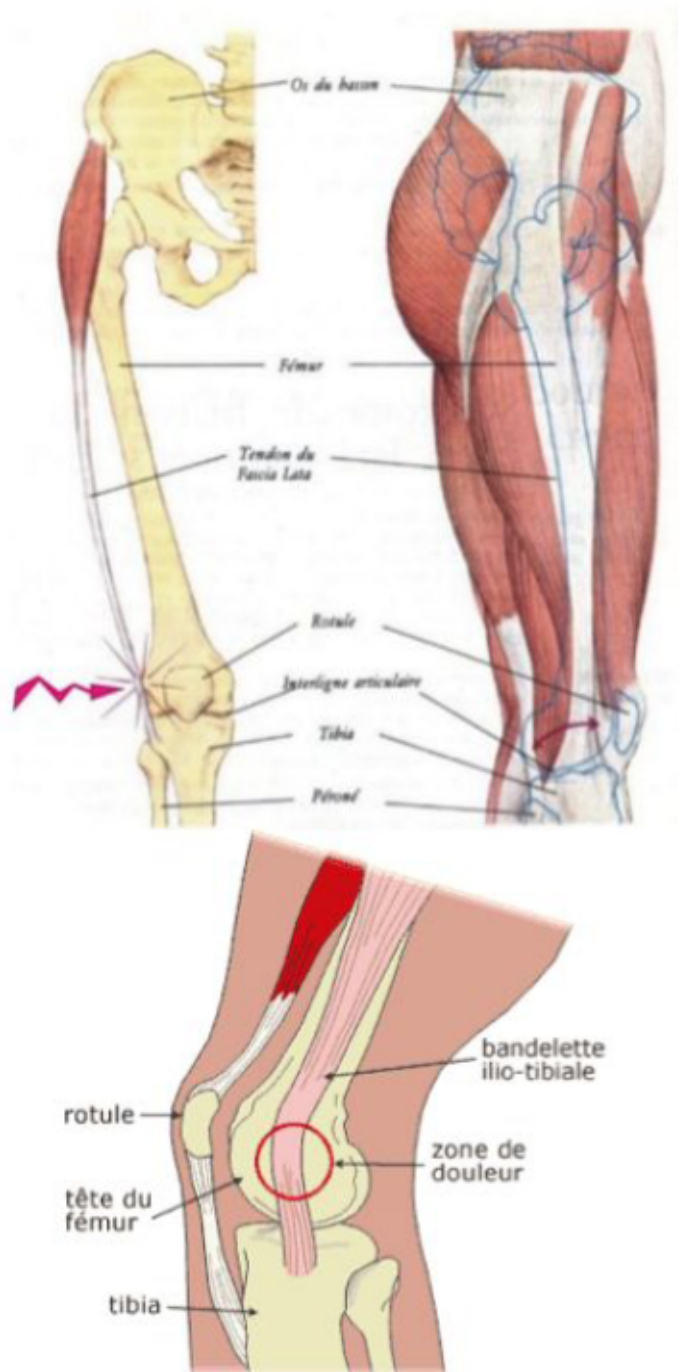


Figure 12 : Représentation schématique du syndrome de l'essuie-glace (I)

- Etiologie

Les causes de survenue de ce symptôme ne sont pas clairement élucidées mais de nombreuses études ont mis en évidence certains facteurs prédisposants. Dans les facteurs intrinsèques au coureur, on retrouve notamment la faiblesse des muscles abducteurs de la hanche. Cette asymétrie causant une rotation médiale tibiale

excessive va exercer une tension excessive sur le TIT conduisant à terme à une survenue du syndrome.

Dans les facteurs extrinsèques, on remarque qu'une augmentation trop rapide de la fréquence des entraînements constitue un facteur de risque. De même, l'entraînement en stade toujours dans le même sens va induire un déséquilibre musculaire. Le type de chaussée, l'excès de course en descente et des chaussures non adaptées à la foulée du coureur constituent d'autres facteurs de risque de survenue extrinsèques (25, 30-31).

- Symptômes

La douleur se situe à la face latérale du genou et est d'intensité variable. Elle se loge toujours au même endroit chez un même individu : c'est-à-dire à environ trois centimètres au-dessus de l'interligne articulaire du genou au niveau de l'épicondyle latéral du fémur. Cette douleur aiguë à type de brûlure peut, dans certains cas, irradier le bord latéral de la cuisse. Un gonflement ou bien un épaissement peut également apparaître très localement sans qu'aucun autre signe n'y soit associé (30-31).

Cette douleur persiste à chaque entraînement et se manifeste lors d'une course sur une distance ou pour un temps donné. Elle contraint celui-ci à s'arrêter ; la douleur diminue, voire disparaît dès l'arrêt. L'algie se voit de plus en plus précocement si le sujet ne se contraint pas au repos sportif et peut aller jusqu'à gêner les activités quotidiennes comme la montée ou la descente d'escalier, voire la marche (30-31).

- Traitements

La prise en charge passe en premier lieu par un repos avec un arrêt total d'activité sportive pendant une durée de 3 à 6 semaines. On va ensuite prendre en charge l'inflammation locale, par de la cryothérapie et des massages, ou par des anti-inflammatoires par voie locale. Ensuite, on traitera la tension du TIT par des étirements. Enfin, on terminera par un renforcement musculaire avec des exercices pour rééquilibrer les muscles abducteurs de la hanche.

A ce stade le patient peut reprendre progressivement la course à pied sur terrain plat (32).

En l'absence d'amélioration au bout de 6 semaines de traitement, on peut envisager l'infiltration par corticoïdes, voire un acte chirurgical après 6 mois de traitement infructueux (30-32).

## **2) Le syndrome rotulien ou fémoro-patellaire**

Autre syndrome très courant chez les coureurs de fond, le syndrome rotulien se caractérise par un conflit entre la rotule (patella) et le fémur et se traduit par une sensation de blocage du genou lors de mouvements de flexion extension répétés.

Ce syndrome va évoluer en plusieurs phases : initialement la douleur ne sera présente qu'à la fin de l'effort, puis elle apparaîtra dès la fin de l'échauffement, enfin, au stade supérieur, elle augmentera graduellement jusqu'à imposer un arrêt de la séance (33).

- **Etiologie**

Le syndrome rotulien est souvent le résultat de deux mécanismes pathologiques :

- la souffrance du cartilage de la patella, aussi appelée chondropathie rotulienne, qui apparaît suite à des traumatismes répétés typiques d'une compétition type trail running. La descente en montagne est particulièrement génératrice de traumatismes rotuliens mais la course sur route est aussi traumatisante.
- l'instabilité rotulienne antéro-postérieure, causée par une musculature asymétrique dans les quatre chefs du quadriceps. Dans le cas du traileur, on retrouve ce cas de figure suite à un arrêt de l'entraînement prolongé, parfois consécutif à une blessure, qui va causer une démusclature partielle du quadriceps et induire l'asymétrie (33).

La problématique de cette pathologie repose sur le fait que le sujet aura tendance à aggraver sa pathologie sans s'en rendre compte. Quand les douleurs de la chondropathie rotulienne vont atteindre un certain niveau, le patient va stopper son activité, et il va parfois engendrer une instabilité rotulienne via une démusclature du quadriceps. Le syndrome va ainsi s'auto-entretenir. De plus, à la suite d'une autre pathologie du genou, par exemple un syndrome de l'essuie-glace, la mise au repos nécessaire au traitement peut avoir pour conséquence de favoriser une instabilité rotulienne, surtout si le sujet reprend son activité de façon trop intense et agresse le cartilage patellaire.(33).

- **Symptômes**



Le symptôme clé est la douleur. Cette douleur peut apparaître de différentes façons selon le type de patient. Ici le profil qui nous concerne est celui du coureur de trail running.

La douleur va donc se déclarer à la suite d'une activité physique imposant des traumatismes répétés à la rotule et à son cartilage. Cette douleur dans un premier temps ne se révélera le plus souvent qu'après quelques heures (voir quelques jours) suite à cette activité (33).

Progressivement, au fur et à mesure que la chondropathie rotulienne s'installe, la douleur sera de plus en plus précoce et intense, avec une persistance dans les positions de flexion du genou. La position assise devient douloureuse, on a un sujet qui ressent le besoin d'étendre ses jambes, cela se nomme le "syndrome du cinéma". Bien souvent le sujet suspend alors son activité sportive et se met de lui-même au repos. Cette démarche n'est pas recommandée.

- Traitements

Le traitement du syndrome rotulien ne doit pas passer par l'immobilisation du genou dans une orthèse, ni même le repos complet, car une sous-utilisation des membres inférieurs entraînerait un affaiblissement musculaire avec par voie de conséquence une aggravation des symptômes et donc une augmentation de la douleur.

De même, l'utilisation d'une genouillère est à éviter car elle aurait pour conséquence d'écraser la rotule et donc d'augmenter la souffrance cartilagineuse.

Le traitement du syndrome rotulien repose sur deux composantes :

- l'activité sportive, qui est maintenue par la marche longue de façon bi-hebdomadaire. C'est elle qui va servir de support afin de maintenir une musculature de la jambe équilibrée. C'est la seule activité sportive qui sera autorisée au patient jusqu'à disparition de la douleur.
- la rééducation est particulière : elle va avoir pour but de renforcer le quadriceps sans faire souffrir le cartilage de la rotule.

Le quadriceps doit être renforcé en isométrique, c'est à dire uniquement en extension (isométrique = contraction sans mouvement ; ce qui est différent de l'isocinétique = contraction avec le même mouvement). Les exercices de renforcement musculaire imposant la flexion (type squat) sont à proscrire (33).

Cette rééducation va se faire avec un kinésithérapeute dans un premier temps, mais elle est aussi à poursuivre au domicile et par la suite à la moindre défaillance, pour maintenir la tonicité musculaire du quadriceps.

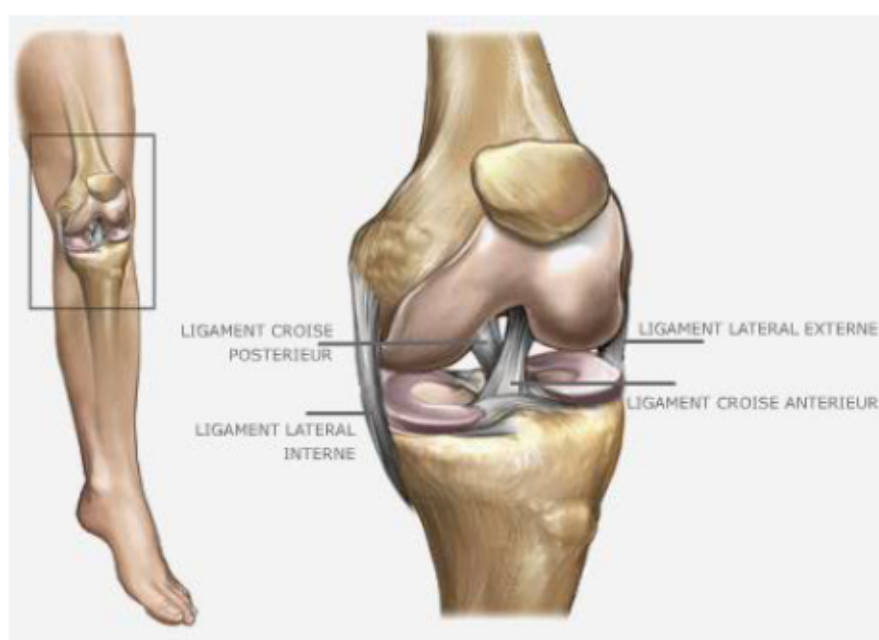
La reprise de la course se fera sur un terrain plat, les descentes sont particulièrement déconseillées dans un premier temps, et sur un sol mou type sous-bois. Un changement de chaussures peut parfois être indiqué ou le port de semelles amortissantes (25, 33).

### 3) L'entorse du genou

Le genou est composé de 4 ligaments : deux latéraux (externe et interne) et deux centraux, les ligaments croisés postérieur et antérieur (voir figure 13).

Comme pour les entorses de cheville, on peut avoir 3 stades de gravité qui vont présenter des symptômes et des prises en charge différentes :

- l'entorse bénigne, qui ne concerne que le ligament latéral externe, consiste en une simple élongation.
- l'entorse moyenne correspond à une déchirure du ligament et impose une immobilisation
- l'entorse sévère du genou implique la plupart du temps un arrachage, une atteinte des ligaments croisés associée ou non à une atteinte des ligaments latéraux. Le traitement chirurgical est particulièrement indiqué chez le patient jeune/sportif (34,35).



- Etiologie

L'entorse du genou est assez rare chez les coureurs de trail running. Elle peut cependant survenir chez le coureur surentraîné, éventuellement associé à un genu varum (34-35).

- Symptômes

Suite à un traumatisme, on a apparition d'une douleur immédiate très vive, parfois le patient va entendre un craquement (signe de lésion anatomique). Suivant la gravité et secondairement au traumatisme, on va retrouver d'autres symptômes parmi lesquels on distingue :

- oedème (plus l'entorse est grave plus l'œdème va apparaître rapidement);
- hématome;
- ecchymose;
- claudication;
- hémarthrose, épanchement sanguin consécutive à une rupture de ligament (souvent du ligament croisé antérieur), ce symptôme est caractéristique de l'entorse grave du genou (34-35).

- Traitements

Pour les entorses bénignes, le traitement repose sur de la cryothérapie (associée ou non aux anti-inflammatoires), du repos pendant 1 à 2 semaines, et le port éventuel d'une orthèse ligamentaire pouvant être maintenu jusqu'à 1 mois après la reprise d'activité sportive.

Pour les entorses moyennes, la prise en charge est la même concernant la réduction de l'œdème et de l'inflammation. Cependant, le repos est d'une durée d'un mois minimum, avec une attelle d'immobilisation totale ou l'utilisation de cannes anglaises.

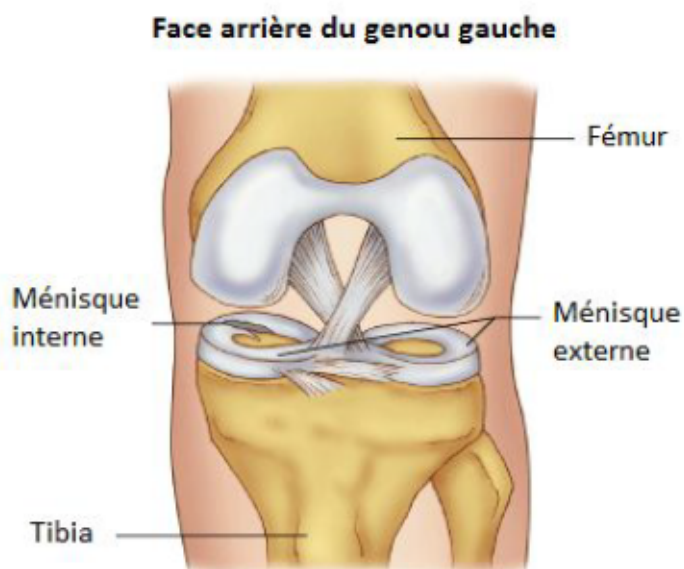
Pour les entorses graves chez le sujet sportif, le premier recours va être la chirurgie car l'entorse grave concerne majoritairement le ligament croisé antérieur, et sa déchirure ne peut pas guérir sans intervention chirurgicale. Par ailleurs, la non prise

en charge ou mauvaise prise en charge va être la cause d'une usure prématurée des ménisques (33-34)

A la suite de l'intervention, le patient devra passer par une période de rééducation longue, pouvant aller de 6 mois à 1 an (34-35).

#### **4) Les lésions méniscales**

Le genou comporte deux ménisques, un interne et un externe, qui sont des éléments situés dans la capsule intra-articulaire du genou (*voir figure 14*). Ce sont des éléments fibro-cartilagineux qui ont pour rôle d'amortir les chocs, de stabiliser les plateaux tibiaux et de lubrifier l'articulation.



*Figure 14 : Vue intra articulaire de la face postérieure du genou (n)*

- Etiologie

De prévalence assez faible chez les coureurs de trail running, des lésions méniscales peuvent néanmoins apparaître à l'occasion d'un ou plusieurs efforts particulièrement importants ou longs (un coureur de trail à faible dénivelé qui effectue une ou plusieurs grandes courses en montagne) ou à la suite d'un traumatisme mal soigné (l'entorse de genou en fait partie comme vu précédemment) (25, 36).

- Symptômes

La douleur est le seul symptôme qui caractérise les lésions méniscales. Elle va être très localisée et compartimentée, elle suit l'interligne horizontale et est sensible à la palpation. L'absence d'autres symptômes rend le diagnostic clinique compliqué et nécessite souvent des examens complémentaires (25, 36).

- Traitements

Les lésions méniscales vont globalement avoir tendance à cicatriser rapidement dès la mise au repos du fait de la forte vascularisation.

Pour les lésions vraiment importantes, on peut envisager la chirurgie, cependant au risque d'induire un risque d'arthrose prématuré (36).

## ***C) La jambe***

### ***1) La périostite tibiale***

Le périoste est une membrane conjonctive qui entoure l'os. Une périostite tibiale est donc une inflammation du pourtour du tibia. L'inflammation peut concerner les aponévroses des insertions musculaires des tibias ou le périoste lui-même dans le cas de périostites de stade plus avancé (37-38) ;

- Etiologie

Bien que les mécanismes de formation soient encore mal définis, cette pathologie résulte de microtraumatismes générés d'une part par la propagation d'ondes de chocs répétés typique de la course à pied, notamment sur sols durs, et d'autre part par une traction excessive des muscles qui constituent le mollet (plus particulièrement le tibial postérieur et le soléaire).

Bien que l'activité physique soit dans la très grande majorité des cas l'élément déclencheur, il existe des facteurs favorisant la survenue de périostite tibiale :

- troubles morphostatiques type genu varum, genu valgum, inégalité de longueur des membres inférieurs, pieds plats ou creux

- troubles dynamiques, les coureurs ayant une foulée en hyper pronation du pied vont imposer un excès de travail au tibia postérieur qui est un muscle supinateur et donc va contrebalancer l'hyperpronation pour stabiliser la jambe.
- la surcharge pondérale qui augmente l'amplitude des chocs à chaque foulée, on va retrouver la périostite tibiale chez le traileur inconstant, ou en reprise après une prise de poids notamment liée à la trêve hivernale.
- augmentation de la fréquence ou intensité des entraînements (37-38).

- Symptômes

Le patient se plaint de douleurs à la marche, la course, les sauts, etc., douleurs mécaniques siégeant sur le rebord postéro-interne du tiers médian du tibia sur environ 10 à 15 cm et qui cessent au repos mais qui le gênent dans sa pratique sportive. Ces douleurs à l'origine mécanique vont, avec le temps, mener à une inflammation de la zone et une modification des symptômes : la douleur ne va plus cesser au repos, elle va croître progressivement jusqu'à devenir permanente.

On a aussi présence de douleurs à la palpation notamment le long de la crête tibiale lors d'une atteinte du bord postéro interne (zone majoritairement atteinte).

L'atteinte est dans 50% des cas bilatérale (37-38).

- Traitements

Le repos sportif est d'environ quinze jours à deux mois dans les cas plus sévères. Pour les périostites débutantes, la diminution de la charge d'entraînement et la modification du terrain permettent la disparition de la douleur.

Pour les périostites bien installées, en phase inflammatoire, le traitement va associer les anti-inflammatoires locaux ou généraux, la cryothérapie et des techniques comme les ondes de chocs afin de diminuer l'inflammation locale et permanente.

A la reprise d'activité sportive, certains strappings particuliers appliqués par le kinésithérapeute vont permettre de diminuer les chocs par le sol au moment de la course et le stress subi par le muscle tibia postérieur.

La rééducation par kinésithérapie est très importante dans la prévention de récurrence avec l'apprentissage d'étirements progressifs des muscles douloureux et la correction des troubles statiques s'il y en a (37-38).

## 2) Syndrome des loges de la jambe

La loge musculaire correspond à l'aponévrose formée autour d'un groupe de muscles. Elle est peu extensible, ce qui veut dire qu'à la suite d'une augmentation du volume musculaire il peut survenir un excès de compression appelé garrot tissulaire interne. Ce garrot tissulaire va diminuer la perfusion capillaire. Ce défaut de retour veineux et de circulation lymphatique va à terme entretenir le garrot tissulaire interne via l'apparition d'un œdème (voir figure 15) (34).

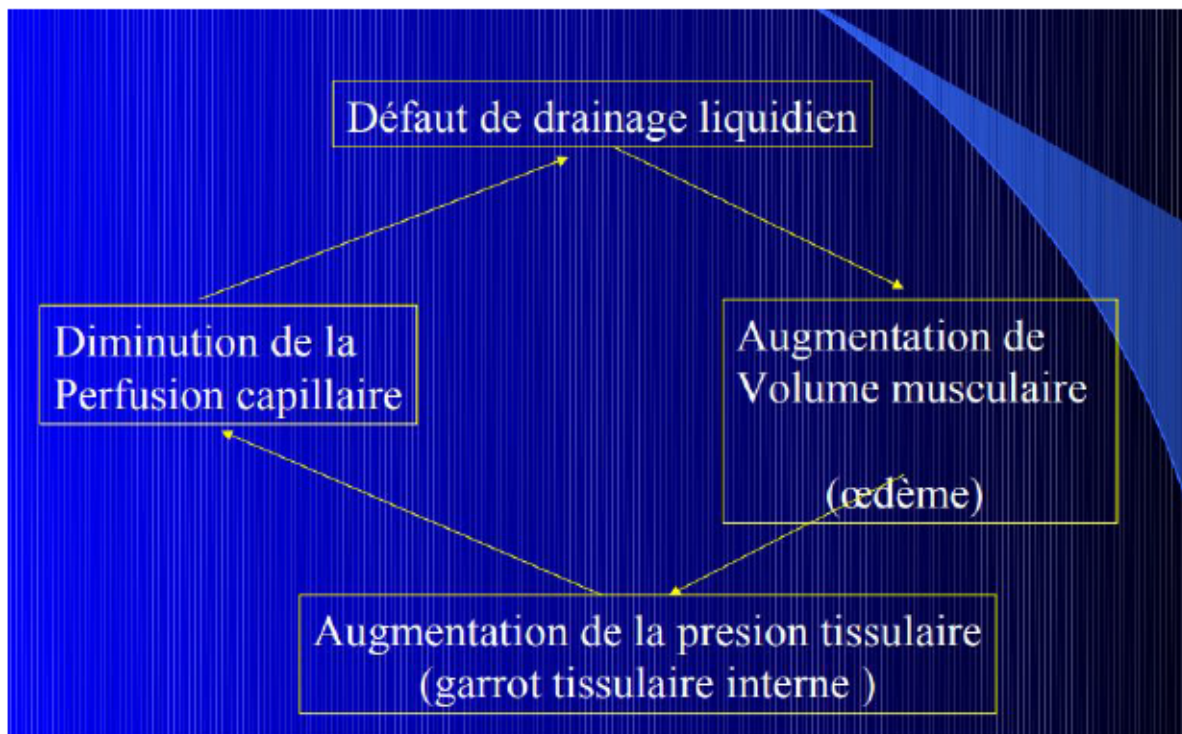


Figure 15 : Mécanismes impliqués dans le syndrome des loges (o)

- Etiologie

Pour cette pathologie on peut retrouver deux étiologies différentes :

- l'augmentation excessive de volume musculaire (physiologiquement 20%), qui peut être constitutionnelle (par une musculature anatomiquement anormale), ou acquise (surentraînement sportif).
- la réduction des espaces au sein de la loge, acquise par épaissement ou perte d'élasticité de l'aponévrose, progressivement ou suite à un traumatisme.

La prédominance est à 90% masculine et la pathologie est favorisée par la course d'endurance. Les syndromes des loges des jambes touchent surtout la loge antéro externe (2/3) et la loge postérieure de la jambe (1/3). L'atteinte est très souvent bilatérale. (39).

- Symptômes

La douleur est le principal symptôme. Elle est présente à l'effort et persiste plusieurs heures après. Elle va également être aggravée si poursuite de l'activité sportive. On peut également constater l'apparition de tuméfaction et d'un durcissement musculaire et l'apparition d'une claudication à la marche (39).

- Traitements

La mise au repos est indispensable, avec élévation, massage et cryothérapie. La prise de veinotoniques peut améliorer la condition du sujet ainsi que la compression à l'effort via des manchons ou chaussettes. Dans les cas extrêmes, l'acte chirurgical peut être envisagé, mais n'est pas propice à la reprise d'activité sportive (39).

### ***3) La fracture de fatigue***

- Etiologie

Des troubles morpho-statiques associés à un surentraînement sur sols durs et/ou avec un port de chaussures non adaptées peuvent conduire à la fracture tibiale de fatigue (25).

- Symptômes

Les symptômes vont être caractérisés par une douleur antéro interne au mollet, présente à la marche et à l'effort, avec une douleur à la palpation sur l'angle médial du tibia (25).

- Traitements

Le traitement consiste en une période de mise au repos de six à huit semaines avec le port de cannes anglaises. La pratique de sports sans impacts sous forme de rééducation est proposée. La kinésithérapie est à conseiller également dans le but de corriger les troubles morphostatiques et rétablir une musculature équilibrée (25).



## ***D) La cuisse***

### ***1) Étirement du tenseur du fascia lata***

Nous avons vu avec le syndrome de la bandelette ilio-tibiale que le tenseur du fascia lata était un petit muscle qui prenait son insertion proximale sur la crête iliaque et distalement sous la rotule. Bien qu'étant une pathologie plus rare que le syndrome touchant le genou, l'étirement de ce muscle peut constituer une pathologie douloureuse qui impose la diminution de la charge d'entraînement du sportif.

L'étirement va le plus souvent survenir en course de montagne, en descente à l'occasion d'un mouvement de supination trop intense. Il peut aussi résulter d'un surmenage ou d'un défaut de musculature des stabilisateurs de la hanche.

Le traitement va passer par de la kinésithérapie, par ondes de chocs, cryothérapie, électrothérapie suivant la réponse du patient. Dans les cas résistants, l'injection de corticoïdes est envisageable (25, 40).

### ***2) Syndrome de la loge postérieure de la cuisse***

Les étiologies, les symptômes et les traitements de ce syndrome sont identiques à ceux des syndromes des loges de la jambe traités ci-dessus (25).

## ***E) Hanche et bassin***

### ***1) Le syndrome trochantérien***

Aussi appelé bursite trochantérienne, le syndrome trochantérien correspond à l'inflammation des tendons s'insérant sur le grand trochanter fémoral. Ce relief osseux fait l'objet de tractions multiples, par la convergence de plusieurs muscles d'actions opposées, des rotateurs internes et externes, ainsi qu'une importante masse musculaire assurant l'abduction (muscles fessiers). Cette inflammation est

favorisée par des facteurs d'entraînement, en particulier la foulée courte sans extension complète des membres inférieurs, la course en relief vallonné ou accidenté ou sur terrain dur et le kilométrage important. D'autres facteurs médicaux peuvent être identifiés : une bascule du bassin, une inégalité de longueur des membres.

Au niveau des symptômes on retrouve une douleur en position assise prolongée ou lors d'un mouvement de jambe en abduction, adduction (mouvement rapprochant un membre de l'axe de symétrie du corps) ou rotation.

Le traitement consiste en un repos relatif en évitant les exercices de flexion de hanche, associé à des étirements encadrés par un kinésithérapeute (40).

## ***2) Le syndrome du piriforme***

Le muscle piriforme (ou pyramidal) s'étend de la face pelvienne du sacrum à la limite supérieure du grand trochanter du fémur. En courant ou en position assise, ce muscle peut comprimer le nerf sciatique à l'endroit où il émerge sous le piriforme et passe au-dessus des muscles rotateurs de la hanche. Le syndrome du piriforme est un syndrome rare (chez le coureur) qui correspond donc à la compression du nerf sciatique par le muscle piriforme, entraînant une douleur de la fesse et parfois une sciatique (*voir figure 16*) (41).

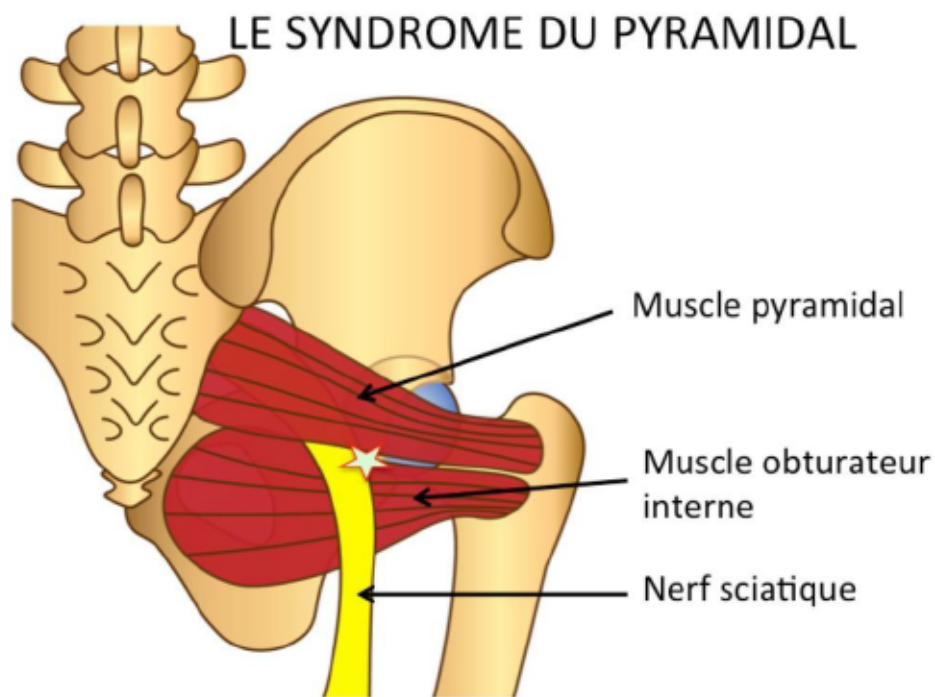


Figure 16 : Schéma du mécanisme du syndrome pyramidal (p)

L'étiologie principale va être les courses longue distance associées à un déséquilibre du bassin. La douleur apparaît de façon progressive, avec parfois la présence d'une torpeur ou fourmillement qui peut s'étendre du mollet jusqu'au pied. Une fois le syndrome bien installé, on retrouve la douleur en position assise. La prise en charge passe par des étirements souvent encadrés par un kinésithérapeute (41).

## ***F) L'abdomen***

### ***1) Les troubles digestifs***

Par douleurs abdominales, on va ici inclure les affections et symptômes suivants :

- Reflux Gastro Œsophagien (RGO) ;
- nausées, vomissements ;

- diarrhées ;
- digestion difficile, brûlures d'estomac.

Ces symptômes vont avoir plusieurs origines possibles qui vont souvent être associées. Parmi celles-ci on va retrouver principalement :

- la variation hémodynamique : il existe une redistribution des flux privilégiant les territoires musculaires en activité aux dépens, en particulier, des organes digestifs. Ce phénomène est plus communément connu sous le nom de « vol vasculaire ». Ainsi, le débit sanguin splanchnique peut passer de 25 % du débit cardiaque à l'état physiologique et au repos à 3 % à l'effort. L'intensité de l'exercice effectué déterminera l'importance de la réduction du flux splanchnique : pour un effort modéré inférieur à 60 % de la  $VO_2$  max, il diminuera de 45 %. Même si lors d'un effort submaximal (soit pour une chute du débit splanchnique supérieure à 80 % de sa valeur normale) il existe une adaptation du débit cardiaque, l'hypovascularisation par vasoconstriction des territoires mésentériques peut être suffisamment marquée pour occasionner des épisodes ischémiques prolongés. On appelle ce symptôme la colite par ischémie splanchnique (42).
- La motricité digestive joue aussi un rôle important. Ses modifications à l'effort sont reconnues et peuvent survenir *de novo* ou être la conséquence des phénomènes ischémiques précédemment cités. Elles touchent tout aussi bien le tractus digestif haut que bas (42).
- La cause mécanique a été avancée comme responsable de lésions gastriques ou coliques à type de contusions sur une muqueuse fragilisée par la baisse du débit mésentérique(42).

En plus de ces mécanismes communs on va aussi retrouver des variables individuelles :l'âge, le niveau d'entraînement, l'existence d'une prise médicamenteuse gastro toxique type AINS ou de pathologies digestives pré existantes,...

Mais les deux variables individuelles les plus importantes car les plus mises en cause lors de survenue de troubles digestifs vont être :

- Le stress, difficilement évitable pour le sportif, il survient immédiatement avant la compétition et est dû à un dérèglement vagosympathique. Il peut soit exacerber une colopathie préexistante soit générer à lui seul des troubles digestifs (42).

- L'alimentation, notamment avant et pendant l'effort. La gestion de l'alimentation dans la prévention de survenue de troubles digestifs est cruciale dans la pratique de trail, d'autant plus si les distances de courses augmentent. L'importance de l'alimentation dans la pratique du trail running sera détaillée par la suite dans la troisième partie (42).

Il est aussi à noter que l'altitude (à partir de 1000 m) et la température (chaleur) lors de la compétition ont aussi un impact néfaste concernant la survenue de troubles digestifs (42).

La prise en charge des troubles digestifs lors d'une compétition repose quasi exclusivement sur la prévention via une alimentation adaptée en fonction de la compétition choisie (cf troisième partie). Il est intéressant de constater que la prise d'anti-diarrhéiques, avec notamment les spécialités contenant du lopéramide ou la diosmectite, n'a que peu fait l'objet d'études à l'heure actuelle. Leur utilisation bien que non contre-indiqué n'est pas à privilégier étant donné cette absence de données.

## ***2) Le point de côté***

La douleur est aiguë et brutale, le point de côté le plus classique est celui apparaissant sous les fausses côtes à droite ou à gauche, mais on retrouve parfois des points de côté sous claviculaires droits ou gauches, péri ombilicaux, et au niveau du plexus solaire. L'origine reste inconnue à l'heure actuelle, mais les hypothèses les plus probables sont les suivantes :

- mauvaise adaptation à l'effort : avec augmentation brutale du rythme cardio-respiratoire et perturbation de la régulation des sympathiques.
- crampe soudaine : au niveau des muscles du diaphragme
- névralgie intercostale : pouvant être d'origine nerveuse ou rhumatismale avec un blocage de type intervertébral mineur.
- origine digestive : il s'agit d'une distension gazeuse avec la présence peut-être d'une petite hernie hiatale ; la douleur est directement liée à un problème alimentaire ou digestif
- dysfonctionnement de la vésicule biliaire : il s'agit d'une douleur qui siège sous les fausses côtes à droite, pouvant être le reflet d'un dysfonctionnement hépato-pancréato-vésiculaire (43).

Plus généralement, le point de côté peut être d'origine mixte avec un dysfonctionnement d'adaptation cardio-respiratoire, provoquant une névralgie et une crampe musculaire.

La prévention consiste en une absence de repas dans les 3 heures précédant l'activité physique, un échauffement adapté et une augmentation graduelle d'intensité de l'effort afin de permettre l'adaptation cardio-respiratoire (43).

Le traitement consiste en un arrêt de l'effort, ou au moins un ralentissement de la cadence, une reprise de rythme de cycle respiratoire, sous forme d'inspirations lentes et profondes. Parfois une compression de la zone douloureuse avec la main ou l'ingestion de boissons peut également aider (43).

### ***3) L'hématurie d'effort***

Elle peut survenir après des courses longues comme le marathon auquel cas il faudra vérifier par des bandelettes s'il y a une hémoglobinurie ou une myoglobinurie associée. On distingue donc la "fausse" hématurie d'effort, c'est à dire une urine de couleur rouge due à l'hémoglobinurie ou la myoglobinurie, et l'hématurie d'effort vraie, due à la présence d'hématies dans l'urine (25).

Elle peut être due à la diminution de la perfusion rénale (déshydratation). Celle-ci provoque une diminution de la diurèse ainsi qu'une augmentation de l'acidité des urines contribuant à la précipitation d'acide urique sous forme de cristaux qui irritent les muqueuses urinaires (25).

L'hématurie d'effort est aussi causée par l'augmentation de la pression veineuse. Cela provoque ainsi une augmentation de la pression de filtration, d'où un passage des hématies.

En outre, l'agitation du contenu par le choc de la course provoque parfois des microtraumatismes au niveau de la paroi de la vessie.

Cette hématurie est transitoire et disparaît avec le repos (25).

## ***G) Pathologies musculaires***

Pour les pathologies musculaires, on va distinguer les pathologies avec lésions anatomiques, comprenant déchirures, claquages et elongations et celles sans lésions de type courbatures, contractures, crampes.

Les pathologies sans lésions anatomiques se traitent par du repos relatif, des massages et de la chaleur localement.

Les pathologies avec lésions anatomiques vont nécessiter une estimation de la gravité de l'atteinte. Suivant la présence de signes de gravité (craquement, intensité de douleur, impotence fonctionnelle, ...) deux protocoles peuvent s'appliquer :

- le protocole GREC en cas de signe de gravité (Glace, Repos, Élévation, Compression) déjà abordé concernant l'entorse.
- le protocole CREME en absence de signe de gravité (Chaleur, Repos, Étirement, Massage, Essai de reprise) (10).

Comme pour les entorses, la prise d'AINS par voie orale pour ces pathologies est actuellement controversée, mais la prise d'antalgiques de type paracétamol, de décontractants musculaires ou d'AINS par voie locale peut présenter un intérêt.

L'usage d'huiles essentielles peut être une approche intéressante à condition d'avoir les connaissances nécessaires afin de bien les utiliser. La plupart des huiles essentielles ne vont pas être utilisées pures mais diluées dans une huile végétale. De plus les huiles essentielles agissent davantage lorsqu'elles sont utilisées en synergie, on conseille donc d'utiliser des mélanges d'huiles essentielles. Il n'y a pas non plus qu'un seul mélange possible par pathologie, chaque professionnel de santé conseillera celui qui lui semble le plus judicieux. Dans le cadre des pathologies musculaires certaines huiles essentielles vont présenter un intérêt en massage notamment l'huile essentielle de gaulthérie et l'huile essentielle d'hélichryse italienne pour leurs propriétés anti-inflammatoires, l'huile essentielle de lavandin super qui est anesthésique et décontractante, l'huile essentielle de menthe poivrée pour une action antalgique et son effet froid (44).

Dans le cas des pathologies avec lésions anatomiques la rééducation va être cruciale car l'amyotrophie est immédiate à la mise au repos.

Afin de prévenir les pathologies musculaires, on conseillera donc au sujet de bien s'échauffer, d'éviter le surentraînement en respectant les périodes de repos, éventuellement d'utiliser un mélange d'huiles essentielles afin d'augmenter sa récupération ou de compléter son échauffement (pour cet usage on conseille le romarin camphré) (44) et de pratiquer des séances d'étirements doux ou du renforcement musculaire (le plus souvent via les conseils d'un kinésithérapeute) (10, 25).

### ***1) La déchirure (lésions anatomiques)***

C'est la déchirure de fibres ou d'un faisceau musculaire nécessitant un repos total au lit. Elle apparaît suite à une contraction violente et rapide ou à une agression externe sur le muscle contracté et nécessite l'arrêt immédiat de l'activité. L'impotence

fonctionnelle et l'hématome sont importants. Une contention rigide est nécessaire (cf protocole GREC). La guérison se fait de trois semaines à un mois (10).

## ***2) Le claquage (lésions anatomiques)***

La douleur va survenir en plein effort. Quelques myofibrilles ont été rompues et il apparaît un œdème ou un hématome. L'effort ne peut être poursuivi. Le claquage du mollet va être le plus fréquent chez le coureur. La cicatrisation est longue, de 10 à 21 jours, et nécessite un repos total (10).

## ***3) L'élongation (lésions anatomiques)***

L'élongation consiste en un étirement du muscle au-delà de son élasticité maximale. Cela va créer des microdéchirures. La douleur est vive et apparaît pendant l'effort, mais elle est peu invalidante et peut permettre au coureur de finir sa compétition. La guérison est obtenue en quelques jours de repos (5 à 10 jours) associés à de la glace, une contention adhésive et des étirements (10).

## ***4) La contracture (absence de lésions anatomiques)***

C'est une contraction involontaire, douloureuse et permanente avec l'impression d'une boule douloureuse dans le muscle qui peut se durcir de plus en plus si l'effort est poursuivi. Elle ne cède pas spontanément au repos et va parfois nécessiter des massages voir un repos de quelques jours (10).

## ***5) La courbature***

C'est une douleur musculaire plus ou moins intense qui survient un jour après l'effort. Elle peut persister plusieurs jours. On la rencontre surtout pendant les premières semaines de reprise d'un entraînement, après un effort inhabituel (10).



## ***6) La crampe***

C'est une pathologie bénigne et fréquente chez les coureurs. Elle se définit par une contraction involontaire, brutale, transitoire et douloureuse du muscle. Les causes d'apparition sont multiples et souvent combinées, on trouve surtout la déshydratation, l'accumulation d'acide lactique, les troubles circulatoires qui vont indirectement encourager l'accumulation d'acide lactique par une vascularisation musculaire transitoirement insuffisante (45).

Elle va survenir à l'effort ou après l'exercice, essentiellement la nuit. Les causes d'apparition vont être des erreurs alimentaires (mauvaise hydratation notamment) et les entraînements trop intenses et non progressifs qui vont induire une surproduction d'acide lactique.

Pour calmer une crampe, il faut étirer et masser le muscle (10, 45).

## ***H) Brûlures de frottement***

Très courantes chez le coureur de trail, les brûlures de frottement vont principalement être localisées sur deux régions :

- les mamelons, localisation majoritaire, par irritation de contact avec le maillot de course.
- les adducteurs, par frottement du short sur les cuisses (25).

Il est à noter que de par la nature du trail running et de son principe de semi-autonomie (voir totale), le coureur doit très souvent porter un sac à dos ou courir avec des bâtons ce qui se traduit par un risque de brûlures de frottement au niveau des aisselles (en cas de mauvais réglage) ou des ampoules aux mains pour les bâtons par exemple.

En terme de prévention, il est important de bien prendre le temps de régler son matériel et de "connaître" sa tenue (c'est à dire sa tolérance aux matières textiles de la tenue) pour limiter les risques de survenue de brûlures ou d'ampoules. On peut aussi appliquer un produit gras type vaseline ou même un pansement adhésif sur les mamelons par exemple. Le port de cuissard est aussi une option pour protéger la région des adducteurs (25).

Cette deuxième partie nous a permis de voir les principales pathologies qui peuvent toucher le coureur de trail running et comment prendre en charge, conseiller ou orienter ce dernier. Bien que certaines pathologies soient bénignes, d'autres peuvent devenir très invalidantes si mal prises en charge, et entraîner des conséquences pouvant aller de la récurrence, perte de performance, voir à terme créer une vraie fragilité chez le sujet.

Dans cette deuxième partie, nous avons aussi rappeler les règles de prévention d'un certain nombre de pathologies. Pour certaines d'entre elles, l'alimentation chez le sujet sportif joue un rôle central et on note l'importance du conseil du pharmacien d'officine à ce sujet.



***Troisième partie :***

***La nutrition chez le coureur de trail***

La nutrition se caractérise par le maintien d'une adéquation entre les besoins en nutriments et les apports alimentaires.

C'est un état d'équilibre délicat à obtenir qui comporte une composante quantitative, c'est à dire la couverture des dépenses énergétiques, et une composante qualitative, soit la couverture en macronutriments et en micronutriments.

## ***A) Besoins physiologiques chez l'adulte sain sédentaire***

### ***1) Le bilan énergétique***

Le bilan énergétique correspond à la somme des apports énergétiques auxquels on soustrait la dépense énergétique, l'objectif étant d'arriver à un état d'équilibre.

- La dépense énergétique

La dépense énergétique se définit par trois composantes : le métabolisme de base et la dépense énergétique de repos, l'activité physique et l'effet thermique des aliments. On aura également des dépenses énergétiques variables, de circonstance, pouvant correspondre au phénomène de croissance, aux phénomènes de cicatrisation, ou aux réactions de défenses immunitaires, entraînant une dépense énergétique plus ou moins conséquente (46).

Le métabolisme de base correspond à la dépense énergétique minimale pour le fonctionnement et l'entretien de l'organisme, dans des conditions très standardisées (à jeun, au repos, à température neutre). Le métabolisme de base est souvent confondu avec la dépense énergétique de repos. La dépense énergétique pendant le sommeil est inférieure d'environ 5 % par rapport au métabolisme de repos. Le métabolisme de base correspond à l'énergie nécessaire pour le fonctionnement des pompes ioniques, des turnovers de substrats, des cycles futiles et pour le maintien de la température. Le métabolisme de base représente environ 60 % de la dépense énergétique sur 24 h (46-47).

L'activité physique correspond à toute forme de dépense énergétique qui s'ajoute au métabolisme de base, à cause du mouvement. Ceci concerne tout aussi bien les activités de la vie quotidienne que les exercices physiques plus intenses, qu'ils soient sportifs ou non. Ce poste de dépense énergétique est le plus variable d'un individu à l'autre, et représente entre 15 % et 30 % de la dépense énergétique totale (46-47).

L'effet thermique des aliments est l'énergie nécessaire à la conversion de l'énergie chimique contenue dans les aliments en énergie utilisable par le corps humain, les aliments doivent être digérés, c'est-à-dire transformés en substances plus simples, puis être stockés par exemple au niveau du foie et du muscle sous forme de glycogène, ou au niveau du tissu adipeux sous forme de triglycérides. L'ensemble de ces processus coûte de l'énergie. Ce coût varie avec les voies biochimiques empruntées. On estime que ce coût représente environ 5 % à 10 % de la valeur calorique ingérée sous forme de glucides, 20 % à 30 % pour les protéines, et moins de 5 % pour les lipides. L'effet thermique des aliments ne représente qu'une faible portion (environ 10 %) de la dépense énergétique totale (46-47).

- Les apports énergétiques

On a donc différentes sources d'énergie qui vont être principalement les glucides, les lipides et les protéines. On les appelle macronutriments.

La teneur en énergie des aliments est calculée grâce à des coefficients de conversion : 4 kcal/g pour les glucides et les protéines, 9 kcal/g pour les lipides (48).

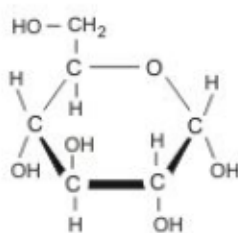
## 2) Les macronutriments

### a. Les glucides

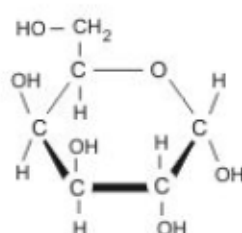
C'est une famille de molécules familièrement appelée "sucres"

3 principaux groupes de glucides sont représentés :

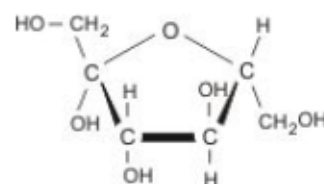
- les monosaccharides (le glucose, le fructose et le galactose) (49);



**Glucose**



**Galactose**



**Fructose**

Figure 17 : Exemples de monosaccharides les plus importants (q)

- les disaccharides, formés par l'union de deux monosaccharides (lactose, saccharose, maltose) (50);

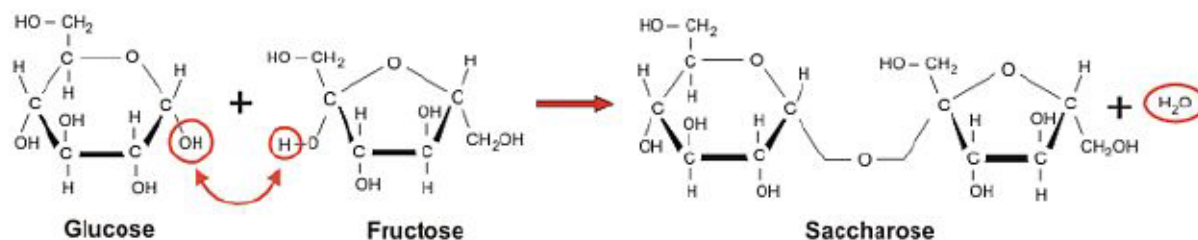


Figure 18 : Synthèse du saccharose (r)

- les polysaccharides, polymères de glucose ne possédant pas de pouvoir sucrant (l'amidon chez les végétaux, le glycogène chez les animaux).

La portion quotidienne moyenne d'un adulte sain doit être entre 250g et 350g (soit 50% minimum de l'apport énergétique total journalier), dont 50 à 60% est sous forme d'amidon, 30 à 40% sous forme de saccharose et le reste sous forme de lactose (50-51).

### Rôle des glucides

Les glucides ont un rôle purement énergétique. Sous forme de polymères, le glycogène forme une réserve énergétique qui sera hydrolysée afin de fournir du glucose. Ce glucose sera lui-même hydrolysé lors de la glycolyse afin de fournir de l'ATP (Adénosine Tri Phosphate) qui est un substrat énergétique pour l'organisme (51-52).

### Sources de glucides dans l'alimentation

Les glucides vont être présents dans la quasi-totalité de nos aliments ; néanmoins, ils vont être présents en quantité et qualité variable suivant l'aliment en question.

Les sources principales de glucides simples dans les aliments vont être les fruits, le lait, le miel et tout autre produit naturellement sucré.

Les sources de glucides complexes digestibles (amidon) vont être principalement les féculents, c'est-à-dire, les céréales, le pain, les légumineuses (haricots secs, pois, lentilles ...), ainsi que les pommes de terre et leurs dérivés. Les fibres alimentaires, glucides complexes non digestibles, proviennent, quasi intégralement, des produits d'origine végétale, fruits, légumes et produits céréaliers complets. Suivant leur source, les glucides vont avoir un impact plus ou moins rapide et plus ou moins important sur la glycémie. Cette propriété a été quantifiée et comparée à l'impact du

glucose sur une échelle de 1 à 100. Il s'agit de l'index glycémique qui est un bon outil en nutrition et qui sera développé en troisième partie (52).

## b. Les lipides

Les lipides constituent un groupe hétérogène de substances insolubles dans l'eau. La structure de base est l'acide gras, qui se compose d'une chaîne hydrocarbonée de longueur variable terminée par un radical acide ( -COOH ). La grande majorité des lipides alimentaires est sous forme de glycérides (esters de glycérol et d'acides gras), qui sont les principaux vecteurs des acides gras. Les autres lipides sont des molécules plus complexes : phospholipides, cholestérol et stérols végétaux, et sphingolipides.

Il est important d'établir des distinctions dans les différents types de lipides car certains types de lipides sont à privilégier par rapport à d'autres.

### Les acides gras mono-insaturés (AGMI) (53)

Les AGMI (qui ne comportent qu'une seule double liaison) ne sont pas des acides gras dits "essentiels" car notre organisme est capable de les produire à partir d'autres acides gras.

Leurs principales sources sont les huiles d'olive, d'arachide, de soja, ainsi que dans les noix (macadamia, cajou, pistache) et les viandes (poulet, boeuf, porc, agneau).

L'apport recommandé en AGMI est de 65% des apports des lipides totaux de notre alimentation. Ils ont un effet sur le LDL-cholestérol en l'abaissant et par extension de prévention de la formation des plaques d'athéromes impliquées dans les maladies cardiovasculaires.

### Les acides gras poly-insaturés (AGPI) (53)

Parmi les nombreux AGPI (comportant plusieurs doubles liaisons) différents, il existe deux familles d'acides polyinsaturés dits essentiels car non synthétisables par l'organisme. On les appelle la famille des oméga 6 et des oméga 3, qui se définissent chimiquement en fonction de la position du premier site d'insaturation (double liaison) par rapport à l'extrémité oméga de l'acide gras.

Par exemple, pour l'acide linoléique ci-dessous, la première double liaison de l'acide gras se situe entre le sixième et le septième atome de carbone de l'extrémité oméga, c'est donc un oméga 6.

Famille  $\omega$ 6 : le précurseur (essentiel) est l'acide linoléique :

C18 : 2  $\omega$ 6 :  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)}_4\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$



Les principales sources d'oméga 6 vont être les huiles de pépin de raisin, noix, soja et tournesol. Ce sont des huiles thermosensibles c'est à dire que pour préserver l'intégrité des nutriments apportés, il ne faut pas les chauffer ou seulement au four à basse température.

Famille  $\omega 3$  : le précurseur (essentiel) est l'acide linoléique :

C18 : 3  $\omega 3$  :  $\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-CH}_2\text{-CH=CH-(CH}_2\text{)}_7\text{-COOH}$

Les principales sources sont les huiles de lin et chanvre, mais surtout les huiles de poissons gras (sardine, saumon, maquereau).

L'apport recommandé en AGPI est de 15% minimum des apports lipidiques totaux. Les oméga 6 sont impliqués dans le bon fonctionnement du système immunitaire et dans la reproduction cellulaire ; tandis que les oméga 3 sont utiles au bon développement et fonctionnement du cerveau, de la rétine et du système nerveux. Ils auraient également un rôle préventif dans le développement des maladies cardiovasculaires.

Idéalement, le rapport de consommation oméga6/oméga3 devrait tendre vers 1/1 voire 4/1, mais en pratique dans le régime occidental, on retrouve souvent des rapports allant de 10/1 jusqu'à 30/1.

### Les acides gras saturés (AGS) (53)

D'un point de vue chimique, ce sont les acides gras qui ne présentent pas de double liaison dans leur chaîne carbonée.

On les retrouve principalement dans les graisses d'origine animale comme le beurre, la crème, le lard, mais aussi dans certaines huiles végétales tropicales comme l'huile de palme. Tous les produits dérivés de ces ingrédients vont donc naturellement en contenir (pâtisseries, fromage à plus de 40% de matières grasses, charcuterie...).

Les apports en AGS ne doivent pas dépasser 25% du total lipidique journalier car leur consommation excessive tend à augmenter le taux de LDL-cholestérol, ce qui favorise le dépôt de cholestérol dans les artères et la formation de plaques d'athérome.

### Les acides gras *trans* (54)

Les acides gras *trans* sont des acides gras insaturés, dont au moins une double liaison est en position *trans*, contrairement aux acides gras insaturés synthétisés par l'organisme dont les doubles liaisons sont en position *cis*.

On a différentes catégories d'acides gras *trans* :

- Certains acides gras *trans* sont dits naturels car ils sont produits dans l'estomac des ruminants (vaches, moutons) par les bactéries y résidant. Ces acides gras sont ensuite incorporés dans les graisses corporelles des animaux et dans leur lait. On les retrouve donc dans la viande, le lait et les produits laitiers.
- D'autres acides gras *trans* sont d'origine technologique car synthétisés *via* des procédés industriels comme l'hydrogénation des huiles végétales. Ils sont utilisés dans l'industrie agroalimentaire comme stabilisateurs et comme conservateurs.
- Les acides gras *trans* peuvent également se former lors du chauffage et de la cuisson des huiles végétales à haute température que ce soit au cours de procédés industriels de transformation ou lors de l'utilisation domestique de ces huiles.

On va donc retrouver principalement les acides gras *trans* dans les produits laitiers, dans la viande, mais aussi dans de nombreux produits alimentaires transformés (biscuits, viennoiseries, margarines, pizzas et plats cuisinés).

Les études épidémiologiques ont montré qu'un apport supérieur à 2% de l'apport énergétique total en acides gras *trans* est associé à une augmentation du risque cardiovasculaire. Cela passe par une augmentation du "mauvais" cholestérol (LDL) et une baisse du "bon" cholestérol (HDL).

C'est pourquoi l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire, Alimentation, Environnement, Travail (ANSES) a émis en 2005 une recommandation fixant l'apport maximal recommandé en acides gras *trans* à 2% de l'apport énergétique total (55).

### Le cholestérol (56)

Le cholestérol est présent dans tous les tissus mais est principalement concentré dans le système nerveux.

Son transport au travers de la circulation sanguine s'effectue via des protéines transporteurs plasmatiques appelées lipoprotéines.

Il existe deux principales catégories de lipoprotéines :

- Les LDL (*low density lipoproteins*) qui transportent le cholestérol du foie aux organes. Quand le cholestérol est en excès, il s'accumule sur les parois des vaisseaux sanguins et il favorise la survenue de maladies cardiovasculaires.
- Les HDL (*high density lipoproteins*) qui transportent le cholestérol en sens inverse et empêche la fixation de celui-ci dans les tissus et les parois des vaisseaux sanguins.

La source majoritaire du cholestérol est endogène, c'est à dire qu'il est produit par l'organisme, principalement au niveau du foie et de l'intestin. Le reste est apporté par l'alimentation.

Les sources de cholestérol alimentaire sont uniquement d'origine animale : abats, graisses animales, charcuteries, jaunes d'œufs, produits laitiers, ...

La production de cholestérol endogène va être régulée suivant les apports alimentaires grâce à une hormone, l'HMG-CoA (57).

Le cholestérol joue un rôle structural dans la composition de la couche lipidique des membranes plasmiques; mais il est également précurseur des hormones stéroïdes. Il est par ailleurs utilisé par l'organisme pour produire la vitamine D ainsi que la bile (58).

### Rôles des lipides

- Rôles liés au tissu adipeux : les lipides vont être stockés sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux où ils joueront un rôle de réserve énergétique, d'isolant thermique, ainsi qu'un rôle de sécrétion endocrine notamment impliqué dans l'insulino-résistance ou l'infertilité féminine dans le cas d'un excès de lipides par exemple.
- Rôle structural : les lipides, notamment par l'intermédiaire des différents phospholipides composés en grande partie d'acides gras polyinsaturés, ainsi que le cholestérol participent à la formation de la membrane de chaque cellule de l'organisme. A travers ce rôle de structure, les phospholipides et les glycolipides vont aussi participer à la transduction de nombreux messages.
- Rôle de précurseurs de molécules : les lipides vont servir de précurseurs à la formation d'hormones stéroïdiennes (cholestérol), de médiateurs de l'inflammation (les leucotriènes par exemple dérivant de l'acide arachidonique),...
- Rôle de transporteurs : les vitamines liposolubles, par exemple les vitamines A, D, E et K, ne peuvent être transportées dans le compartiment sanguin qu'avec l'aide des lipides (58).

### Sources des lipides

Les différentes sources des différentes catégories de lipides ont déjà été développées précédemment. On se contentera donc de rappeler les deux origines :

- Animale : beurre, crème, saindoux, viande, charcuterie, poisson, etc ;
- Végétale : huiles, fruits oléagineux (noix, noisettes, amandes, tournesol, etc).

Avec l'industrialisation de notre alimentation, il est important de préciser l'existence de graisses dites "cachées", c'est-à-dire déjà contenues dans les aliments que nous consommons (charcuterie, fromage) ; à l'inverse, les matières grasses dites "visibles"

sont celles que nous ajoutons dans notre alimentation quotidienne (beurre/huile de cuisson ou d'assaisonnement par exemple) (59).

Comme vu précédemment, des apports excessifs en lipides peuvent être néfastes pour la santé, notamment avec un impact sur la survenue de maladies cardiovasculaires. C'est pourquoi à l'heure actuelle on considère que la part recommandée des lipides dans l'apport énergétique total journalier est de 35 à 40 %. Cette fourchette permet d'assurer la couverture des besoins en acides gras essentiels et indispensables et prend en compte la prévention des pathologies (53).

Il est également important de s'intéresser à la qualité des acides gras apportés par l'alimentation car tous ne sont pas équivalents. Ainsi, des références nutritionnelles ont été proposées pour les acides gras indispensables (Acide Linoléique LA, Acide Alpha-Linolénique ALA, Acide DocosaHexaénoïque DHA), l'Acide Eicosapentaénoïque EPA, les trois acides gras saturés athérogènes en cas d'excès, et l'acide oléique. Une recommandation a également été faite pour l'ensemble des acides gras saturés, bien qu'ils n'aient pas tous les mêmes effets physiologiques (53)

Tableau 1 : Références nutritionnelles en acides gras pour l'adulte consommant 2000 kcal/jour (s)

AG indispensables	Acide linoléique	4 %
	Acide $\alpha$ -linoléique	1 %
	Acide docosahexaénoïque, DHA	250 mg
	Acide eicosapentaénoïque, EPA	250 mg
AG non indispensables	Acides laurique + myristique + palmitique	$\leq 8$ %
	Acides gras saturés totaux	$\leq 12$ %
	Acide oléique	15-20 %

### c. Les protéines

Les protéines sont composées d'acides aminés (leurs éléments constitutifs) qui sont liés les uns aux autres. Chaque protéine possède un nombre spécifique d'acides aminés organisés en séquence particulière.

Les acides aminés vont former l'unité de base constituant les protéines. L'organisme va utiliser 20 acides aminés pour constituer les protéines, ce sont les acides aminés dits « protéogènes ». Parmi ces 20 acides aminés, 11 peuvent être obtenus par synthèse endogène par le corps humain et les 9 autres sont dits essentiels car l'organisme est incapable de les synthétiser en quantité suffisante pour satisfaire ses besoins. Ces acides aminés (leucine, isoleucine, valine, thréonine, méthionine, phénylalanine, tryptophane, lysine, auxquels on ajoute l'histidine pour les enfants) doivent provenir d'un apport exogène et donc être apportés par l'alimentation (59).

#### Rôles des protéines (59)

- Rôle structural : les protéines participent au renouvellement et au développement de tous les tissus de l'organisme, le muscle mais aussi la matrice osseuse, les organes, les phanères,...
- Rôle de molécules actives : les protéines participent à de nombreux processus physiologiques, par exemple sous la forme d'enzymes digestives, d'hémoglobine, d'hormones, de récepteurs ou d'immunoglobulines (anticorps).
- Rôle énergétique : ce rôle est minoritaire et les protéines ne seront utilisées comme source d'énergie qu'en cas d'épuisement des glucides et des lipides. Elles permettent de récupérer 4 kcal par gramme de protéines, ce qui est moins rentable que les lipides.

#### Sources des protéines (59)

La qualité des sources alimentaires de protéines est presque exclusivement définie par leurs capacités à couvrir les besoins en protéines et en acides aminés indispensables. Les protéines animales vont provenir du lait, de l'œuf, des poissons

et de la viande tandis que les protéines végétales proviennent essentiellement des céréales et des légumineuses.

Les protéines animales sont relativement riches en acides aminés indispensables et vont être considérées comme plus qualitatives à ce titre que les protéines végétales. En ce qui concerne la digestibilité, elle est également légèrement plus élevée pour les protéines animales que pour les protéines végétales.

Ainsi on remarque que pour obtenir une alimentation équilibrée en acides aminés à partir de protéines végétales, il est nécessaire d'associer différents aliments végétaux : des graines de légumineuses (lentille, fèves, pois, etc.) avec des céréales (riz, blé, maïs, etc.) car leur teneur en acides aminés essentiels est trop inégale : les céréales n'apportent pas assez de lysine tandis que les légumineuses sont pauvres en méthionine par exemple.

L'apport journalier minimum actuellement recommandé est de 0.83g/kg/jour.

Il est difficile, compte tenu de l'insuffisance de données disponibles, de définir une limite supérieure de sécurité pour l'apport protéique. Dans l'état actuel des connaissances, des apports entre 0,83 g/kg/j et 2,2 g/kg/j de protéines (soit de 10 à 27 % de l'apport énergétique total quotidien) peuvent être considérés comme satisfaisants pour un individu adulte de moins de 60 ans. La limite supérieure de sécurité de 2.2 g/kg/j en apport protéique est assez haute car elle tient également compte des individus sportifs. Les recommandations pour un sujet plus âgé vont augmenter pour des apports entre 1 g/kg/j et 1.2g/kg/j pour les bords inférieurs (60).

### ***3) Les micronutriments***

#### **1. Les vitamines**

Il en existe 2 types.

##### **a. Les vitamines liposolubles**

Les vitamines liposolubles vont être solubles dans les graisses et l'organisme pourra donc les stocker sous forme de réserves. Ce groupe comprend les vitamines A, D, E et K (61).

- La vitamine A (ou rétinol)

La vitamine A est indispensable à la bonne vision, elle a aussi un impact pour la bonne croissance de l'organisme, ainsi que le maintien en bon état de la peau et des muqueuses. Enfin, elle présente un rôle important dans l'immunité contre les maladies infectieuses (61).

Ses sources alimentaires vont être les poissons gras et les huiles de poissons, le lait et le jaune d'œuf. On retrouve aussi la provitamine A, caroténoïdes pro-vitaminiques dont le bêta-carotène, dans de nombreux végétaux comme les carottes. Cette provitamine A sera transformé par le foie suivant les besoins de l'organisme (61).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) est de :

- pour un homme de plus de 18 ans : 750 µg ER/j (ER = Équivalent Rétinol)
- pour une femme de plus de 18 ans : 650 µg ER/j (62)

- La vitamine D (ou calciférol)

La vitamine D, dans l'alimentation est présente sous deux formes : la vitamine D2 (ergocalciférol), produite par les végétaux, et la vitamine D3 (cholécalfiérol), d'origine animale. Ces deux formes ont une activité biologique équivalente chez l'homme (60).

Chez l'homme, la vitamine D est synthétisée de façon endogène par les cellules profondes de l'épiderme sous l'action directe du rayonnement ultraviolet.

La vitamine D va devenir active après une conversion en 1,25-dihydroxyvitamine D. Elle aura alors un rôle dans la minéralisation des tissus minéralisés (os, cartilage et dents) pendant et après la croissance. Elle est aussi impliquée dans la régulation et l'absorption du calcium (59).

D'après les données issues de la base de données CIQUAL de l'ANSES (table de composition nutritionnelle des aliments), les principales sources alimentaires sont l'huile de foie de morue et les poissons gras. (63)

D'après l'enquête INCA2 (Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires 2) réalisée en 2006 et 2007, les principaux aliments contributeurs de vitamine D pour les adultes français sont les poissons (38,3 %), les œufs (9,9 %) et les fromages (8,2 %) (60). Il est à noter qu'une étude INCA3 a été réalisée en 2017, mais les données recueillies n'ont pas encore fait l'objet d'un rapport d'analyse de l'ANSES c'est pourquoi nous nous intéressons aux données de l'enquête INCA2.

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) pour les hommes et les femmes de plus de 18 ans est de 15 µg/j (62).

- La vitamine E (ou tocophérol)

C'est une vitamine anti-oxydante. Elle protège les tissus contre les dommages de l'oxydation en neutralisant les radicaux libres. Elle va fonctionner de pair avec les autres vitamines anti-oxydantes comme la vitamine C par exemple (59).

D'après les données CIQUAL, les principales sources alimentaires sont les huiles végétales et les fruits à coque (63).

D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine E pour les adultes français sont les huiles (26 %), la margarine (8,2 %), les légumes (6,8 %) et les fruits (5,8 %) (62).

L'Apport Satisfaisant (AS), qui correspond à l'apport nutritionnel conseillé retenu lorsque le RNP ne peut être estimé faute de données satisfaisantes, est de :

- Pour un homme de +18 ans : 10,5 mg/j
- Pour une femme de +18 ans : 9,9 mg/j (62)

- La vitamine K

La vitamine K joue un rôle essentiel dans la synthèse des facteurs de la coagulation sanguine.

On va la retrouver dans les légumes en particulier les choux, les épinards ou encore les différentes variétés de salade (61).

Les apports recommandés sont de 45 µg/j (64).

#### b. Les vitamines hydrosolubles

Elles sont solubles dans l'eau et éliminées dans les urines. Elles ne sont donc pas stockées dans l'organisme et leur excès est moins dangereux que les liposolubles.

On y retrouve toutes les vitamines du groupe B, ainsi que la vitamine C (61).

- La vitamine B1 (ou thiamine)

La vitamine B1 va être nécessaire à l'assimilation des glucides et au bon fonctionnement du système nerveux (61).

D'après les données du CIQUAL, les principales sources de thiamine sont la levure alimentaire, les produits céréaliers complets, la viande, particulièrement le porc, et les oléagineux (63).

D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine B1 pour les adultes français sont la charcuterie (11,4 %), les pains et produits de panification sèche tels que les biscottes (9,2 %), la viande (9,0 %), les légumes (7,6 %) (62).

L'AS pour un homme de plus de 18 ans est de 1,5 mg/j ;

L'AS pour une femme de plus de 18 ans est de 1,2 mg/j (62).

- La vitamine B2 (ou riboflavine)

La riboflavine a un rôle dans le métabolisme des macronutriments et donc dans leur conversion en énergie sous forme d'ATP (61).

D'après les données du CIQUAL, la riboflavine est principalement présente dans les abats, le lait et les produits laitiers (63).



D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine B2, chez les adultes français, sont le café (10,4 %), le lait (8,8 %), les produits ultra-frais laitiers (8,8 %), les fromages (8,4 %) et la viande (6,8 %) (62).

L'AS pour un homme de plus de 18 ans est de 1,8 mg/j ;

L'AS pour une femme de plus de 18 ans est de 1,5 mg/j (62).

- La vitamine B3 (ou PP ou niacin ou nicotinamide)

Cette vitamine est nécessaire au métabolisme du glucose, des acides aminés et acides gras, notamment comme cofacteur d'oxydo-réduction. Elle peut être synthétisée à partir du tryptophane (un des acides aminés essentiels).

D'après les données du CIQUAL, la niacine est présente dans la viande, en particulier la volaille, les abats, en particulier le foie, les charcuteries ainsi que les poissons et produits de la mer (63).

D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine B3 pour les adultes français, sont les produits carnés (volaille et gibier : 14,7 %, viande : 13,5 %, charcuterie : 8,9 %) puis le pain et les produits de panification sèche (7,2 %) et enfin les poissons (6,4 %).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) est de :

- Pour un homme de plus de 18 ans : 17,4 mg/j
- Pour une femme de plus de 18 ans : 14 mg/j (62).

- La vitamine B5 (acide pantothénique)

La vitamine B5 est elle aussi indispensable au métabolisme du glucose, des acides aminés et acides gras, notamment via son rôle structural dans le bon fonctionnement du coenzyme A (CoA).

D'après les données du CIQUAL, les sources principales sont le lait et les produits laitiers, les produits céréaliers complets, les légumes secs, les viandes et les légumes (63).

Selon l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs pour les adultes français, sont le café (10,4 %), le pain et les produits de panification sèche (7,0 %), la volaille et le gibier (6,3 %), le lait (6,0 %) et les ultra-frais laitiers (5,7 %) puis les légumes (5,7 %).

L'AS pour un homme de plus de 18 ans est de 5,8 mg/j ;

L'AS pour une femme de plus de 18 ans est de 4,7 mg/j (62).

- La vitamine B6 (ou pyridoxine)

Cette vitamine comporte six composés différents (pyridoxine, pyridoxal, pyridoxamine et leurs dérivés respectifs phosphatés). Chaque composé est impliqué dans des rôles distincts. Certains ont un rôle dans la synthèse de certains

neurotransmetteurs, d'autres sont des cofacteurs enzymatiques dans des réactions du métabolisme des acides aminés (62).

Les principales sources alimentaires, selon les données du CIQUAL, vont être la levure de bière, les germes de céréales, les herbes aromatiques comme la menthe et la sauge, l'ail et le poivre (63).

L'AS pour un homme de plus de 18 ans est de 1,8 mg/j ;

L'AS pour une femme de plus de 18 ans est de 1,5 mg/j (62)

- La vitamine B9 (ou folates) (62)

La forme métaboliquement active de la vitamine B9 est la forme totalement réduite des folates, appelée tétrahydrofolates ou THF. Les THF sont des donneurs de méthyle nécessaires au métabolisme des acides aminés et à la synthèse des acides nucléiques. Ces derniers sont nécessaires à la division cellulaire. Les folates sont donc essentiels dans le renouvellement de toutes les cellules, encore plus pour les tissus à croissance rapide.

D'après les données du CIQUAL, les principales sources alimentaires sont les légumineuses, les légumes à feuilles, les foies (agneau, veau, bœuf, canard). La levure de bière et le germe de blé sont les plus riches en vitamine B9 (63).

D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine B9 pour les adultes français, sont les légumes (20,1 %), les pains et produits de panification (10,4 %), les fruits (9,4 %), les fromages (5,9 %).

L'acide folique est plus stable que les folates et présente une meilleure biodisponibilité, qui peut atteindre 85 %, tandis que celle des folates naturels est de l'ordre de 50 %. Pour tenir compte de cette différence de biodisponibilité, la notion d'équivalents folates alimentaires (EFA) est utilisée. Ainsi, 1 µg d'EFA équivaut à 1 µg de folates alimentaires et à 0,6 µg d'acide folique.

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) pour hommes et femmes de plus de 18 ans est de 330 µg/j EFA.

- La vitamine B12 (ou cobalamine) (62)

La vitamine B12 est impliquée dans le renouvellement tissulaire au même titre que les folates.

Elle est exclusivement synthétisée par des bactéries et est présente dans les aliments d'origine animale, liée à des protéines. Les sources végétales alimentaires sont naturellement dépourvues de vitamine B12 biodisponible. Sa supplémentation est donc la seule réellement obligatoire dans le cas d'un sujet vegan (63).

D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine B12 pour les adultes français, sont les abats (20,1 %), la viande (15,9 %), les poissons (14,4 %), le fromage (7 %) et la volaille et gibier (5 %).

L'AS pour un individu de plus de 18 ans est de 4 µg/j.

- La vitamine C (ou acide ascorbique) (62)

La vitamine C est une vitamine anti-oxydante essentielle à la lutte contre la formation de radicaux libres; elle est aussi impliquée dans le renouvellement tissulaire, notamment dans les tissus conjonctifs en tant que coenzyme dans un certain nombre de réactions.

D'après les données du CIQUAL, les principales sources alimentaires sont les fruits (tels que le cassis et les agrumes) et les légumes (en particulier le persil et le poivron rouge) (63).

D'après l'enquête INCA2, les principaux aliments contributeurs de vitamine C pour les adultes français sont les fruits (26,8 %) et les légumes (22,1 %).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) pour hommes et femmes de plus de 18 ans est de 110 mg/j.

## 2. Les minéraux

On va distinguer les macroéléments et les oligo-éléments en fonction de la quantité de ces éléments minéraux présents dans l'organisme.

Les oligo-éléments sont présents dans le corps humain à un taux inférieur à 1 mg par kg de poids corporel. Certains oligo-éléments sont dits "essentiels" (cuivre, fer, fluor, iode, sélénium, zinc) car indispensables au bon fonctionnement de l'organisme, mais ne sont pas synthétisés par celui-ci et doivent donc être apportés par l'alimentation. Toute carence entraîne un trouble fonctionnel nécessitant une supplémentation à dose physiologique. Un apport excessif peut également être néfaste.

D'autres oligo-éléments sont considérés comme "non essentiels" (aluminium, argent, bismuth, or, manganèse, nickel, lithium, chrome...) car leur absence dans l'alimentation d'un individu n'entraîne pas de signes physiologiques de carence. En revanche, ils sont dotés de propriétés pharmacologiques indiscutables à dose pondérée.

### a. Les macro-éléments

- Le calcium (60)

Le calcium est un constituant majeur de l'os et le minéral le plus abondant de l'organisme (1 à 2 % du poids corporel). Il est impliqué dans le contrôle de la contraction musculaire, la transmission nerveuse, la fonction vasculaire et la coagulation. Il joue un rôle clé dans la minéralisation du squelette, ainsi que dans de nombreuses fonctions biologiques telles que la contraction musculaire, l'excitabilité neuromusculaire, la vasomotricité, la coagulation sanguine, la perméabilité membranaire, la libération d'hormones, l'activation d'enzymes ainsi que la signalisation cellulaire.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en calcium sont les produits laitiers, les légumineuses et fruits à coques, les produits céréaliers, certains légumes feuilles (choux, bettes, épinards, etc.), les fruits de mer et certaines eaux dures (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les plus gros contributeurs aux apports calciques de la population adulte française sont les produits laitiers (42,7 %), les eaux (10,3 %), les pains et produits de panification (5,5 %) ainsi que les légumes (5,2 %).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) est de :

- Pour un homme de plus de 18 ans : 1000 mg/j
- Pour une femme de plus de 18 ans : 950 mg/j.

- Le sodium (60)

Le sodium est impliqué dans les échanges entre compartiments intra- et extracellulaire, et dans la régulation du volume extracellulaire via la pression osmotique. Il est majoritairement présent sous forme de chlorure de sodium (NaCl). Le sodium est également essentiel au maintien des potentiels de membrane concernant la transmission nerveuse et la contraction musculaire.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en sodium sont le sel, les condiments et sauces ainsi que la charcuterie (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports en sodium de la population adulte française sont le pain et les produits de panification (26,1 %), la charcuterie (11,3 %), les condiments et sauces (8,6 %), les plats composés (8,3 %) ainsi que le fromage (6,9 %).

Il n'existe pas de RNP ou autre recommandation en apport concernant ce macro-élément, l'OMS a émis en 2012 un apport maximal journalier recommandé de 2400 mg/j, en se basant sur des études épidémiologiques dont les résultats sont aujourd'hui remis en question. Son apport en excès est généralement corrélé à la survenue de pathologies comme l'hypertension artérielle et le risque de maladies cardiovasculaires, cependant l'insuffisance des données sur ce sujet ne permet pas de confirmer un lien cliniquement pertinent et ce sujet est actuellement toujours débattu.

- Le phosphore (60)

Le phosphore est impliqué dans la mise en réserve et le transport de l'énergie, la régulation de l'équilibre acido-basique corporel, la signalisation cellulaire, la minéralisation osseuse et dentaire. C'est aussi un composant essentiel de la structure cellulaire.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en phosphore sont le lait, les produits ultra-frais laitiers et les fromages, les oléagineux ainsi que la viande et les abats (principalement le foie) (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports en phosphore de la population adulte française sont les fromages (10,6 %), la viande (9,3 %), le pain et les produits de panification (9,2 %), le lait et les produits ultra-frais laitiers (6 et 6,2 % respectivement), la volaille et le gibier (6,1 %).

L'AS pour un individu de plus de 18 ans est de 700 mg/j.

- Le chlore (62)(64)

Avec le sodium et le potassium, le chlore participe à la répartition de l'eau dans l'organisme, et contribue au maintien de la pression osmotique et de l'équilibre acido-basique.

Le chlore est naturellement présent en faible quantité dans la plupart des aliments (fruits, légumes, viandes, poissons, œufs...), sous forme de chlorure de sodium ou de potassium. Mais, les produits qui en fournissent le plus sont ceux qui sont salés, c'est-à-dire additionnés de chlorure de sodium : aliments en saumure, charcuteries, fromages, sauces, pains, ...

Ni l'Agence nationale de sécurité de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses), ni l'Autorité européenne de sécurité des aliments (Efsa) n'a déterminé de références nutritionnelles, les apports de références sont donc dérivés des apports fixés pour le sodium, étant donné que le chlorure de sodium ou sel de table est la principale source de chlore. En revanche, aux Etats-Unis, l'Institut de Médecine (US Institute of Medicine ou IOM) a fixé en 2004 des apports adéquats en chlorure qui sont pour un individu de plus de 18 ans à 2300 mg/j.

- Le potassium (62)

Le potassium est principalement impliqué dans le potentiel membranaire, tout comme le sodium. Le potassium joue également un rôle fondamental dans la transmission nerveuse, la contraction musculaire et la fonction cardiaque. Il est par ailleurs impliqué dans la sécrétion d'insuline et dans les métabolismes glucidique (en tant que cofacteur de la pyruvate kinase) et protéique. Enfin, il joue un rôle dans l'équilibre acido-basique comme tous les cations.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en potassium sont le café, le chocolat, les épices et les fruits et légumes (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports en potassium de la population adulte française sont les légumes (10,6 %), les fruits (9,1 %), les pommes de terre (8,2 %) et la viande (6,2 %).

En 2012, l'OMS a fixé une valeur de référence pour le potassium par rapport à la valeur maximale proposée pour le sodium afin de respecter un rapport molaire Na/K égal à 1. Le choix d'une référence nutritionnelle pour le potassium est donc conditionné par l'apport en sodium vu précédemment.

- Le soufre (62) (65)

Le soufre est présent dans toutes les cellules. Il intervient notamment dans la structure des protéines et la respiration cellulaire. Il entre également dans la composition d'acides aminés essentiels (méthionine, cystine, taurine), de certaines vitamines (thiamine ou vitamine B1, biotine ou vitamine B6) et du coenzyme A qui intervient dans de nombreux métabolismes. Le soufre est nécessaire à la constitution des os, des tendons et des articulations cartilagineuses (comme le chondroïtine sulfate par exemple). De plus, il participe à l'élimination des toxines et il est particulièrement utilisé pour ses propriétés détoxifiantes et dépuratives du foie. Par ailleurs, il aide à lutter contre les affections respiratoires (asthme, bronchites, laryngites chroniques, rhinopharyngites...) et possède des propriétés anti-allergiques. Enfin, le soufre a des vertus reconnues sur la santé de la peau, des ongles et des cheveux. Il est utilisé dans le traitement de l'eczéma, des urticaires, des démangeaisons et du psoriasis.

Les aliments les plus riches en soufre sont les fruits de mer, les poissons, les crustacés, les algues, les viandes, le jaune d'œuf, les lentilles, les haricots secs, les oignons, l'ail, les fruits oléagineux, la moutarde et le soja.

Il n'existe pas à l'heure actuelle d'apports conseillés pour le soufre, on considère que les apports conseillés en acides aminés soufrés couvrent les besoins de l'organisme.

- Le magnésium (62)

Le magnésium est impliqué dans de nombreuses voies métaboliques et fonctions physiologiques telles que la production d'énergie (glycolyse et ATP), la synthèse d'acides nucléiques et de protéines, la stabilité des membranes cellulaires, des protéines et des acides nucléiques, le transport ionique, la régulation de flux calciques, de nombreuses voies de signalisation cellulaire et la migration cellulaire. Il a une importance particulière dans la transmission de l'influx nerveux et dans la relaxation musculaire.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en magnésium sont les oléagineux, le chocolat, le café, les céréales complètes ainsi que les mollusques et crustacés (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports en magnésium de la population adulte française sont les produits laitiers (25,7 %), les poissons (9,9 %) et le pain et produits de panification (7 %).

L'AS pour un homme de plus de 18 ans est de 420 mg/j ;

L'AS pour une femme de plus de 18 ans est de 360 mg/j.

## b. Les oligo-éléments

- Le fer (62)

Le fer joue un rôle essentiel dans de nombreuses fonctions biologiques : respiration (constituant de l'hémoglobine qui est impliquée dans les échanges gazeux avec le milieu extérieur), fonction musculaire (constituant de la myoglobine, forme de réserve de l'oxygène du muscle). Il intervient également dans l'activité d'enzymes impliquées dans de nombreux métabolismes : activité mitochondriale (transport des électrons), défense anti-radicalaire (co-facteur de la catalase et de peroxydases), synthèse d'ADN.

La majeure partie du fer dans l'organisme provient du recyclage du fer érythrocytaire. Le fer alimentaire sert essentiellement à combler les pertes et à répondre à l'accroissement des besoins dans certaines situations physiologiques.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en fer sont les épices, le chocolat, les céréales de petit-déjeuner, les produits carnés et les légumineuses (63). D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports de fer de la population adulte française sont les viandes et charcuteries (14,9 %), le pain et produits de panification (9,7 %), les légumes (8,7 %) et les boissons alcoolisées (6,7 %).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) est de :

- Pour un homme de plus de 18 ans : 11 mg/j
- Pour une femme de plus de 18 ans : 11-16 mg/j (cet intervalle prend en compte la perte menstruelle plus ou moins importante suivant l'individu).

- Le cuivre (62)

Le cuivre intervient dans la qualité des cartilages et l'intégrité du tissu conjonctif, la minéralisation osseuse, la régulation de neurotransmetteurs, la fonction cardiaque, les mécanismes immunitaires et le métabolisme du fer.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en cuivre sont les abats, les crustacés et mollusques ainsi que les céréales (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les plus gros contributeurs aux apports cupriques de la population adulte française sont les pains et produits de panification

(14,1 %), les légumes (7,8 %), les abats (7,4 %), les fruits (6,1 %) et les pommes de terre (5,5 %).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) est de :

- Pour un homme de plus de 18 ans : 1,3 mg/j
- Pour une femme de plus de 18 ans : 1,0 mg/j.

- L'iode (62)

L'iode est indispensable à la synthèse des hormones thyroïdiennes (la tri-iodothyronine (T3) et la tétra-iodothyronine (T4) qui jouent un rôle fondamental dans les processus de croissance et de maturation cellulaire, dans la thermogénèse, l'homéostasie glucidique et lipidique ainsi que dans la modulation transcriptionnelle de la synthèse protéique. Le rôle de l'iode dans le développement cérébral du fœtus au cours des premiers mois de la grossesse est fondamental.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en iode sont les poissons, les mollusques et les crustacés ainsi que le lait (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports iodés de la population adulte française sont les produits laitiers (25,7 %), les poissons (9,9 %) et le pain et produits de panification (7 %).

L'AS pour un individu de plus de 18 ans est de 150 µg/j. Chez la femme enceinte ou allaitante, l'apport satisfaisant pour l'iode est de 200 µg/jour. Chez l'enfant, il est de 90 à 130 µg/jour selon la tranche d'âge considérée.

- Le zinc (62)

Le zinc (Zn) est un oligoélément essentiel qui intervient dans les différentes étapes de la synthèse protéique dont la formation du collagène notamment. Le zinc est également impliqué dans la stabilisation de la structure tertiaire de certaines hormones peptidiques comme l'insuline, dans le métabolisme des acides gras polyinsaturés et des prostaglandines ainsi que dans la transmission de l'influx nerveux. Le zinc est aussi un cofacteur de la superoxyde dismutase (SOD) qui est une enzyme anti-oxydante. Il a donc un rôle dans la lutte contre les radicaux libres.

Il participe à la croissance (celle des fœtus pendant la grossesse, puis celle des enfants et des adolescents), la multiplication cellulaire, la reproduction, la fertilité, les différentes étapes de cicatrisation et les troubles de l'immunité.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en zinc sont la viande, les abats, le fromage, les légumineuses ainsi que les poissons, les mollusques et les crustacés (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports en zinc de la population adulte française sont la viande (19,6 %), le fromage (11 %), le



pain et produit de panification (9 %), les plats composés (6,6 %) ainsi que la charcuterie (6 %).

La Référence Nutritionnelle pour la Population (RNP) est de :

- Pour un homme de plus de 18 ans : 9,4-14 mg/j
- Pour une femme de plus de 18 ans : 7,5-11,0 mg/j.

- Le sélénium (62)

Le sélénium va avoir un rôle dans le métabolisme des hormones thyroïdiennes et dans la lutte contre le stress oxydant, via son rôle constitutif dans la formation des sélénoprotéines.

D'après les données du CIQUAL, les aliments les plus riches en sélénium sont les poissons et crustacés, la viande, les œufs et oléagineux (63).

D'après les données de l'étude INCA2, les principaux contributeurs aux apports en sélénium de la population adulte française sont les volailles et gibier (12,3 %), les poissons (12 %), la viande (8,7 %) et le pain et produits de panification (8,3 %) et la charcuterie (6,5 %).

L'AS pour un individu de plus de 18 ans est de 70 µg/j.

- Le fluor (64)

Le fluor entre dans la structure des os et des dents, lié à du calcium et du phosphate sous forme de cristaux appelés fluoroapatites. Il contribue ainsi à la solidité du squelette et à la prévention des caries dentaires en renforçant l'émail.

L'essentiel du fluor est apporté par les eaux de boissons, qu'elles soient en bouteille ou du robinet. Le reste se trouve principalement dans les crustacés et les poissons, qui sont les aliments d'origine animale les plus riches en fluor.

Selon l'OMS, l'apport journalier conseillé en fluor est de 0,05 mg/kg/jour.

#### ***4) Les fibres***

Elles ont un rôle de régulation du transit intestinal, notamment pour éviter la survenue de constipation. De plus, elles jouent également un rôle de satiété : n'ayant aucune valeur calorique, elles augmentent le volume du bol alimentaire et en association avec les glucides lents (pains complet ou pâtes complètes), elles réduisent la sensation de faim. Enfin, les fibres alimentaires ont un rôle de prébiotique pour le microbiote intestinal, ce qui aurait un effet bénéfique notamment dans le syndrome du côlon irritable (62).

Les produits céréaliers (orge, avoine, blé, seigle), les fruits frais et secs, les légumes et légumes secs représentent les sources essentielles de fibres.

Les produits céréaliers ont l'avantage de contenir des fibres très diversifiées, notamment en fibres solubles et insolubles. Leur teneur en fibres va également varier selon la cuisson des céréales ou le raffinage industriel (farine de blé par exemple) (67).

Les apports quotidiens recommandés pour un bon transit intestinal sont de l'ordre de 30 à 45 g de fibres par jour, dont une majorité issue des céréales (68).

### 5) L'eau (68)

L'eau constitue 40 à 70% de la masse corporelle d'un individu (selon son âge, sexe, composition corporelle). Elle représente 50% de la masse grasseuse et entre 65 et 75% de la masse musculaire. La quantité totale d'eau dans l'organisme dépend donc bien de la composition corporelle.

On distingue deux compartiments liquidiens dans l'organisme : le compartiment intracellulaire (eau à l'intérieur des cellules) et le compartiment extracellulaire, composé du plasma, de la lymphe, les sécrétions de différentes muqueuses, le liquide céphalo-rachidien (LCR). Ci-dessous la figure 19 nous permet de détailler les pourcentages et volume moyen associés à chacun des compartiments.

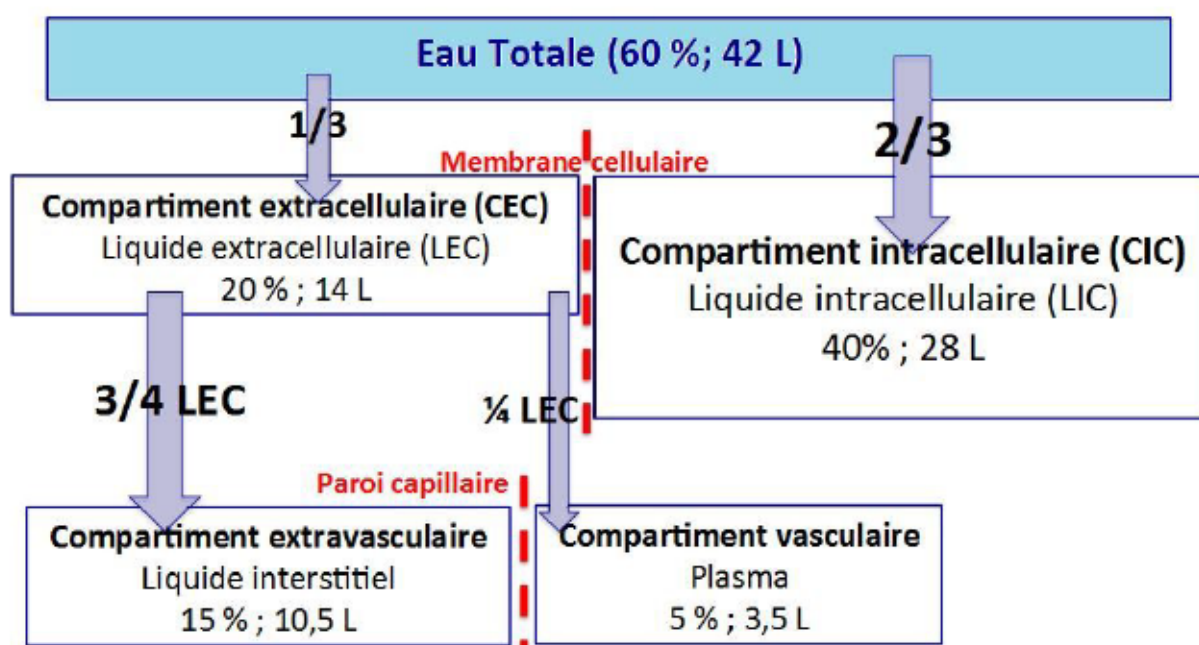


Figure 19 : Schéma de répartition de l'eau dans l'organisme (t)

L'eau est un nutriment essentiel et omniprésent. Elle sert de vecteur de transport pour les différents gaz et nutriments, de milieu réactionnel, de moyen de protection des organes. L'eau a aussi un rôle structural de par son caractère incompressible et un rôle de protection thermique grâce à sa température de vaporisation élevée.

Bien que la quantité d'eau présente dans l'organisme reste globalement stable au cours de la journée, l'eau dans l'organisme est en constant renouvellement au travers de l'équilibre entre les apports et les pertes. Cet état d'équilibre s'exprime au travers du bilan hydrique.

### 1. Les entrées d'eau

Les apports d'eau vont avoir trois origines : l'eau des boissons, l'eau contenue dans les aliments (surtout les fruits et légumes), et l'eau métabolique (c'est à dire formée au cours du catabolisme énergétique).

### 2. Les pertes d'eau (69)

Les pertes hydriques vont elles aussi avoir trois origines :

- Les pertes urinaires (entre 1 L et 2 L/jour) ;
- Les pertes d'eau par évaporation via les poumons (250 mL/j à 350 mL/j en conditions normales chez un adulte sédentaire) ou via la peau où 2 phénomènes coexistent : ce qu'on appelle la perspiration insensible, c'est la filtration permanente à travers la peau, elle représente 450 mL/jour ; et la sueur, produite par les glandes sudoripares, elle représente entre 500 et 700 mL par jour en conditions normales.
- Les pertes hydriques fécales qui sont faibles, de l'ordre de 100 mL/j à 200 mL/j.

### 3. L'apport satisfaisant (69)

En 2010, l'Efsa (l'Autorité Européenne de Sécurité Sanitaire des Aliments) a défini un apport satisfaisant en eau pour les hommes et femmes adultes ayant un mode de vie modérément actif et vivant dans un milieu tempéré. Cet apport satisfaisant concerne toutes les sources d'eau et est de 2 L/j pour les femmes et de 2,5 L/j pour les hommes.

## ***B) Modifications des apports et conseils nutritionnels chez le coureur de trail au quotidien***

Nous avons vu les apports nutritionnels recommandés pour un adulte sédentaire sain.

Nous allons désormais nous intéresser à la nutrition optimale pour un coureur de trail. La pratique de cette discipline implique des efforts d'endurance sur de longues périodes, ainsi il est important d'équilibrer les apports au quotidien pour :

- optimiser son rapport masse musculaire/masse grasseuse afin de réduire les traumatismes induits par la course longue distance, notamment au niveau articulaire;
- constituer des réserves d'énergie afin de pouvoir maintenir l'apport énergétique demandé par la discipline sur la durée;
- conserver une alimentation variée et équilibrée afin de prévenir les survenues de carences.

Il est important de préciser que concernant les apports recommandés pour les sportifs il n'existe pas de valeurs admises et reconnues de manière universelle. Nous travaillerons donc avec des sources officielles, mais les recommandations vont parfois varier selon les pays.

Par exemple pour ce qui est des apports énergétiques (macro-nutriments) on trouve différentes recommandations (*cf tableau 2*).

*Tableau 2 : Recommandations des apports énergétiques pour l'endurance (1)*

Référence	Protéines	Glucides	Lipides	Energie
Swiss Forum of Sport Nutrition	1,5-1,9 g/kg	6-10 g/kg (1-3h/jour, intensité modérée à haute)	1,4-1,8 g/kg	/
American College of Sports Medicine 2013	1,2-1,7 g/kg	6-10 g/kg (idem)	20-35% AET	/
International Olympic Committee 2013	1,3-1,8 g/kg	6-10 g/kg (idem)	>15-20% AET	30-45 kcal/kg poids sec
International Society of Sport Nutrition 2013	1,0-1,5 g/kg (entraînement modéré)	5-8 g/kg (2-3h/, intensité modérée à haute)	30%-50%	50-80 kcal/kg

## 1) Les macro-nutriments

### 1. Les glucides

Pour un sportif d'endurance, la consommation de glucides est primordiale car c'est le principal et premier carburant énergétique consommé par l'organisme lors de l'activité physique. On a donc une composante quantitative dans l'apport glucidique chez le coureur de trail.

Dans l'alimentation courante, les glucides ne possèdent pas tous les mêmes propriétés physiologiques et c'est pourquoi des outils comme l'index glycémique ont été mis en place. C'est la composante qualitative de l'apport glucidique chez le coureur de trail.

- La composante quantitative (68)

Le coureur de trail doit consommer régulièrement des aliments riches en glucides mais l'apport doit être nuancé par l'intensité du programme d'entraînement auquel il se soumet, et les objectifs que le sportif veut atteindre (par exemple pour la perte de poids on va augmenter la consommation de glucides et réduire les lipides).

L'académie de nutrition et diététique américaine, les diététiciens du Canada et la société américaine de médecine du sport ont déterminé le « position paper » afin de préciser les apports glucidiques recommandés (cf tableau 3)

Ces recommandations tiennent compte de la nécessité d'adapter l'apport quotidien moyen à l'intensité de l'entraînement, des objectifs précis à l'approche d'une compétition, ainsi que de l'apport pendant un effort de longue durée.

Tableau 3 : Tableau des recommandations de l'Academy of Nutrition and Dietetics (v)

Intensité de l'entraînement	Glucides
Léger	3 à 5g/kg/jour
Modéré (environ 1h/jour)	5 à 7g/kg/jour
Elevé (environ 1 à 3h/jour)	6 à 10g/kg/jour
Très élevé (environ 4 à 5h/jour)	8 à 12g/kg/jour

- L'index glycémique (IG)

L'index glycémique permet de définir le pouvoir hyperglycémiant d'un aliment et donc de comparer des aliments glucidiques sur la base de ce critère.

L'index glycémique d'un glucide va être influencé par différents facteurs :

- les facteurs intrinsèques à l'aliment glucidique

Lorsque les sucres et l'amidon sont présents dans un aliment, leur environnement peut influencer considérablement la biodisponibilité du glucide. C'est le cas par exemple des pâtes alimentaires qui ont un faible index glycémique à cause du réseau protéique constitué par le gluten de blé dur qui forme une véritable barrière pour les enzymes digestives susceptibles de dégrader l'amidon. Le même type de

barrière est retrouvé dans les grains de céréales non broyés et surtout les légumes secs dont les parois végétales sont suffisamment épaisses pour résister à la cuisson et à l'action de l'acidité et des enzymes gastriques. Le contenu en lipides, protéines et fibres influencent donc la biodisponibilité des glucides dans l'aliment (69).

Le vieillissement d'un aliment va aussi être un facteur, en général augmentant l'IG de l'aliment. On peut par exemple prendre l'exemple des bananes plus ou moins mûres ou des pommes de terre vieilles ou nouvelles.

Enfin, la cuisson des aliments va avoir une influence sur l'IG, plus l'aliment est cuit plus son IG va augmenter.

- les facteurs extrinsèques

Lorsque l'aliment glucidique est pris seul, les éléments de variation sont limités et peuvent dépendre de la qualité de la mastication, de la vitesse d'ingestion et éventuellement de la température des aliments qui peuvent modifier faiblement la vidange gastrique.

Cependant lors d'un repas, la réponse glycémique est dépendante de la vidange gastrique, de la sécrétion insulinaire et de la sensibilité à l'insuline. L'ensemble des facteurs influençant ces paramètres entraînent une modification dans l'index glycémique mesuré. Ces paramètres sont globalement plus liés à l'individu qu'à l'aliment (69).

L'indice glycémique a contribué à introduire le concept de sucres dits rapides et sucres dits lents. L'indice glycémique se calcule en considérant la courbe glycémique dans les 2 heures qui suivent l'ingestion de l'aliment et en réalisant son intégrale sous la courbe. L'indice glycémique d'un aliment est donné par rapport à une valeur de référence :  $IG = 100$ , que l'on a attribué au glucose. Le glucose a donc l'IG le plus élevé. Concrètement, l'IG représente le pouvoir hyperglycémiant d'un aliment en fonction de sa rapidité d'absorption. Plus le chiffre d'un aliment donné est faible plus le sucre sera considéré comme lent.

Tableau 4 : Tableau d'indice glycémique des aliments (w)

## Indices glycémiques des aliments

Indices glycémiques faibles (< 39)	Indices glycémiques moyens (40 à 59)	Indices glycémiques élevés (>60)			
Abricots (fruit frais)	30	Abricot (boîte, au sirop)	55	Ananas (boîte)	65
Abricots sec	35	Airelle rouge, canneberge	45	Baguette	70
Ail	30	Ananas (fruit frais)	45	Bananes (mûre)	60
Fruits oléagineux: amandes, cacahuètes, arachides, noisettes, noix, noix de cajou, pistaches	15	Avoine	40	Barres chocolatées (sucrées)	70
Fruits rouges frais sans sucre: airelle, myrtille, fraise, framboise, groseille, mûre	25	Banane (verte)	45	Betterave (cuite)	65
Artichaut	20	Banane plantain (cru)	45	Bière	110
Asperge	15	Barre énergétique de céréale (sans sucre)	50	Biscottes	70
Aubergine	20	Beurre de cacahuète (sans sucre ajouté)	40	Biscuit	70
Avocat	10	Biscuits (farine complète; sans sucre)	50	Bouillie de farine	70
Betterave (cru)	30	Biscuits sablés (farine, beurre, sucre)	55	Brioche	70
Brocoli	15	Blé (farine intégrale)	45	Carottes (cuites)	85
Nectarines (blancs ou jaunes; fruit frais)	35	Blé (type Eblly)	45	Céleri rave (cuit)	85
Cacao en poudre (sans sucre)	20	Boulgour, bulgur (blé, cuit)	55	Céréales raffinées sucrées	70
Carottes (cru)	30	Céréales complètes (sans sucre)	45	Châtaigne, marron	60
Cassoulet	35	Chayotte, christophine (purée de)	50	Chips	70
Céleri branches	15	Cidre brut	40	Confiture et marmelade (sucrée)	65
Céleri rave (cru, rémoulade)	35	Couscous intégral, semoule intégrale	45	Corn Flakes, flocons de maïs	85
Céréales germées (germes de blé, de soja...)	15	Couscous/semoule complète	50	Courges (diverses)	75
Cerises	25	Epeautre (farine intégrale ancienne)	45	Crème glacée classique (sucrée)	60
Champignon	15	Epeautre (pain intégral)	45	Croissant	70
Chocolat noir (>70% de cacao)	25	Farine de kamut (intégrale)	45	Dattes	70
Chocolat noir (>85% de cacao)	20	Farine de quinoa	40	Doughnuts	75
Choux, choucroute, chou-fleur, choux de bruxelle	15	Fèves (cru)	40	Farine complète	60
Cœur de palmier	20	Figues sèches	40	Farine de blé blanche	85
Concombre	15	Flocons d'avoine (non cuite)	40	Farine de maïs	70
Confiture ou marmelade (sans sucre)	30	Gelée de coing (sans sucre)	40	Farine de riz	95
Cornichon	15	Haricots rouges (boîte)	40	Fécule de pomme de terre (amidon)	95
Courgettes	15	Jus d'ananas (sans sucre)	50	Fève (cuites)	80
Crustacés (homard, crabe, langouste)	5	Jus d'orange (sans sucre et pressé)	45	Gaufre au sucre	75
Echalote	15	Jus d'airelle rouge/ canneberge (sans sucre)	50	Gelée de coing (sucrée)	65
Endives	15	Jus de carottes (sans sucre)	40	Glucose	100
Epices (poivre, persil, basilic, origan, carvi, cannelle,	5	Jus de mangue (sans sucre)	55	Gnocchi	70
Epinards	15	Jus de pomme (sans sucre)	50	Lasagnes	75
Figue, figue de barbarie (fraîche)	35	Jus de raisin (sans sucre)	55	Maïzena (amidon de maïs)	85
Flageolets	25	Kaki	50	Mayonnaise (industrielle, sucrée)	60
Fromage blanc sans sucre	30	Ketchup	55	Melon	60
Fructose	20	Kiwi	50	Miel	60

Les glucides à IG bas, IG moyens et IG hauts ont tous leur place dans l'alimentation du coureur de trail.

Les IG bas vont fournir les sucres de réserve et vont être consommés au quotidien dans la période de préparation, encore plus quelques jours avant la course, afin de stocker du glycogène hépatique et musculaire et fournir l'énergie nécessaire lors de l'effort prolongé, ainsi qu'en récupération afin de reconstituer les réserves épuisées.



Les aliments à IG haut vont aussi être utile durant l'effort afin de maintenir une glycémie haute et éviter d'épuiser le glycogène musculaire trop rapidement.

## 2. Les lipides

Tout comme pour les glucides, on va devoir distinguer les apports lipidiques d'un point de vue quantitatif et d'un point de vue qualitatif.

- Apports lipidiques quantitatifs : (72-73)

En ce qui concerne l'apport lipidique chez le sportif, il n'y a pas de consensus mondial sur la quantité d'apports. Cependant, de manière générale, la consommation de glucides est souvent favorisée, et donc la part de l'apport énergétique total (AET) journalier des lipides va être globalement diminuée. Pour l'Académie de Nutrition et Diététique aux Etats-Unis et au Canada, les recommandations d'apports lipidiques chez le sportif vont être entre 20% et 35% de l'AET journalier.

Les coureurs de trail sont très souvent en recherche de régimes particuliers afin d'optimiser leurs performances et de maintenir leur poids de forme. Dans cette optique, on rencontre parfois des coureurs qui expérimentent des régimes hypolipidiques (fréquents) ou hyperlipidiques (plus rares). Dans le cas du régime hypolipidique, la restriction trop importante en lipides implique une restriction de la consommation de corps gras. Ces matières grasses sont des sources importantes de vitamine A (beurre) ou E (huile), d'oméga 3, d'oméga 6; et leur restriction va conduire à des déficits qui vont diminuer les performances sportives c'est pourquoi on a cette limite basse fixée à 20% de l'AET journalier. Ce régime n'est donc pas recommandé pour le coureur de trail.

Les régimes hyperlipidiques ou régimes "cétogènes" n'ont actuellement pas d'allégation justifiée de manière scientifique mais repose sur un principe simple : ayant un rendement énergétique et un mécanisme de stockage plus performants que les glucides, le sportif va privilégier les lipides dans son alimentation quotidienne (jusqu'à 80% de son AET journalier) afin d'entraîner les voies métaboliques impliquées dans l'oxydation des lipides. Cela passe par une augmentation de la lipolyse dans les adipocytes, une amélioration du transport des acides gras libres au sein du muscle et à travers la membrane musculaire, et une augmentation du nombre de mitochondries dans les cellules musculaires. Ainsi le jour de la compétition, l'organisme va plus rapidement consommer les graisses et devrait épargner le glycogène musculaire, ceci étant censé retarder l'apparition de fatigue. Cependant, il n'existe pour le moment aucune étude scientifique reconnue prouvant

une réelle amélioration, ils ne sont donc pas à recommander non plus pour le coureur de trail (68).

- Apports lipidiques qualitatifs : (72-73)

L'apport lipidique ayant tendance à être réduit chez les athlètes de manière générale, il est important de rappeler leurs rôles essentiels :

- pour les omégas 3 : ils sont impliqués dans la vision et dans la diminution de l'insulino-résistance. Ils ont aussi un effet hypotriglycéridémiant et sont impliqués dans les mécanismes d'adaptation de la réponse inflammatoire. Ce dernier rôle est très important pour le sportif, la modulation de la réponse inflammatoire va permettre de limiter le risque de survenue de blessures.
- pour les omégas 6 : ils jouent un rôle dans la reproduction, la cicatrisation, l'immunité et l'inflammation.

Globalement les omégas 6 sont généralement apportés en quantité suffisante dans un régime alimentaire occidental dit classique, mais c'est au niveau des omégas 3 qu'on retrouve un manque quasi systématique par rapport aux recommandations. Un apport trop faible en omégas 3 et 6 va contribuer à la survenue de symptômes inflammatoires, diminuer la fécondité et la synthèse de testostérone, favoriser des carences en vitamine D ce qui à terme fragilise les os,...

Qualitativement, c'est au niveau des acides gras saturés et des acides gras *trans* que le coureur de trail devra opérer une diminution des apports, car ces lipides n'ont que peu d'intérêt nutritionnel autre que leur rôle de substrat énergétique.

En résumé, les recommandations pour le coureur de trail vont être de diminuer l'apport lipidique (jusqu'à une limite minimale de 20% de l'AET journalier) en évitant à tout prix l'exclusion totale. Parallèlement et quelque soit le régime choisi par le sportif, le pharmacien d'officine va conseiller de rééquilibrer l'apport qualitatif en lipides afin de favoriser l'apport en omégas 3, contenus dans les huiles de lin ou de colza, et surtout les poissons gras; tout en limitant l'apport en acides gras *trans* ou saturés, souvent issus de produits préparés industriels, viennoiseries et autres produits contenant de l'huile de palme.

### 3. Les protéines

- Apport en protéines chez le coureur de trail d'un point de vue quantitatif (74)

D'un point de vue quantitatif, l'épuisement des réserves en glycogène et la diminution des réserves lipidiques impliquent qu'en cas de course longue distance l'organisme va être susceptible d'utiliser les protéines comme source énergétique. Ceci est à éviter absolument car les protéines ont un rôle crucial dans le renouvellement des tissus, notamment au niveau musculaire.

Ici les apports protéiques n'auront pas pour but de développer la masse musculaire, le coureur de trail voulant travailler à son "poids de forme", mais un régime hypoprotidique aurait pour conséquence d'augmenter le risque de survenue de blessures musculaires et provoquer de manière générale une perte de performance.

Pour le coureur de trail, on ne recommande donc ni les régimes hypoprotidiques ni les régimes hyperprotidiques.

L'Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP) recommande, à ce jour et suivant l'intensité d'entraînement du coureur, un apport protéique situé entre 1,1 et 1,6 g/kg/jour chez le sportif d'endurance (75).

Nous sommes donc sur un apport légèrement majoré par rapport au 0,83 g/kg/jour recommandé par l'ANSES pour un adulte sédentaire sain. L'apport supplémentaire serait le plus utile dans les phases de récupération après l'effort afin d'aider à la reconstruction tissulaire des muscles.

- Apport en protéines chez le coureur de trail d'un point de vue qualitatif :

D'un point de vue qualitatif, on va favoriser les aliments riches en acides aminés essentiels (AAE) que sont l'isoleucine, la leucine, la valine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, et le tryptophane. Ces acides aminés doivent représenter approximativement 40% de l'ensemble des acides aminés (76).

Parmi ces AAE, on va distinguer les acides aminés ramifiés (AAR ou encore appelés BCAA). Ce sont la leucine, l'isoleucine et la valine. Ces acides aminés sont les seuls acides aminés à pouvoir être directement dégradés au sein du muscle, ce qui les rend très précieux pour le coureur de trail car lors d'effort de longue durée les réserves glucidiques et lipidiques vont être progressivement consommées et l'organisme va finir par puiser dans les réserves de protéines. Cela est encore plus vrai lors d'une mauvaise alimentation en cours d'effort. L'intérêt d'une supplémentation en BCAA sera abordé ultérieurement dans notre propos (77).

La composition en acides aminés des protéines est un critère de qualité reconnu, mais leur biodisponibilité postprandiale constitue aussi un facteur essentiel à leur efficacité biologique. C'est pourquoi la composition d'une protéine alimentaire doit être corrigée par sa digestibilité, ce qui permet de déterminer sa « valeur biologique ». D'une manière générale, les protéines d'origine animale (riches en acides aminés essentiels et plus digestibles) ont une valeur biologique supérieure aux protéines végétales, même si cette notion mérite maintenant d'être considérée avec plus de prudence (76).

Globalement, les protéines d'origine animale (lait, produits laitiers, œuf, viande, poisson...) ont un panel en AAE riche et sont très digestes. Ce sont des protéines complètes, à contrario des protéines végétales (légumineuses, les fruits et graines, algues, céréales) qui sont plutôt déficientes en acides aminés soufrés et en lysine. Les protéines de pois, soja, le quinoa ou encore certaines algues comme la spiruline sortent de ce dernier lot car possédant un profil complet et intéressant pour l'athlète. Ainsi, pour couvrir les besoins quotidiens, il est nécessaire d'associer intelligemment différentes sources de protéines végétales de manière à apporter au cours de la journée l'ensemble des AAE.

Il convient d'aborder la question des régimes végétariens et vegans. On constate donc bien ci-dessus que l'apport protéique recommandé est tout à fait possible, cependant le coureur de trail devra tenir compte de la faiblesse spécifique de chaque aliment en certains AAE et adapter son régime veillant à associer plusieurs sources de protéines végétales. Par exemple les céréales sont faibles en lysine, on les associe donc aux légumineuses faibles en AA soufrés, mais riches en lysine(78).

## ***2) Les micronutriments***

### **1. Les vitamines (79)**

Concernant les vitamines liposolubles, malgré les idées reçues dans l'opinion publique, il ne semble pas y avoir de corrélation entre des apports supplémentaires et l'augmentation des performances, ou même avec une diminution des risques de blessures chez l'adulte. Une alimentation équilibrée et suivant les recommandations semble suffire à prévenir tout risque de survenue d'hypovitaminose.

Pour les vitamines hydrosolubles, les vitamines du groupe B, bien qu'étant impliquées dans le métabolisme énergétique de par leur rôle de cofacteurs enzymatiques, semblent elles aussi être apportées en quantité suffisante chez le

coureur de trail suivant une alimentation équilibrée telle que décrite dans le PNNS (Programme National Nutrition Santé).

En résumé, rien ne permet de penser que les apports en vitamines hydrosolubles du sportif nécessitent une surveillance particulière et attentive, ou une supplémentation pour couvrir les besoins. D'une manière générale, les vitamines sont retrouvées en abondance dans les légumes et les fruits frais, mais aussi dans de nombreuses céréales. En l'absence de déséquilibre majeur de la balance énergétique, les besoins en vitamines hydrosolubles du groupe B sont largement couverts par une alimentation équilibrée et variée.

## 2. Les minéraux

Chez le sportif entraîné, la perte physiologique en minéraux ne pose pas de problèmes particuliers et est compensée par une alimentation équilibrée basée sur le PNNS. Lors de l'effort on va constater des pertes plus importantes via la sueur et les urines, notamment au niveau du sodium et du magnésium. Ces pertes vont devoir être compensées par des boissons particulières, les boissons d'attente, d'effort et de récupération, qui seront détaillées lorsque nous aborderons le programme nutritionnel mis en place en vue d'une compétition.

### 3) *L'eau* (80)

Au quotidien, les apports hydriques ne diffèrent pas entre l'adulte sédentaire sain et le coureur de trail. Par contre, l'hydratation en vue d'un effort, au cours de celui-ci et après cet effort va être un facteur primordial et être directement corrélée à la performance et au risque de blessures.

Au cours de l'effort, les pertes hydriques via la sueur vont augmenter très fortement, jusqu'à 2,5 litres/heure, les pertes hydriques par voie respiratoire augmentent également, ceci étant dû à l'hyperventilation physiologique à l'effort.

La sensation de soif apparaît dès la perte d'1% du poids corporel, c'est un indicateur physiologique qui arrive trop tardivement pour le coureur de trail car à ce niveau de déshydratation on constate déjà une baisse de performance (diminution de la force musculaire, survenue de crampes, augmentation de la sensation de fatigue, de douleurs musculaires,...).

La sensation de soif arrivant trop tard implique que le coureur de trail doit être lui-même sensibilisé. Il doit savoir gérer son hydratation en cours d'effort sans attendre la sensation de soif. On recommande 400 à 600 mL d'eau, ou boisson d'effort, par heure d'activité. Cet intervalle est relativement large car il va être variable en fonction du poids du coureur, et de la course (température, altitude, ensoleillement). Ce volume de boisson va être à fractionner sur l'heure afin de limiter la survenue de troubles digestifs.

Nous avons ainsi abordé les différences nutritionnelles entre les apports recommandés pour un adulte sédentaire et ceux pour un coureur de trail dans la vie quotidienne, ce qui correspond pour un traileur à la période intersaison et la période de pré-saison. Nous allons désormais nous intéresser à la période de préparation à une compétition type course ultra-trail ainsi qu'aux apports nécessaires au cours de l'effort et en période de récupération.

## ***C) Le programme nutritionnel en vue d'une compétition***

### ***1) En période de pré-course***

Les enjeux de l'optimisation nutritionnelle de pré-course vont être de maximiser les réserves en glycogène, d'accorder du repos musculaire en diminuant l'intensité et la fréquence de séances d'entraînement, et de maintenir un état d'hydratation optimal.

Dans cette partie nous allons aborder certains régimes courants dans la communauté de traileurs, il est cependant important de préciser que ces régimes n'ont pas fait l'objet d'études scientifiques permettant d'affirmer une réelle augmentation de performances. Ces stratégies nutritionnelles reposent sur une logique ayant certes des fondements scientifiques mais sans validation scientifique.

#### **Le régime dissocié scandinave (RDS) (81)**

Il s'agit d'un régime bien connu des sportifs d'endurance qui consiste en deux phases :

- de J-7 à J-4, on est dans une phase hypoglycémique :

On réduit l'apport glucidique à 10-20% de l'AETQ, en parallèle on adopte un régime hyperprotidique (30%-35% de l'AETQ) et hyperlipidique (50%-55% de l'AETQ). On associe cela à un apport hydrique important (2 L/jour d'eau de boisson minimum). Enfin on effectue une séance d'1 heure d'effort intense (à 80% de la  $VO_2$  max) à J-7. Tout ceci a pour conséquence d'épuiser le glycogène musculaire.

- de J-3 à J-1, on entre dans la phase hyperglucidique :

Dans cette phase, l'AETQ est quasi exclusivement fourni par les glucides (70% à 80%), la part de protéines repasse aux valeurs normales (10 à 15% de l'AETQ) et on exclut quasi totalement les lipides (8% à 15% de l'AETQ). En parallèle, on réduit voire on arrête l'entraînement, le but étant de permettre une reconstitution et une saturation optimales des réserves glycogéniques.

Si le RDS a été popularisé dans les années 60-70 par les victoires successives des athlètes scandinaves dans des disciplines comme le ski de fond ou le marathon (avec notamment l'écrasante victoire de Ron Hill au marathon d'Athènes des Championnats d'Europe 1969), il s'agit d'un régime qui est actuellement considéré par les athlètes comme très contraignant et qui a l'inconvénient de favoriser la survenue de troubles digestifs, la perte de poids, une fatigue accrue surtout suite à la phase hypoglucidique qui est normalement associée à de longs entraînements.

Ce régime est d'ailleurs à pratiquer uniquement en vue d'une compétition importante pour le coureur car il est théoriquement réalisable au maximum 2 fois par an afin d'éviter une adaptation des mécanismes physiologiques.

Ces inconvénients ont conduit les athlètes à modifier ce régime. C'est ainsi qu'est né le régime dissocié modifié (RDM) que nous allons détailler.

### Le régime dissocié modifié (82-83)

- à J-7 de la compétition (82)

L'alimentation va être normoprotéique, à l'exception d'un apport protéique un peu supérieur notamment au petit déjeuner (15% de l'AEQT). Elle est également hypolipidique (20%-25% de l'AEQT), et légèrement hyperglucidique (60% de l'AEQT). L'objectif d'AEQT va être une ration 2400 kcal à 3500 kcal selon les profils sportifs.

Il s'agit en réalité des apports optimisés et recommandés que nous avons vu précédemment. Qualitativement on garde également les mêmes recommandations : on conseille des protéines animales riches en AAE si le régime le permet, ainsi que des apports lipidiques qualitatifs (poissons gras et huiles de noix/sésame/colza, consommées de préférence sans cuisson).

On recommande également de garder la structure de son alimentation : trois à quatre repas quotidiens, sans excès, sans grignotages dans la journée.

Les apports hydriques doivent être au minimum de 1,5 L/j à 2 L/jour tout au long de la semaine pré compétitive, d'autant plus quand la compétition approche car le stockage du glycogène requiert des molécules d'eau : 1 gramme de glycogène est stocké avec environ 3 grammes d'eau. Il est donc important de rassurer le coureur sur la potentielle prise de poids à l'approche de la compétition.

- à J-3 de la compétition (82)

A partir de J-3, on retrouve le régime hyperglucidique du RDS comme décrit plus avant.

Un exemple de repas hyperglucidique pourrait être le suivant :

- en entrée : potage
- plat : viande maigre (poulet, lapin, dinde) ou jambon ou poisson maigre (lieu, bar, merlu)
- céréales ou produit céréalier faible en fibres (riz blanc, quinoa, semoule) ou pâtes, pomme de terre
- laitage maigre d'origine animale (fromage de chèvre ou brebis) ou végétale (amande, soja)
- dessert : compote de fruits

A cette période, le coureur de trail doit souvent essayer de réduire ses apports en fibres afin de limiter les risques de troubles digestifs.

- la veille de la compétition (82-83)

Le repas de veille de compétition doit idéalement être pris entre 8 et 12h avant le repas pré-compétitif. Il doit être fortement hyperglucidique toujours dans l'optique de surcharger les muscles en glycogène. A ce stade, on déconseille fortement l'introduction de tout nouvel aliment normalement absent de l'alimentation habituelle du coureur. On limite fortement l'apport en fibres. L'exemple classique de ce genre



de repas de veille de compétition serait la fameuse “pasta party”, habituelle dans les compétitions.

- le dernier repas avant compétition ou repas pré-compétitif (82-83)

Le repas pré-compétitif est très important, il survient 8 à 12h après le repas précédent, et au minimum 3 heures avant le début de la course afin de limiter la survenue de troubles digestifs. Durant ce jeûne, les réserves glycogéniques sont abaissées et l'état d'hydratation n'est pas optimal. Dans cette optique, le repas doit idéalement comporter des aliments d'indice glycémique bas à moyens, et bien s'hydrater avec des prises régulières de 150 à 200 mL d'eau (ce qui correspond à un verre d'eau). Le coureur doit aussi privilégier les aliments ayant une bonne digestibilité. On est sur un repas hyperglucidique et hyperprotidique.

Un exemple de repas pré-compétitif peut être le suivant :

- Boisson chaude : café/thé si bonne tolérance digestive chez le coureur
- Pain ou avoine ou muesli
- Miel, confiture
- Laitage animal maigre ou végétal
- Compote de fruits
- jambon/dinde/fromage à pâte dure

- la ration d'attente (82-83)

La ration d'attente est à prendre sur la période des 3 heures qui précèdent le départ jusqu'à 30 minutes avant le départ. Son objectif est de maintenir la glycémie et l'état d'hydratation. Elle peut être constituée de différents glucides à IG variables, c'est à partir de ce moment qu'on peut apporter de la maltodextrine.

La maltodextrine est un mélange de plusieurs « sucres » résultant de l'hydrolyse de l'amidon, comprenant un nombre d'entités glucidiques différentes (oligosaccharides, maltotriose, maltose, glucose...) plus ou moins hydrolysées. L'indice dextrose équivalent est donné pour renseigner sur le degré d'hydrolyse. Plus celui-ci est élevé, plus l'hydrolyse est élevée et plus les chaînes sont courtes, plus on tend vers un nombre de molécules de glucose par chaîne faible et donc un indice glycémique élevé.

Sur une échelle de valeurs de 0 à 100 :

- DE = 0 : correspond à l'amidon non transformé ;

- DE = 100 : correspond à du glucose (ou dextrose) pur, soit de l'amidon totalement transformé (hydrolysé);
- $0 < DE < 20$  : correspond à l'état de maltodextrines ;
- $DE \geq 20$  : correspond à du sirop de glucose (appellation retrouvée sur la liste des ingrédients des produits issus de l'Industrie Agro-Alimentaire ou IAA).

Cet indice dextrose est important car il permet de savoir dans quelle mesure les glucides consommés ont un intérêt sur les efforts de longue durée, en effet plus l'indice dextrose est faible, plus les glucides consommés ont un indice glycémique bas et plus ils peuvent permettre de maintenir et de constituer les réserves de glycogène. Ce type de maltodextrine présente donc un intérêt important pour la boisson d'attente, et même comme supplémentation dans l'alimentation à partir de J-3.

Pour un coureur de trail n'étant pas habitué à l'usage de maltodextrine en boisson, on recommande une boisson d'effort faite maison, souvent avec une base d'eau de source faiblement minéralisée associée à un jus de fruits frais et du miel liquide (20 à 30 grammes par litre).

Le coureur doit consommer 500 mL/heure de cette boisson d'attente, principalement dans les 2 heures précédents le départ. Si un écoeurement s'installe ou si la température extérieure est élevée, on recommande de diluer les préparations.

## **2) *Durant l'effort* (82)**

Les objectifs de la nutrition pendant l'effort chez le coureur de trail sont :

- d'assurer un apport en substrats énergétiques suffisants pour limiter l'épuisement du glycogène ;
- de maintenir un état d'hydratation optimal ;
- de limiter les pertes minérales ;
- de retarder l'apparition de fatigue musculaire et nerveuse et de diminuer les dommages musculaires.

Ces objectifs sont toujours à mettre en relation avec la digestibilité des apports et avec le bien-être du sportif.

Les quatre catégories principales d'apports vont être :

- les boissons énergétiques (82, 84)

On recommande dans l'idéal un volume bu de 500 mL/heure. Dans cet apport, d'un point de vue qualitatif, on doit retrouver 30 grammes de glucides au minimum pour la glycémie, 200 à 300 mg de sodium et 50 mg de magnésium pour compenser les pertes par sudation. Il est important de préciser que ces recommandations peuvent varier suivant le gabarit et la tolérance du traileur, notamment pour la quantité de glucides tolérée, et les conditions de course (la chaleur augmente les pertes par la sueur par exemple).

Suivant la température extérieure, il est aussi important d'adapter la concentration de la boisson. La plupart des boissons commercialisées sont isotoniques (avec une osmolarité proche de celle du plasma) ce qui favorise leur absorption intestinale. Cependant, si la température augmente, il est recommandé de diluer la boisson afin de la rendre hypotonique.

La surconcentration de la boisson, la rendant hypertonique, est fortement déconseillée ; les cellules intestinales devraient alors relarguer de l'eau afin de normaliser l'osmolarité de la boisson pour pouvoir l'absorber, ce qui aurait un double effet négatif : augmenter l'état de déshydratation de l'organisme et provoquer la survenue de diarrhées avec la sécrétion d'eau dans l'intestin.

- les barres énergétiques (82)

Les barres énergétiques vont permettre d'éviter le phénomène de saturation, qui conduit souvent à la sous-nutrition pendant l'effort.

La consommation de barres énergétiques a pour vocation de varier les arômes aussi bien que d'être une source alternative de glucides principalement, de BCAA, vitamines et minéraux éventuellement.

- les gels énergétiques (82)

Les gels énergétiques sont très couramment utilisés parmi les coureurs de trail-running comme sources concentrées de sucres, et parfois d'électrolytes ou de caféine. Du fait de leur forte concentration, ils sont assez peu digestes, c'est pourquoi ils doivent donc avoir été testés sur des séances d'entraînement avant la compétition pour pouvoir être recommandés.

Ils sont à ingérer de façon ponctuelle, et avec de l'eau afin d'augmenter leur digestibilité.

- les produits de ravitaillement (82)

Selon le type d'épreuve, le traileur va parfois avoir à gérer son ravitaillement par lui-même sur la totalité de la compétition, en autosuffisance totale; ou en semi-autosuffisance. Quelque soit le type de course, les ravitaillements seront toujours très espacés (au moins 1 heure de course), ce qui implique que le coureur de trail-running doit au minimum transporter 500 mL de boisson d'effort tout au long de la course.

De manière générale, lors de courses de moins de 5 heures, un apport de 500 mL/heure de boisson d'efforts associés ou non à des barres énergétiques va être suffisant.

La dénivellation du parcours peut induire un stress supplémentaire sur les fibres musculaires c'est pourquoi on peut conseiller l'apport de protéines, notamment de BCAA, qu'on retrouve classiquement dans la boisson de récupération. Il est dans ce cas conseillé d'alterner la boisson d'effort et la boisson de récupération.

Les BCAA ont un intérêt particulier sur les courses longues puisqu'ils permettent de limiter la dégradation de la musculature active lors de l'effort en évitant que l'organisme puise dans ses dernières réserves que sont les protéines. Un apport en BCAA en cours d'effort permettrait également d'économiser le glycogène musculaire, et même de réduire la sensation de fatigue "nerveuse" qu'on appelle la fatigue centrale.

Cette fatigue centrale serait due à une augmentation de la production de la sérotonine. Cette sérotonine excédentaire viendrait elle-même d'une augmentation de la concentration de son précurseur, le tryptophane, au sein du système nerveux central. Au repos, le tryptophane plasmatique est pris en charge par un transporteur sérique qui est l'albumine. Lors de l'effort prolongé, le tryptophane plasmatique entre en compétition avec les acides gras qui sont mobilisés par l'organisme afin de fournir de l'énergie. Cela se traduit par une augmentation de la concentration plasmatique du tryptophane sous forme libre qui va alors passer la barrière hémato-encéphalique (BHE) via un transporteur.

L'apport de BCAA au cours de l'effort prolongé permettrait de limiter le passage du tryptophane libre via un mécanisme compétitif entre les BCAA et le tryptophane pour le transporteur du système sanguin vers la BHE (86).

Plus la distance et la durée de l'effort augmentent, plus l'alimentation va jouer un rôle important. Sur les trails de longue distance, on recommande la prise de 500 mL de boisson de récupération toutes les 2 à 3 heures d'effort, on recommande également

la prise d'un repas solide ou semi solide (suivant la tolérance digestive) toutes les 2 à 3 heures d'effort. Ces repas doivent rester légers et en étant hyperglucidiques, normoprotidiques, hypolipidiques et en limitant un maximum les fibres (83).

Il est également important de ne pas oublier la composante de plaisir dans l'alimentation durant l'effort, les ravitaillements peuvent être des moments conviviaux, de plaisir et de partage, afin de rompre la monotonie de l'effort et d'éviter le phénomène de saturation.

### ***3) En période de récupération post course***

La phase de récupération débute juste après la fin de compétition et se poursuit pendant 2 à 4 heures après la fin de l'effort. A ce stade, il est important de s'alimenter rapidement car les fibres musculaires sont dans un état favorable au remplissage des stocks de glycogène, par une disponibilité des transporteurs de glucose (GLUT4) et à la synthèse des protéines musculaires malmenées pendant les parties descendantes d'un trail. On appelle ces périodes les "fenêtres métaboliques". Ces fenêtres sont ouvertes pendant un temps qui dépend de la sévérité de l'effort mais qui est compris, dans tous les cas, entre 2 et 4 heures.

L'idéal est de commencer par des boissons fraîches à index glycémique élevé (jus de fruit ou boissons de récupération du commerce) accompagnées de quelques fruits mûrs ou fruits secs. Cela représente, pendant les deux premières heures, un volume d'un à trois verres (selon les conditions météorologiques de la course qui a précédé) toutes les 15 min à raison de 0,2 à 0,4 g de sucre par kilo de poids de corps. Après environ 2 heures, on peut enchaîner avec des glucides solides (index glycémique encore élevé : pain blanc, purée, barres céréales) et des protéines digestes (yaourt à boire, blanc de poulet par exemple). Les lipides et l'alcool (qui freinent le remplissage des stocks de glycogène) sont à bannir (85).

Au niveau des protéines, un apport de l'ordre de 10 à 20 grammes/heure lors des 3 premières heures suivant la fin de l'effort semble maximiser la reconstruction musculaire (82).

Le premier vrai repas devra toujours être hyper glucidique ; il devra aussi permettre de faire le plein en sels minéraux et de compléter l'hydratation. Il pourra se composer de soupe (si possible avec germe de blé ou levure de bière), de féculents, de laitage, d'acides aminés ramifiés (BCAA), de pain. L'intérêt de la viande ou du poisson dans ce repas est plus discuté (85).

Dans cette troisième partie, nous avons détaillé l'importance de la nutrition chez le coureur de trail-running, à chaque étape de sa préparation sportive mais également durant et après la compétition. Nous avons également analysé le modèle du régime dissocié scandinave, assez ancien et documenté, et le plus récent et plus populaire régime dissocié modifié. Cependant, il existe d'autres modèles alimentaires, chacun ayant ses spécificités et ses potentiels inconvénients.

Il y a donc certaines grandes règles de nutrition à respecter pour les traileurs en ce qui concerne les apports nutritionnels (importance de l'hydratation, ne jamais essayer de nouveaux aliments le jour de compétition, l'importance de la préparation préalable, ...), mais il faut aussi tenir compte des variables individuelles (poids, tolérance digestive, préférence de goût,...) et des variables de la compétition (distance, température ambiante, altitude,...).

***Quatrième partie :***

***Conseils et prévention en officine pour le  
coureur de trail***

## ***A) Les compléments alimentaires dans la pratique du trail***

### ***1) La réglementation***

Les compléments alimentaires, selon la définition du décret n° 2006-352 du 20 mars 2006 publié au Journal Officiel du 25 mars 2006 (87), sont des « 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, commercialisés sous forme de doses destinées à être prises en unités mesurées de faible quantité. Les compléments nutritionnels et les suppléments nutritionnels sont des compléments alimentaires, aucun d'eux ne peut avoir la dénomination de médicament. »

A la différence du médicament, les compléments alimentaires ne font pas l'objet d'une demande d'autorisation de mise sur le marché mais d'une simple demande d'enregistrement auprès de la DGCCRF. Le procédé de fabrication est donc potentiellement moins sécurisé car le fabricant ne s'engage pas sur la pureté des produits. De plus les compléments alimentaires répondent à la législation du pays où ils sont fabriqués ce qui implique un risque variable suivant le pays d'origine.

Concernant les compléments alimentaires destinés aux sportifs, le consommateur peut s'exposer à la prise de substances dopantes, soit par contamination involontaire des chaînes de productions, soit par ajout volontaire de substance interdite pour améliorer l'efficacité du produit (88). Bien que le risque soit faible, plusieurs études sur la sécurisation des compléments alimentaires ont montré que ce risque est bien réel (89).

Pour assurer la qualité et la sécurité d'emploi aux sportifs, il existe une norme appelée norme AFNOR NF V 94-001. C'est la seule en France qui certifie l'absence de substances interdites dans les compléments alimentaires ou autres denrées diététiques destinées au sportif.(88)

Cette norme aura son importance dans le choix de produits à conseiller pour le sportif. Parmi les gammes qui respectent la norme AFNOR, on peut citer Ergysport, Apurna ou encore EA-Fit (pour une partie de ses produits) (88, 90).



## **2) Habitudes de consommation chez l'ultra-traileur, exemple du Grand**

### **Raid 2015 (Ile de la Réunion) (91)**

Afin de mieux cerner la demande des coureurs de trail en matière de compléments alimentaires, nous allons analyser une étude menée dans le cadre d'une thèse de médecine, auxquels 1 691 coureurs ont participé. Cette étude a été menée à l'occasion de trois courses du Grand Raid Réunionnais de 2015, aussi connu sous le nom de Diagonale des Fous, qui sont trois courses de très longues distances à fort dénivelé.

Les résultats ont montré que plus de 51% des coureurs inclus dans l'étude avaient consommé des compléments alimentaires, de façon ponctuelle pour 80% d'entre eux, ou au long cours pour les 20% restants.

Bien que 58% de ces coureurs aient acheté leurs compléments en pharmacie d'officine (ce qui en fait le lieu majoritaire d'achat), seulement 53% des coureurs en connaissaient la composition.

Les substances les plus consommées étaient la spiruline (35,05%), les BCAA (15,97%), le magnésium (10,20%) et la vitamine C (9,5%).

On est donc sur une réelle demande de la part des coureurs, et une nécessité de conseils de la part du pharmacien d'officine.

## **3) Compléments alimentaires à conseiller**

### **a) la spiruline (92-93)**

La spiruline est le nom commun donné aux cyanobactéries du genre *Arthrospira* (anciennement *Spirulina*). C'est une denrée alimentaire et elle n'est pas considérée comme médicinale en France ou en Europe. Elle est principalement connue pour sa richesse en protéines (jusqu'à 70% de l'extrait sec), notamment avec une grande proportion d'acides aminés essentiels et sa pauvreté en lipides (<10%). La part de glucides s'élève à 18% environ. Au niveau des micronutriments, la spiruline est également intéressante puisqu'elle est riche en vitamine A et E ainsi que toutes les vitamines du groupe B, exceptée la vitamine B12 (qui est présente sous forme d'analogues inactifs ou pseudo-vitamine B12).

Il est important de noter cette absence de vitamine B12 car on retrouve souvent de la désinformation sur ce sujet, notamment pour les sujets végétariens ou végétaliens.

Enfin, on note une teneur intéressante en certains minéraux (calcium, potassium, cuivre, fer,...) mais celle-ci va être variable suivant le mode de production.

Cette richesse nutritionnelle fait que la spiruline est souvent mise en avant comme un "super-aliment", qui permet de compléter les régimes alimentaires. On met également souvent en avant ses propriétés anti-oxydantes. Cependant, aucune étude n'a à l'heure actuelle démontrée une réelle amélioration du potentiel antioxydant.

Au niveau de la nutrivigilance, de rares cas d'effets indésirables suite à une prise de compléments alimentaires contenant de la spiruline ont été rapportés ; les troubles digestifs étant majoritaires. Cependant, on ne sait pas quelles doses avaient été ingérées par les sujets concernés.

Les données scientifiques sont actuellement faibles pour statistiquement évoquer un bénéfice ou même un risque vis-à-vis de la consommation de spiruline. L'apport journalier conseillé est néanmoins de 5 g/jour. Cet apport doit rester une supplémentation et ne pas se substituer à une alimentation variée et équilibrée. Concernant les coureurs de trail, la spiruline présente des intérêts importants dans un but nutritionnel mais ne semble pas augmenter les performances. La complémentation chez le sportif est à recommander en période d'entraînement intense, de compétition, de récupération, ou encore lors de régimes restrictifs.

#### b) les protéines et les acides aminés (75)

Le coureur de trail porte une attention particulière à son ratio poids/puissance musculaire, ce qu'on appelle le poids de forme. Afin d'économiser son énergie sur les longues courses ainsi que diminuer la pression sur ses articulations, le poids de forme du coureur de trail est souvent bas comparativement aux autres sports. Les protéines en complémentation nutritionnelle, souvent sous forme de poudre, ne vont donc pas présenter d'intérêt dans la pratique quotidienne du sport.

En revanche, certains acides aminés, notamment les acides aminés essentiels aussi appelés BCAA ont un intérêt démontré en tant que complément alimentaire. Comme nous l'avons précédemment vu, ils vont être utiles en supplémentation au cours de l'effort (afin de préserver les réserves énergétiques de l'organisme, et de potentiellement diminuer la fatigue centrale) ainsi qu'après l'effort (pour permettre au corps de régénérer les fibres musculaires endommagées lors de la course et inhiber

le catabolisme musculaire). On a donc un rôle anti-fatigue durant l'effort ainsi qu'un rôle dans la récupération post-effort.

La consommation de compléments alimentaires contenant des BCAA peut donc être recommandée lors de l'effort et après l'effort chez le coureur de trail.

### c) les compléments de vitamines, minéraux et antioxydants

Comme vu précédemment les vitamines sont essentielles au bon fonctionnement de l'organisme et du métabolisme énergétique.

Concernant les vitamines hydrosolubles du groupe B, théoriquement, la pratique de l'exercice devrait entraîner une augmentation des besoins due à la baisse de l'absorption intestinale des nutriments, à l'augmentation du contenu musculaire en enzymes oxydatives en réponse à l'entraînement, mais aussi à la stimulation du métabolisme des protéines pour assurer les réparations tissulaires pendant la phase de récupération de l'exercice. Cependant, les données épidémiologiques restent contradictoires, et il n'existe pas de preuve formelle de l'augmentation réelle des besoins en vitamines du groupe B avec la pratique de l'exercice en l'absence de carence avérée (79).

Une exception est à faire pour le cas de la vitamine B12 dans les régimes restrictifs de type végétarien ou végétalien, la supplémentation est alors indispensable, comme vu précédemment.

Pour ce qui est des antioxydants, comme les vitamines A, C, et E ainsi que le zinc et le sélénium, théoriquement l'exercice physique est supposé induire un stress oxydatif chronique. Cependant, l'organisme possède une réponse adaptative à l'effort qui est stimulée par la production de radicaux libres. La supplémentation en antioxydants va donc diminuer la production de radicaux libres et de ce fait diminuer l'adaptation de l'organisme à l'effort. En conclusion, la littérature scientifique actuelle ne permet pas de soutenir l'intérêt d'une supplémentation en antioxydants pour réduire le stress oxydatif lié à l'effort. La seule indication pour une supplémentation serait une carence avérée, chose qui est assez rare et encore plus chez les sujets sportifs (94).

A propos du magnésium, il est très difficile d'évaluer une modification des besoins chez le sujet sportif, même à haut niveau d'entraînement, car le magnésium est majoritairement intracellulaire, la magnésémie n'est donc pas un très bon indicateur. Cependant, une hypomagnésémie transitoire a été décrite au cours des exercices de longue durée de types différents (course, natation, marathon). La magnésémie revient dans des proportions normales dans les 24 heures qui suivent. La nette diminution du magnésium sérique observée au cours de l'exercice pourrait

s'expliquer par un déplacement du magnésium vers les érythrocytes, mais on constate également que la concentration de magnésium dans les urines est presque toujours augmentée dans les suites de l'exercice. En réalité, il est très difficile d'estimer si ces variations sont signes d'une carence avérée ou d'une redistribution du magnésium dans l'organisme (79). Au niveau de l'endurance aérobie ainsi que concernant la survenue de crampes musculaires, il n'existe pas à l'heure actuelle de conclusion scientifique sur l'intérêt d'une supplémentation dans le cadre de la pratique d'un sport d'endurance comme le trail (95). Il est néanmoins utile de préciser que le caractère extrême de ce sport (notamment sur les ultras) rend difficile une étude statistique avec un échantillon suffisamment grand pour être pertinent, bien que la popularisation de la discipline puisse amener la situation à évoluer.

En conclusion, à propos des compléments vitaminiques, minéraux et antioxydants, la littérature scientifique actuelle ne permet pas de recommander leur consommation dans l'intérêt d'augmenter les performances sportives. Au contraire dans le cas des antioxydants, leur prise quotidienne peut même freiner l'adaptation du corps à l'effort (89). Cependant, il est scientifiquement établi que la perte de ces micronutriments va être augmentée avec la pratique d'une activité physique régulière. En l'absence d'une alimentation saine et équilibrée cela peut conduire à des déficits nuisibles à la performance. Il est donc possible de recommander la consommation de compléments alimentaires vitaminiques ou contenant des minéraux pour le sujet sportif négligeant son alimentation en prévention de carence. La supplémentation en antioxydants est réservée aux carences avérées.

#### d) le fer (96)

Le fer est un oligo-élément particulièrement important dans les sports d'endurance dont le trail fait partie. Les déficits en fer vont avoir plusieurs étiologies spécifiques au sport d'endurance qui sont :

- l'hémorragie digestive, par chocs mécaniques ou par consommation d'AINS;
- l'hémolyse à l'exercice, notamment plantaire;
- la transpiration.

On ajoutera à cela une probabilité de survenue d'anémie plus importante chez la femme due aux pertes menstruelles. De plus, un taux normal de fer contribue à une bonne adaptation de l'organisme à l'altitude, paramètre important sur de nombreuses courses de trail.

Malgré l'avis médical dont il est nécessaire de disposer avant d'entreprendre une supplémentation martiale, et en plus des médicaments existants, il existe des compléments alimentaires contenant du fer à des dosages pouvant aller jusqu'à 30

mg (60 à 100 mg pour les médicaments). Ces compléments revendiquent souvent des propriétés de “réduction de la fatigue” ou “amélioration du métabolisme énergétique”.

En dehors d'une carence avérée, la supplémentation en fer ne semble pas présenter d'intérêt dans l'amélioration des performances sportives (97). Le fer ne figure d'ailleurs pas sur la liste des substances interdites de l'Agence Mondiale Anti-dopage. La seule règle existante concerne la limite du volume d'injection, soit 100 ml toutes les 12 heures (98). Cependant, une surveillance particulière est à recommander chez les jeunes femmes pratiquants le trail, car elles sont particulièrement à risque d'anémie par carence martiale.

#### e) les plantes

Nous allons détailler les propriétés et atouts des 3 plantes qui semblent les plus pertinentes dans la supplémentation pour le coureur de trail en particulier :

- le ginseng (*Panax ginseng* C.A. Meyer, Araliaceae) (99)

Le ginseng est une plante adaptogène ce qui veut dire qu'elle aide l'organisme à s'adapter au stress et à la fatigue. Sa racine est employée comme tonifiant, stimulerait l'appétit et les défenses immunitaires et améliorerait les performances sportives. Les études cliniques mesurant les effets du ginseng sur la fatigue, le stress et les performances physiques ou intellectuelles sont nombreuses, mais elles souffrent dans leur ensemble de graves lacunes méthodologiques. À ce jour, il est impossible de confirmer objectivement ce type de propriétés chez l'homme, mais celles-ci ont été abondamment démontrées chez l'animal. En phytothérapie humaine, l'usage du ginseng dans ces indications repose uniquement sur la tradition. Cependant l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) reconnaît comme « cliniquement établi » l'usage du ginseng pour « améliorer les capacités physiques et mentales lors de fatigue, d'épuisement, de troubles de la concentration et chez les personnes convalescentes ». L'OMS conseille une dose quotidienne de 0,5 à 2 g de racines séchées, le matin pour éviter les insomnies. Les produits de phytothérapie contenant du ginseng sont habituellement normalisés pour contenir 7 % de ginsénosides et se prennent à la dose de 200 mg, une à trois fois par jour. L'utilisation du ginseng est déconseillée chez la femme enceinte, allaitante ou chez l'enfant. De plus, le ginseng est contre indiqué en l'absence d'avis médical pour les sujets hypertendus, les patients sous anticoagulants ou triptans, les patients diabétiques ou cardiaques. On déconseille également son association avec la caféine ou d'autres plantes aux propriétés adaptogènes ou anticoagulantes.

Le ginseng a donc un usage traditionnel reconnu en tant que plante stimulante et pourrait présenter un effet bénéfique chez le coureur de trail en période

d'entraînement intensif, bien qu'aucune étude scientifique ne puisse confirmer cette allégation pour le moment.

- l'éleuthérocoque (*Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., Araliaceae) (100)

L'éleuthérocoque est une autre plante adaptogène qui semble avoir un usage plus immunostimulant qu'antiasthénique. Cependant, en période d'entraînement intensif, elle peut elle aussi présenter un intérêt. En effet, l'OMS reconnaît la racine d'éleuthérocoque comme « un tonique capable d'augmenter les capacités mentales et physiques lors de fatigue et au cours des convalescences ». Elle mentionne son usage dans les médecines traditionnelles contre l'arthrose (rhumatismes), les troubles gastriques aigus ou chroniques, ainsi que comme diurétique et régulateur de la tension artérielle. L'Agence Européenne du Médicament (EMA) reconnaît l'éleuthérocoque comme ayant également un usage traditionnel dans l'asthénie (101).

L'utilisation de l'éleuthérocoque est soumise aux mêmes précautions que celles du ginseng ainsi qu'à celle concernant les femmes atteintes de toute affection sensible aux oestrogènes.

- le curcuma (*Curcuma longa* L., Zingiberaceae) (102)

Le curcuma est utilisé pour favoriser la production et la sécrétion de bile, en cas de digestion difficile et pour stimuler l'appétit. Il possède de plus des propriétés antioxydantes. Plus récemment, il a été proposé pour faire baisser le taux sanguin de cholestérol et surtout comme anti-inflammatoire dans des maladies chroniques comme la polyarthrite rhumatoïde, l'arthrose ou les colites (irritations du gros intestin) inflammatoires. En 2016, une méta-analyse (103) a conclu qu'il existe des signes encourageants concernant l'effet d'un gramme de curcumine par jour en cas d'arthrose. Néanmoins, les études analysées concernaient de petits nombres de patients et ces signes favorables restent à confirmer par une étude plus vaste.

Cette action anti-inflammatoire est très intéressante car le curcuma ne semble pas présenter de toxicité rénale ou hépatique, ce qui permettrait théoriquement de soulager les douleurs musculaires ou surtout articulaires (courantes chez le coureur de trail) en évitant l'automédication via le paracétamol et surtout les AINS, responsables d'effets indésirables potentiellement importants.

Il est à noter que la curcumine (molécule active responsables des effets recherchés) pourrait théoriquement interagir avec les traitements anticoagulants et les médicaments anti-inflammatoires, leur association est donc fortement déconseillé pour le moment.

La faible absorption digestive de la curcumine fait qu'on va facilement pouvoir retrouver des doses élevées de curcumine dans les compléments alimentaires, pouvant aller jusqu'à 3 grammes/jour.

En résumé, le curcuma présente un fort potentiel pour les douleurs articulaires et l'arthrose précoce, bien que le manque d'informations scientifiques impose au pharmacien de se montrer prudent quant à son utilisation prolongée ou en association avec certains médicaments.

#### f) la caféine

La caféine est une molécule assez courante dans les compléments alimentaires et même dans les différents régimes alimentaires sur la planète. Elle possède de nombreuses sources alimentaires (café, thé, maté, guarana,...). C'est une méthylxanthine qui, de par ses effets sur le système nerveux central, favorise la concentration, accélère le rythme cardiaque, dilate les artères coronaires favorisant l'oxygénation du cœur et permet de lutter contre la fatigue en retardant la sensation d'épuisement. Ces effets interviennent en moyenne une heure après ingestion de la caféine (102).

Elle favorise également la lipolyse et de la glycogénolyse, d'où l'étiquette brûleur de graisse qu'on lui donne souvent (102). Cependant, cet effet n'intervient que 3 heures après ingestion de la caféine, et est donc inutile si la caféine est ingérée juste avant un effort de moins de 3 heures. De plus, chez un sportif entraîné, l'effet lipolytique disparaît car l'organisme aura déjà tendance à favoriser le métabolisme glucidique et la consommation du glycogène musculaire avant les lipides.

Les propriétés précédemment décrites justifient l'intérêt de la caféine dans la pratique du trail, que ce soit en amont ou durant la compétition : (84)

- en période de reprise la caféine peut être utile afin d'activer la lipolyse, pour favoriser la perte de poids. Elle peut aussi avoir un effet sur la motivation du sujet de par son effet excitant sur le SNC.
- durant la préparation le coureur recherchera également l'effet "boostant" de la caféine afin de rester motivé et dynamique; l'effet lipolytique n'est plus présent car l'organisme habitué à l'exercice sportif aura l'habitude de favoriser la consommation du glycogène musculaire.
- durant la compétition surtout pour les courses ultra durant parfois plusieurs jours, la consommation de caféine intervient alors pour compenser le manque de sommeil.

Cependant, la caféine présente de nombreux inconvénients (84) :

- l'acquisition d'une tolérance de la part de l'organisme;

- l'effet diurétique de la caféine peut favoriser la déshydratation et entraîner une perte de performance durant l'effort;
- la caféine cause souvent des maux d'estomac, qui dans le trail sont la cause de très nombreux abandons;
- le consommateur de caféine peut devenir irritable, angoissé, agressif,...
- la caféine a aussi un effet hypertenseur quand elle apporté autrement que par la consommation de café, ce qui suggère que d'autres composés présents dans le café pourraient contrebalancer l'effet de la caféine sur la tension artérielle (105).

Il faut rappeler que jusqu'en 2004 la caféine était considérée comme substance dopante interdite en compétition par l'Agence Mondiale Antidopage (le seuil urinaire était fixé à 12 µg/mL et pouvait être atteint par la consommation de 4 à 7 tasses de café dans la demi-heure précédant l'effort). Depuis 2004, la caféine est considérée par l'AMA comme une substance à surveiller et est susceptible de redevenir une substance dopante à tout moment (106).

Il est également intéressant de noter que bien que la supplémentation en caféine chez le sportif soit déconseillée par l'ANSES (107), la consommation de café semble plutôt avoir des effets bénéfiques au niveau cardiovasculaire et dans le maintien de la glycémie, suggérant que de nombreuses molécules contenues dans le café autres que la caféine seraient bénéfiques (105).

Concernant la caféine, on peut donc dire que sa supplémentation dans un but d'amélioration des performances est à déconseiller chez le sportif. La caféine peut cependant présenter un intérêt dans les trails longue distance de part son effet stimulant, mais ses effets indésirables imposent une grande prudence au coureur de trail quand à la forme que prendra l'apport de caféine. Grâce aux autres molécules actives contenu dans le café, il semblerait que celui-ci soit la meilleure option pour optimiser l'intérêt de la caféine en limitant ses effets indésirables, à condition d'avoir une bonne tolérance digestive (105).

Le pharmacien d'officine devra avoir préalablement expliquée les risques de la supplémentation en caféine au coureur de trail (déshydratation, maux d'estomac, irritabilité) avant de lui proposer tout complément alimentaire contenant de la caféine. Il conviendra aussi de lui préciser qu'en dehors de la lutte contre la fatigue physique la consommation de caféine n'apporte pas d'amélioration de performance. Enfin, on conseillera au coureur de suivre les mêmes principes que dans son alimentation quotidienne s'il veut malgré tout se supplémenter : tester le produit sur une séance d'entraînement, d'autant plus s'il s'agit d'un gel énergétique à la caféine.



## ***B) Contre-indications et précautions quant à la pratique du trail***

### ***1) Le certificat médical de non contre-indication à la pratique de la course à pied en compétition***

D'un point de vue juridique, tout licencié d'athlétisme comme simple coureur occasionnel, souhaitant participer à une course à pied, doit obtenir un "certificat de non contre-indication à la pratique de la course à pied en compétition". Celui-ci est obligatoire. Il est établi lors de la visite de non contre-indication (VNCI), et engage la responsabilité civile et pénale du médecin. La réalisation d'un certificat médical de complaisance est interdite et régie par l'article 4127-28 du code de santé publique.

La VNCI repose sur un interrogatoire précis comprenant (108) :

- la recherche des antécédents familiaux cardiovasculaires;
- la recherche des antécédents personnels;
- un examen clinique : mesure du poids, de la taille, examen du rachis, de la vision, de l'état dentaire, réalisation d'un bilan psychologique, mesure des pressions artérielles aux deux bras et auscultation cardio-pulmonaire.
- la réalisation d'examens complémentaires si nécessaire (ECG le plus souvent)

En pratique, la VNCI est majoritairement réalisée chez le médecin généraliste. C'est une visite bien souvent courte, parfois la seule de l'année pour le coureur de trail. De plus, l'absence de recommandations concernant cette visite fait qu'on constate une grande disparité dans la réalisation des VNCI selon le médecin.

Différentes études dont une thèse de médecine réalisée à Bordeaux par le Dr Juhles ont mis en évidence une banalisation du certificat médical de non contre-indication. Les résultats de cette thèse ont montré que 12% des participants n'avaient pas été examinés lors de leur VNCI (108).

Ce constat est problématique car les coureurs de trail peuvent pour la plupart être considérés comme des sportifs à haut niveau d'entraînement de par la charge d'entraînement qu'ils s'imposent (souvent supérieure à 8 heures/semaine en période de préparation physique). Parallèlement, on constate que les coureurs d'ultra trail

vont souvent se préparer, s'entraîner et même pratiquer l'automédication (109). C'est dans cette optique que l'accompagnement par un professionnel de santé est primordial.

La disponibilité et la proximité du pharmacien d'officine peuvent permettre à ce dernier de jouer un vrai rôle dans l'accompagnement de ces sportifs, à condition qu'il se soit formé de façon adéquate.

## 2) L'automédication dans la pratique du trail

Bien que les données scientifiques soient limitées sur ce sujet, on dispose de quelques études statistiques à propos de l'automédication chez les traileurs dont une étude menée en 2010 au cours de la course UTMB 2010 (thèse de pharmacie) et une enquête réalisée dans le cadre d'une thèse de médecine sur l'Infernal Trail des Vosges 2014 (109-110). Ces deux études ont mis en évidence le recours à l'automédication aussi bien lors de la préparation que pendant les courses respectives de la part d'un pourcentage non négligeable des coureurs interrogés :

Tableau 5 : Tableau comparatif des consommations médicamenteuses UTMB 2010 et Infernal Trail 2014 (x)

	UTMB® 2010		Infernal Trail 2014, 72 km		Infernal Trail 2014, 160 km	
	Avant	Pendant	Avant	Pendant	Avant	Pendant
<b>AINS</b>	10,7	8,2	10,4	4,5	8,2	7,1
<b>Paracétamol</b>	12,8	9,4	6,8	3,8	6,0	14,1
<b>Compt Alim.</b>	39	11,6	9,8	1,3	13,4	7,8
<b>p-value (comparaison avec UTMB® 2010)</b>			<b>0,04</b>	0,24	0,35	0,18

Résultats exprimés en % du nombre total de répondants.

- pour l'Infernal Trail des Vosges 2014, 27% des 297 traileurs ayant répondu au questionnaire ont déclaré consommer des médicaments durant le mois précédent la compétition et jusqu'à 30% des participants à l'ultra-trail interrogés ont indiqué avoir pratiqué l'automédication durant la course.

- pour l'ultra-trail du Mont-Blanc 2010, les statistiques sont encore plus parlantes en période de pré-compétition, et on retrouve un pourcentage comparable pour l'automédication en cours de course.

Lors de ces études il a été mis en évidence que les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS), le paracétamol, les compléments alimentaires et les médicaments pris en prévention de troubles digestifs étaient les plus concernés par l'automédication des coureurs (111).

Ces consommations sont loin d'être anodines car ces médicaments présentent des effets indésirables, notamment les AINS qui peuvent induire des troubles digestifs (pouvant aller jusqu'à l'hémorragie digestive), une toxicité rénale, une hyponatrémie hypotonique, encore plus probable quand associée à un état de déshydratation. Par ailleurs, les AINS n'ont pas démontré à l'heure actuelle d'intérêts dans le cadre de lésions musculaires. Au contraire, il semble même que la consommation d'AINS puisse nuire au processus de cicatrisation musculaire en post-compétition; l'inhibition des prostaglandines diminuant la synthèse protéique. La consommation d'AINS est donc formellement déconseillée dans la pratique du trail-running, encore plus en cours d'épreuve où elle augmente le risque d'insuffisance rénale aiguë (111-112).

De plus, 10% des coureurs interrogés lors de l'Infernal Trail 2014 ayant consommé des AINS étaient convaincus de leur innocuité par rapport à la pratique de l'ultra-trail (109).

Concernant le paracétamol, sa consommation présente moins d'effets indésirables dans les posologies recommandées, il peut donc être recommandé lors de l'épisode douloureux pendant la compétition. Cependant il ne semble pas présenter d'intérêt dans les diminutions de courbatures, de même que les AINS (111).

Pour les médicaments à visée préventive des troubles digestifs, notamment la disomectite et le lopéramide, peu d'informations sont actuellement disponibles quant à leur efficacité et leurs risques mais leur utilisation est courante dans la pratique du trail (42).

Le pourcentage non négligeable de coureurs pratiquant l'automédication met encore en évidence l'intérêt pour ces coureurs d'être accompagnés par des professionnels de santé. Le pharmacien d'officine étant responsable de la délivrance des médicaments, il doit être capable de délivrer les conseils associés permettant aux coureurs d'utiliser les médicaments selon leur indication thérapeutique adéquate.

### **3) Le dopage dans la pratique du trail**

#### **1. Définition (113)**

- D'un point de vue législatif, le dopage se définit par "l'interdiction faite à tout sportif participant à une compétition ou manifestation sportive d'utiliser des substances et procédés de nature à modifier les capacités. La détention de telles substances sans une justification médicale est également prohibée" article L232-9 du Code du Sport. L'article L232-10 mentionne également "l'interdiction de la prescription, la cession, l'offre, la production, la fabrication, l'importation, l'exportation, le transport, la détention ou l'acquisition de produits dopants, aux fins d'usage par un sportif", en élargissant l'interdiction des produits dopants au-delà du statut de sportif.

La loi du 5 avril 2006 a permis l'harmonisation du dispositif national avec le cadre international que représente l'AMA (Agence Mondiale Anti-dopage) et le code mondial anti-dopage.

Les sanctions encourues peuvent être de nature pénale ou disciplinaire.

Les sanctions pénales consistent en une amende pouvant aller jusqu'à 75 000 euros et 5 ans d'emprisonnement, et 150 000 euros et 7 ans d'emprisonnement si le sportif concerné est mineur ou s'il s'agit d'un trafic en bande organisée. Il est important de savoir que tout usage de produits classés stupéfiants par un sportif est considéré comme dopant et expose le fournisseur à des poursuites ; ce dernier passage démontrant l'importance de la responsabilité du pharmacien dans la délivrance de médicaments pour les coureurs de trail.

Les sanctions disciplinaires vont être prises par les fédérations et par l'Agence Française de Lutte contre le Dopage (ALFD). Cette agence a été créée avec la loi du 5 avril 2006 et est en charge de l'organisation et de l'analyse des contrôles anti-dopages lors des compétitions et entraînements se déroulant en France. Tout sportif participant à une manifestation sportive agréée par une fédération a l'obligation de se soumettre à un contrôle anti-dopage à tout moment de la compétition.

- D'un point de vue sportif, le dopage se définit par "l'utilisation, en vue de l'amélioration des performances sportives, de substances, dosages ou méthodes interdits principalement pour leurs effets potentiellement néfastes sur la santé des sportifs, et qui sont par ailleurs de nature à mettre en péril les

principes communément acceptés de loyauté dans le sport (fair-play, esprit d'équipe, etc...)"

## 2. Les substances interdites dans la pratique sportive (114)

La connaissance des substances interdites dans la pratique sportive est nécessaire au pharmacien d'officine afin qu'il puisse assurer son rôle de conseils, de vigilance et de prévention au comptoir et face aux sportifs.

### a) les substances interdites en permanence (pendant et hors compétition)(114)

- les agents anabolisants (dont les Stéroïdes Anabolisants Androgènes SAA)
- les hormones peptidiques, facteurs de croissance, substances apparentées, et mimétiques (dont l'EPO et les agents ayant une action sur l'érythropoïèse)
- les bêta-2 agonistes (comme le formotérol, le salbutamol, la terbutaline,...)
- les modulateurs hormonaux et métaboliques (dont les inhibiteurs d'aromatase comme le létrozole, les modulateurs spécifiques des récepteurs aux oestrogènes comme le tamoxifène, les anti-oestrogéniques, l'insuline et les mimétiques de l'insuline,...)
- les diurétiques et agents masquants (incluant les molécules furosémide, indapamide, desmopressine, spironolactone, les diurétiques thiazidiques comme l'hydrochlorothiazide,...)

### b) les substances interdites en compétition (114)

- les stimulants (dont la pseudoéphédrine présente dans les spécialités Dolirhume® /Actifed Jour&nuit®/..., l'épinéphrine, la méthylphénidate qui est commercialisée sous le nom de quasym® /ritaline® /concerta® /medikinet® )
- les narcotiques (dont la morphine, le fentanyl, la buprénorphine, la méthadone,...)
- les cannabinoïdes

- les glucocorticoïdes (dont bétaméthasone, cortisone, budésonide, fluticasone, prednisone, prednisolone,...)

Il est également à noter que les bêtabloquants sont également interdits dans certaines disciplines sportives, surtout en compétition mais parfois hors compétition. Le trail et la course à pied ne sont pas concernés pour cette classe pharmacologique.

Concernant les résultats d'analyses anormales (RAA), en 2018, les substances les plus représentées étaient les stéroïdes anabolisants endogènes (32.4%), les glucocorticoïdes (20.5%) et les stimulants (10.2%) (106).

### 3. Les Autorisations d'Usage à des fins Thérapeutiques (AUT) (115)

Le code mondial antidopage de l'AMA a créé la procédure d'AUT pour permettre à un sportif d'être autorisé à utiliser des substances normalement interdites dans le cadre d'une prescription médicale justifiée. Au niveau national, la procédure d'AUT a été introduite par le biais de la loi du 5 avril 2006 et codifiée dans le code du sport par le décret du 25 mars 2007.

L'AUT permet de classer directement un dossier de contrôle positif sans ouverture de procédure disciplinaire, à condition que l'utilisation et la concentration de substance retrouvée soient conformes à l'AUT telle qu'elle a été accordée ; et que le sportif l'ait mentionné au moment du prélèvement.

Un sportif peut faire une demande d'AUT auprès de AFLD (sportif de niveau national) ou une fédération internationale (sportif de niveau international), il doit pour cela remplir un formulaire avec son médecin et fournir toute information médicale et renseignements cliniques pouvant permettre au Comité pour l'AUT (CAUT) de prendre une décision. Pour que l'AUT lui soit accordée, le sportif doit satisfaire quatre critères :

- le sportif présenterait d'importants problèmes de santé si la substance ou la méthode n'était pas administrée ;
- l'usage thérapeutique de la substance ne produirait pas une amélioration importante de la performance du sportif ;
- il n'existe aucune alternative thérapeutique raisonnable pouvant se substituer à la substance ou à la méthode interdite ;

- la nécessité d'utiliser la substance ou la méthode n'est pas une conséquence de l'utilisation antérieure, sans AUT, d'une substance ou méthode qui était interdite au moment de son utilisation.

Il est important de préciser que certaines situations peuvent permettre la délivrance d'une AUT rétroactive, notamment en cas d'urgence médicale. Les procédures de renouvellement sont également allégées afin de faciliter la procédure pour les sportifs.

En 2018, les spécialités pharmaceutiques à base de glucocorticoïdes représentaient 37,6 % des demandes. Les glucocorticoïdes interviennent dans le traitement des pathologies de l'appareil respiratoire (asthme, sarcoïdose), les maladies endocriniennes (insuffisance surrénalienne) et les pathologies de l'appareil locomoteur (lombalgie, névralgie cervico brachiale). Les modulateurs hormonaux (principalement l'insuline pour le traitement du diabète de type1) intervenaient dans 23 % des demandes et les stimulants (principalement le méthylphénidate pour le traitement du trouble déficitaire de l'attention) dans 13,6 % des dossiers. Enfin les hormones peptidiques (hormone de croissance pour le traitement de retard de croissance) étaient à l'origine de 6,6 % des demandes (114).

#### 4. Le rôle du pharmacien d'officine

Le pharmacien d'officine, en tant qu'acteur de santé publique et de par sa proximité avec les patients, va avoir un rôle de vigilance, de prévention et d'éducation du sportif vis-à-vis du dopage. En effet, on peut remarquer qu'une grande partie des substances interdites dans la pratique sportive fait partie de substances délivrées quotidiennement en officine (notamment les glucocorticoïdes, les diurétiques, les insulines, les béta-2 agonistes), certaines des spécialités nommées plus haut sont même disponibles sans ordonnance, comme par exemple les spécialités contenant de la pseudoéphédrine (Actifed Jour&Nuit®, Dolirhume®, Dolirhume Pro®).

Le pharmacien d'officine a donc de grandes chances d'être confronté à des conduites dopantes, volontaires ou non, dans sa pratique quotidienne. Il est donc indispensable qu'il soit capable d'identifier les situations et substances pouvant conduire à ce genre de conduites, d'autant plus que sa responsabilité pénale peut être engagée en cas de dopage avérée.

#### a) La conduite dopante volontaire (116)

L'achat de substances dopantes dans le but volontaire d'augmenter ses performances est une situation qui peut être rencontrée à l'officine avec des médicaments disponibles sur ordonnance, que ce soit à l'aide d'ordonnances falsifiées, d'un stockage pour usage ultérieur ou avec l'aide d'une tierce personne, prescripteur ou patient donnant accès à son traitement. C'est pourquoi le pharmacien doit être vigilant concernant l'authenticité des ordonnances mais aussi à la concordance entre les traitements et l'état de santé apparent du patient. On peut citer par exemple la prescription sans antécédent de diurétiques, potentiellement agents masquants, chez le patient sportif.

#### b) Le dopage par inadvertance (116)

Le dopage par inadvertance survient lorsqu'un sportif est contrôlé positif sans pour autant avoir sciemment violé les règles établies. Il est à noter que dans ce genre de situations des réductions ou annulations de peines contre le sportif incriminé sont envisageables.

Le dopage par inadvertance peut faire suite à une automédication, un usage de médicaments antérieurement prescrits pour une affection aiguë, ou un conseil non vigilant du pharmacien.

Les situations à risques pour le pharmacien peuvent concerner entre autres :

##### - le traitement du rhume :

Le sportif, ayant à cœur de diminuer au maximum les symptômes pour limiter l'impact sur sa performance, aura tendance à demander des traitements décongestionnants ou limitant l'hypersécrétion nasale, notamment ceux à base de pseudoéphédrine. Or cette substance est classée comme substances stimulantes interdites en compétition. Même en respectant les doses recommandées, les spécialités à base de pseudoéphédrine peuvent positiver un contrôle, notamment via l'élimination urinaire de la pseudoéphédrine. Le pharmacien doit se montrer vigilant dans ses conseils et recommander au minimum un arrêt du médicament 24 heures avant la compétition, ou orienter son conseil sur un autre traitement sans risque dopant.

##### - le traitement des troubles circulatoires :



Les médicaments veinotoniques, indiqués dans l'insuffisance veineuse et les crises hémorroïdaires peuvent contenir de l'heptaminol, classé comme stimulant parmi les substances interdites en compétition. L'heptaminol est retrouvé notamment dans le Ginkor Fort® et a été la molécule incriminée dans la suspension de 4 mois de Christel Dewalle à la suite d'un contrôle positif lors du kilomètre vertical des championnats du monde de skyrunning en Espagne en juillet 2016 (117).

Pour ce genre de situation, le pharmacien d'officine doit plutôt orienter son conseil vers des spécialités comme le Daflon®.

Dans cette dernière partie nous avons donc mis en évidence l'importance pour le coureur de trail de pouvoir trouver le conseil pertinent et la disponibilité d'un professionnel de santé, afin de pouvoir l'encadrer dans sa pratique, aussi bien pour l'aider à optimiser une nutrition parfois exigeante et difficile à mettre en place que pour l'avertir des risques sur l'automédication et le renseigner sur des sujets comme le dopage.

## ***Conclusion***

Le trail est une pratique sportive en plein essor, attirant de plus en plus de pratiquants et se diversifiant dans son panel de courses. Cependant, ce gain de popularité est relativement récent et la grande variété de longueur, durée et variation d'altitude dans les compétitions fait qu'une organisation claire et harmonisée de la discipline n'existe pas encore à l'échelle mondiale à l'heure actuelle.

Cette discipline, très exigeante dans la préparation, lors du déroulement de la course et dans les périodes de récupération, comporte des risques de blessures importantes; ces dernières pouvant se révéler très invalidantes en l'absence de prise en charge médicale.

Ces différents paramètres font que l'accompagnement du coureur de trail par un professionnel de santé me paraît essentiel à la bonne pratique de cette discipline sportive. Le pharmacien d'officine, de par sa disponibilité, a un rôle important à jouer. Il est souvent confronté aux blessures et aux affections du quotidien des sportifs d'endurance, souvent sous-estimées par les coureurs eux-mêmes. Dans le cadre de l'alimentation du coureur de trail, il peut être aussi amené à proposer une supplémentation par des compléments alimentaires lorsque nécessaire. Il dispose de connaissances scientifiques adéquates, incluant la nutrition, pour délivrer un conseil de qualité et personnalisé au patient sportif d'endurance.

Il faut cependant reconnaître que le caractère extrême des compétitions (surtout en ultra-trail) implique d'avoir des connaissances poussées en nutrition, en orthopédie et en matière de dopage afin de pouvoir fournir un conseil de qualité. A l'aide de questions précises, le pharmacien d'officine doit être capable de cerner le profil du traileur, ses besoins spécifiques suivant son mode de vie et son objectif de compétition, tout en restant acteur de santé publique en matière de prévention des conduites dangereuses à éviter (automédication, dopage volontaire ou non...). Le pharmacien d'officine doit donc effectuer un travail de formation spécifique pour conseiller au mieux ce type de sportif.

Dans un contexte où la diversification des missions et rôles des pharmaciens d'officine est un sujet d'actualité, il pourrait être intéressant de voir se développer un domaine de formation et d'expertise dans l'accompagnement des sportifs, incluant les traileurs, dans nos pharmacies..

## ***Références bibliographiques***

- 1) Charte européenne du sport, Art 2, consultable en ligne : <https://rm.coe.int/16804ca89a>
- 2) Sylvain Aquatias, Jean-François Arnal, Daniel Rivière, Jean Bilard, Jean-Paul Callède, et al., 2008. Activité physique : contextes et effets sur la santé - Synthèse et recommandations. [Rapport de recherche] Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM), 168 p.
- 3) Santé Publique France, Les résultats de l'étude ESTEBAN 2014-2015 / Activité physique et sédentarité. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/nutrition-et-activite-physique/articles/les-resultats-de-l-etude-esteban-2014-2015>.
- 4) Blog U-trail, Le trail : définition et enjeux. Site internet consulté en janvier 2020 <https://www.u-trail.com/trail-trail-definition/>.
- 5) International Trail Running Association, Les missions de l'ITRA. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://itra.run/page/391/Missions.html>.
- 6) Sherwood L., 2006. Physiologie humaine. 2<sup>e</sup> édition, Editions De Boeck Université, Bruxelles, 629 p.
- 7) Université Lille 2. Physiologie de l'exercice - Vers une compréhension des limites de la performance motrice. Site internet consulté en janvier 2020 : [http://campusport.univ-lille2.fr/physio/co/grain1\\_VT.html](http://campusport.univ-lille2.fr/physio/co/grain1_VT.html).
- 8) Bacquaert P., 2014. Les différentes filières énergétiques. IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.irbms.com/filieres-energetiques/>.

- 9) Wilmore J.H., Costill D.L., 2006. Physiologie du sport et de l'exercice. 3<sup>e</sup> édition, Editions De Boeck Université, Bruxelles, 602 p.
- 10) Brunet-Guedj E., Moyen B., Génety J. 2006., Médecine du sport. 5<sup>e</sup> édition, Editions Masson, Lyon, 424 p.
- 11) Association pour la recherche et l'évaluation en Activité Physique et Sport, Développement de la capacité aérobie de l'enfant et de l'adolescent en triathlon. Site internet consulté en janvier 2020 : <http://areaps.org/ppt/Enfant%20et%20adolescent/L.%C3%A9ger%20L.%20Cazorla%20G.%202016%20Capacit%C3%A9%20a%C3%A9robie%2C%20son%20%C3%A9valuation%20et%20son%20d%C3%A9veloppement%20chez%20l%27enfant%20et%20l%27adolescent.pdf>.
- 12) Léger, Luc, et al, 2001. Lactate et exercice : mythes et réalités. *Staps*, vol. 54, n°1, Editions De Boeck Supérieur, Bruxelles, p 153.
- 13) Aubineau N., Troubles digestifs et sport. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.nicolas-aubineau.com/troubles-digestifs-sport/>.
- 14) Giandolini M., 2015. Gestion de l'impact et de la fatigue neuromusculaire en trail running. Thèse en médecine de l'Université Jean Monnet - Saint-Etienne, 164 p.
- 15) Gaston, A-F, 2015. Les déterminants cardio-respiratoires de la performance en moyenne altitude chez des athlètes présentant une hypoxémie induite par l'exercice. Thèse en Médecine humaine et pathologie, Université de Perpignan, 190 p.
- 16) Messier, F, 2017. Physiologie de l'exercice et métabolomique chez des athlètes exposés à une altitude modérée aiguë. Thèse en Médecine humaine et pathologie. Université de Perpignan, 116 p.
- 17) Richalet, J.-P., 2012. Altitude et système cardiovasculaire. *Presse Médicale* 41, Editions Elsevier Masson, 638–643 p.
- 18) Manetta, J, Physiomax, Les seuils ventilatoires. Site internet consulté en janvier 2020 : [http://physiomax.com.free.fr/les\\_seuils\\_ventilatoires\\_.htm](http://physiomax.com.free.fr/les_seuils_ventilatoires_.htm).
- 19) Peres G. Facteurs limitatifs des performances du métabolisme aérobie. Cours de cardiologie du sport, D.U. de médecine du sport, Faculté de Médecine de la sorbonne, Paris. Site internet consulté en janvier 2020 :

<http://www.chups.jussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/cardiosport20092011/composantepuissancemaximaleaerobieVANDEWALLE.pdf>

- 20) Assadi H., 2012. Réponses physiologiques au cours d'exercices intermittents en course à pied. Thèse en médecine humaine et pathologie, Université de Bourgogne, 204 p.
- 21) Saragaglia D., 2003, Les entorses de la cheville. Cours d'anatomie pathologique, Faculté de Médecine de Grenoble. Site internet consulté en janvier 2020 : <http://www-sante.ujf-grenoble.fr/SANTE/corpus/disciplines/ortho/trauma/257c/econimprim.pdf>.
- 22) Coudert J., 2017. Effets du travail proprioceptif sur la stabilité posturale dynamique dans le cadre de la prévention des récives d'entorse de cheville. Mémoire de masseur-kinésithérapeute, Rennes, 59 p. (pdf consultable en ligne : [https://ifpek.centredoc.org/doc\\_num.php?explnum\\_id=1694](https://ifpek.centredoc.org/doc_num.php?explnum_id=1694)).
- 23) Danowski R.-G., Chanussot J.-C., 2005. Traumatologie du sport. 7<sup>e</sup> édition, Editions Masson, 592 p.
- 24) Vidal, Entorse de cheville - Prise en charge. Site internet consulté en janvier 2020 : [https://www.vidal.fr/recommandations/4026/entorse\\_de\\_cheville/prise\\_en\\_charge/](https://www.vidal.fr/recommandations/4026/entorse_de_cheville/prise_en_charge/).
- 25) Read T.F, 2002. Guide pratique des traumatismes sportifs, Editions Maloine, 336 p.
- 26) G. Gremion & P. Zufferey, 2015. Tendinopathies du sportif : étiologie, diagnostic et traitement. *Rev Med Suisse*, vol. 11, 596-601.
- 27) Fulpius. T, 2014. Talalgies (aponévrosite plantaire) : comment les prendre en charge ?, *Rev Med Suisse*, vol. 10, 241-242.
- 28) Bodereau-Faurot S., 2014. Préparation des pieds en vue d'un ultra-trail. *Globe Runners*. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.globe-runners.fr/preparation-pieds-trail-conseils-podologue/>.
- 29) Versier G. Biomécanique du Genou. Cours de biomécanique *ClubOrtho*, Site francophone de chirurgie orthopédique (pdf consultable en ligne : [https://www.clubortho.fr/cariboost\\_files/cours\\_20biomecanique\\_20genou\\_20GV.pdf](https://www.clubortho.fr/cariboost_files/cours_20biomecanique_20genou_20GV.pdf)).

- 30) Jouin A., 2012. Intérêt du renforcement musculaire des abducteurs de hanche dans la prévention du syndrome de la bandelette ilio-tibiale auprès d'une population de coureurs de fond. Mémoire de masseur-kinésithérapeute, Institut régional de formation aux métiers de la rééducation et réadaptation des pays de la Loire (pdf consultable en ligne : <https://kinedoc.org/work/kinedoc/283e3b31-27a5-4acd-8009-d950384cb574.pdf>).
- 31) Khaund R, Flynn S-H., 2005. Iliotibial band syndrome: a common source of knee pain. *American Family Physician*, vol. 71, n°8, 1545-1550.
- 32) Fredericson M, Wolf C, 2005. Iliotibial band syndrome in runners: innovations in treatment. *Sport Med.*, vol. 35, n°5, 451-459.
- 33) Monnier P., Syndrome Rotulien. Site internet d'information sur la chirurgie orthopédique consulté en janvier 2020 : <http://www.monnier-ortho.com/Bienvenue.html>.
- 34) Siegrist O., 2001. La prise en charge des entorses du genou. *Rev Med Suisse 2001*, vol. 3.
- 35) Fritschy D., Ménétreay J., 2009. Entorse grave du genou : quelle intervention et pour qui ?. *Rev Med Suisse 2009*, vol. 5, 1546-1550.
- 36) Chassaing V., 2011. Ménisque. Site d'information sur la chirurgie orthopédique consulté en janvier 2020 : <http://www.genou.com/menisque.htm>.
- 37) Lapègue P., 2018. Périostite tibiale. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.podologue-sport.com/les-pathologies-du-sportif/periostite-tibiale/>.
- 38) Jolivet F., 2012. La périostite tibiale 41. *Kiné du Sport n°534*, 41-43.
- 39) Chevalier J-M. Les syndromes chroniques de loges. Cours du D.U. de médecine du sport, Faculté de Médecine de la sorbonne, Paris (pdf consultable en ligne : <http://www.chups.jussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/cardiosport20092011/SyndromeschroniquesdelogesPrChevalier.pdf>).
- 40) Maton F., 2006. Les Blessures spécifiques : La Course à Pied. IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.irbms.com/blessures-course-a-pied/>.

- 41) Bacquaert P., 2014. Le Syndrome du pyramidal. IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.irbms.com/syndrome-pyramidal/>.
- 42) Watelet J., Bigard M-A., 2005. Troubles hépato-digestifs du sportif. *Gastroentérologie Clinique et Biologique*, Vol. 29, n° 5, 522-532.
- 43) Bacquaert P., 2015. Point de côté chez le sportif. IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.irbms.com/point-de-cote/>.
- 44) Thomas A, 2016. L'utilisation des huiles essentielles chez le sportif. Sciences Pharmaceutiques. Thèse de Pharmacie, Université de Lorraine, 97 p. (pdf consultable en ligne : <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01732601/document>).
- 45) Bacquaert P., 2014. Crampes à l'effort et crampes au repos : les soigner, les éviter. IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.irbms.com/crampe/>.
- 46) Collège des enseignants de nutrition, 2011. La dépense énergétique. Université Médicale Virtuelle Francophone, site internet consulté en janvier 2020 : [http://campus.cerimes.fr/nutrition/enseignement/nutrition\\_3/site/html/cours.pdf](http://campus.cerimes.fr/nutrition/enseignement/nutrition_3/site/html/cours.pdf).
- 47) Ritz P., 2002. La dépense énergétique : mode d'emploi, Annales d'endocrinologie vol. 63, n°6, 337 p.
- 48) CERIN, Centre de Recherche et d'Informations Nutritionnelles. Calorie. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.cerin.org/glossaire/calorie/>.
- 49) Bourbonnais G., 2009. glucides-1. Site internet du CEGEP de Sainte-Foy consulté en janvier 2020.
- 50) Bourbonnais G., 2009. Glucides. Site internet du CEGEP de Sainte-Foy, site consulté en janvier 2020 : [https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/qbourbonnais/pascal/fya/chimcell/notes\\_molecules/glucides\\_1.htm](https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/qbourbonnais/pascal/fya/chimcell/notes_molecules/glucides_1.htm).
- 51) Neyrat P., 2008. Glucides : besoins quotidiens. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.e-sante.fr/glucides-besoins-quotidiens/guide/848>.
- 52) Faure E., Les Glucides. Site internet consulté en ligne en janvier 2020 : <https://www.caducee.net/Fiches-techniques/glucides.asp>.

- 53) ANSES. Les lipides. Article en ligne. Site internet consulté en ligne en janvier 2020 : <https://www.anses.fr/fr/content/les-lipides>.
- 54) ANSES. Les acides gras trans. Site internet consulté en ligne en janvier 2020 : <https://www.anses.fr/fr/content/les-acides-gras-trans>.
- 55) ANSES, 2011. Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras. (pdf consultable en ligne : <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2006sa0359Ra.pdf>).
- 56) Simon M., 2009. Les apolipoprotéines & transports des lipides. Cours de Biochimie de Pharmacie. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.cours-pharmacie.com/biochimie/les-apolipoproteines-transports-des-lipides.html>.
- 57) Morice V. Lipides et lipoprotéines. Cours de Biochimie PCEM2 Biochimie Métabolique et Régulations. Site internet de l'Université Sorbonne de Médecine, consulté en janvier 2020.
- 58) Faure E., Le Cholestérol. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.caducee.net/DossierSpecialises/nutrition/cholesterol.asp>.
- 59) Neyrat P., 2008. Lipides : classification et structure. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.e-sante.be/lipides-classification-structure/guide/1333>
- 60) ANSES. Les protéines. Article en ligne. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.anses.fr/fr/content/les-prot%C3%A9ines>.
- 61) Brahim M., 2011. Les micronutriments. Site internet consulté en janvier 2020 : [http://www.cmb-sante.fr/\\_upload/ressources/06espace\\_pratique/062preventio\\_n\\_pratique/cmb\\_articlemicronutriments2\\_20111010.pdf](http://www.cmb-sante.fr/_upload/ressources/06espace_pratique/062preventio_n_pratique/cmb_articlemicronutriments2_20111010.pdf).
- 62) ANSES, 2016. Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires. Saisine n°2012-SA-0103, rapport d'expertise collective (pdf consultable en ligne : <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-2.pdf>).
- 63) ANSES, 2016. . Table de composition de CIQUAL, consultable en ligne : <https://pro.anses.fr/TableCIQUAL/>.
- 64) Martin et al., 2001. Apports nutritionnels conseillés pour la population française. 3<sup>e</sup> édition, Éditions Lavoisier, 610 p.



- 65) US Institute of Medicine (IOM), 2004. Dietary reference intakes: water, potassium, sodium, chloride and sulfate. Consensus report, Washington, 638 p.
- 66) Maton F., 2018. Les Sources des Fibres Alimentaires. IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.irbms.com/sources-fibres-alimentaires/>.
- 67) Site Vidal, 2008. Les fibres alimentaires, du volume utile. Guide de l'alimentation équilibrée. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://eurekasante.vidal.fr/nutrition/corps-aliments/fibres-alimentaires.html>.
- 68) Mc Ardle W. D., Katch F. I., Katch V. L., 2004. Nutrition & performances sportives. 1<sup>ère</sup> édition, 2<sup>ème</sup> tirage 2010. Editions De Boeck, Bruxelles, 668 p.
- 69) EFSA, 2010. Scientific Opinion on Dietary Reference Values for water. Parma, 48 p. (pdf consultable en ligne : <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2010.1459>)
- 70) CERIN, 2016. Glucides et sport, recommandations américaines et canadiennes. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.cerin.org/rapports/glucides-et-sport-recommandations-americaines-et-canadiennes/>.
- 71) AFSSA, 2004. Glucides et santé : état des lieux, évaluation et recommandations.. Rapport NUT-Ra-Glucides. (pdf consultable en ligne : <https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT-Ra-Glucides.pdf>).
- 72) Lasserre S., 2015. Lipides et performance des athlètes d'endurance Optimisation et représentations. Travail de bachelor, Genève, 94 p. (pdf consultable en ligne : <https://core.ac.uk/download/pdf/43668476.pdf>).
- 73) CERIN, 2016. Lipides et sport, recommandations américaines et canadiennes. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.cerin.org/rapports/lipides-et-sport-recommandations-americaines-et-canadiennes/>.
- 74) CERIN, 2016. Besoin en protéines des sportifs (aspects quantitatif et qualitatif). Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.cerin.org/actualites/besoin-en-proteines-des-sportifs-aspects-quantitatif-et-qualitatif/>.

- 75) Rousseau V., INSEP. Les besoins protéiques chez le sportif d'endurance (pdf consultable en ligne : [https://www.cerim.org/wp-content/uploads/2017/01/Proteines\\_et\\_sports\\_d\\_endurance\\_2014-Rousseau.pdf](https://www.cerim.org/wp-content/uploads/2017/01/Proteines_et_sports_d_endurance_2014-Rousseau.pdf)).
- 76) Bigard X., INSEP, 2014. Besoins protéiques du sportif d'endurance de loisir et de compétition (pdf consultable en ligne : [https://www.cerim.org/wp-content/uploads/2016/08/Proteines\\_et\\_sports\\_d\\_endurance\\_2014.pdf](https://www.cerim.org/wp-content/uploads/2016/08/Proteines_et_sports_d_endurance_2014.pdf)).
- 77) Aubineau N. BCAA et sport d'endurance. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.nicolas-aubineau.com/bcaa/>.
- 78) Aubineau N. Protéines et sport. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.nicolas-aubineau.com/proteines-sport/>.
- 79) Bigard X., 2017. Sport et pertes en vitamines, minéraux, oligoéléments. Nutrition du sportif, 3<sup>e</sup> édition, Editions Elsevier, Paris, 304 p.
- 80) Rousseau V., 2013. Sport et hydratation. INSEP. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://books.openedition.org/insep/1347?lang=fr>.
- 81) LE RDS - Le régime dissocié SCANDINAVES. Site internet consulté en janvier 2020 : [http://www.nutri-site.com/dossiers/regime-dissoc\\_complet.htm](http://www.nutri-site.com/dossiers/regime-dissoc_complet.htm).
- 82) Aubineau N., Turel A., 2017. Trail Coaching Nutrition. Editions Mango, 1<sup>ère</sup> édition, 126 p.
- 83) Peirano C., Sommet Mondial du Trail - Ultra Trail du Mont-Blanc<sup>®</sup> et Nutrition du Sportif. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://utmbmontblanc.com/fr/page/29/Ultra%20Trail%20du%20Mont-Blanc%3Csup%3E%C2%AE%3C/sup%3E%20et%20Nutrition%20du%20Sportif.html>.
- 84) Riché D., 2015. L'alimentation du sportif en 80 questions. Editions Vigot, 2<sup>ème</sup> édition, Paris, 237 p.
- 85) Millet G., 2013. Améliorer sa récupération en sport. INSEP Editions, Paris, 393 p.
- 86) Walters J., 2019. The Effects of Branched Chained Amino Acid Supplementation on Acute Markers of Fatigue and Performance. Electronic Theses and Dissertations, East Tennessee State University, 111 p.

- 87) [Décret n°2006-352 du 20 mars 2006 relatif aux compléments alimentaires.](#)  
consultable sur le site [legifrance.gouv.fr](http://legifrance.gouv.fr).
- 88) Maton F., 2016. [Compléments alimentaires pour sportifs et risque de dopage.](#)  
IRBMS Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé,  
site internet consulté en janvier 2020 :  
<https://www.irbms.com/securisation-complements-alimentaires-sportifs/>.
- 89) Tucker J., Fischer T., et al., 2018. [Unapproved Pharmaceutical Ingredients Included in Dietary Supplements Associated With US Food and Drug Administration Warnings.](#) Site PubMed consultable en ligne :  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30646238>.
- 90) <https://www.afnor.org/>. Site internet consulté en janvier 2020
- 91) Pardet N., 2015. [Prise médicamenteuse et de compléments alimentaires chez l'ultra-trailleur compétiteur, à propos du Grand Raid 2015.](#) Médecine humaine et pathologie. Thèse de médecine, Université de Bordeaux, 89 p.  
(pdf consultable en\* ligne :  
<https://pdfs.semanticscholar.org/b3de/197b7966d83f253c4ee24e2618d4e7830d98.pdf>).
- 92) ANSES, 2017. Avis de l'ANSES relatif aux risques liés à la consommation de compléments alimentaires contenant de la spiruline. Saisine n° 2014-SA-0096  
(pdf consultable en ligne :  
<https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0096.pdf>).
- 93) Maton F., 2018. [Spiruline et sport : quel intérêt chez le sportif ?.](#) IRBMS  
Institut de Recherche du Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site  
internet consulté en février 2020 : <https://www.irbms.com/spiruline-sport/>.
- 94) CERIN, 2016. [Antioxydants, vitamine D et sport, recommandations américaines et canadiennes.](#) Site internet consulté en février 2020 :  
<https://www.cerin.org/rapports/antioxydants-vitamine-d-et-sport-recommandations-americaines-et-canadiennes/>.
- 95) Bielinski R. W., 2006. [Magnésium et activité physique.](#) *Rev Med Suisse* 2006,  
vol. 2.
- 96) Bacquaert P., 2014. [L'Anémie de la Sportive.](#) IRBMS Institut de Recherche du  
Bien-Être de la Médecine et du Sport Santé, site internet consulté en février  
2020 : <https://www.irbms.com/anemie-et-sport/>.

- 97) Thomas D., Erdman K., Burke L., 2016. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. Journal of Academy of Nutrition Dietetics.
- 98) Baudrier O., 2018. Dopage : les injections de fer, attention à ne pas dépasser la ligne rouge. Site internet consulté en février 2020 : <https://spe15.fr/ldopage-les-injections-de-fer-attention-a-ne-pas-depasser-la-ligne-rouge/>.
- 99) Vidal, 2014. Ginseng. Site internet consulté en février 2020 : <https://eurekasante.vidal.fr/parapharmacie/phytotherapie-plantes/ginseng.html>.
- 100) Vidal, 2014. Eleuthérocoque. Site internet consulté en février 2020 : <https://eurekasante.vidal.fr/parapharmacie/phytotherapie-plantes/eleutherococcus-eleutherococcus-senticosus.html>.
- 101) EMA, 2014. Community herbal monograph on Eleutherococcus senticosus. (pdf consultable en ligne : <https://www.fitoterapia.net/archivos/201611/wc500175010.pdf?1>)
- 102) Vidal, 2018. Curcuma. Site internet consulté en février 2020 : <https://eurekasante.vidal.fr/parapharmacie/phytotherapie-plantes/curcuma-longa.html>.
- 103) Daily JW, Yang M., Park S., 2016. Efficacy of Turmeric Extracts and Curcumin for Alleviating the Symptoms of Joint Arthritis: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Clinical Trials. Site PubMed consultable en ligne : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27533649>
- 104) Vidal, 2013. Caféine. Site internet consulté en février 2020 : <https://www.vidal.fr/substances/698/cafeine/>.
- 105) Juneau M., 2018. Les effets du café sur les maladies cardiovasculaires. Institut de Cardiologie de Montréal. Site internet consulté en février 2020 : <https://observatoireprevention.org/2017/05/14/effets-cafe-maladies-cardiovasculaires/>.
- 106) Agence Mondiale Antidopage. Liste des interdictions entrée en vigueur au 1<sup>er</sup> janvier 2020 (pdf consultable en ligne :

- [https://www.wada-ama.org/sites/default/files/wada\\_2020\\_french\\_prohibited\\_list.pdf](https://www.wada-ama.org/sites/default/files/wada_2020_french_prohibited_list.pdf)).
- 107) ANSES, 2016. Caféine et santé. Site internet consulté en février 2020 : <https://www.anses.fr/fr/content/caf%C3%A9ine-et-sant%C3%A9>.
- 108) Juhles R., 2017. La visite de non contre-indication à la pratique d'une course à pied en compétition: enquête sur quatre courses régionales. Thèse de médecine humaine et pathologie, Université de Bordeaux, 96 p. (pdf consultable en ligne : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01676246/document>).
- 109) Didier S., 2015. Automédication chez les coureurs de trail et d'ultra-trail® : enquête lors de l'Infernal Trail des Vosges 2014, 13 et 14 septembre 2014. Thèse de médecine, Nancy, 75 p (pdf consultable en ligne : <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01733245/document>)
- 110) Amaud M., 2011 Automédication chez les coureurs d'ultra-trail® : étude du North Face® UTMB® 2010. Thèse de doctorat en pharmacie, Montpellier.
- 111) Fournier P-E., Leal S., Ziltener J-L., 2008. Anti-inflammatoires non stéroïdiens : utilisation en médecine du sport. *Rev Med Suisse* 2008, Vol. 4, 1702-1705.
- 112) Poletti L. Sommet Mondial du Trail - Les risques liés à l'automédication. Site internet consulté en janvier 2020 : <https://utmbmontblanc.com/fr/page/160/Les%20risques%20li%C3%A9s%20%C3%A0%20l'autom%C3%A9dication.html>.
- 113) Bernard P., 2011. Dopage chez le sportif amateur : état des lieux, rôle et place du pharmacien d'officine. Thèse en pharmacie, Université de Nantes, 111 p.
- 114) Agence Française de Lutte contre le Dopage. RAPPORT D'ACTIVITÉ. Rapport d'activité 2018 (pdf consultable en ligne : [https://www.afld.fr/wp-content/uploads/2019/06/AFLD\\_RA\\_2018.pdf](https://www.afld.fr/wp-content/uploads/2019/06/AFLD_RA_2018.pdf)).
- 115) Agence Mondiale Antidopage. Autorisation d'usage à des fins thérapeutiques (AUT). Site internet consulté en janvier 2020 : <https://www.wada-ama.org/fr/questions-reponses/autorisation-dusage-a-des-fins-therapeutiques-aut>.
- 116) Darget V., 2018. Le dopage sportif: état des lieux des pratiques et place du pharmacien d'officine. Thèse en pharmacie, Université de Bordeaux, 178 p.

- (pdf consultable en ligne :  
<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01764294/document>).
- 117) Baudrier O., 2017. Dopage : Christel Dewalle suspendue 4 mois. Site internet consulté en janvier 2020 :  
<https://spe15.fr/dopage-christel-dewalle-suspendue-4-mois/>.

## ***Bibliographie des figures et tableaux***

- (a) Figure 1 :  
<https://alexisvdp1299.wixsite.com/tpe-sport-et-sante/organisation-du-muscle-et-sa-contraction>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (b) Figure 2 :  
<https://www.schoolmouv.fr/cours/consommation-et-regeneration-de-l-atp-dans-la-cellule-musculaire/fiche-de-cours>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (c) Figure 3 : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ad%C3%A9nosine\\_triphosphate](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ad%C3%A9nosine_triphosphate). Site internet consulté en janvier 2020.
- (d) Figure 4 : <http://calamar.univ-aq.fr/uaq/staps/cours/anat/new/physio.htm>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (e) Figure 5 : <http://coproweb.free.fr/paqphy/physioan/ch3s1.htm#1.3>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (f) Figure 6 : [http://physiomax.com.free.fr/les\\_seuils\\_ventilatoires\\_.htm](http://physiomax.com.free.fr/les_seuils_ventilatoires_.htm). Site internet consulté en janvier 2020.
- (g) Figure 7 : [http://physiomax.com.free.fr/les\\_seuils\\_ventilatoires\\_.htm](http://physiomax.com.free.fr/les_seuils_ventilatoires_.htm). Site internet consulté en janvier 2020.
- (h) Figure 8 : <https://www.luc-cheilan.com/seuil-seuils-lactiques-ftp/>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (i) Figure 9 :  
[http://www.cmb-sante.fr/upload/ressources/06espace\\_pratique/062preventio\\_n\\_pratique/cmb\\_pathodansefiches-20110506.pdf](http://www.cmb-sante.fr/upload/ressources/06espace_pratique/062preventio_n_pratique/cmb_pathodansefiches-20110506.pdf). Site internet consulté en janvier 2020.
- (j) Figure 10 :  
<https://www.osteopathe-nancy.com/single-post/2016/09/29/Apport-de-lost%C3%A9opathie-dans-lapon%C3%A9vrosite-plantaire>. Site internet consulté en janvier 2020.

- (k) Figure 11 : <https://www.vulgaris-medical.com/blog-sante/le-blog-de-sophie-lacoste/epine-calcaneenne-des-remedes-qui-soulagent>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (l) Figure 12 : <https://maevarupe-osteopathe.weebly.com/actualiteacutes/syndrome-de-lessu-je-glace>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (m) Figure 13 : [http://www.chirurgie-orthopedique-nice.com/liqamentoplastie\\_genou.html](http://www.chirurgie-orthopedique-nice.com/liqamentoplastie_genou.html). Site internet consulté en janvier 2020.
- (n) Figure 14 : <http://www.institut-genou.com/menisque-interne-genou.html>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (o) Figure 15 : <http://www.chups.iussieu.fr/polys/dus/dusmedecinedusport/cardiosport20092011/SyndromeschroniquesdelogesPrChevalier.pdf>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (p) Figure 16 : <http://www.dr-francois-baque.fr/le-syndrome-du-pyramidal/>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (q) Figure 17 : [https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/qbourbonnais/pascal/fya/chimcell/notes\\_molecules/glucides\\_1.htm](https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/qbourbonnais/pascal/fya/chimcell/notes_molecules/glucides_1.htm). Site internet consulté en janvier 2020.
- (r) Figure 18 : [https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/qbourbonnais/pascal/fya/chimcell/notes\\_molecules/glucides\\_2.htm](https://babel.cegep-ste-foy.qc.ca/profs/qbourbonnais/pascal/fya/chimcell/notes_molecules/glucides_2.htm). Site internet consulté en janvier 2020.
- (s) Tableau 1 : <https://www.anses.fr/fr/content/les-lipides>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (t) Figure 19 : <https://docplayer.fr/64198610-Le-milieu-interieur-1-le-milieu-interieur-et-sa-compartimentation-definition-du-milieu-interieur.html>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (u) Tableau 2 : <http://www.kinjao.com/guide-information-index-glycemique.html>. Site internet consulté en janvier 2020.
- (v) Tableau 3 : CERIN, 2016. Glucides et sport, recommandations américaines et canadiennes. <https://www.cerin.org/rapports/glucides-et-sport-recommandations-americaines-et-canadiennes/>. Site consulté en janvier 2020.
- (w) Tableau 4 : Lasserre S, 2015. Lipides et performance des athlètes d'endurance. Haute Ecole de Santé de Genève, Genève, 94 p.
- (x) Tableau 5 : Didier S., 2015. Automédication chez les coureurs de trail et d'ultra-trail® : enquête lors de l'Infernal Trail des Vosges 2014, 13 et 14 septembre 2014. Thèse de médecine, Nancy, 75 p.







**DEMANDE D'AUTORISATION DE SOUTENANCE**

Nom et Prénom de l'étudiant : DEROISSART LUCAS INE : 29020105813

Date, heure et lieu de soutenance :

Le 10/03/20 à 18h15 Amphithéâtre ou salle : Cusie

**Engagement de l'étudiant - Charte de non-plagiat**

J'atteste sur l'honneur que tout contenu qui n'est pas explicitement présenté comme une citation est un contenu personnel et original.

Signature de l'étudiant :

**Avis du directeur de thèse**

Nom : Riviere

Prénom : Celine

Favorable

Défavorable

Motif de l'avis défavorable : .....

Date : 10/02/2020

Signature:

**Avis du président du jury**

Nom : HENNEBELLE

Prénom : Stéphan

Favorable

Défavorable

Motif de l'avis défavorable : ✓

Date : 11/02/2020

Signature:

**Décision du Doyen**

Favorable

Défavorable

10/3/2020  
Le Doyen  
  
B. DÉCAUDIN

NB : La faculté n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans les thèses, qui doivent être regardées comme propres à leurs auteurs.





Université de Lille  
FACULTE DE PHARMACIE DE LILLE  
**DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN PHARMACIE**  
Année Universitaire 2019/2020

**Nom : Deroissart**  
**Prénom : Lucas**

**Titre de la thèse : Rôle du pharmacien d'officine dans l'accompagnement du coureur de trail**

**Mots-clés :** Trail; Nutrition; Compléments alimentaires; Dopage; Sportif; Officine; Blessures; Endurance.

---

**Résumé :** Le trail est une course nature (80% de pistes non goudronnées) impliquant souvent des variations d'altitude importantes et des distances élevées. Cette discipline sportive en plein développement rencontre à l'heure actuelle une hausse de popularité à tous les niveaux sportifs, de l'amateur à l'athlète de haut niveau. Dans cette thèse nous avons étudié les principales pathologies que les coureurs de trail peuvent rencontrer dans leur pratique ainsi que l'impact d'une nutrition optimisée chez ces sportifs. Il existe différents types de stratégies et de programmes nutritionnels. L'alimentation du coureur peut être impactée de façon radicale suivant son choix de régime. L'optimisation des performances et la prévention des blessures passeront nécessairement par l'établissement d'un bon programme nutritionnel, prenant en compte les différentes périodes d'entraînement, de pré-compétition, de compétition et de post-compétition. Nous avons également considéré l'intérêt d'un accompagnement par un professionnel de santé, le pharmacien d'officine, ainsi que les leviers dont celui-ci dispose afin de conseiller, compléter voir supplémer le coureur de trail dans son alimentation si besoin. Le pharmacien a un rôle important à jouer dans le conseil mais également dans la prévention du sportif, notamment en matière d'automédication mais aussi vis-à-vis du dopage.

---

**Membres du jury :**

**Président :** Dr Thierry Hennebelle, Professeur en Pharmacognosie, Université de Lille

**Directeur de thèse** : Dr Céline Rivière, Maître de conférences en Pharmacognosie,  
Université de Lille 2

**Membre(s) extérieur(s)** : Dr Wattel Anne, Docteur en Pharmacie  
Mr Henri Noisette, Kinésithérapeute diplômé d'Etat