

Ministère de la Jeunesse et des Sports

INFSSTS Abdellah Fadel

Cité Belle vue, Bp : 117, Ain-Benian, Alger

Département : Sports Individuels

Biochimie du sport

Dr. AIT ALI YAHIA Amar

Maître de conférences A

رئيس اللجنة العلمية

دائرة تكنولوجيا التدريب الرياضي

عزوز دلييلة

زوجة محداد

بالمعهد الوطني للتكوين العالي في العلوم والتكنولوجيا  
بجامعة الجزائر  
يوثقانور حورية

Année universitaire : 2018 / 2019

## 1. Présentation du module

Module	<b>Biochimie du sport</b>
Mode d'enseignement	Présentiel
But du module	Maîtriser les concepts de base de la biochimie du sport
Nombre de semestres	2
Nombre de semaines	24
Conférence / semaine	1
Durée de la conférence	90 minutes
Volume horaire global	36 heures
Coefficient	2
Étudiants ciblés	Éducateurs Principaux 2 <sup>e</sup> année
Méthodologie	Exposé magistral
Support de cours	Présentation Powerpoint

## 2. Modes d'évaluation

<b>Évaluation</b>	<b>Titre</b>	<b>Mode de travail</b>	<b>Pondération</b>
Semestrielle	Examen écrit	Individuel	60%
	Exposé	Groupe	20%
	Contrôles continus	Individuel	20%

### 3. Plan thématique

Semestre	Conférence	Durée
1	1. Introduction à la biochimie	2 semaines
	2. les glucides	4 semaines
	3. Les lipides	4 semaines
2	4. Les protéines	4 semaines
	5. Les enzymes	4 semaines
	6. Les vitamines	5 semaines

### 4. Bibliographie

Audigié, C., & Zonszain, F. (1988). Biochimie métabolique. Paris : Doin éditeurs.

Marouf, A., & Tremblin, G. (2015). Abrégé de biochimie appliquée. Grenoble : EDP sciences.

Poortmans, J., & Boisseau, N. (2012). Biochimie des activités physiques et sportives (éd. 2). Bruxelles : Éditions De Boeck Université.

Quentin, F., Gallet, P.-F., Guilloton, M., & Quintard, B. (2015). Biochimie en 84 fiches (éd. 2). Paris : Dunod.

Valdigué, P. (2000). Biochimie clinique (éd. 2). Cachan : Éditions médicales internationales.

Voet, D., & Voet, J. (2005). Biochimie (éd. 2). Bruxelles : De Boeck Supérieur.

Weinman, S., & Méhul, P. (2004). Toute la biochimie. Paris : Dunod.

## 5. Table des matières

### Semestre 1

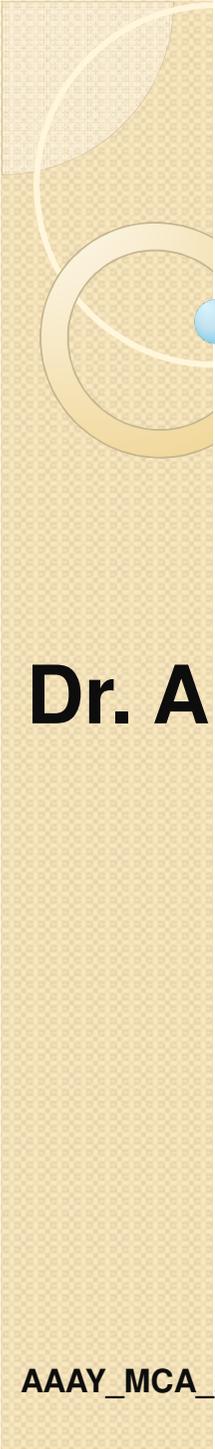
<b>Conférence 1.1 : Introduction à la biochimie</b>	6
1. Définitions	8
2. Débuts de la biochimie	12
3. Subdivision de la biochimie	13
4. Techniques de biochimie	16
5. Biochimie et APS	18
6. Origine de la biochimie musculaire	21
<b>Conférence 1.2 : Les glucides</b>	26
1. Introduction	28
2. Définition	30
3. Rôle des glucides	31
4. Classification des glucides	32
5. Glucides et sport	44
<b>Conférence 1.3 : Les lipides</b>	60
1. Introduction	62
2. Classification des lipides	64
3. Réactions chimiques des lipides	68
4. Rôle des lipides	72
5. Les acides gras	74
6. Caractéristiques des lipides	94

7. Lipides et exercices	97
8. Intérêts pour les sportifs	103

## Semestre 2

<b>Conférence 2.1 : Les protéines</b>	107
1. Introduction	109
2. Origine des protéines	113
3. Structure des protéines	115
4. Fonctions des protéines	118
5. Les acides aminés	122
6. Classification des protéines	126
7. L'intérêt des protéines	129
8. La digestion des protéines	132
9. Protéines et exercice physique	134
<b>Conférence 2.2 : Les enzymes</b>	145
1. Histoire de l'enzymologie	147
2. Définition	150
3. Classification des enzymes	157
4. Caractéristiques des enzymes	167
5. Les coenzymes	171
6. Groupes d'enzymes	173
7. Domaines d'utilisation des enzymes	175
8. Les besoins en enzymes	180

<b>Conférence 2.3 : Les vitamines</b>	181
1. Définition	183
2. Classification des vitamines	186
3. Les sources alimentaires	190
4. Besoins quotidiens en vitamines	192
5. Les vitamines hydrosolubles	195
6. Les vitamines liposolubles	213
7. Vitamines et sports	225



# **Introduction à la Biochimie**

**Dr. Ait Ali Yahia-Amar      Maître de conférences A**

**Conférence 1.1**

**INFSSTS Abdellah Fadhel**

# Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir la biochimie,
- Décrire les débuts de la biochimie,
- Subdiviser la biochimie,
- Énumérer les techniques de biochimie,
- Comprendre la relation entre biochimie et APS,
- Déterminer l'origine de la biochimie musculaire.

# 1. Définitions

- ✓ Le terme a été créé en 1903 par Carl Neuberg d'après la racine grecque Βιοχημεία (biochēmeia).
- ✓ La biochimie est la discipline scientifique qui étudie les réactions chimiques ayant lieu au sein des cellules.

- ✓ Chimie des molécules du vivant ; étude de la structure et de la conformation des molécules du vivant ainsi que de leurs transformations lors de réactions chimiques in vivo.
- ✓ Étude des processus et composés chimiques dans les organismes vivants.



✓ Globalement, elle cherche à déterminer les rôles que jouent ces molécules au sein des processus biologiques, et, par la même, à élucider les bases du fonctionnement d'une cellule ou d'un organisme vivant.



✓ La biochimie couvre un vaste champ d'investigation grâce à des disciplines comme la biologie moléculaire et la génétique moléculaire, englobant des domaines de la biologie cellulaire, de la microbiologie et de la physiologie.

## 2. Débuts de la biochimie

- ✓ En 1780, Louis Antoine Lavoisier fut le premier à montrer que les animaux consomment de l'oxygène.
- ✓ En 1828, Friedrich Wöhler synthétisa l'urée, démontrant que les composés organiques peuvent être créés artificiellement.
- ✓ Dans les années 1830, les premières enzymes de provenance végétale et animale furent isolées.

# 3. Subdivision de la biochimie

Elle se subdivise en 3 groupes :

- ✓ l'énergétique, production d'énergie par la cellule;
- ✓ l'enzymologie ou étude des catalyseurs biologiques ;
- ✓ le métabolisme, divisé en anabolisme, réactions de synthèse des molécules et catabolisme, réactions de dégradation des molécules.

Les principales catégories de molécules étudiées en biochimie :

- ✓ les glucides,
- ✓ les lipides,
- ✓ les protéines,
- ✓ les acides nucléiques.

Ces molécules sont constituées principalement de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote.

Elles représentent les éléments fondamentaux de l'édification et du fonctionnement de la cellule, divisées en deux groupes :

- ✓ les macroéléments,
- ✓ les microéléments.

## 4. Techniques de biochimie

- ✓ En 1906, le botaniste Mikhaïl Tswett met au point la chromatographie, technique permettant de séparer les biomolécules.
- ✓ En 1929, Theodore Svedberg isole les différents constituants des cellules grâce à une centrifugation poussée (ultracentrifugation).

✓ En 1930, Arne Wilhelm Tiselius développe la technique d'électrophorèse, pour séparer des biomolécules chargées sous l'effet d'un champ électrique.

✓ Le biochimiste britannique Frederick Sanger développe en 1955 une nouvelle méthode pour analyser la structure moléculaire des protéines (séquence d'acides aminés).

## 5. Biochimie et APS

- ✓ La biochimie des activités physiques est une discipline relativement récente.
- ✓ Au britannique, Prix Nobel de Médecine, Archibald Vivian Hill, que l'on doit l'engouement envers cette discipline.
- ✓ Selon Hill (2026), « Quelques-unes des données physiologiques les plus importantes ne se retrouvent pas dans les livres de physiologie ou les ouvrages de médecine mais dans les records mondiaux de la course à pied ».

- ✓ Il a principalement travaillé sur la dynamique de la contraction musculaire.
- ✓ Hill utilise l'adaptation de l'organisme humain aux activités sportives pour comprendre les mécanismes de la contraction musculaire.

- ✓ Alexander V. Palladin évoque le terme « biochimie de l'entraînement musculaire » en 1945 dans un article publié dans le périodique « Science ».
- ✓ Il y relate les travaux de l'École russe de Kiev sur la créatine, la fatigue musculaire et les effets de l'entraînement sur la glycolyse .

## 6. Origine de la biochimie musculaire

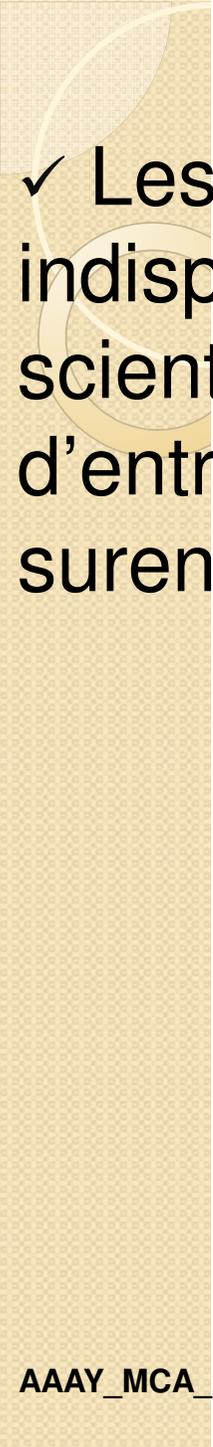
- ✓ En 1789, Armand Seguin et Louis Antoine Lavoisier déterminent la consommation d'oxygène au repos et au travail chez l'homme. La consommation d'oxygène augmente en fonction du travail musculaire.
- ✓ En 1907, Fletcher et Hopkins publient un article sur l'apparition d'acide lactique dans le muscle d'amphibien stimulé jusqu'à la fatigue.

- ✓ Dans les années 1830, isolation des premières enzymes de provenance végétale et animale.
- ✓ En 1927, P. Eggleton et G.P. Eggleton ainsi que Fiske et Subbarow, observent séparément du phosphagène ou (phosphocréatine) dans des échantillons de muscle de grenouille.

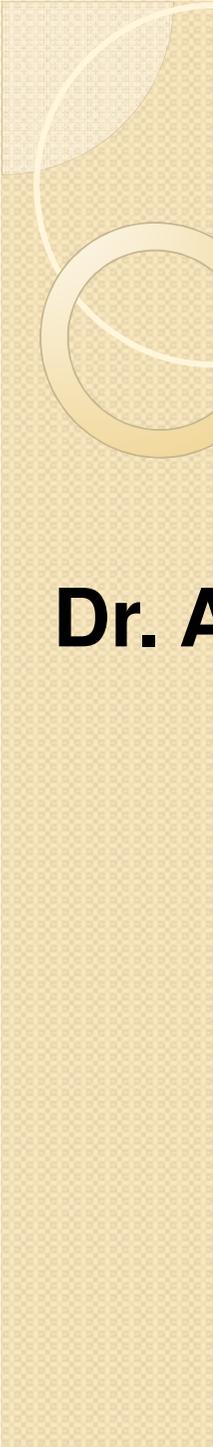
- ✓ La découverte de l'ATP (adénosine triphosphate) date de 1929 lorsque Lohmann isole du muscle un groupement «pyrophosphate».
- ✓ En 1930, en compagnie de Fiske et Subbarow, ils isolent l'adénine et du ribose phosphate dans des extraits musculaires.



<b>Auteurs</b>	<b>Années</b>	<b>Contributions</b>
August Krogh	1920	Cycloergomètre, analyse des gaz
Archibald V. Hill	1922	Chaleur musculaire
Otto Meyerhof	1922	Acide lactique musculaire
Hans A. Krebs	1953	Métabolisme musculaire
John Eccles	1963	Innervation croisée nerf-muscle
Ulf von Euler	1970	Catécholamines et exercice



✓ Les mécanismes de régulation cellulaire sont indispensables pour étayer le développement scientifique, programmé, des techniques d'entraînement tout en évitant les écueils du surentraînement et de ses déviances.



# **Les Glucides**

**Dr. Amar Ait Ali Yahia    Maître de conférences A**

**Conférence 1.2**

**INFSSTS Abdellah Fadhel**

# Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Décrire les glucides,
- Définir les glucides,
- Identifier le rôle des glucides,
- Classer les glucides,
- Comprendre l'intérêt des glucides dans le sport.

# 1. Introduction

- Les glucides sont les biomolécules les plus abondantes dans la matière vivante.
- Ils sont des constituants essentiels (comme les protéines et les lipides) des êtres vivants et de leur nutrition.
- Ils sont un des principaux intermédiaires biologiques de stockage et de consommation d'énergie.

- Ils représentent environ 70 % du poids sec des végétaux, et 5 % du poids sec des animaux.
- La photosynthèse produit la majeure partie des glucides de la planète.
- Ils servent de réservoir énergétique chez les animaux et les plantes.
- Ils sont utilisés dans l'industrie alimentaire et les biotechnologies.

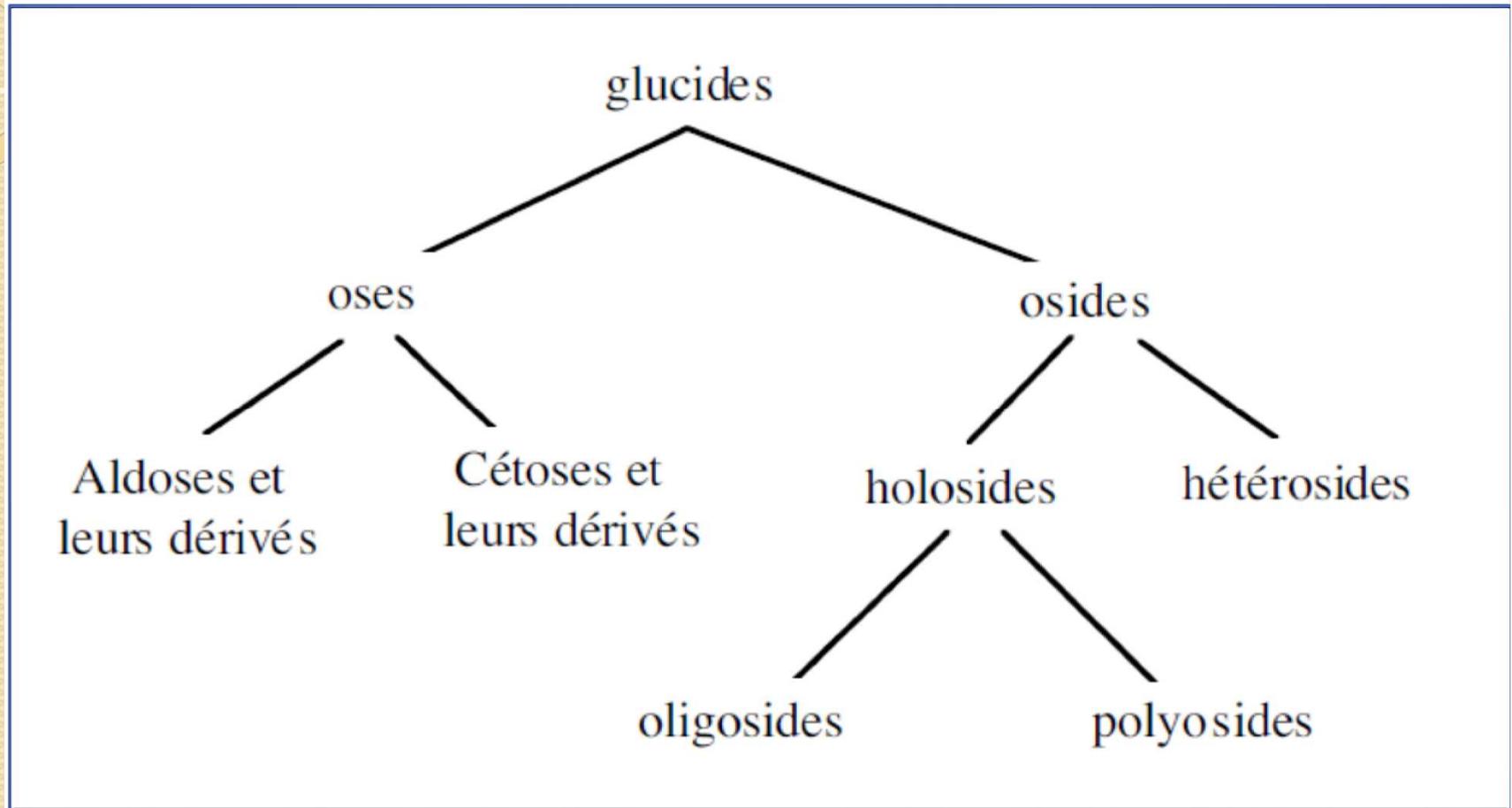
## 2. Définition

- Les glucides sont des molécules organiques composés d'atomes de carbone liés à différents groupements hydroxyles et porteurs de fonctions aldéhydes, cétones, acides ou amines.
- Leur formule brute générale :  $C_n(H_2O)_n$   $n \geq 3$

### 3. Rôle des glucides

- **Structural** (ex: la cellulose des plantes, composition du tissu conjonctif).
- **Métabolique** (ex: glycogène des animaux).
- **Communication** cellulaire.

# 4. Classification



## 4.1. Oses

✓ **Les oses** ou monosaccharides (sucres simples), possèdent un squelette carboné linéaire, comportant **3 à 8 Carbones**.

Glucose, Mannose, Galactose (**hexoses**), Ribose (**pentose**), Érythrose (**tétraose**), Glycéraldéhyde (**triose**).

On distingue **deux familles** d'oses, définies par les deux fonctions du carbonyle: un aldéhyde caractérise **un aldose** et une cétone caractérise **un cétose**.

- **Le glucose** est le plus abondant des oses simples de notre organisme.
- **Le mannose**, un ose simple dans notre alimentation (végétaux), nécessaire à la synthèse de certaines molécules (glycoprotéines).
- **Le galactose**, un ose simple dans notre alimentation (lait). Il joue un grand rôle dans l'alimentation du nourrisson.
- **Le fructose**, un ose simple dans notre alimentation (fruits, sucre). Il joue un grand rôle dans l'alimentation.

## 4.2. Osides

✓ **Les osides** sont des polymères d'oses liés par une liaison osidique. Ils sont hydrolysables, et aussi appelés glucides complexes.

➤ Les oligosaccharides composés d'un nombre **déterminé** de monosaccharides (oses):  
Disaccharides, trisaccharides.

➤ Les polysaccharides composés d'un nombre **indéterminé** de monosaccharides.

## Les Diholosides (disaccharides):

- **Le saccharose**: sucre ordinaire d'origine végétale raffiné (canne à sucre, betterave sucrière, etc).
- **Le lactose**: sucre du lait. Présent à **69 g/l** (humain) et **46 g/l** (vache). Son goût est assez peu sucré.
- **Le maltose**: produit intermédiaire de la digestion de l'amidon ou glycogène.

# Les polyholosides

## 1. L'amidon:

- C'est un polymère de glucose (chaîne linéaire de **200 à 3000** glucoses).
- Il est assimilable par l'homme grâce à une hydrolyse digestive. C'est une source alimentaire principale de glucides.
- Substance de réserve glucidique dans les tissus des féculents : **tubercules** (pomme de terre, manioc...), **graines des céréales** (riz, blé, maïs...), **légumes secs** (lentilles, haricots...).

- L'amidon est composé d'**amylose** (15 à 30%) et d'**amylopectine** (70 à 85%) sous forme de ramifications.
- La proportion d'amylose par rapport à l'amylopectine détermine la nature physico-chimique des aliments amyliacés et leurs effets nutritionnels sur l'organisme humain.

## 2. Le glycogène

- Structure pratiquement identique à l'amidon. Il est composé de **100 à 3000** glucoses.
- Substance de réserve glucidique des animaux : **foie et muscles des mammifères, insectes ou mollusques** (huîtres).
- Facteurs de concentration de glycogène au repos: **condition physique, âge, sexe, état nutritionnel et endocrinien, typologie des fibres musculaires, délai** de sa dernière activité physique.

- Présent dans le foie ( $\pm$  90-100 g), dans les muscles striés squelettiques ( $\pm$  400-500g) et le cerveau ( $\pm$  1-2 g).
- Il est très important pour les sportifs car il permet d'avoir une source d'énergie disponible pendant l'effort.
- Contrairement à l'amidon, il est soluble dans l'eau froide.

### 3. La cellulose :

- La principale molécule structurelle des plantes est la cellulose. Elle est composé de **500 à 5000** unités de glucose.
- Le bois est en partie composé de cellulose, tandis que le papier et le coton sont de la cellulose presque pure.

- Elle ne peut être assimilée par l'être humain mais sa présence dans l'alimentation favorise le transit intestinal et protège l'organisme contre le cancer du colon.
- Elle fait partie des fibres alimentaires.
- La cellulose est un polymère de glucose. C'est une molécule très longue et rigide, dont la structure lui confère ses propriétés mécaniques telles qu'observées chez les plantes.

## 4. L'agar-agar (ou gelose)

- Extrait d'algues rouges, utilisé en bactériologie et dans l'industrie alimentaire comme gélifiant.

## **5. Glucides et sport**

- Les glucides représentent le principal substrat énergétique pour la réalisation d'activité sportive de haut niveau et d'intensité élevée.
- Moins il y a d'amylose dans un amidon, plus l'amidon va être dégradé facilement en glucose et plus son index glycémique sera élevé.
- Le rendement est de 400 kcal pour 100 g de glucides.

➤ Pour le sportif d'endurance, ils doivent représenter **55 à 70 %** des apports énergétiques totaux soit **5 à 12 g/kg** de poids corporel/jour.

➤ La digestion permet l'utilisation des glucides décomposés en glucose de deux façons :

- Sous forme d'énergie mécanique (musculaire),
- Stocké dans le foie et les muscles sous forme de glycogène.

# Stratégie pour compétitions et entraînements

## Objectif

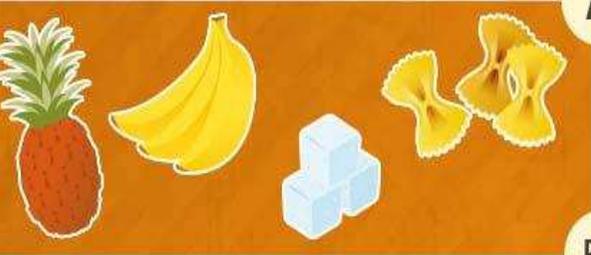
## Glucides

Charge glucidique avant une compétition < 90 min (l'entretien des réserves suffit)	7 à 12 g/kg/jour (ou comme pour l'apport d'entretien)
Charge glucidique avant une compétition <90 min	10 à 12 g/kg/jour (3 à 2 jours avant l'évènement)
Recharge glucidique rapide entre 2 compétitions espacées de moins de 48 h	1 à 1,2 g/kg/jour (les 4 premières heures suivant la première compétition puis compléter jusqu'à couverture du besoin quotidien moyen)
Apport glucidique juste avant la compétition	1 à 4 g/kg/jour consommés avant l'effort

# Index Glycémique



## LES ALIMENTS ET LEUR INDEX GLYCÉMIQUE

IG ÉLEVÉ		<p><b>100</b> Sucreries (sucre blanc, sucre roux, confitures, barres chocolatées, viennoiseries, gâteaux, biscuits, chocolats au lait...) - Sodas et boissons sucrées - Céréales soufflées (galettes de riz et de maïs, céréales soufflées pour le petit-déjeuner...) - Pommes de terre (frites, purées, gratins) - Céréales blanches (riz, pâtes, pain)</p>
IG B MODÉRÉ		<p><b>70</b> Aliments peu transformés (pains, pâtes, riz complet, flocons de sarrasin, flocons de quinoa, flocons d'avoine, riz basmati...) - Fruits exotiques - Légumes - Oléagineux - Sucre blanc</p>
IG B BAS		<p><b>50</b> Fruits (exceptés les bananes mûres et les fruits exotiques) - Légumineuses (lentilles, haricots blancs...) - Chocolat noir - Pâtes et nouilles au blé dur - Fructose</p>

## Apport quotidien moyen en glucide pour le sportif

<b>Intensité de l'entraînement</b>		<b>Glucides</b>
<b>Légère</b>		<b>3-5</b> g/kg/jour
<b>Modérée</b>	(1 h/jour)	<b>5-7</b> g/kg/jour
<b>Élevée</b>	(1-3 h/jour)	<b>6-10</b> g/kg/jour
<b>Très élevée</b>	( 4-5 h/jour)	<b>8-12</b> g/kg/jour

## **5.1. Avant l'effort**

- Il est conseillé de consommer du fructose car il ne provoque pas d'hypoglycémie.
- Le fructose ne provoque pas la synthèse de l'insuline (qui entraîne une chute de la glycémie) contrairement au glucose.

## **5.2. Pendant l'effort**

➤ La consommation de glucides durant l'effort doit remplir une triple fonction :

- ✓ **Apporter du carburant.**
- ✓ **Prévenir la chute de la glycémie.**
- ✓ **Économiser les réserves de glycogène.**

- La diminution du glycogène musculaire ainsi que la baisse du niveau de sucre dans le sang représentent deux facteurs conduisant directement à la fatigue.
- Le glycogène musculaire est épuisé après environ **2 à 3 heures** d'un exercice continu à une intensité de **65 à 80 %** de la VO2 max.
- La vitesse d'oxydation des glucides est d'environ 1 g par minute.



<b>Type d'effort</b>	<b>Glucide</b>
<b>&lt; 45 min</b>	<b>Aucun intérêt</b>
<b>45 à 75 min à haute intensité</b>	<b>Petite quantité</b>
<b>1h à 2h 30</b>	<b>30 à 60 g/h</b>
<b>2h 30 à 3h</b>	<b>Jusqu'à 90 g/h</b>

## **5.3. Après l'effort**

La récupération à court terme:

- Avec la réhydratation, la vitesse de synthèse du glycogène musculaire est probablement le facteur numéro un pour une récupération rapide.
- Plus le niveau de glycogène sera revenu tôt à la normale, plus l'athlète retrouvera tôt ses performances.

- L'idéal étant la prise de boisson contenant **0,15 à 0,25 g** de glucose par kg de poids corporel répartie toutes les **15 minutes** pendant **2 à 4 heures**.
- La récupération à long terme.

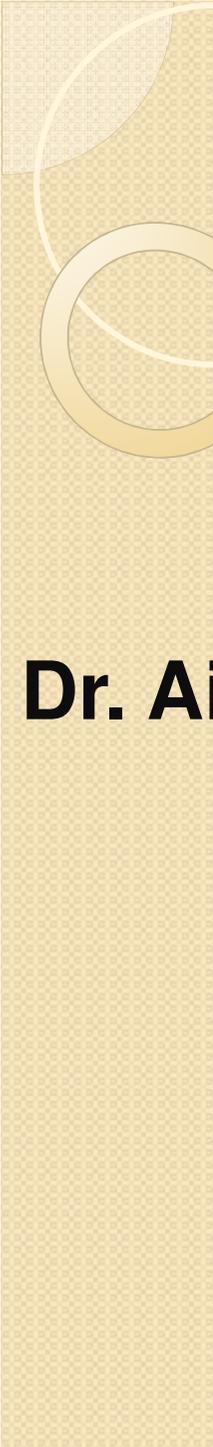
## À retenir

- L'**intensité** et la **durée** de l'exercice influent majoritairement sur l'utilisation (muscles actifs) et la production (foie) de glucose.
- Les apports exogènes en glucides durant l'exercice permettent de sauvegarder les réserves en glycogène et ainsi, de reculer l'apparition de la fatigue. Ils permettent également de mieux réguler la glycémie.

- L'utilisation des glucides à l'exercice est majorée **en altitude**.
- Après acclimatement, lors d'un même exercice en valeur absolue, on note une intervention supérieure des glucides totaux (dont une consommation plus importante du glucose sanguin). En hyperthermie, l'utilisation des glucides est également augmentée durant l'exercice.

- L'entraînement en **puissance** et en **vitesse** a peu d'effet sur le métabolisme glucidique.
- Par contre, l'entraînement en **endurance** induit des modifications marquées au niveau des substrats (plus de glycogène musculaire et meilleures activités enzymatiques).

- Le désentraînement a un effet rapide sur l'organisation (2-3 semaines). Les bénéfices acquis par l'entraînement sont ainsi très vite perdus.
- La baisse de performance due à l'inactivité peut être limitée par une pratique optimale (80% du niveau précédemment acquis) et maintenue pendant un laps de temps minimal (un mois maximum).
- Le ré-entraînement amorce de nouvelles adaptations bien que les processus soient lents.



# **Les lipides**

**Dr. Ait Ali Yahia-Amar    Maître de conférences A**

**Conférence 1.3**

**INFSSTS Abdellah Fadhel**

# Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

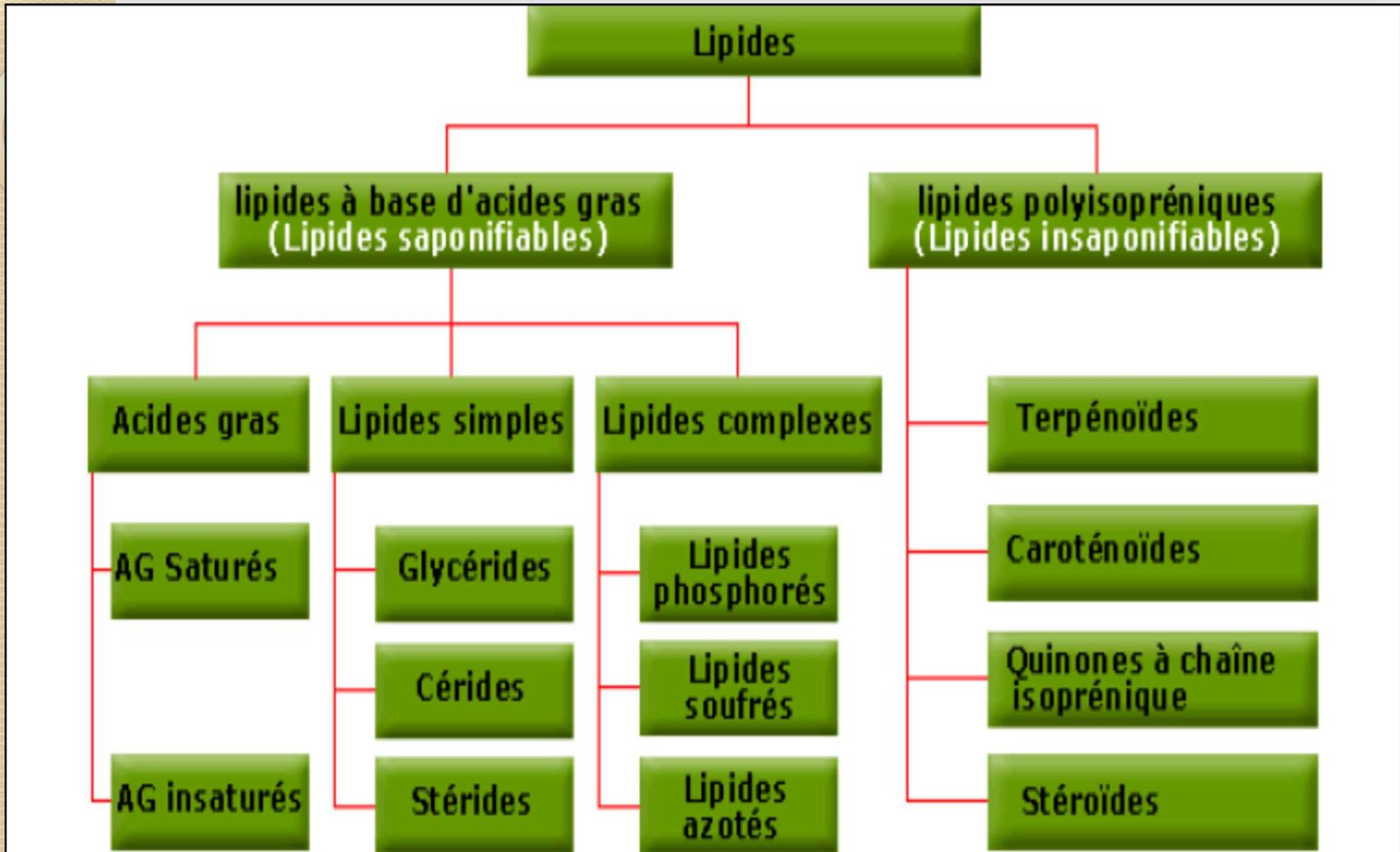
- Comprendre l'importance des lipides,
- Décrire les réactions chimiques des lipides,
- Définir le rôle des lipides,
- Identifier les acides gras,
- Expliquer les caractéristiques des lipides,
- Illustrer la relation lipides et exercices,
- Distinguer les intérêts des lipides pour les sportifs.

# 1. Introduction

- ✓ Les lipides (du grec lipos, graisse) sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme.
- ✓ Les apports alimentaires ainsi que la synthèse endogène de lipides sont nécessaires au maintien des fonctions vitales de l'organisme.

- ✓ Ils se présentent à l'état solide, comme dans les cires..., ou liquide, comme dans les huiles...
- ✓ Ce sont des composés à solubilité nulle ou faible dans l'eau, et élevée dans les solvants organiques apolaires (chloroforme, benzène, éther, ...).

# 2. Classification



- ✓ **Un lipide simple** : Un AG fixé sur un stérol (un alcool) donne **un stéride** (ester de cholestérol) ; sur un glycérol il compose un **glycéride** (monoglycéride) ; si l'alcool possède une longue chaîne on obtient un **céride** (cires animales, végétales et bactériennes).
- ✓ **Les lipides complexes** sont classées en fonction de la molécule qui fixe les AG. Ils sont associés à l'azote, au phosphore (phospholipides), au soufre, aux oses (glycolipides), aux protéines (lipoprotéines).

✓ Les lipides isopréniques sont dits composés à caractère lipidique. Ils sont peu ou pas solubles dans l'eau, et fabriqués à partir de plusieurs molécules d'isoprène. Ce sont des composés naturels dépourvus d'AG.

Il existe plusieurs classes de lipides isopréniques :

- **Les terpénoïdes** : ceux des plantes sont utilisés pour leur qualités aromatiques (le citral, le menthol, le camphre,...). Ils jouent un rôle dans les remèdes en herboristerie traditionnelle.

- **les caroténoïdes** : Les carotènes (pigment rouge-orangé), les xanthophylles (pigment jaune) et la vitamine A (rétinol) ;
- **les quinones à chaîne isopréniques** : La vitamine E, la vitamine K, ... ;
- **les stéroïdes** : les stérols, les acides et sels biliaires, les hormones stéroïdes, la vitamine D et autres dérivés.

## 3. Réactions chimiques

### 3.1. Réaction de saponification

Les acides gras sont des acides faibles. Ils réagissent avec des bases minérales pour obtenir du savon. Les savons les plus connus sont ceux dits de sodium (**savons durs**) ou de potassium (**savons mous**).

### 3.2. Réaction d'estérification

La réaction d'estérification est une réaction d'un acide et d'un alcool. Le produit de la réaction est un ester. La réaction inverse est l'hydrolyse.



### **3.3. Réaction d'hydrogénation**

L'hydrogénation des lipides est un procédé visant à rendre les huiles solides ou semi-solides (margarines) et moins sensibles à l'oxydation (rancissement).

Les acides gras partiellement hydrogénés sont utilisés dans l'industrie agro-alimentaire comme agent de texture pour rendre les aliments plus fermes et moins suintants, comme conservateur pour éviter le rancissement, ou comme désodorisant dans certaines huiles de poisson.

### 3.4. Réaction d'intérestérification

C'est la modification de la structure glycéridique des corps gras par réarrangement moléculaire des acides gras sur le glycérol.

Ceci entraîne des modifications importantes des propriétés physiques d'un corps gras. C'est une méthode qui permet de transformer **une huile** en une **graisse** sans modifier la nature de ses acides gras, seule leur « distribution » sur le glycérol étant changée.

### **3.5. Réactions d'oxydation**

Les principaux facteurs déterminant la durée de vie des lipides sont les réactions d'oxydation qui peuvent être classées, selon leur mécanisme, en : autooxydation, photooxydation et oxydation enzymatique.

Les substrats des réactions d'oxydation sont les acides gras insaturés. Ils s'oxydent en général plus vite lorsqu'ils sont libres et plus insaturés.

## 4. Rôle des lipides

**4.1. Réserve d'énergie** : stockés sous forme de triglycérides dans les tissus adipeux, les lipides constituent une réserve énergétique mobilisable (**1 g** de lipides donne **9,3 Kcal**). Il existe trois sources de lipides (**foie** et **sang**, **adipocytes** et **muscle**).

**4.2. Rôle structural** : les A.G servent à la synthèse des lipides, notamment les phospholipides qui forment les membranes, couche de protection thermique ou mécanique, autour des cellules et des organes.

**4.3. Rôle de messenger** : les acides gras sont les précurseurs de plusieurs messagers intra et extra-cellulaires. Ils favorisent la production d'hormones ou de vitamines, indispensables au bon fonctionnement de l'organisme. Ils interviennent comme précurseurs de facteurs essentiels impliqués dans l'immunité, l'inflammation, la vasoconstriction, le contrôle du métabolisme.

**4.4. Rôle de transport de vitamines** : les corps gras alimentaires véhiculent 4 vitamines liposolubles : A, D, E et K.

## 5. Les acides gras

- Tenant compte de la structure des graisses alimentaires, on distingue **les graisses saturées et les graisses insaturées**.
- Ils sont constitués de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Ils contiennent une **partie hydrophile** : le groupement carboxyle et une **partie hydrophobe** : une longue chaîne carbonée.
- La formule est **R-COOH**.

- Ils ont généralement un goût aigre et une odeur prononcée. Ils sont **insolubles dans l'eau**, mais **solubles entre eux** et dans **les solvants organiques comme l'éther**.
- Le principal problème posé par ses réactions réside dans la formation de composés volatils d'odeur désagréable (rancissement) et la formation des peroxydes qui sont des molécules cancérigènes.

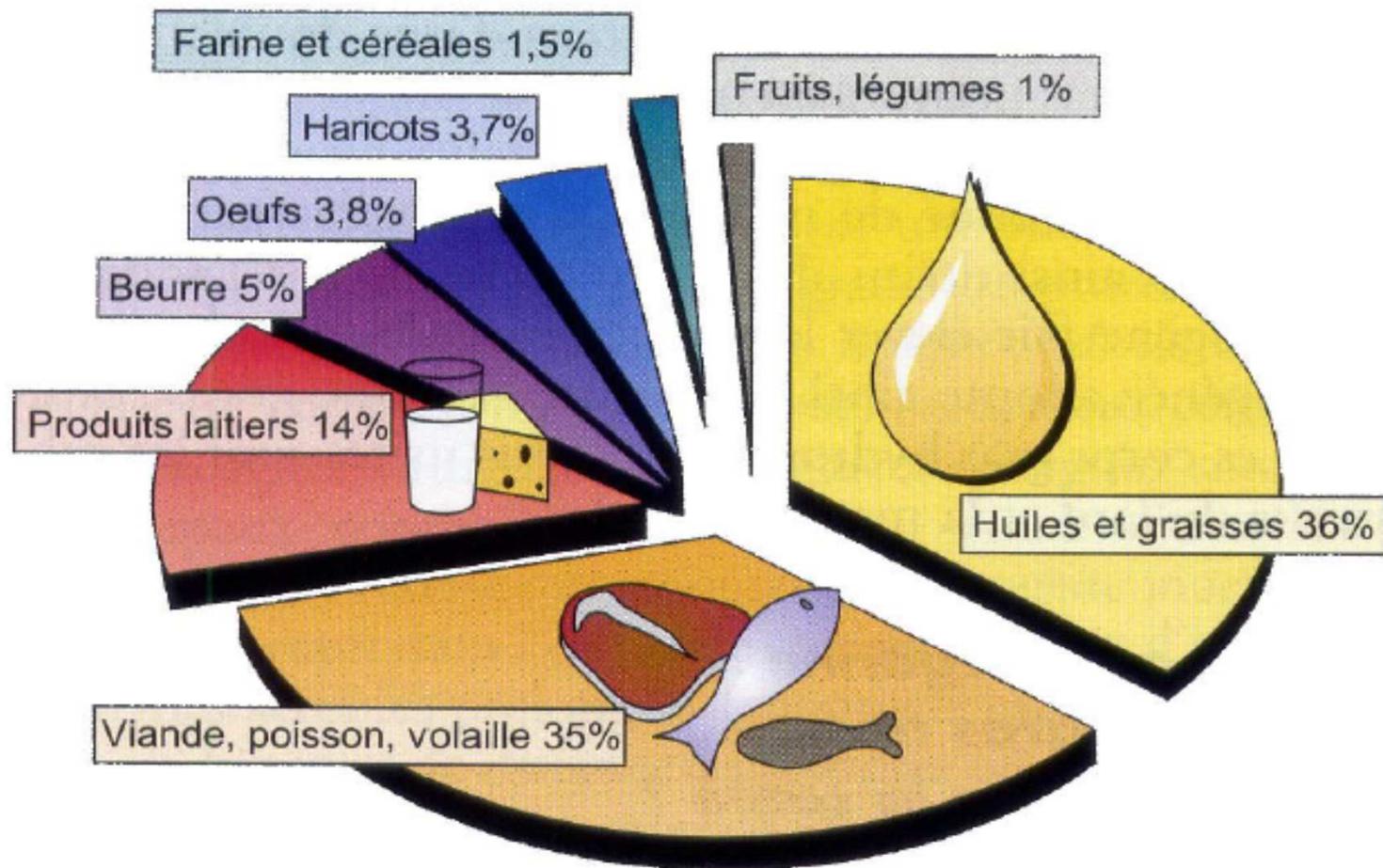
- Malgré leur importance quantitative comme constituants des lipides, ils se trouvent en très faible quantité à l'état libre.
- Dans le corps humain, l'essentiel des acides gras provient de la dégradation enzymatique (moyennant les enzymes lipases) des lipides au niveau du système digestif.
- Dans l'industrie, les acides gras sont fabriqués par l'hydrolyse des liaisons ester de triglycérides (lipides constitués de glycérol et de trois acides gras).

- Les Triglycérides représentent 90% des lipides alimentaires. Le reste est composé de Phospholipides, de cholestérol...
- Chez l'homme, environ 11% du total des Acides gras non estérifiés sont mis en réserve sous forme de triglycérides dans les fibres musculaires.
- On connaît une quarantaine d'acides gras naturels.

Les acides gras diffèrent entre eux par :

- la longueur de la chaîne carbonée (de 4 à 18 atomes de carbone pour les acides gras les plus connus);
- le type de liaisons qui réunissent leurs atomes de carbone :
  - **A.G saturés**: simples liaisons C- C,
  - **A.G mono-insaturés**: une double liaison C=C
  - **A.G poly-insaturés**: plusieurs double liaison C=C.

# Les lipides dans l'alimentation



## 5.1. Les acides gras saturés (AGS) :

- Les **AGS** se subdivisent en **acides gras saturés à longues chaînes** et en **acides gras saturés à chaînes moyennes**.
- Ils favorisent l'augmentation du mauvais cholestérol (LDL).
- Les **AGS** ne s'oxydent qu'à une température supérieure à 60°C, tandis que les acides polyinsaturés s'oxydent même lors de l'entreposage des aliments à l'état congelé.
- Ils sont moins oxydable que les insaturés.

## 5.1.1. Acides gras saturés à longues chaînes

- ✓ À l'opposé des réserves limitées de glycogène, les réserves d'**acides gras saturés à longues chaînes** stockés sous forme de triglycérides principalement dans les adipocytes sont pratiquement **illimitées**.
- ✓ À titre d'exemple, la pratique de la course à pied à une intensité de l'ordre de **65%** de la capacité aérobie maximum correspond à une dépense calorique de **300** à **500** kilocalories par heure.

- ✓ Or, les réserves de triglycérides stockés dans notre organisme sont estimées à plusieurs dizaines de milliers de kilocalories.
- ✓ Tout athlète d'endurance a une réserve d'énergie, sous forme de graisses, suffisante pour plusieurs courses de marathon, et ce, à condition qu'il n'utilise que des graisses comme combustible énergétique.

✓ L'oxydation des **AGS à longues chaînes** contribue seulement à **25%** de l'énergie totale requise pour une activité physique effectuée à **85%** de la  $\text{VO}_2$  max. En raison de la **lenteur** avec laquelle les graisses peuvent être **mobilisées, transportées, utilisées** et **oxydées** par les muscles en activité.

✓ Les **AGS à longues chaînes** circulant dans le plasma, représentent la principale source d'énergie à disposition des muscles pour des activités physiques de basse intensité (< 50%  $\text{VO}_2$  max).

✓ Les **A.G.S** sont présents dans les charcuteries et viandes rouges grasses, snacks, crackers, viennoiseries, les œufs, le fromage, la crème, les sucreries et biscuiterie industriels, le beurre, l'huile de palme de noix de coco, d'arachide et de cophra.

✓ Quel que soit le type de sport pratiqué où le métabolisme des graisses est grandement augmenté, le fait d'avoir des réserves de graisses pratiquement illimitées ne nécessite aucun supplément d'**AGS à longues chaînes**, ni dans l'alimentation de **l'athlète**, ni durant **l'effort**.

- **5.1.2. Les acides gras saturés à chaînes moyennes** se trouvent dans le lait humain, l'huile de noix de coco et l'huile de cœur de palmier. Ils sont composés d'acides gras saturés ayant des chaînes d'une longueur de l'ordre de 6 à 12 carbones.
- Contrairement aux acides gras saturés à longues chaînes, ils sont rapidement absorbés et représentent une source d'énergie directement disponible pour l'organisme.

- ✓ Leur oxydation est, d'un point de vue métabolique, plus proche de l'oxydation du glucose que de celle des acides gras saturés à longues chaînes.
- ✓ Ils ne se stockent pas facilement sous forme de réserve de graisses dans l'organisme, contrairement aux acides gras saturés à longues chaînes.

## **5.2. Les acides gras insaturés**

Parmi les graisses dites insaturées, on distingue également **les acides gras monoinsaturés**, et **les acides gras polyinsaturés**.

### **5.2.1. Les acides gras mono-insaturés (AGMI) :**

- Ils présentent une double liaison. Ils ont des longueurs de chaînes de 16 à 20 carbones.
- Ils favorisent l'élévation du bon cholestérol (HDL); présents dans les huiles (olive, colza, arachide), les avocats, noisettes, graisse d'oie, amandes
- Ils représentent plus de la moitié des acides gras des plantes et des animaux.

### 5.2.2. Les acides gras poly-insaturés (AGPI) :

- Ils présentent plusieurs doubles liaisons au niveau de la chaîne carbonée.
- Ils aident à diminuer le cholestérol total.
- Ils sont extrêmement oxydatifs car sensibles à l'oxygène, la chaleur et au rancissement.
- Les AGPI ingérés devraient constituer le tiers de l'apport défini en graisses saturées ou mono-insaturées .
- Les AGPI sont présents dans la noix, soja, colza, germe de blé, poissons gras.

➤ **L'acide linoléique (Oméga 6)**, présent dans les huiles végétales (pépins de raisins, tournesols, arachide maïs, soja, noix, germe de blé) et les volailles grasses (canard) ; les œufs, les laitages, dans la viande de gibier sauvage

➤ **L'acide alpha linoléique (Omega 3)** d'origine marine (poissons gras des mers froides, saumon, thon, hareng, flétan, sardines) ; végétale (colza), végétaux verts ; de certains végétaux aquatiques (ex : Spiruline).

Ils sont essentiels car l'homme est incapable d'en faire la synthèse et ils doivent donc être apportés par l'alimentation.

- **Les AGPI Oméga 3** peuvent influencer la performance physique car ils interviennent dans la formation d'hormones (eicosanoïdes) qui exercent une action sur diverses composantes liées à l'exercice.
- **Les AGPI Oméga 3** exercent une action anti-inflammatoire qui peut contribuer à raccourcir le temps de récupération des athlètes après un effort soutenu.
- Plusieurs études ont démontré que la supplémentation a une action bénéfique sur la performance physique

- Tenant compte des propriétés physiologiques des **AGPI oméga 3**, il est recommandé d'encourager les athlètes à consommer plus de poissons gras (saumon, ...) riches en acides gras oméga 3.
- La consommation des **AGPI oméga 3** est souvent insuffisante et résulte en des rapports oméga 6 versus oméga 3 de l'ordre de 10 à 50, alors qu'un rapport de 4 à 6 est considéré comme raisonnable.

- **La chaleur, l'oxygène et l'hydrogénation** altèrent les A.G.P.I, les transformant en véritables toxiques, soupçonnés d'être à l'origine de nombre d'accidents cardio vasculaires. Une huile de colza chauffée, des œufs frits accroît ce risque.

**Les acides gras polyinsaturés oméga 3 et les acides gras saturés à chaînes moyennes**, de par leurs propriétés métaboliques et physiologiques, sont plus intéressants pour améliorer la performance physique.

## 6. Caractéristiques des lipides

Le principal défaut des lipides est leur capacité à se stocker sans limite, contrairement aux glucides ! Cet aspect leur a valu la méfiance des sportifs.

Dans l'organisme humain, quelques acides gras circulent dans le sang mais la plupart des lipides sont stockés dans les cellules appelées **adipocytes**.

Ces adipocytes sont présent partout dans le corps et principalement dans les tissus sous cutanés. Ce qui n'est pas sans conséquence sur la santé. Ce stockage s'appelle **la lipodystrophie**.

Au-delà de **100 cm** de tour de taille chez l'homme et de **90 cm** chez la femme, il existe un excès de graisse abdominale.

Un homme de constitution normale possède après mesure des plis cutanés **15%** de masse grasse mais une femme **25%** afin d'assurer une éventuelle grossesse !

Avec **9,3 kcal par gramme** , les lipides sont les champions calorifiques. Perdre **1 kilo** de graisse c'est dépenser **9 000 calories** !

## Les besoins journaliers en lipides:

**30%** pour un sédentaire et **25%** pour le sportif.

- Pour une alimentation de type endurance :

**60 %** de glucides,

**18 %** de protéines,

**22 %** de lipides.

- La répartition entre les lipides est la suivante :

**25%** d'AGS,

**50%** d'AGMI,

**25%** d'AGPI.

# 7. Lipides et exercices

L'utilisation des lipides à l'exercice répond à deux règles principales :

- La règle de l'intensité de l'effort : plus l'intensité d'un effort est faible, plus l'énergie apportée par les lipides est prépondérante.
- La règle de la durée d'exercice : plus la durée de l'effort est importante et plus les réserves de glycogène s'amointrissent, donc plus la part d'utilisation des lipides va être importante.

## 7.1. Règle de l'intensité

Au repos, **100 kcal** sont brûlés en **1h**, et le taux d'utilisation des lipides est de **60%**. Donc **60 kcal** ont été brûlés grâce à la dégradation des graisses.

Lors d'un effort intense d'1h, jusqu'à **1600 kcal** sont brûlés. Mais l'intensité est tellement élevée que les lipides ne peuvent participer à la fourniture d'énergie qu'à hauteur de **2%**. Les **98%** restants sont dû aux glucides. Donc **2%** de **1600 kcal** représentent 82 kcal de graisses brûlées. C'est un peu plus qu'au repos mais c'est encore très peu.

Lors d'un exercice d'**intensité moyenne**, environ **800 kcal** sont brûlés en **1h** et **50%** de la fourniture énergétique sera assurée par les lipides. Donc, **50%** équivaut à **400 kcal** dépensés grâce à la combustion des lipides, ce qui est très satisfaisant.

Pour perdre directement de la graisse, les exercices d'intensité moyenne sont les mieux adaptés. Ces exercices ont de plus l'avantage de pouvoir être maintenu relativement longtemps, ce qui peut augmenter encore la quantité de lipides brûlés.

Lors de la pratique sportive, et en particulier à **intensité faible** ou modérée (60 à 70% de la fréquence maximale) la production énergétique vient principalement de la consommation **des graisses**.

Lors des efforts à **forte intensité** le rapport s'inverse et l'énergie vient majoritairement **des glucides** mais aussi un peu **des lipides**.

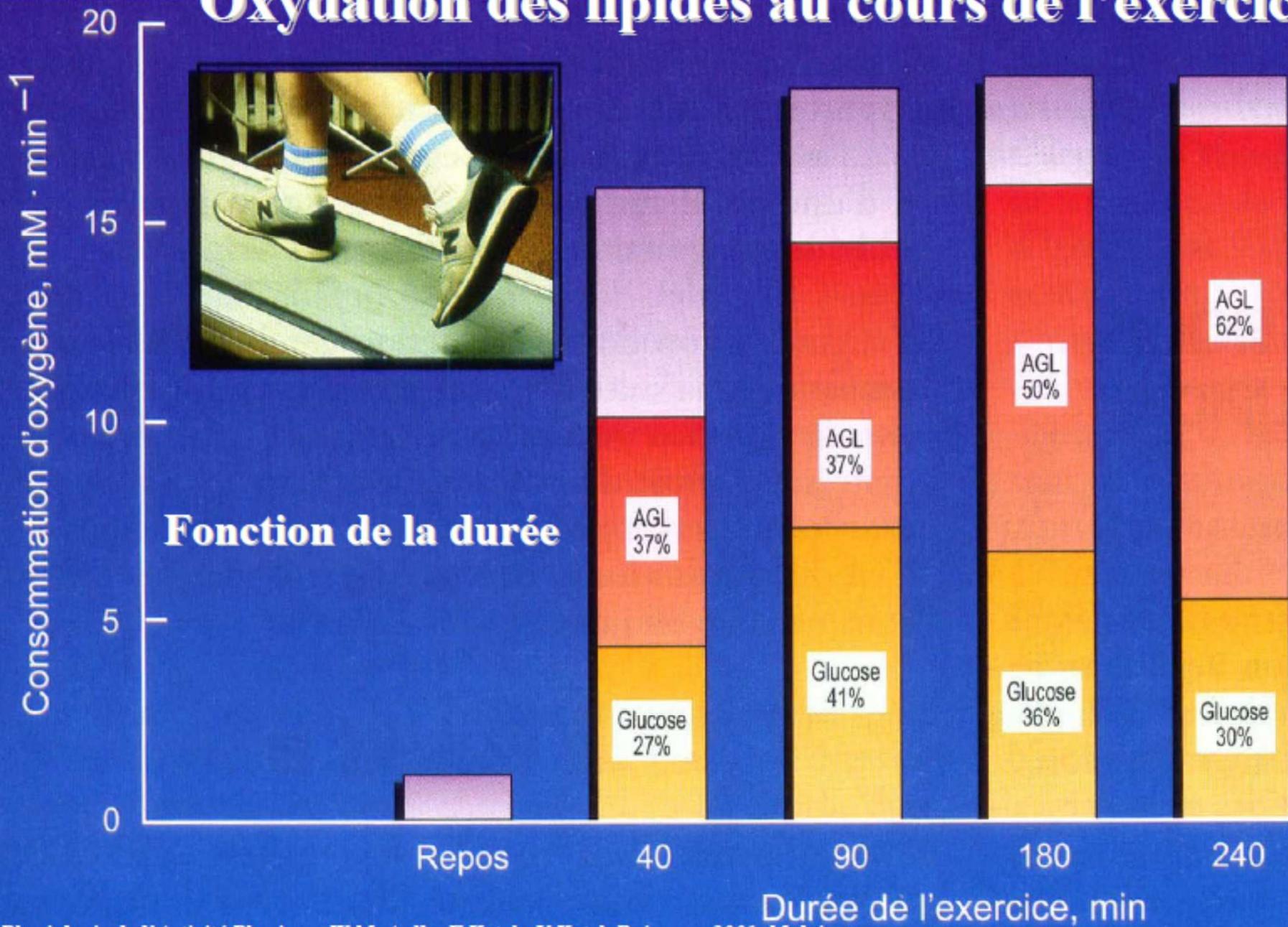
## 7.2. Règle de la durée

Réaliser un exercice d'intensité moyenne en le maintenant le plus longtemps possible.

Il est conseillé de courir à jeun ou d'effectuer des efforts de longues durées sans s'alimenter, afin d'avoir le moins de sucre possible disponible et donc de n'utiliser que les graisses pour fournir de l'énergie.

Ces méthodes peuvent être dangereuses, car en cherchant à épuiser les stocks de glycogène, on risque l'hypoglycémie, donc un malaise et un arrêt de l'exercice.

# Oxydation des lipides au cours de l'exercice



Physiologie de l'Activité Physique, W McArdle, F Katch, V Katch Boisseau, 2001, Maloine

## 8. Intérêts pour les sportifs

- ✓ Les lipides sont une source concentrée d'énergie, recommandés pour les sports de longue durée.
- ✓ En cas de **température ambiante froide**, l'organisme brûlera plus de calories afin d'assurer les mécanismes de la thermogenèse (régulation de la température corporelle). **L'altitude** est un facteur d'augmentation des besoins en lipides.
- ✓ Le programme alimentaire devra être élaboré en tenant compte des besoins spécifiques du type de sport pratiqué. Un apport de **1,5 g/kg** par jour est recommandé.

✓ Les lipides sont stockés dans **les muscles** (300 g) et **tissu adipeux** ( $\pm 12g$ ) sous forme de triglycérides intramusculaires. Au niveau du tissu adipeux, les triglycérides sont dégradés en acides gras et glycérol.

✓ Les triglycérides du tissu hépatique (foie) ne participent pas à l'énergétique musculaire.

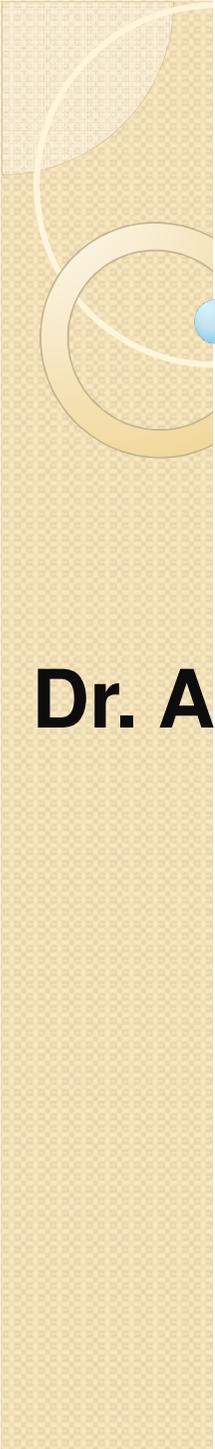
✓ Il est impératif de consommer des lipides (surtout durant la semaine précédant une épreuve) pour refaire spécifiquement le plein de ces triglycérides intramusculaires.

✓ L'intensité de l'exercice reste le déterminant principal de l'oxydation des lipides, **le sexe expliquant 12%** de la variabilité interindividuelle de l'oxydation de lipides au cours de l'exercice.

✓ À même intensité, **les femmes** ont un taux d'oxydation des lipides plus élevé que **les hommes**. Elles retardent leur passage aux glucides comme substrat énergétique prédominant quand l'intensité de l'exercice augmente.

✓ Les lipides restent le substrat énergétique prédominant à des intensités d'exercice plus élevées chez la femme que chez l'homme.

- Hommes : Abdomen → tronc → bras → jambe
- Femmes : bras → tronc → jambe



# **Les Protéines**

**Dr. Ait Ali Yahia-Amar    Maître de conférences A**

**Conférence 2.1**

**INFSSTS Abdellah Fadhel**

# Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir les protéines,
- Déterminer l'origine des protéines,
- Comprendre la structure des protéines,
- Distinguer les fonctions des protéines,
- Différencier les acides aminés,
- Classer les protéines,
- Expliquer l'intérêt des protéines,
- Illustrer la digestion des protéines,
- Justifier la relation des protéines avec l'exercice.

# 1. Introduction

- **Les protéines** sont présentes chez tous les êtres vivants, des bactéries à l'homme.
- Ce sont des macromolécules complexes qualifiées de biopolymères, formés à partir de 20 monomères différents.
- Elles constituent souvent plus de 50% du poids sec des êtres vivants.

- Elles jouent un rôle fondamental dans la structure et les fonctions cellulaires et c'est par elles que l'information génétique s'exprime. Elles sont intimement liées à tous les phénomènes physiologiques.
- Les protéines, seuls "éléments bâtisseurs" des muscles (30 kg !) entrent dans la composition de tous les tissus corporels.

- Elles interviennent dans de nombreuses fonctions biologiques vitales. Elles jouent un rôle sur l'humeur de l'individu et favorisent la satiété.
- Ce sont des molécules essentielles dans la constitution et le fonctionnement de tous les êtres vivants, des bactéries aux êtres humains, en passant par les plantes.

- Les protéines ne constituent pas un réservoir important facilement utilisable pour satisfaire les besoins énergétiques de l'homme en bonne santé comme c'est le cas des glucides et lipides de l'organisme.
- Un homme actif de 70 kg dispose d'environ 6 kg de protéines (poids sec) répartis essentiellement dans les muscles, les tissus conjonctifs et le foie.
- Environ 400 g de protéines sont catabolisés par jour ; dont 300 g sont captés par les tissus pour synthétiser de nouvelles protéines ; les 100 g restants sont définitivement oxydés en dioxyde de carbone et eau.

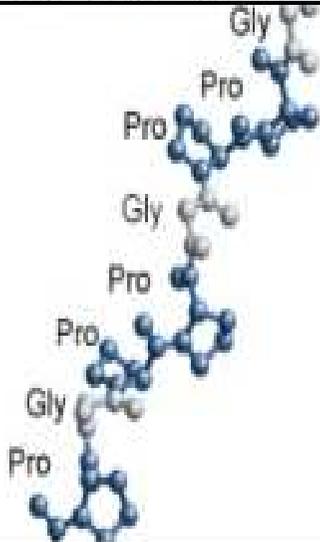
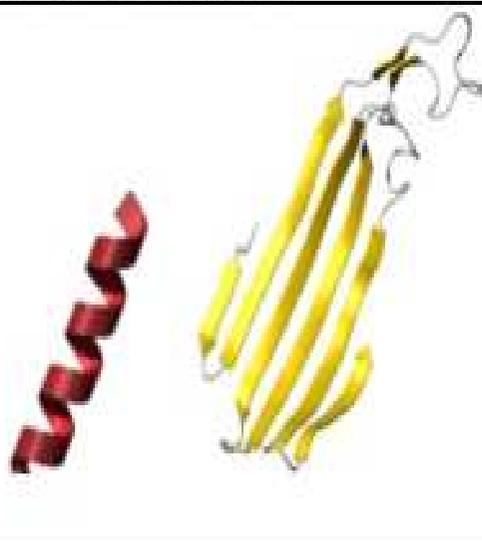
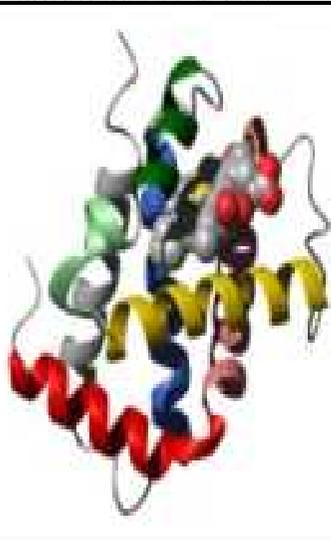
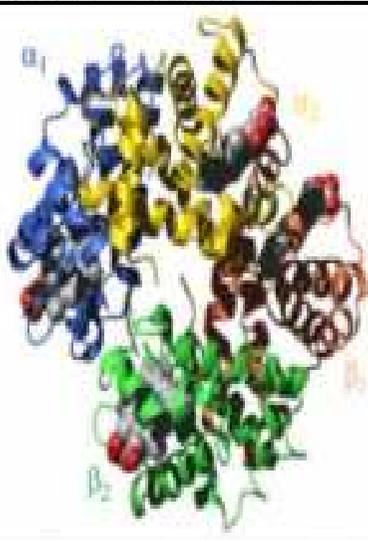
## 2. Origine des protéines

- Les protéines furent découvertes en 1835 aux Pays-Bas par le chimiste organicien **Gerardus Johannes Mulder** (1802-1880).
- C'est le suédois, **Jöns Jacob Berzelius**, qui lui suggéra en 1838 le nom de protéine. Le terme protéine vient du grec ancien **prôtos** qui signifie premier, essentiel.
- Ceci fait probablement référence au fait que les protéines sont indispensables à la vie.

- **Une protéine** est une macromolécule biologique composée d'une ou plusieurs chaînes d'acides aminés liés entre eux par des liaisons peptidiques (chaîne polypeptidique).
- Il y a **20 acides aminés** différents. On appelle «séquence» la succession des acides aminés (de 2 à 34350 selon la protéine).
- La durée de vie des protéines tissulaires est variable, de quelques heures à 120 jours (hémoglobine), et une année pour le collagène des tissus conjonctifs.

### 3. Structure des protéines

- Les protéines peuvent être décrites selon quatre niveaux d'organisation structurale.
- Une séquence linéaire d'acides aminés, formant une chaîne polypeptidique, constitue **la structure primaire** de la protéine. Elle ressemble à un chapelet de «perles» d'acides aminés. C'est le squelette de la molécule de protéine.
- Ce squelette se tord et se repli sur lui-même pour donner des niveaux d'organisation moléculaires plus complexes (structures **secondaire, tertiaire** et **quaternaire**).

Structure primaire	Structure secondaire	Structure tertiaire	Structure quaternaire
			
<p>La structure primaire est la séquence des acides aminés.</p>	<p>Les structures secondaires sont les motifs que forment les acides aminés. On reconnaît principalement les structures en hélice <math>\alpha</math> et en feuillet <math>\beta</math>.</p>	<p>La structure tertiaire se rapporte aux relations dans l'espace des différentes structures secondaires, hélices et feuillets.</p>	<p>Les protéines qui contiennent plus d'une chaîne polypeptidique présentent un niveau supplémentaire d'organisation : on parle de structure quaternaire.</p>

➤ Par définition, la liaison de quelques ( $n < 10$ ) acides aminés constitue un **oligopeptide** ; la liaison de ( $10 < n < 80$ ) acide aminés constitue un **polypeptide**. Dans le cas d'une liaison de ( $n > 80$ ) acides aminés, on parle de **chaîne protéine**.

➤ Une protéine peut subir toutes sortes de modifications (coupure, liaison à des sucres...). Elle ne sera fonctionnelle que si la chaîne d'acides aminés est repliée correctement pour adopter une « **structure tridimensionnelle** ».

➤ 1 million de protéines différentes peuvent être fabriquées par les 22.000 gènes contenus dans l'ADN.

## 4. Fonctions des protéines

Les protéines remplissent des fonctions diverses au sein de la cellule et de l'organisme :

- **Les protéines de structure**, qui permettent à la cellule de maintenir son organisation dans l'espace. Elles sont les constituants du cytosquelette ;
- **Les protéines de transport**, qui assurent le transfert des différentes molécules dans et en dehors des cellules ;

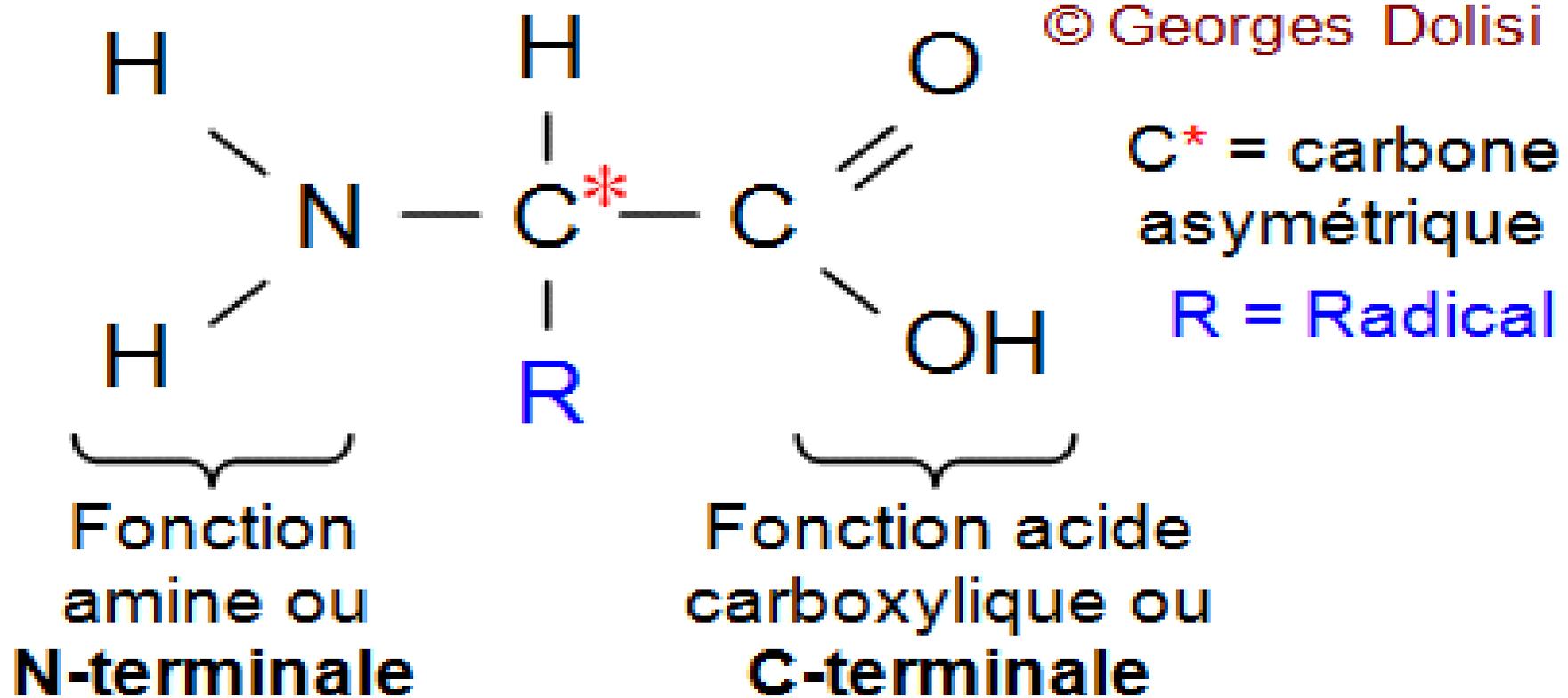
- **Les protéines régulatrices**, qui modulent l'activité d'autres protéines ou qui contrôlent l'expression des gènes ;
- **Les protéines de signalisation**, qui captent les signaux extérieurs, et assurent leur transmission dans la cellule ou l'organisme.

- **Les protéines de défense** : Dans le cas d'une infection virale ou bactérienne (agents pathogènes), notre système immunitaire produit des protéines, appelées des **anticorps (glycoprotéine)**, qui vont reconnaître ces virus ou ces bactéries et permettre leur élimination. C'est la protection immunitaire.
- **Les protéines de transport** : les globules rouges sont remplis d'**hémoglobines** et de **myoglobines**, qui transportent l'oxygène que nous respirons depuis nos poumons jusqu'aux autres organes.

- **Les protéines structurelles** : Elles assurent le maintien et la cohésion de nos tissus. **Le collagène** joue un rôle important dans la structure de os, du cartilage, du tendon, du muscle et de la peau.
- **Les enzymes** : Elles permettent des réactions chimiques. Lors de la digestion, les aliments qui se trouvent dans notre estomac et notre intestin sont coupés par des enzymes, dont certaines sont appelées **protéases (ou peptidases)**, en petites unités assimilables par notre organisme. Elles coupent les liaisons peptidiques des protéines.

## 5. Les acides aminés

- Les protéines sont formées à partir d'un répertoire de 20 acides aminés qui sont donc l'élément de base des protéines.
- **Un acide aminé** est constitué d'une **fonction amine**, d'un **groupe carboxylique (R-COOH)**, d'un **atome d'hydrogène** et d'un **groupe variable : R**.
- Les chaînes latérales se différencient par leur dimension, leur forme, leur charge, leur capacité à contracter des liaisons hydrogène et leur réactivité chimique.



Formule générale d'un acide aminé

- Neuf (**9**) acides aminés sont **essentiels** car impossibles à synthétiser par notre organisme.
- Ils sont fournis par l'alimentation : **histidine, isoleucine, valine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane.**
- L'Histidine se trouve dans les bananes et les raisins. L'Arginine est rencontrée dans l'arachide.

- **80%** des acides aminés libres sont présents dans le tissu musculaire ; **0,2** à **6%** sont dans le plasma sanguin.
- Les réserves en acides aminés musculaires de l'homme sont estimés à **87 g**, auxquels il faut ajouter **36 g** de la taurine, un dérivé d'acide aminé.
- Les acides aminés **essentiels** forment moins de **10%** des acides aminés libres disponibles dans le tissu intramusculaire. La glutamine est synthétisée au sein de ce tissu.

## 6. Classification des protéines

- Acides aminés à chaîne aliphatique : Glycine, Alanine, Valine, Leucine et Isoleucine
- Acides aminés à chaîne latérale aromatique : Phénylalanine, Tyrosine et Tryptophane
- Acides aminés soufrés : Cystéine et Méthionine
- Acides aminés hydroxylés : Sérine et Thréonine

- **Acides aminés basiques** : Lysine, Arginine et Histidine
- **Acides aminés dicarboxyliques et leurs amides** : Aspartate, Glutamate, Asparagine et Glutamine
- **Acide  $\alpha$  iminé** : La proline

Tenant compte de leur polarité, ils peuvent être subdivisés en **acides aminés apolaires** (9) et en **acides aminés polaires** (11).

Les acides aminés polaires peuvent être des acides aminés polaires non chargés (6), Acides aminés polaires chargés (-) (appelés aussi **acides aminés acides**) et des acides aminés polaires chargés (+) (appelés aussi **acides aminés basiques**).

## 7. L'intérêt des protéines

- Dès le V<sup>e</sup> siècle A.JC, le besoin de protéines alimentaires pour les sportifs est confirmé, puisque les entraîneurs encourageaient leurs coureurs et pugilistes à consommer de la viande.
- Au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle, les rameurs d'Oxford consommaient lors de leur préparation uniquement de la viande, du pain, du thé et de la bière. Quant à ceux de Cambridge, ils préféraient consommer la pomme de terre, des légumes et des fruits. La victoire à chaque fois d'Oxford faisait croire que leur régime était le meilleur !

- **Von Liebig (1842)** confirme pour la première fois l'énergie apportée par les protéines musculaires à la contraction.
- **Voit (1881)** indique la nécessité d'une alimentation riche en protéines chez les individus soumis à des travaux de force.

➤ **Rubner (1908)** atteste que les qualités de force ainsi que les qualités physiques de l'individu augmentent grâce à une alimentation riche en protéines.

➤ Le catabolisme protéique est une source énergétique responsable de 3 à 10% de la consommation d'O<sub>2</sub>.

## 8. Digestion des Protéines

- Dans le tube digestif, les protéines sont dégradées par des **protéases** en acides aminés.
- Des **aminotransférases** transforment les fonctions **amines** en fonctions **cétones**. La fonction amine libérée (sous forme d'ammoniaque) est transportée vers le foie et convertie en urée par le cycle de l'ornithine.

- L'urée est éliminée dans l'urine. Les dérivés cétoniques des acides aminés entrent tous dans le cycle des acides tricarboxyliques pour produire indirectement, de l'énergie (ATP).
- Le muscle strié squelettique contient l'essentiel des acides aminés ramifiés (**Leucine, Isoleucine, Valine**) qui y sont spécifiquement dégradés. Leur catabolisme permet la formation de glutamine libérée dans la circulation générale. La glutamine est un carburant **essentiel** pour les cellules en voie de prolifération (**lymphocytes, entérocytes, cellules rénales**).

## 9. Protéines et exercice physique

- L'oxydation des acides aminés à l'exercice prolongé ne représente que  $\pm 4\%$  de l'énergie totale produite par le sportif.
- La protéolyse (hydrolyse des protéines) musculaire augmente lors de l'exercice mais ne concerne pas les protéines contractiles. Par contre, la synthèse des protéines (totales et musculaires) diminue pendant l'exercice.

- L'exercice augmente la captation musculaire des acides aminés. Ce processus se maintient dans les heures qui suivent l'arrêt de l'exercice.
- Le bilan azoté est négatif durant l'exercice en raison de la baisse de la synthèse protéique, l'augmentation de la protéolyse et l'élévation de l'oxydation des acides aminés. Il est obligatoire de compenser ce déséquilibre par une alimentation protéique légèrement augmentée (1,25 g/kg/j) contre (0,8 g/kg/j) pour un sujet sédentaire.

- Une complémentation en protéines (> 1,5 g/kg/j) n'a pas d'effet sur la resynthèse protéique durant la phase de récupération.
- Le désentraînement ou l'immobilisation ralentit la synthèse protéique sans altérer la protéolyse. Cette fonte musculaire peut être ralentie par électrostimulation ou la mobilisation active du muscle concerné ou du groupe musculaire immobilisé .

- **Le bilan azoté** est défini comme la différence entre l'apport protéique alimentaire et l'oxydation totale des acides aminés ( en  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  et N). Son étude permet d'évaluer les déficits alimentaires en protéines.
- **L'exercice de courte durée** favorise la libération musculaire d'alanine et de glutamine (proportionnelle à l'intensité de l'exercice). **L'exercice prolongé** diminue la concentration plasmatique des acides aminés.
- La production de glutamine par le muscle augmente à l'exercice.

# Protéines de haute valeur biologique = Viandes, poissons, œufs + Produits laitiers.

## VIANDE / POISSON / ŒUF

## PRODUITS LAITIERS

### Repères de consommation

Au déjeuner et au dîner :  
 → Une portion de viande ou de poisson : 60 à 200g  
 Ou  
 → 2 ou 3 œufs



Une portion de laitage :  
 → 150 ml de lait 1/2 écrémé  
 = 1 yaourt nature  
 = 100g de fromage blanc 20% MG  
 = 2 petits suisses 10 à 20% MG



### Equivalences en protéines

→ 100g viande blanche  
 = 100g viande rouge  
 = 100g poisson  
 = 2 œufs  
 = 2 tranches de jambon blanc découenné-dégraissé (2 x 50g)



→ 100g fromage blanc à 20% MG  
 = 2 yaourts nature  
 = 1,5 petit suisse à 10% MG  
 = 1 verre de lait 1/2 écrémé



Le fromage blanc à 20% MG est 2 fois plus riche en protéines qu'un yaourt nature. Il y a autant de protéines dans un petit suisse à 20% MG que dans un yaourt nature.

### Particularités

→ Fer bien assimilé permettant l'oxygénation des cellules musculaires.  
 → Vitamines du groupe B : B1, B3, B12. Elles sont nécessaires à la synthèse protéique.

→ Calcium : le seul à être bien assimilé par l'organisme. Il est nécessaire à l'édification de l'os et à la contraction musculaire.

## Une portion de viande, poisson ou 2 œufs au déjeuner et au dîner :

- 6 œufs maximum par semaine !
- Alternier viande blanche, viande rouge, poissons maigres et gras.

## Sur une semaine, consommez :

- 3 à 4 fois de la viande rouge (cœur de rumsteck, faux-filet, tournedos, gigot, bavette, steak haché < 5% MG...).
- 3 à 4 fois de la viande blanche (escalope de dinde, blanc de poulet, rôti de porc, noix de veau...).
- 3 à 4 fois du poisson (sole, merlan, colin, cabillaud, daurade, perche, rouget...) dont 2 fois du poisson gras (saumon, thon, sardine, hareng, maquereau...).
- 2 fois 2 œufs.
- Charcuterie < 1 portion/semaine (rillettes, saucisses, pâté...).

## **Au moins 3 à 4 portions de produits laitiers de bonne qualité par jour :**

→ Privilégiez : yaourts naturels, lait 1/2 écrémé, fromages blancs 20% de MG, petits suisses 20% de MG.

→ Attention aux fromages :

→ au maximum une portion par jour, car très riche en lipides.

→ à éviter le jour de la compétition.

Évitez les laitages ayant une forte teneur en lipides >4% : crèmes desserts, entremets, flans, laits gélifiés...

**Le fromage blanc, riche en protéines, est à privilégier pour les poids de corps élevés ou pour les athlètes devant optimiser leurs apports en protéines (forte sollicitation musculaire).**

# En quelle quantité dois-je les consommer ?

La taille des portions dépend de votre poids de corps :

Vous pesez :	50kg	70kg	100kg
Vous avez besoin de :	<p>→ 2 portions de 100g de Viande, Poisson ou œufs par jour.</p> <p>→ Au moins 3 produits laitiers de bonne qualité par jour.</p>	<p>→ 2 portions de 150g de Viande, Poisson ou œufs par jour.</p> <p>→ 3 à 4 produits laitiers de bonne qualité par jour.</p>	<p>→ 2 portions de 200g de Viande, Poisson ou œufs par jour.</p> <p>→ Au moins 4 produits laitiers de bonne qualité dont 2 portions de 150g de fromage blanc à 20% MG.</p>

- Pour les consommations élevées de laitages, alternez produits 1/2 écrémé et à 0% MG.
- Ne consommez jamais exclusivement des laitages à 0% MG (absence de vitamines A et D).
- L'augmentation des apports en protéines nécessite une augmentation des apports hydriques. **Buvez de l'eau du lever au coucher !**

### **Attention aux idées reçues :**

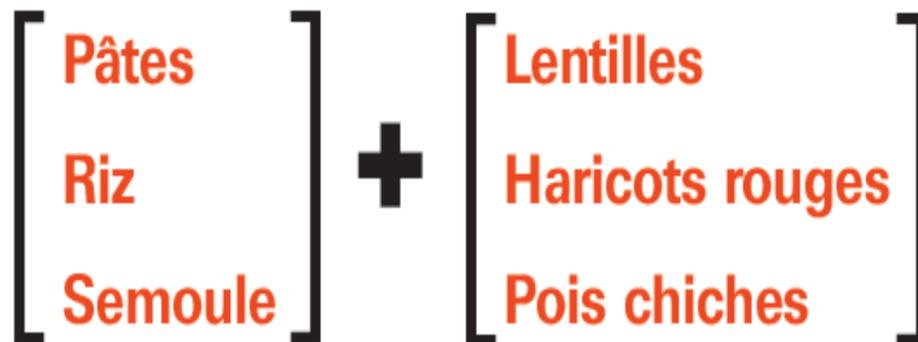
**Viande rouge ou viande blanche ?** → La viande rouge n'est pas plus riche en protéines que la viande blanche, cependant elle contient du fer qui est qualitativement et quantitativement supérieur. **Pensez à alterner !**

**Viande bien cuite ou saignante ?** → La cuisson ne modifie pas beaucoup les qualités nutritionnelles de la viande. Chacun peut choisir sa viande bien cuite ou saignante.

## **Protéines de moindre valeur biologique = Féculents-Légumes secs**

La consommation de féculents à chaque repas adaptée à votre dépense énergétique permet de compléter l'apport protidique de la viande, du poisson et des œufs.

**Optez pour l'association de féculents afin d'améliorer la qualité de leurs protéines :**



## Exemples :

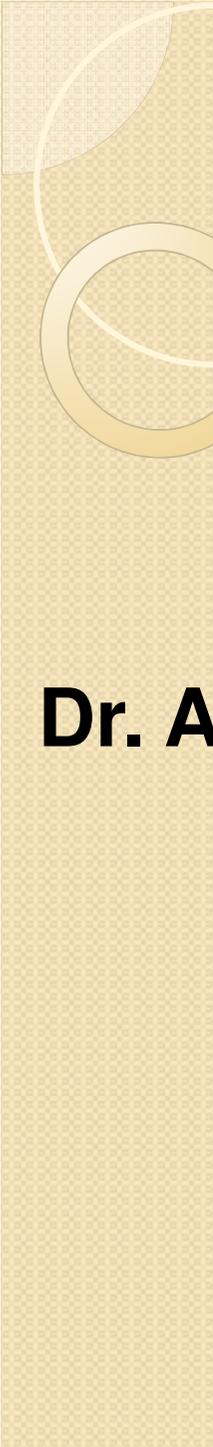
- Maïs et haricots rouges
- Semoule et pois chiches
- Minestrone : pâte et haricots secs ou lentilles

## **Attention, n'oubliez pas de consommer chaque jour des fruits et légumes**

Ils apportent des fibres qui permettent une bonne diffusion de l'énergie, des vitamines et minéraux et des antioxydants qui luttent efficacement contre le stress oxydatif des cellules (vieillesse prématuré des cellules).

## **Repères de consommation :**

- 3 portions de fruits frais par jour
- 2 portions de légumes cuits + au moins 1 portion de crudité



# **Les enzymes**

**Dr. Amar Ait Ali Yahia      Maître de conférences A**

**Conférence 2.2**

**INFSSTS Abdellah Fadhel**

# Objectifs

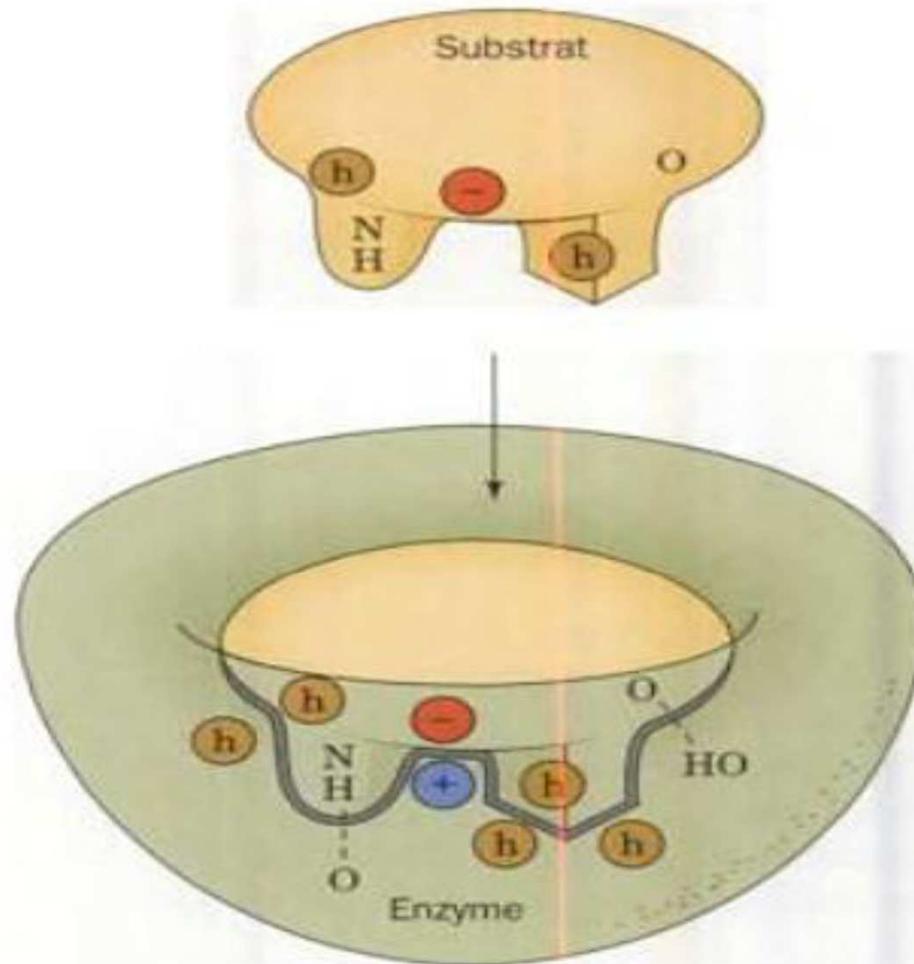
À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Comprendre l'histoire de l'enzymologie,
- Définir les enzymes,
- Classer les enzymes,
- Définir les coenzymes,
- Identifier les caractéristiques des enzymes,
- Déterminer les domaines d'utilisation industrielle,

# 1. Histoire de l'enzymologie

- L'enzymologie, étude des enzymes, débute avec la biochimie au XIX<sup>e</sup> siècle depuis les recherches sur la fermentation et la digestion.
- En 1810, Joseph Gay-Lussac a montré que la dégradation du sucre par les levures produit de l'éthanol et du CO<sub>2</sub>.
- En 1835, Jacob Brézelius, réalisa la première étude théorique générale sur la catalyse chimique. Il remarqua qu'un extrait de malt (diastase) catalyse l'hydrolyse de l'amidon avec plus d'efficacité que l'acide sulfurique.

- En 1878, Frederich Wilhelm Kühne introduit le terme enzyme (du grec **en** : dans et **zyme** : levure) pour dire qu'il existe quelque chose dans les levures, par rapport à la levure elle-même, qui catalyse les réactions de la fermentation.
- En 1894, émit l'hypothèse de **la clef et de la serrure** : la spécificité d'une enzyme (la serrure) pour son substrat (la clef) est due à leurs formes géométriques complémentaires.
- En 1926, James Sumner cristallisa la première enzyme l'**uréase** du haricot sabre (jack bean) qui catalyse l'hydrolyse de l'urée en  $\text{NH}_3$  et  $\text{CO}_2$ .



**FIGURE 13-1** Un complexe enzyme-substrat montrant à la fois les complémentarités géométrique et physique entre enzyme et substrat. Les groupements hydrophobes sont symbolisés par un h dans un cercle brun et les lignes en pointillés figurent les liaisons hydrogène.

## 2. Définition

➤ Toutes les réactions de l'organisme sauf (transformation de la créatine en créatinine) sont assurées par des biocatalyseurs que sont les **enzymes**.

➤ Une enzyme est une protéine capable de catalyser spécifiquement la transformation d'un ou deux substrats :  $S + S' \leftrightarrow P + P'$

S et S' (substrats), P et P' (produits de la réaction enzymatique).

- Cette catalyse s'effectue au niveau de quelques acides aminés de la chaîne polypeptidique (site actif) avec, dans bien des cas, la participation d'ions métalliques et / ou de coenzymes (généralement les vitamines).
- Molécules protéiques indispensables au fonctionnement des êtres vivants, les enzymes ont un rôle comparable à celui des catalyseurs qui, en chimie, accélèrent les réactions.

- Sans l'action enzymatique, le métabolisme des cellules et donc les réactions biochimiques qui le constituent seraient trop lentes pour assurer efficacement le fonctionnement de la cellule et le renouvellement des structures cellulaires.
- Les enzymes font évoluer plus rapidement la réaction vers son point d'équilibre sans toutefois modifier la position de ce dernier.

➤ Les **isoenzymes** correspondent à des cas particuliers d'organisation d'une même enzyme existant sous différentes formes ayant des activités catalytiques identiques et des différences de structure minimales. C'est le cas des malate déshydrogénases cytoplasmique et mitochondriale

- Lorsqu'elle fonctionne, l'enzyme procure à une réaction donnée un environnement spécifique qui lui permet de se dérouler rapidement.
- Du fait de sa structure tridimensionnelle, l'enzyme fournit au niveau d'un espace confiné appelé site actif, les conditions idéales de déroulement de la réaction : transformation du substrat en produit.
- La formation d'un complexe enzyme-substrat (ES) temporaire est la base du mécanisme des réactions enzymatiques

- L'activité enzymatique n'est maximale que dans un intervalle de **pH** et de températures donné. À des pH ou des températures extrêmes, la protéine enzymatique peut être dénaturée et perdre son activité.
- Les relations entre les systèmes enzymatiques et la structure de l'organite qui les contient constituent une des bases de la physiologie cellulaire.

- On les retrouve dans :
  - les organites intracellulaires particuliers,
  - sous forme soluble dans le cytoplasme,
  - intégrées à la structure de la membrane plasmique ou à celle de la paroi.
  
- Le nombre et la nature des enzymes varient en fonction du type de cellule.

### 3. Classification des enzymes

- La Commission des Enzymes de l'Union Internationale de Biochimie a établi une classification et une nomenclature à partir de 1961.
- Le catalogue publié par cette commission contient environ 4 000 enzymes.
- Les enzymes sont classées en fonction de la nature des substrats qu'elles transforment et le type de réaction qu'elles catalysent.

- On rajoute le suffixe « **ase** » au nom de leur substrat (ex. amylase, cellulase) ou à un mot ou une phrase faisant référence à leur activité (ex. oxydoréductase, oxoglutarate amino-transférerase).
- Chaque enzyme possède un numéro de code recommandé par la Commission Internationale d'Enzymologie et constitué de l'acronyme E.C. (Enzyme Commission) suivi de quatre chiffres, séparés par des points.

**Le premier** désigne la classe de l'enzyme qui dépend du type de réaction catalysée.

**Le second chiffre** désigne la sous-classe de l'enzyme, qui est définie selon le mécanisme de la réaction. Ainsi par exemple, les déshydrogénases transfèrent des atomes d'hydrogène.

**Le troisième chiffre** désigne la nature de la molécule servant d'accepteur.

**Le quatrième** enfin, représente le numéro d'ordre de l'enzyme dans le sous groupe.

Exemple : la L-lactate déshydrogénase a pour numérotation : **EC 1.1.1.27**.

**Classe 1: Oxydo-réductases.** Ces enzymes effectuent des réactions d'oxydation ou de réduction d'un substrat au moyen d'un coenzyme ou d'un second substrat comme l'oxygène. Par exemple, E.C.1.1.1.1 est le code de l'alcool déshydrogénase qui catalyse la réaction :



Cette réaction consiste dans l'oxydation d'une fonction alcool primaire ou secondaire (sous-classe 1) ; l'accepteur d'électrons est le NAD<sup>+</sup> (sous-sous classe 1).

**Classe 2: Transférases.** Elles catalysent le transfert d'un atome ou d'un groupe d'atomes (le donneur) vers une autre molécule (l'accepteur). L'hexokinase reçoit le code E.C. 2.7.1.1 :

## **Hexose + ATP D Hexose-6-phosphate + ADP**

Cette enzyme transfère le groupe phosphate (sous-classe 7) sur une fonction alcool (sous-sous classe 1), et cette réaction est la première de la liste.

**Classe 3: Hydrolases**. Elles assurent le clivage de liaisons en présence de molécules d'eau (hydrolyse). Ces liaisons peuvent impliquer des acides aminés dont la liaison peptidique est clivée par la prolyl-oligopeptidase et la papaïne.

La  $\beta$ -fructosidase, également appelée invertase, E.C.3.2.1.1, catalyse l'hydrolyse du saccharose :



Cette enzyme est une *O*-glycosidase (sous-classe 2) qui agit sur une liaison -glycosidique (sous-sous classe 1), et c'est la première de cette liste.

**Classe 4: Lyases.** Ce sont des enzymes qui catalysent la coupure d'une liaison entre deux atomes sans l'intervention d'une molécule d'eau (contrairement aux hydrolases) ou d'un oxydant (contrairement à certaines oxydases).

Les décarboxylases font partie de cette classe d'enzymes, par exemple l'histidine décarboxylase, E.C.4.1.1.22 :



Cette réaction, irréversible, fait intervenir le pyridoxal phosphate comme cofacteur.

**Classe 5: Isomérases**. Les isomérases modifient l'arrangement des atomes dans une même molécule. Le substrat et le produit auront la même formule brute, mais se distingueront l'un de l'autre par leur formule développée.

La phosphoglucomutase, E.C.5.4.2.2, transfère réversiblement le groupe phosphate du glucose-1-phosphate sur la fonction alcool en 6 :

**Glucose-1-phosphate ↔ Glucose-6-phosphate**

**Classe 6: Ligases**: (forment des liaisons entre un carbone et un métalloïde en utilisant l'énergie fournie par l'hydrolyse d'une molécule d'ATP). Ces enzymes créent des liaisons entre deux molécules. C'est notamment le cas des enzymes utilisées en biologie moléculaire.

La pyruvate carboxylase, E.C. 6.4.1.1, utilise le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) comme deuxième substrat et la biotine comme groupement prosthétique.



## 4. Caractéristiques des enzymes

Les enzymes diffèrent des catalyseurs chimiques classiques sur plusieurs points :

- **Vitesses de réactions plus grandes** : Les vitesses des réactions catalysées par des enzymes sont multipliées par des facteurs compris entre  $10^6$  et  $10^{12}$ , bien supérieures aux réactions catalysées par un catalyseur chimique.

➤ **Conditions de réactions plus douces** : Les réactions catalysées par des enzymes ont lieu dans des conditions relativement douces: températures inférieures à 100 °C, pression atmosphérique, et pH proches de la neutralité.

Les réactions catalysées par un catalyseur chimique nécessitent souvent des températures et des pressions élevées ainsi que des pH extrêmes.

➤ **Spécificité de réaction plus grande** : Les enzymes ont des spécificités beaucoup plus grandes vis-à-vis de leurs **substrats** (les réactifs) et de leurs produits que les catalyseurs chimiques. Les réactions enzymatiques ne donnent que rarement des produits secondaires.

➤ **Possibilité de régulation** : Les activités catalytiques de nombreuses enzymes varient en réponse aux concentrations de substances autres que leurs substrats et produits.

## 5. Les coenzymes

- La plupart des enzymes, excepté les hydrolases, nécessitent la présence obligatoire d'un coenzyme pour leur fonctionnement.
- Le nombre de coenzymes ne dépasse pas la vingtaine.
- Chaque coenzyme peut participer à la structure et au fonctionnement de plusieurs enzymes.
- Les principaux coenzymes: **Les coenzymes d'oxydoréduction** et **les coenzymes de transfert de groupement.**

- Les coenzymes ne sont pas de nature protéique. Ce sont des composés de masse molaire relativement faible, thermostables.
- La plupart possèdent un ou plusieurs noyaux cycliques ou hétérocycliques et présentent une structure fortement conjuguée, riche en électrons  $\pi$  mobiles, à l'origine de leur pouvoir catalytique.
- Beaucoup de ces noyaux ne sont pas synthétisés par tous les organismes vivants. Ce sont des facteurs de croissance ou des vitamines, en particulier du groupe B.

## 6. Groupes d'enzymes

- **Les enzymes métaboliques** : ces enzymes sont celles qui travaillent dans l'organisme pour la respiration, la production de la voix, les mouvements faits par les muscles, et surtout pour maintenir le système immunitaire du corps.
- **Les enzymes alimentaires** : qui sont dans les aliments crus, les aliments bruts qui ne sont pas encore transformés en industrie.

➤ **Les enzymes digestifs** : Ce sont des molécules qui se chargent de dégrader les aliments consommés pour que l'organisme puisse facilement absorber les nutriments qu'ils contiennent et que le corps a besoin. Pour une petite illustration, les enzymes sont les ouvriers qui assurent que le corps arrive à faire une bonne digestion et pour cela, elles fragmentent les aliments en petits morceaux.

Tube digestif : bouche, estomac, intestin grêle / duodénum.

## 7. Domaines d'utilisation des enzymes

- Dans l'**agro-alimentaire** les enzymes interviennent dans de nombreux procédés de fabrication : produits laitiers, production d'alcool, d'amidon, élaboration des arômes, fabrication des jus de fruits et des boissons gazeuses, production du pain...
- Elles interviennent également dans la chimie fine, l'industrie pharmaceutique, la fabrication des lessives ou l'alimentation animale.

- Elles participent à la synthèse de molécules biochimiques, ainsi qu'à l'élaboration de nouvelles techniques analytiques, à la fois sensibles, spécifiques et rapides.
- Entre 1995 et 2000, la demande de nouvelles enzymes a été multipliée par 10.
- Le marché mondial des enzymes industrielles extraites de micro-organismes dépasse le milliard de dollars américains par an.

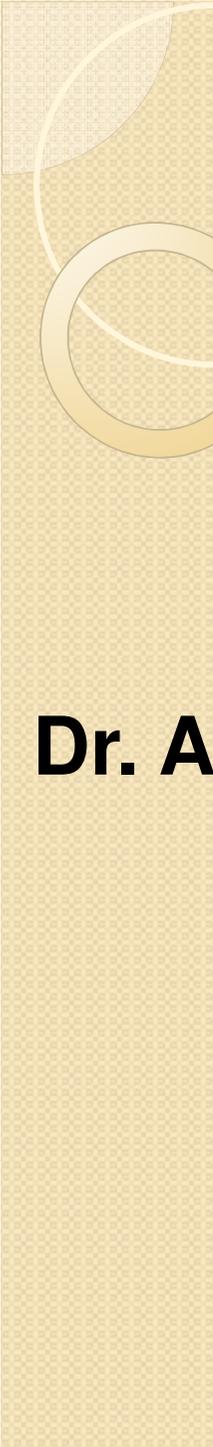
➤ L'utilisation dans l'industrie d'enzymes purifiées ou de leurs organismes producteurs (micro-organismes comme **les moisissures, levures, bactéries**) devrait contribuer au développement durable en réduisant la consommation d'eau, d'énergie et de matières premières tout en préservant l'environnement.

- Outre la découverte des mécanismes des réactions qui caractérisent les êtres vivants, l'étude des enzymes a une très grande importance pratique. Elle conduit à la compréhension de nombreuses maladies telles que les maladies génétiques où il y a un déficit, voire une absence totale d'un ou de plusieurs enzymes.
- De plus, dans certaines pathologies, la mesure de l'activité de certains enzymes tissulaires ou plasmatiques est un élément important du diagnostic et/ou du pronostic.

substrat	enzyme	Agit sur ?	Agit où ?	Produit par ?
Glucide	Amylase	amidon	Bouche, duodénum	Glandes salivaires, pancréas
	Invertase ou saccharase	saccharose	Jéjuno-iléon	Intestin grêle
	Maltase	maltose	Jéjuno-iléon	Intestin grêle
	Lactase	lactose	Jéjuno-iléon	Intestin grêle
Lipides	lipase	triglycérides	duodénum	Pancréas
Acides nucléiques	nucléase	ADN, ARN	duodénum	pancréas
protides	pepsine	protéines	estomac	Estomac
	Trypsine, chymotripsine, carboxypeptidase	polypeptides	duodénum	pancréas
	aminopeptidase	Oligopeptide : tri ou tétrapeptides	Jéjuno-iléon	Intestin grêle
	dipeptidase	Dipeptide	Jéjuno-iléon	Intestin grêle

## **8. Les besoins en enzymes**

- Avoir des gaz, ballonnement, douleur abdominale.
- Remontée d'acide.
- Une forte brûlure d'estomac.
- Une forte somnolence après chaque repas.
- Fatigue, trouble de la concentration, des sautes d'humeur.
- Insomnie.
- Mal de tête et migraine insupportable.
- Douleur musculaire.
- Menstruation douloureuse.
- Problème de la peau et cheveux.
- Obésité.



# **Les vitamines**

**Dr. Amar Ait Ali Yahia      Maître de conférences A**

**Conférence 2.3**

**INFSSTS Abdellah Fadhel**

# Objectifs

À la fin de cette conférence, l'étudiant (e) devrait être en mesure de :

- Définir les vitamines,
- Classer les différentes vitamines,
- Déterminer les sources alimentaires,
- Identifier les besoins quotidiens en vitamines,
- Illustrer les caractéristiques de chaque vitamine.
- Décrire l'apport des vitamines dans les sports.

# 1. Définition

- Les vitamines sont des molécules organiques [C-H-O-(N)] indispensables que l'organisme est incapable de synthétiser (sauf en de très rares exceptions).
- L'organisme a besoin d'une petite quantité pour maintenir son homéostasie.
- Les vitamines sont apportées par l'alimentation et sont digérées, absorbées et métabolisées par notre organisme.

- Certaines vitamines existent sous plusieurs formes actives qui chacune assure un rôle physiologique différent (e.g. la vitamine D, D2 et D3).
- Les rôles métaboliques des vitamines se résument très schématiquement à des fonctions antioxydantes et de coenzymes.
- Le mot vitamine vient de la contraction de deux mots : vitale = vie et Amine = molécule organique.

- Ce sont des substances organiques de faible poids moléculaire, sans valeur énergétique, indispensables à la croissance, à la reproduction et au fonctionnement de l'organisme.
- La vitamine D1 synthétisée par la peau et les vitamines B8 et K dont une partie est synthétisée par la flore bactérienne du gros intestin.
- Le terme de « vitamine » inventé par Funk en 1911 à propos de la thiamine, a été par la suite, étendu à un ensemble hétéroclite de substances qui partagent les mêmes propriétés.

## 2. Classification des vitamines

### 2.1. Les vitamines hydrosolubles

- Ce sont des vitamines solubles dans l'eau. On distingue ainsi les vitamines B1-thiamine, B2-riboflavine, B3-niacine, B6-pyridoxine, B9-acide folique, B12-cobalamine, C-acide ascorbique, biotine, acide pantothénique.
- Elles sont absorbées dans le sang où elles circulent librement. Elles restent donc dans l'organisme et les surplus sont filtrés puis éliminés rapidement dans les urines.

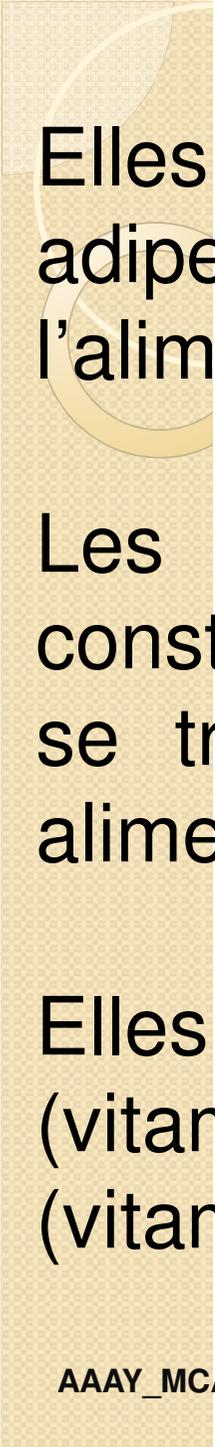
- Elles ne peuvent être stockées par l'organisme. Ces vitamines doivent être apportées quotidiennement par l'alimentation. Elles sont des précurseurs de coenzymes.

**TABLEAU 13-2 Vitamines précurseurs de coenzymes**

Vitamine	Coenzyme	Maladie causée par carence (chez l'homme)
Biotine	Biocytine	<i>a</i>
Cobalamine (B <sub>12</sub> )	Coenzymes à cobalamine (B <sub>12</sub> )	Anémie pernicieuse
Acide folique	Tétrahydrofolate	Anémie mégaloblastique
Nicotinamide	Coenzymes à nicotinamide	Pellagre
Pantothénate	Coenzyme A	<i>a</i>
Pyridoxine (B <sub>6</sub> )	Phosphate de pyridoxal	<i>a</i>
Riboflavine (B <sub>2</sub> )	Coenzymes flaviniques	<i>a</i>
Thiamine (B <sub>1</sub> )	Pyrophosphate de thiamine	Bériberi

## **2.2. Les vitamines liposolubles** (A, D, E, K, F)

- Ce sont des vitamines solubles dans les huiles et les graisses. Leur métabolisme est comparable à celui des lipides.
- Elles ne s'éliminent pas facilement. Elles vont s'accumuler dans l'organisme, ainsi, prises en quantité exagérée, elles peuvent nuire à l'organisme.
- Elles sont absorbées avec les graisses alimentaires dans la lymphe puis dans le sang et circulent associées aux lipoprotéines plasmatiques.



Elles sont stockées au niveau du foie ou du tissu adipeux et peuvent donc être apportées par l'alimentation de manière discontinue.

Les vitamines liposolubles ne sont pas des constituants de coenzymes, même si elles doivent se trouver à l'état de traces dans les régimes alimentaires de beaucoup d'animaux supérieurs.

Elles circulent liées à une protéine spécifique (vitamines A et D) ou bien aux lipoprotéines (vitamines E et K).

# 3. Les sources alimentaires (ACE, 2019)

## Vitamines hydrosolubles

Thiamine (Vitamine B1)

Sources alimentaires

Les produits céréaliers entiers et enrichis (pain, céréales du petit déjeuner et pâtes alimentaires), la viande (porc), les abats (foie et rognon) et la levure de bière.

Riboflavine (Vitamine B<sub>2</sub>)

Le lait et les produits laitiers, le foie, la viande, les œufs, les produits céréaliers entiers ou enrichis et les légumes à feuilles vertes.

Niacine

Le foie, la viande (bœuf et poulet), le lait, les œufs, les légumineuses (pois chiches), le beurre d'arachide, et les produits céréaliers entiers enrichis.

Acide folique

Les abats, les légumineuses, les légumes à feuilles vert foncé, les fruits (orange et cantaloup), le pain enrichi et la levure de bière.

Pyridoxine (Vitamine B<sub>6</sub>)

La viande, le poisson, la volaille, le lait, les céréales de blé entier, la banane et les légumineuses.

Cobalamine (Vitamine B<sub>12</sub>)

Les produits d'origine animale (viande, foie, volaille, œufs et produits laitiers) et les boissons au soja enrichies.

Acide pantothénique

Le foie, les arachides, les œufs et de nombreux aliments courants.

Biotine

Le foie, les noix, le jaune d'œuf, les légumineuses, la viande, les légumes et les fruits.

Vitamine C

Les agrumes et leurs jus (orange, pampleousse et citron); le brocoli, les poivrons (verts, rouges et jaunes), le cantaloup, le kiwi, les fraises et les tomates.

## Vitamines liposolubles

Vitamine A

## Sources alimentaires

Le foie, les légumes verts et jaunes (épinard, brocoli, courge, carotte), les fruits oranges (cantaloup), le jaune d'œuf et les produits laitiers (lait et fromage).

Vitamine D

Le lait enrichi de vitamine D, la margarine, les boissons au soja enrichies, le jaune d'œuf, le foie et le poisson (thon et saumon).

Le corps peut produire de petites quantités de vitamine D lorsque la peau est exposée au soleil, sans écran solaire, pendant 10 à 15 minutes. Dans les pays nordiques comme le Canada, la production de vitamine D n'a lieu que pendant l'été.

Vitamine E

Les huiles (de soja, de maïs, d'olive et de canola), les graines de tournesol, le germe de blé, le pain et les céréales de blé entier, le foie, la margarine, les œufs, les légumes verts, les noix, la patate douce, l'avocat et la mangue.

Vitamine K

Les légumes à feuilles vertes (brocoli et épinard), le foie, le lait et les œufs.  
De plus, des bactéries du tube digestif produisent de la vitamine K.

## **4. Besoins quotidiens en vitamines**

Le tableau suivant indique ce qu'il est souhaitable de trouver dans l'alimentation quotidienne, pour un homme de corpulence moyenne (70 kg).

Il s'agit de valeurs approchées car les besoins précis pour une vitamine donnée, ne sont pas les mêmes d'un individu à l'autre.

Le tabac ou l'alcool influencent négativement le devenir des vitamines dans l'organisme : le tabagisme détruit la vitamine C et la consommation d'alcool inhibe fortement l'absorption de la vitamine B1.

Les besoins seront différents en fonction du mode de vie et de l'état physiologique :

- Activités sportives,
- activité professionnelle,
- sédentarité,
- grossesse,
- allaitement,
- état de santé,
- traitement médical, etc.

Le nombre de variables est très élevé.

<b>Vitamines Hydrosolubles</b>	<b>Besoins quotidiens</b>	<b>Vitamines liposolubles</b>	<b>Besoins quotidiens</b>
<b>B1</b>	1,5 mg	<b>A</b>	0,7 µg
<b>B2</b>	1,5 mg	<b>D</b>	5 µg
<b>B3</b>	20 mg	<b>E</b>	15 mg
<b>B5</b>	2 mg	<b>K</b>	80 µg
<b>B6</b>	2 mg		
<b>B8</b>	100 µg		
<b>B9</b>	150 µg		
<b>B12</b>	2 µg		
<b>C</b>	60 mg		

## 5. Les vitamines hydrosolubles

### **Vitamine B1** (Thiamine)

- C'est la première vitamine découverte, isolée de l'enveloppe des grains de riz en 1913.
- Elle se compose d'un noyau pyrimidine et d'un noyau thiazole. Elle est transformée dans l'organisme en thiamine pyrophosphate, qui est le produit actif.
- La thiamine est une molécule organique constituée de noyaux pyrimidine et thiazole reliés par un pont méthylène. Elle est hydrosoluble et thermolabile; et dénaturée à 100°C.

## **Vitamine B2** (riboflavine)

- Elle est phosphorylée pour donner le flavine mononucléotide (FMN), molécule qui se retrouve également dans le flavine adénine dinucléotide (FAD).
- Ces deux coenzymes équipent les déshydrogénases flaviniques, responsables notamment de la formation de doubles liaisons  $>C=C<$ , comme la succinate déshydrogénase ou l'acyl-CoA déshydrogénase.

- Elle joue un rôle important dans la transformation des aliments simples (glucides, lipides et protéines) en énergie. Elle intervient dans le métabolisme de réparation des muscles.
- Résiste à la chaleur, à la congélation et au salage et dénaturé par les UV. Sa source principale étant le lait, Faiblement soluble dans l'eau, La vitamine B2 est avec le  $Mg^{2+}$  nécessaire à l'activation des vitamines B6 et B3

## **Vitamine B3** (Prévention du Pellagre)

- Cette vitamine est représentée soit par l'acide nicotinique soit par l'amide correspondante.
- Ce groupe est incorporé dans un ribonucéotide, puis se retrouve dans le NAD<sup>+</sup> ou dans le NADP<sup>+</sup>.
- Ces deux coenzymes participent à de nombreuses réactions d'oxydoréduction, notamment dans la conversion de fonctions alcool en fonctions carbonyle.

## **Vitamines B5** (panthénol)

- Cette vitamine se retrouve dans tous les aliments, sous forme libre ou combinée. Il s'agit de l'acide pantothénique, constituant du coenzyme A.
- La gelée royale est le produit naturel connu le plus riche en vitamine B5.
- Elle est apportée uniquement par l'alimentation. elle est sensible à la chaleur en solution aqueuse. Elle est très répandue dans la nature, Elle est très présente dans le foie, le rein, l'encéphale et le cœur.

- Elle favorise la croissance et la résistance de la peau et des muqueuses (prévient les troubles des phanères).
- Elle est nécessaire au métabolisme des glucides, lipides et protéines et participe à la synthèse de certaines hormones.
- Elle est impliquée dans le développement et le fonctionnement du système nerveux central.
- Elle soulage la polyarthrite rhumatoïde, diminue la gravité des réactions cutanées dues à l'exposition à un allergène (pollen ou poussière), stimule la fertilité.

## Vitamine B6

- Il s'agit en fait de trois molécules apparentées dont les pouvoirs vitaminiques sont identiques: la pyridoxine (PN), le pyridoxal (PAL) et la pyridoxamine (PAM).
- La fonction alcool en 5 est phosphorylée pour donner la pyridoxine phosphate (PNP), le pyridoxal phosphate (PALP) et la pyridoxamine phosphate (PAMP).

- Elle résiste à la chaleur et aux acides et à l'oxydation, Elle est détruite par les alcalins et la lumière, Elle est soluble dans l'eau. Elle existe en majorité dans le foie puis dans le cerveau, le plasma, et les globules rouges.
- Elle est impliquée dans la formation des anticorps, dans la synthèse d'hémoglobine, dans les réactions de décarboxylation (formation des messagers chimiques du cerveau : dopamine, noradrénaline, sérotonine, GABA).

La vitamine B6 est utilisée chez :

- Les alcooliques chroniques,
- les hémodialysés,
- les femmes enceintes et allaitantes,
- les femmes sous contraceptifs oraux,
- les personnes âgées dénutries,
- les sportifs.

## **Vitamine B8** (vitamine H)

- Il s'agit de la molécule de biotine. Elle est réunie aux enzymes (carboxylases) par une liaison amide avec la fonction e amine d'un résidu lysine (la biotine est donc un groupement prosthétique).
- C'est un coenzyme qui participe au métabolisme des carboxylases (cycle de KREBS), des acides gras, des glucides et des acides aminés et à la synthèse des vitamines B9 et B12.
- La vitamine B8 est soluble dans l'eau et les solutions alcalines. Elle est peu soluble en milieu acide ou dans les solutions organiques, stable à la chaleur et en solution aqueuse, elle est peu sensible à l'oxydation, détruite par les UV.

## **Vitamine B9** (Acide folique)

- Un groupe de composés synthétisés par les plantes et les micro-organismes. Elle est détruite par la chaleur, l'oxydation, surtout emmagasinée dans le foie. Son absorption est améliorée par le Zinc. Une partie est synthétisée par les bactéries intestinales.
- Les folates constituent l'apport alimentaire principal. Dans le tube digestif, ils sont d'abord détachés des protéines par des protéases digestives, puis hydrolysés. L'absorption digestive de l'acide folique est, en grande partie, énergie-dépendante du sodium et du glucose.

- Les globules rouges contiennent des folates. Le liquide céphalorachidien contient environ trois fois plus de folates que le plasma. Le foie est le plus riche en folates, il contient environ la moitié des folates de l'organisme.
- L'acide folique est le précurseur de nombreux coenzymes qui sont impliqués dans l'élaboration des cellules sanguines (globules rouges et blancs), dans la reproduction des cellules et dans le fonctionnement du système nerveux central (synthèse de neurotransmetteurs).

## **Vitamine B12** (cobalamine)

- La vitamine B12 est une macromolécule formé de quatre molécules de pyrrole, au centre duquel se trouve un atome de cobalt, Le cobalt présent au centre du noyau tétrapyrrolique peut se trouver sous différents degrés d'oxydoréduction, trivalent, divalent ou monovalent.
- Elle est sensible à la lumière, est détruite à la chaleur en milieu acide ou basique, résiste à l'oxydation, est très soluble dans l'eau mais peu soluble dans l'alcool et les solvants organiques.

- Elle est apportée par l'alimentation et synthétisée par certains micro-organismes. La vitamine B12 d'origine alimentaire est libérée sous l'influence de la cuisson, de l'acidité gastrique, de la pepsine. Dans l'estomac et l'intestin elle se lie au facteur intrinsèque IF synthétisé par les cellules pariétales de la muqueuse gastrique permettant une absorption spécifique au niveau intestinale.
- Parmi les différentes formes de vitamines B12, la cyanocobalamine et l'hydroxocobalamine sont les seules utilisées en thérapeutique.

## **Vitamine C** (acide L-ascorbique)

- C'est un métabolite dérivé du glucose que la majorité des mammifères est en mesure de synthétiser. Les primates (et le cochon d'Inde) font exception et doivent trouver environ 60 mg d'acide L-ascorbique dans leur alimentation quotidienne.
- Les réactions les plus importantes auxquelles participe l'acide ascorbique sont catalysées par des hydroxylases, principalement la proline hydroxylase et la lysine hydroxylase.

- Il s'agit d'enzymes dont l'action est indispensable à la maturation des fibrilles de collagène, par la transformation de résidus proline et lysine respectivement en hydroxyproline et hydroxylysine.
- Le scorbut est essentiellement la conséquence d'une mauvaise maturation du collagène, suite à une carence en vitamine C (d'où le nom de l'acide ascorbique).
- Cette vitamine est soluble dans l'eau plus difficilement dans l'alcool et pas du tout dans l'éther ou le chloroforme.

- Elle est extrêmement sensible à l'oxygène de l'air, à la température élevée, pasteurisation et en présence de métaux (fer, cuivre).
- Puissant anti- oxydant, elle stimule la synthèse et l'entretien du collagène et de certains neurotransmetteurs comme la noradrénaline.
- Elle est nécessaire aux défenses anti-infectieuses.
- Elle favorise l'absorption du fer. Elle réduit les réactions allergiques en diminuant le taux d'histamine sanguin.

- Elle réduit la nocivité des métaux toxiques (le plomb, le nickel, le cadmium) en favorisant leur élimination.
- La vitamine C est administrée à doses nutritionnelles et à doses pharmacologiques : pour stimuler le système immunitaire, dans le syndrome de fatigue, lors d'une infection aiguë (virale (grippe, varicelle, zona, oreillons, herpès,...)).
- Elle stimule la synthèse du collagène et favorise ainsi la réparation et la cicatrisation des plaies traumatiques, chirurgicales, des escarres, des engelures, des gencives

## 6. Les vitamines liposolubles

**Vitamine A** (Rétinol). Elle existe sous deux formes (le rétinol et le bêta-carotène).

- Sous forme d'ester de rétinol dans les aliments d'origine animale, celui-ci est transformé dans l'intestin en rétinol qui est la forme active de la vitamine A. les plus importants étant le rétinal et l'acide rétinoïque.
- La provitamine A désigne certains caroténoïdes dont le bêta-carotène est le plus important. Ils ont pour la plupart des propriétés anti oxydantes que ne possède pas la vitamine A.

- Elle est insoluble dans l'eau, soluble dans les graisses, l'éther, le chloroforme, et l'acétone, stable à la chaleur, très sensible à l'oxydation, à la lumière, et à l'air.
- La quasi-totalité (90%) de la vitamine A absorbée est stockée dans le foie. Les provitamines A sont beaucoup moins fragiles.
- Dans le tube digestif, les esters de rétinol sont hydrolysés par une lipase, libèrent le rétinol, son absorption étant favorisée par les lipides et les sels biliaires, Le foie est l'organe de stockage de la vitamine A.

- Les caroténoïdes sont absorbés par diffusion passive. Le  $\beta$ -carotène est absorbé par la cellule épithéliale qui l'hydrolyse ensuite en rétinol. On absorbe 80 à 90% de la vitamine A d'origine animale et 50 à 60% des caroténoïdes.
- La vision dépend de ces pigments qui sont composés d'une protéine l'opsine et d'un dérivé de la vitamine A. En cas de carence en vitamine A le sujet est atteint de trouble de la vision qui entraîne la cécité. D'autre part les caroténoïdes protègent le cristallin.

## Vitamine D

- Elle est très soluble dans l'éther et le chloroforme, légèrement soluble dans les huiles et les graisses mais insoluble dans l'eau.
- Contrairement aux autres vitamines liposolubles la vitamine D n'est pas stockée dans le foie. Les principaux sites de stockage sont le tissu adipeux et les muscles.
- La vitamine D est nécessaire à la santé et à la robustesse du squelette humain. Elle est hypercalcémiante et minéralisante.

- Par ses différentes actions, elle va maintenir un pool phosphocalcique disponible pour la minéralisation osseuse.
- Au niveau de la glande mammaire pendant la grossesse et l'allaitement, elle entraîne une augmentation de l'absorption intestinale du calcium.
- Au niveau du placenta, la vitamine D contrôle le transport du calcium, ce qui contribue au mécanisme de minéralisation du squelette foetal.

- Au niveau du muscle, la vitamine D régule la concentration en calcium nécessaire au bon fonctionnement musculaire.
- La vitamine D a des effets sur la différenciation de plusieurs types et sur la prolifération-différenciation de toute une série de cellules tumorales.

## Vitamine E

- On doit parler de la famille des vitamines E, qui comprend les groupes des tocophérols et des tocotriénols.
- L' $\alpha$ -tocophérol, la vitamine la plus active du premier groupe est un antioxydant ; il inhibe la formation des espèces réactives de l'oxygène (ERO) et prévient la peroxydation des acides gras poly-insaturés.
- Elle se présente sous la forme d'une huile visqueuse de coloration jaune pâle.

- Ils sont insolubles dans l'eau, très solubles dans les graisses, les huiles et les solvants organiques (éther, acétone, chloroforme, méthanol, ...).
- Ils sont peu sensibles à la chaleur, à la lumière et aux acides, très sensibles à l'oxydation et aux bases.
- Elle contribue à neutraliser les radicaux libres qui peuvent s'accumuler dans les tissus gras de l'organisme.

- Dans l'intestin, les esters de la vitamine E sont hydrolysés et libèrent la vitamine E. En présence de sels biliaires, la vitamine E est absorbée par les entérocytes.
- Dans le sang, elle est transportée par les lipoprotéines, en particulier les LDL. Les tissus qui contiennent les concentrations les plus élevées de vitamine E sont les graisses, certaines glandes endocrines et les thrombocytes.
- Au niveau cellulaire, elle est présente à forte concentration dans les membranes et les mitochondries.

- Le principal effet de la vitamine E est son action anti-oxydante, La vitamine E s'oppose à la peroxydation des acides gras en peroxydes.
- L'effet anti-oxydant de la vitamine E, et la gestion du stress oxydatif dans le développement de diverses maladies cardiovasculaires, neurologiques et cancéreuses ainsi que dans le vieillissement.
- À doses élevées, elle retarderait la progression de certaines maladies comme la maladie de Parkinson.

## Vitamine K

- La famille des vitamines K regroupe des molécules chimiquement voisines qui sont constituées d'un noyau naphthoquinone et d'une chaîne polyisoprénique.
- Vitamine de la coagulation, phylloquinone : vitamine K1, vitamine K2 et vitamine K3.
- La vitamine K pourrait jouer un rôle dans le processus de minéralisation osseuse.

- La phylloquinone se présente sous l'aspect d'une huile jaune d'or. Elle est insoluble dans l'eau, peu soluble dans l'alcool et facilement soluble dans l'éther, le chloroforme, les graisses et les huiles.
- Elle est lentement dégradée par l'oxygène de l'air et plus rapidement par la lumière. Elle est stable à la chaleur mais dégradée par les alcalins.
- Facteur antihémorragique ou de coagulation.
- La vitamine K sert d'antidote en cas d'absorption accidentelle de mort aux rats chez les humains et les animaux de compagnie.

# 7. Vitamines et sports

## 6.1. Rôle énergétique :

- La contraction d'un muscle consomme de l'énergie. Il utilise du **carburant**, sucres et graisses, et un **comburant**, l'oxygène.
- Il utilisera une énergie libérée en très faible quantité et progressivement, au fur et à mesure d'une longue chaîne de réactions biochimiques.
- Ces réactions sont activées, stimulées et accélérées par les vitamines.

## **6.2. Rôle plastique :**

- Les vitamines interviennent dans les réactions de construction (développement de la masse musculaire).
- Et de réparation des tissus, en particulier les muscles et les os.
- L'organisme a besoin des protéines, matériau pour bâtir, dont l'assimilation se fera grâce aux vitamines.

### **6.3. Rôle anti-fatigue et anti-stress**

- L'activité sportive exige un surcroît de dépenses d'énergie, mais aussi des contraintes psychologiques (tension nerveuse, anxiété) et physiques (mobilisation maximale de l'appareil moteur).
- Les vitamines renforcent la résistance de l'organisme à cette pression.
- La diététique sportive se doit d'améliorer la performance pour le sportif, par des apports supérieurs.