

# BTS

# DIÉTÉTIQUE

## TOUT-EN-UN

Programmes de 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> années

Fiches  
Schémas  
Exos

2<sup>e</sup> édition

# Diététique

Annales  
corrigées

- ✓ E1A Biochimie - Physiologie
- ✓ E1B Nutrition - Alimentation
- ✓ E2 Bases physiopathologiques de la diététique
- ✓ E3 Économie - Gestion
- ✓ E5B Activités technologiques de l'alimentation

Cédric Favro (coord.), Stéphanie Ballot,  
Saveria Colombani, Sandra Cussigh,  
Claire Montintin

ellipses

# L'atome et les liaisons chimiques

Le premier niveau d'organisation du corps humain correspond au **niveau chimique** avec les atomes et les molécules.

## I • Rappels sur l'atome

L'**atome**, ou élément chimique, constitue la plus petite partie indivisible de la matière. Il est composé :

- D'un **noyau** contenant un ou plusieurs **proton(s)** chargé(s) positivement, étroitement lié(s) à un ou plusieurs **neutron(s)** non chargé(s). L'ensemble forme les **nucléons**.
- D'un ou plusieurs **électron(s)** chargé(s) négativement et qui gravite(nt) autour du noyau. Électrons et protons sont en nombre égal pour que la matière reste neutre.

Dans la classification périodique des éléments, un atome X est représenté selon l'écriture suivante :



A : nombre de nucléons (ou nombre de masse ou **masse atomique**, le plus souvent en g/mol) ;  
Z : nombre de protons (ou **numéro atomique**).

Le **numéro atomique** désigne également la quantité d'électrons de l'atome. Lorsque l'atome :

- Perd un électron, il devient déficitaire d'une charge négative conférant alors une charge + à l'atome qui devient ainsi un **cation**. Ex : Na<sup>+</sup> (ion sodium).
- Acquiert un électron, il se retrouve avec une charge négative excédentaire conférant une charge - à l'atome qui devient ainsi un **anion**. Ex : Cl<sup>-</sup> (ion chlorure).

On parlera d'ion mono, di ou trivalent selon le nombre d'électrons perdus ou acquis par l'atome.  
Ex : ion calcium Ca<sup>2+</sup> est un ion divalent.

## II • Les liaisons covalentes

Une **liaison covalente** s'établit lorsqu'un atome partage un électron avec l'électron d'un autre atome pour former un **doublet d'électrons** liant les deux atomes.

L'assemblage d'au moins deux atomes liés par liaison covalente forme une **molécule**.

*Illustration* : l'atome A possède un électron célibataire, noté « • », pouvant s'associer à l'électron célibataire « • » d'un atome B. Ainsi, l'association  $A \cdot + \cdot B$  forme la molécule A–B où la liaison « – » correspond au doublet des électrons et donc à la liaison covalente.

Le nombre d'électrons présents dans la couche la plus périphérique de l'atome détermine la valence de celui-ci. Ex : l'atome de C possède **quatre électrons** dans sa couche périphérique, il peut donc établir **quatre liaisons** covalentes et est qualifié de **tétravalent**.

Les liaisons covalentes sont qualifiées de **liaison forte** car l'énergie pour les créer ou les rompre est élevée (de l'ordre de la centaine de kJ/mol). Elles sont à l'origine de la rigidité du squelette des biomolécules.

### III • Les liaisons non covalentes

Les liaisons **non covalentes** :

- Sont **essentielles à la dynamique** des réactions du vivant : les réactions du métabolisme sont dues à la **création/destruction** de liaisons non covalentes inter et intra moléculaires.
- Sont qualifiées de **liaisons faibles** car l'énergie pour les créer ou les rompre est faible (de l'ordre de la dizaine de kJ/mol). On distingue :

#### A Les liaisons hydrogène (H)

Une **liaison hydrogène** résulte de l'attraction électrostatique entre un atome électronégatif (ex : O) et un atome d'hydrogène (H) lui-même lié par liaison covalente à un deuxième atome électronégatif (ex : N).

*Illustration* :  $[R1]-N-H \text{ ||| | | | | | | | | } O=C-[R2]$

#### B Les interactions ioniques

Les **interactions ioniques** s'établissent entre le + et le – de deux ions ou de deux groupements fonctionnels ionisés (R1 et R2 ci-dessous).

*Illustration* :  $[R1](+) \text{ ||| | | | | | | | | } (-)[R2]$

#### C Les interactions hydrophobes

Les **interactions hydrophobes** s'établissent lorsque des molécules, qui n'ont aucune affinité avec l'eau (molécules hydrophobes), se regroupent et interagissent ensemble sous l'effet des contraintes exercées par l'eau.

#### D Les liaisons de Van der Waals

Les **liaisons de Van der Waals** s'établissent par interaction électrique de faible intensité lorsque les atomes sont très proches. Elles sont plus faibles mais plus nombreuses que les liaisons H.

# Macroéléments et oligoéléments

Dans un organisme vivant, les atomes ne sont pas en proportion équivalente permettant ainsi de distinguer les **macroéléments** des **oligoéléments**.

## I • Les macroéléments

Un **macroélément** est un élément chimique qui représente plus de 5 g chez un homme de 70 kg, et qui nécessite un apport journalier supérieur à 50 mg.

96 % de la composition de la matière vivante est représenté par **C (carbone)**, **H (hydrogène)**, **O (oxygène)** et **N (azote)**. Ces atomes sont essentiellement impliqués dans la **structure des biomolécules** et la formation de **groupements fonctionnels** (fonction alcool  $-OH$  ; fonction acide carboxylique  $-COOH$  ; fonction amine  $-NH_2$  ; etc.) nécessaires au métabolisme.

3,5 % est représenté par les minéraux suivants : **calcium (Ca)**, **phosphore (P)**, **potassium (K)**, **soufre (S)**, **sodium (Na)**, **chlore (Cl)** et **magnésium (Mg)**, essentiellement sous forme ionisée.

Si Ca et P ont un rôle principalement structural (cristal osseux), les autres macroéléments minéraux ont essentiellement un rôle fonctionnel. Ex :  $Mg^{2+}$  qui a un rôle de cofacteur enzymatique ;  $Na^+$  et  $K^+$  impliqués dans la conduction nerveuse, etc.

## II • Les oligoéléments

Un **oligoélément** est un élément chimique minéral, nécessaire à la vie d'un organisme mais en quantité très faible ( $< 1\%$  de la masse du corps humain ou 1 mg/Kg de poids corporel). Exemples : Fe, I, Co, Mn, Zn, etc.

Les oligoéléments sont essentiels pour le fonctionnement de nombreuses réactions chimiques mais certains peuvent avoir un **rôle structural** comme l'iode (I) et le fer (Fe) qui entrent respectivement dans la composition des hormones thyroïdiennes et de l'hémoglobine.

# L'eau et ses propriétés

Dans le corps humain, l'eau (de formule H<sub>2</sub>O) représente en moyenne **60 %** de la masse corporelle dont les deux tiers composent le cytosol des cellules (le tiers restant se trouvant dans le milieu extracellulaire, essentiellement le sang et lymphé).

## I • Rôles de l'eau dans l'organisme

### A Rôle de solvant

L'eau **dissout les composés hydrophiles** (ions Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, etc. et molécules hydrophiles telles que glucose, urée, protéine, etc.) mais **ne dissout pas les molécules hydrophobes** (acides gras longs, triglycérides, etc.).

### B Rôle de réactif

L'eau intervient en tant que réactif dans certaines réactions chimiques (hydrolyse, réaction acide/base, etc.).

*Illustration de l'hydrolyse : [R1]-[R2] + H<sub>2</sub>O → [R1]-OH + H-[R2]*

### C Rôles physiologiques

- **Composant principal du sang.** L'eau contribue de ce fait à la diffusion et au transport des substances dissoutes dans l'organisme.
- **Milieu réactionnel** où se produisent les réactions biochimiques entre solutés. Ex : le cytosol qui est un milieu aqueux.
- **Rôle dans la thermorégulation** par l'intermédiaire de la circulation du sang, mais aussi grâce à la **sueur**.
- **Rôle de lubrifiant** au niveau des articulations par l'intermédiaire du liquide synovial qui limite les frottements articulaires lors des mouvements.
- **Rôle de protection mécanique.** Ex : liquide céphalorachidien qui entoure et protège l'encéphale et la moelle épinière ; liquide amniotique qui protège le fœtus.

## II • Polarité de la molécule d'eau

L'eau est une **molécule polaire** car elle possède des **liaisons covalentes polarisées** : l'atome d'O, **électronégatif** ( $\delta^-$ ), est lié par covalence à un H **électropositif** ( $\delta^+$ ) (électronégativité = capacité à attirer les électrons lors de la formation d'une liaison chimique avec un autre atome).

La molécule d'eau est ainsi considérée comme un **dipôle permanent** (car possède deux liaisons polarisées) pouvant interagir par liaison H avec d'autres molécules d'eau mais aussi avec **d'autres molécules polarisées** (glucose, urée, acides aminés, etc.).

## III • Capacité de l'eau à interagir avec des composés polaires et/ou chargés

Grâce à sa polarité, l'eau dissout un composé à condition que celui-ci établisse des liaisons H avec les molécules d'eau. Ce composé est alors qualifié d'**hydrophile** et peut être :

- Une molécule **polaire** (ex : Glucose, urée, acide aminé, etc.), c'est-à-dire qui possèdent des **liaisons polarisées** capables d'interagir avec l'eau par liaisons H.
- Un **soluté chargé** où les charges + et - interagissent respectivement avec O et H de la molécule d'eau.

La capacité pour une molécule polaire à interagir avec l'eau dépend de sa richesse en groupes fonctionnels polarisés : alcool -OH ; acide carboxylique -COOH ; amine -NH<sub>2</sub> ; etc. Dans le cas contraire, la molécule ne peut interagir avec l'eau et est qualifiée d'**hydrophobe**.

L'eau forme ainsi des **couches d'hydratation (sphères de solvation)** qui entourent les solutés polaires et les protègent ainsi de l'influence des autres substances chargées proches.

## IV • L'eau et l'équilibre hydrique dans l'organisme

La constance des volumes des compartiments liquidiens (cytoplasme, plasma, liquide interstitiel, etc.) est notamment permise par une loi physique : l'**osmose**.

L'osmose :

- Correspond à un mouvement d'eau du milieu le moins concentré en solutés (**hypotonique**) vers le milieu le plus concentré en solutés (**hypertonique**), jusqu'à égalité de concentration entre les deux milieux (**isotonie**).
- Contribue à l'**équilibre hydrique** entre les compartiments liquidiens, en association avec les propriétés des solutés présents dans les liquides biologiques, tels que le sodium et les protéines.

La contre-pression pour empêcher ce mouvement d'eau est appelée **pression osmotique**.

Des **déséquilibres osmotiques** sont à l'origine de perturbations pouvant avoir des conséquences graves pour la santé (œdème, hypertension, etc.)

# Classification des biomolécules

## I • Définition

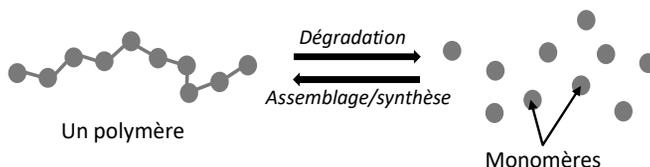
Une **biomolécule** est une molécule caractéristique du monde vivant le plus souvent définie par sa composition atomique ainsi que par sa composition en groupements fonctionnels. On distingue ainsi **quatre grandes familles** de biomolécules :

Biomolécules	Composition élémentaire	Groupements fonctionnels caractéristiques	Principales molécules
<b>Protides</b>	C, H, O, N (S)	Carboxyles (COOH/COO <sup>-</sup> ) et amines (-NH <sub>2</sub> /-NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> )	<b>Acides aminés</b> (unités de base), <b>peptides</b> et <b>protéines</b> .
<b>Glucides</b>	C, H, O	Hydroxyle (ou alcool OH), cétone (>C=O), aldéhyde (CHO).	<b>Oses</b> (unités de base) et <b>osides</b> (assemblages d'au moins deux oses).
<b>Lipides</b>	C, H, O (N, P)	Carboxyles (COOH/COO <sup>-</sup> ), hydroxyle (ou alcool OH), ester (R-COO-R').	<b>Lipides simples</b> (C, H, O) : acides gras, triacylglycérols, cériques et stérides. <b>Lipides complexes</b> (C, H, O, N, P) : phospholipides et sphingolipides.
<b>Acides nucléiques</b>	C, H, O, N, P	Ester phosphate	<b>ADN et ARN</b> , composés de <b>nucléotides</b> .

## II • Notion de monomère/polymère

Certaines grandes biomolécules sont élaborées à partir d'une unité de base plus simple. Ces grandes molécules prennent alors le nom de **polymère**, et les unités de base sont qualifiées de **monomère**.

*Illustration :*



Ces polymères sont parfois qualifiés de **macromolécules**. Ex : protéine → polymère d'acides aminés ; glycogène → polymère de glucoses.

# Définition, rôles et classification des glucides

## I • Définition et rôles des glucides

Les **glucides** désignent un ensemble de molécules organiques composées de C, H et O, contenant un **groupement carbonyle** (aldéhyde ou cétone) et au moins deux groupements **hydroxyle** (ou alcool -OH). Ils sont classés en **oses** et **osides**.

Les glucides ont de nombreux rôles :

- **Source et stockage d'énergie** (glucose, amidon, glycogène).
- **Constituants des acides nucléiques** (ribose et désoxyribose).
- **Éléments structuraux** chez les bactéries et les cellules végétales (peptidoglycane, cellulose, etc.).
- **Signaux de reconnaissances** lorsqu'ils sont associés à des protéines ou des lipides. Ex : -marqueurs des groupes sanguins ABO.

## II • Classification des glucides

On distingue :

- Les **oses**, qui sont des monomères de glucide, non hydrolysables. Ex : glucose, fructose, galactose.
- Les **osides**, qui sont composés de deux ou plusieurs oses liés par liaison(s) osidique(s), ils sont donc hydrolysables.

On parle d'**holoside** lorsque l'oside est constitué uniquement d'oses, et d'**hétéroside** si l'oside est associé à une partie non glucidique nommée **aglycone**.

Les **holosides** sont regroupés selon le nombre d'oses qui les constituent :

- Les **oligosides**, composés d'un petit nombre d'oses (< 10). Les plus fréquents étant les **diosides** (= deux oses liés) tels que le **saccharose**, le **lactose** et le **maltose**.
- Les **polyosides**, composés d'un grand nombre d'oses (> 10). Ils comprennent les **polyosides homogènes**, composé d'un seul type d'ose tels que le glycogène, l'amidon et la cellulose, tous composés de glucose, et les **polyosides hétérogènes** composés d'au moins deux types d'oses (ex : hémicellulose).

**En nutrition**, les **glucides simples** correspondent aux **oses** (glucose, galactose, fructose, etc.) et aux **di(holo)sides** (saccharose, maltose, et lactose), par opposition aux **glucides complexes** qui correspondent aux **polyosides** dont le plus fréquent est l'amidon.

# Structure des oses

## I • Formule et caractéristiques des oses

Les oses sont des substances ayant pour **formule brute**  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ , avec  $3 \leq n \leq 7$ , permettant de caractériser des **trioses** ( $n = 3$ ), des **tétraoses** ( $n = 4$ ), des **pentoses** ( $n = 5$ ), des **hexoses** ( $n = 6$ ) et des **heptoses** ( $n = 7$ ).

Un ose comporte au moins  $(n - 1)$  **groupements hydroxyle (-OH)** et une **fonction carbonyle (C=O) aldéhyde ou cétone**.

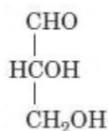
Les atomes de C sont numérotés en partant du C le plus oxydé. On parle ainsi :

- D'**aldose** si la fonction aldéhyde est en C1 (sur le C n° 1). Ex : glucose, galactose, mannose et ribose.
- De **cétose** si la fonction cétone est en C2 (sur le C n° 2). Ex : fructose.

## II • Isomérisation des oses

### A Isomérisation des aldoses

Le plus simple des aldoses est le **glycéraldéhyde (GA)**, un **aldotriose** de formule :



Les aldoses à nombre de C  $\geq 3$  :

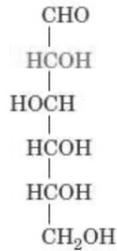
- Ont au moins un C **asymétrique**. Ils peuvent donc avoir différentes configurations dans l'espace : ce sont des **stéréo-isomères**.
- Peuvent être synthétisés à partir du **GA**. Il en résulte deux séries d'aldoses : les D-oses et les L-oses. Les aldoses naturels sont pour la plupart de la **série D**.

On parle de :

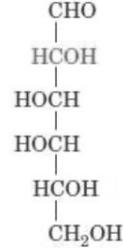
- **D-ose** (D : dextrogyre) si l'avant-dernier C a la configuration du D-GA (fonction -OH à droite en représentation de Fischer).
- **L-ose** (L : lévogyre) si l'avant-dernier C a la configuration du L-GA (fonction -OH à gauche en représentation de Fischer).

Si deux oses ont même formule brute mais une configuration au niveau d'un -OH qui n'est pas celui de l'avant-dernier C, on les appelle des **épipères**. Ex : **galactose** qui est l'épipère en C4 du **glucose**.

Formule linéaire du D-glucose :



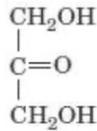
Formule linéaire du D-galactose :



## B Isomérisation des cétooses

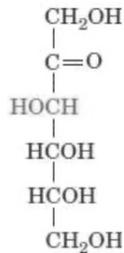
On note que :

- Le plus simple des cétooses est le **dihydroxyacétone (DHA)**, un **cétotriose** de formule :



- Les cétooses à nombre de C > 4 ont au moins un C asymétrique.
- Par analogie avec les aldoses, les cétooses appartiennent à la série D ou L selon la configuration du groupement -OH porté par l'avant-dernier C (n-1).
- Tous les cétooses connus à l'état naturel font partie de la **série D**.
- Le cétoose le plus connu est le **fructose** (= cétohexose).

Formule linéaire du D-fructose :



### III • Cyclisation des oses

Les oses à nombre de C > 4 ont une forte **tendance à se cycliser** par réaction entre le carbonyle (-C=O) et un -OH situé vers l'extrémité opposée. Ex :

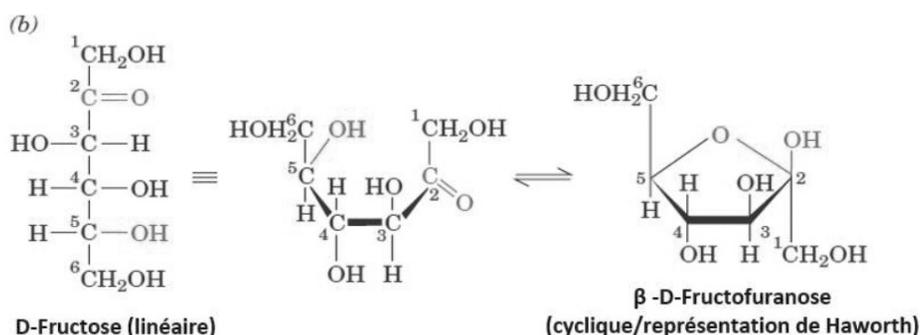
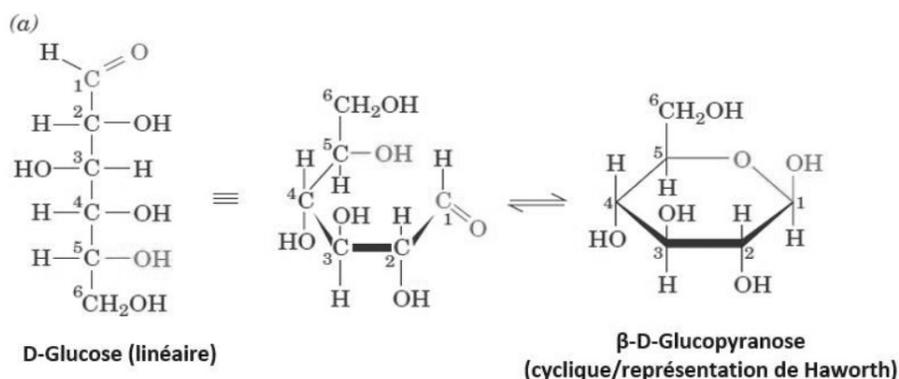
- La cyclisation du glucose entre C1 et C5 aboutit à une **forme hexagonale** qualifiée de **pyrane**. On parle de **D-Glucopyranose**.
- La cyclisation du fructose entre C2 et C5 aboutit à une **forme pentagonale** qualifiée de **furane**. On parle de **D-Fructofuranose**.

La forme linéaire est représentée selon la **règle de Fischer**, tandis que la forme cyclique est représentée selon la **règle de Haworth**.

Cette cyclisation entraîne l'apparition d'un **nouveau C asymétrique** : le C1 pour les aldoses et le C2 pour les cétooses. Ce C est appelé **C anomérique** car il permet à l'ose d'obtenir deux nouvelles configurations possibles en représentation de Haworth :

- **Anomère alpha** si le C anomérique présente son OH vers le bas.
- **Anomère bêta** si le C anomérique présente son OH vers le haut.

**Illustrations de la cyclisation de glucose et du fructose (Les chiffres à gauche des atomes correspondent à leur numérotation) :**

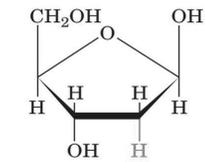


## IV • Les dérivés d'oses

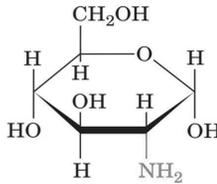
Ce sont des composés qui possèdent une **structure analogue à celle des oses** mais qui présentent une ou plusieurs modifications. Parmi les dérivés d'oses les plus connus :

- Les **désoxyoses** ; dérivent des oses par **perte d'oxygène (O)**. Ex: le **D-2-Désoxyribose** où l'O du C2 du ribose est remplacé par un atome d'H.
- Les **acides uroniques** ; dérivent des oses par **oxydation de la fonction -OH primaire** en acide carboxylique (-COOH). Ex : **acide glucuronique** qui dérive du glucose.
- Les **oses aminés (ou osamines)** ; dérivent des oses par remplacement d'une fonction -OH par une fonction amine (-NH<sub>2</sub>). Ex : **D-Glucosamine**.
- Les **acides sialiques** ; ensemble de composés qui dérivent de l'**acide neuraminique** qui résulte lui-même de la condensation d'un mannosamine et d'un pyruvate. Ex : **acide N-acétyl-neuraminique (NANA)**, notamment impliqué dans les interactions cellulaires.
- Les **polyols** ; dérivent de la réduction des aldoses et des cétooses. Ex : le **sorbitol** qui dérive du glucose, le **glycérol** qui dérive du glycéraldéhyde.

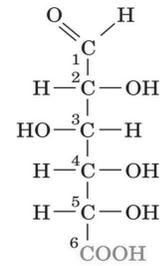
*Illustration (exemples) :*



**β-D-2- Désoxyribose**



**α-D-Glucosamine**



**D-Acide glucuronique**

## V • Propriétés chimiques des d'oses

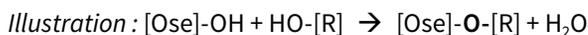
- Les **oses sont hydrosolubles** de par leur richesse en groupements polaires hydrophiles (fonctions alcool -OH).
- Les oses ayant une fonction aldéhyde libre ou la fonction -OH du C anomérique libre (c'est-à-dire non impliquée dans une liaison), sont **réducteurs**. Cette propriété est mise en évidence par une réaction positive à la **liqueur de Fehling** (coloration **rouge brique**).
- Les oses sont capables de former des **esters phosphoriques** par réaction d'un de leur -OH (le plus souvent au niveau du C6) avec une molécule de phosphate (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Ex : formation de glucose-6-phosphate.

# Les oligosides

Les oligosides sont composés de deux à dix oses liés par une **liaison osidique**. Ils sont **hydro-solubles** et **hydrolysables**. Les **oligosides** les plus fréquents sont des **diosides**.

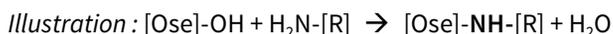
## I • Formation de la liaison osidique

Dans les oses cycliques, le -OH du C anomérique peut former une **liaison osidique** par réaction avec le -OH d'un autre ose (celui du C anomérique ou d'un autre C) ou avec le -OH d'une molécule non glucidique.



La liaison ainsi formée est appelée **liaison O-osidique**.

Le groupement -OH d'un ose peut également réagir avec la fonction amine (-NH<sub>2</sub>) d'une autre molécule (acide aminé par ex.). Il se forme alors une **liaison N-osidique**.

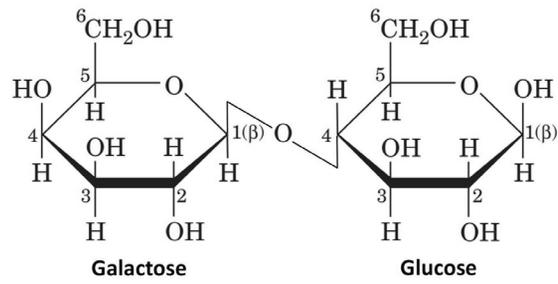


## II • Les principaux diosides

Les **diosides** résultent de l'assemblage de deux oses, identiques ou différents, unis par une liaison osidique. En biologie, les trois diosides d'importance sont le **lactose**, le **saccharose** et le **maltose**, formés de **deux hexoses liés** :

Nom (nomenclature)	Composition	Source	Glucide réducteur
<b>Lactose</b> (β-D-Galactopyranosyl (1-4) D-Glucopyranose)	Galactose + glucose	Lait (sucre du lait)	Oui
<b>Saccharose</b> (α-D-Glucopyranosyl (1-2) β-D-Fructofuranoside)	Glucose + fructose	Betterave Canne à sucre (Sucre de table)	Non
<b>Maltose</b> (α-D-Glucopyranosyl (1-4) α-D-Glucopyranose)	Glucose + glucose	Malt (grains d'orge)	Oui

Formule du lactose :



# Les polysides

Les **polysides** sont composés d'un grand nombre d'oses (> 10). Ils sont donc **hydrolysables**.

## I • les polysides homogènes

Les polysides homogènes sont **composés d'un seul type d'ose**. Les plus connus sont l'amidon, le glycogène et la cellulose. Ce sont des **glucosanes**, c'est-à-dire composés uniquement de glucose.

### A L'amidon

C'est la principale **réserve glucidique des cellules végétales**. L'amidon est un polymère de glucose formé de deux constituants en proportions variables :

- **L'amylose** : **structure hélicoïdale** formée d'un enchaînement de  $\alpha$ -D glucose (250 à 300) liés par des **liaisons  $\alpha$  1-4**.
- **L'amylopectine**, majoritaire (70 à 80 %), **structure ramifiée** formée d'une **chaîne principale** de  $\alpha$ -D glucose liés par des **liaisons  $\alpha$  1-4**, sur laquelle sont greffées des chaînes de 20 à 30 glucoses liés par des **liaisons  $\alpha$  1-4 (ramifications)**. Chaque ramification est liée à la chaîne principale par des **liaisons  $\alpha$  1-6**.

L'amidon est **insoluble dans l'eau froide**, il se solubilise à chaud, formant un liquide visqueux : **l'empois d'amidon**.

### B Le glycogène

C'est la principale **réserve glucidique des cellules animales**. Le glycogène :

- Est localisé dans le **foie** et les **muscles** chez les vertébrés.
- Se présente **sous forme de granules cytoplasmiques** de 10 à 40 nm de diamètre, contenant jusqu'à 120 000 unités de  $\alpha$ -D glucose.
- A une structure **analogue à l'amylopectine** mais ses ramifications sont plus courtes (10 à 15 glucoses liés), plus nombreuses et sa masse moléculaire est plus élevée.

### C La cellulose

C'est un constituant responsable de la **structure/rigidité de la paroi des cellules végétales**. La cellulose est un **polymère linéaire de  $\beta$ -D glucose** (1 000 à 10 000) liés par des **liaisons  $\beta$  1-4**.

Plusieurs chaînes de cellulose peuvent s'associer par liaisons H pour former une **structure compacte, insoluble dans l'eau** : la **microfibrille** de cellulose. L'empilement de ces microfibrilles forme la fibre de cellulose.

## II • Les polysides hétérogènes

Les **polysides hétérogènes** sont des composés dont l'hydrolyse peut libérer non seulement différents **oses neutres**, mais également des **acides uroniques**, **des osamines**...

Nous retiendrons deux exemples : l'hémicellulose et les pectines.

### L'hémicellulose

L'**hémicellulose** est un composant de la paroi des cellules végétales dont il assure le pontage des fibres de cellulose.

La forme la plus connue (**xyloglucane**) est composée d'une chaîne principale de  $\beta$ -D Glucose associée à des ramifications contenant xylose, galactose et fucose.

### B Les pectines

Les **pectines** sont un des constituants des parois des cellules végétales, en particulier au niveau des lamelles des végétaux. Leurs propriétés structurales leur permettent de former un réseau ou gel capable d'emmagasiner de l'eau.

Les pectines désignent un ensemble complexe de polymères glucidiques constitués :

- D'une **chaîne principale** formée d'un polymère d'**acide  $\alpha$ -D galacturonique**, méthylés ou non, liés par des liaisons  $\alpha$  1-4 et contenant par endroits des  **$\alpha$ -L Rhamnoses**.
- **Des ramifications** composées de divers oses (galactose, arabinose, etc.) et qui prennent naissance au niveau des rhamnoses de la chaîne principale.

## III • Se préparer au BTS

### ► Questions tirées de la session 2016 du BTS diététique

L'amidon est un polyholoside composé de deux formes moléculaires.

Question 1.1.1. *Définir le terme souligné et nommer les deux formes moléculaires en question.*

Question 1.1.2. *Présenter ces deux formes moléculaires et écrire la structure chimique de chacune d'elles (on se limitera, dans chaque cas, à la représentation de l'enchaînement caractéristique de trois unités glucose).*

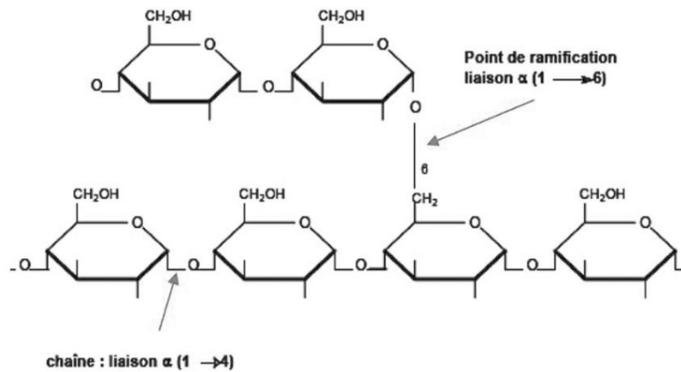
## Correction

## Question 1.1.1.

Polyholoside : oside composé d'un grand nombre d'oses (> 10).

Formes moléculaires de l'amidon : amylose et amylopectine.

## Question 1.1.2.



**Amylose** : polymère linéaire de  $\alpha$ -D glucoses liés par des liaisons  $\alpha$  1-4 ;

**Amylopectine** : polymère ramifié de  $\alpha$ -D glucoses, impliquant des liaisons  $\alpha$  1-4 (chaîne principale) et  $\alpha$ 1-6 (pour les points de ramifications).

# Les hétérosides

Ils résultent de l'association d'un ose, ou d'un oside, avec un ou plusieurs groupements non glucidiques qualifié d'**aglycone**.

Exemples d'hétérosides :

- Les **glycolipides** des membranes plasmiques.
- Les **protéoglycanes** (composant des tissus conjonctifs) : protéines liées à des **glycosaminoglycanes**, eux-mêmes constitués par des répétitions d'unités diosidiques telles que l'**acide hyaluronique** (= acide glucuronique – N AcétylGlucosamine).
- Les **glycoprotéines** : chaînes glucidiques courtes (20 oses environ) greffées en divers endroits d'une protéine (cas de la majorité des protéines plasmatiques).
- Certains antibiotiques comme la **streptomycine**.
- Les **nucléotides**, constituants des **acides nucléiques (ADN et ARN)**, où ribose et désoxyribose sont liés à une base azotée (guanine, cytosine, etc.).
- Le **peptidoglycane** de la paroi bactérienne : réseau de polysides reliés par de petits peptides.

# Hydrolyse des osides

L'**hydrolyse** d'un oside est une réaction chimique qui consiste en la rupture d'une ou plusieurs de ses liaisons osidiques avec l'aide d'une molécule d'eau.

L'hydrolyse peut être **totale ou partielle** selon le procédé utilisé.

## I • Hydrolyse totale des osides

L'**hydrolyse totale** aboutit la libération de tous les oses qui composent l'oside. Elle se fait par méthode chimique en **milieu acide (pH 1 à 2) et à chaud**.

C'est une méthode qui **permet de connaître la composition d'un oside**. Ex : l'hydrolyse acide de l'amidon ou du glycogène ne libère que du glucose.

## II • Hydrolyse partielle des osides

L'hydrolyse partielle est surtout réalisée par des enzymes. On parle d'**hydrolyse enzymatique**.

C'est une méthode plus spécifique qui **permet de connaître la structure des oses engagés** dans une liaison osidique.

Les enzymes utilisées sont spécifiques :

- Du **type de liaison osidique**. Ex :  $\alpha$ -osidase, spécifique de la liaison anomérique  $\alpha$  ;
- **De l'ose engagé** dans la liaison osidique par son C anomérique. Ex : Glucosidase, fructosidase.

Exemples :

- Le maltose est hydrolysé par l'**alpha-glucosidase (= maltase)**.
- Le lactose par la **bêta-galactosidase (= lactase)**.
- Le saccharose peut être hydrolysé par deux enzymes : soit par l'**alpha-glucosidase**, soit par la **bêta-fructosidase (= saccharase = invertase = sucrase)**.

# Définition, rôles et classification des lipides

Les lipides forment un groupe très hétérogène de composés, de structures très différentes, réunis selon leur propriété d'être **insolubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques** (éthanol, acétone, chloroforme, benzène...).

Cette propriété est liée à leur **richesse en groupements hydrophobes** ( $-\text{CH}_3$ ,  $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{CH}=\text{CH}-$ ).

Les rôles des lipides dans l'organisme sont globalement au nombre de trois :

- Rôle **structural** avec les lipides qui composent les membranes cellulaires.
- Rôle de **réserve énergétique** mobilisable.
- Rôle de **précurseur de molécules biologiques d'intérêt**. Ex : stéroïde, vitamines liposolubles, prostaglandines.

Il est possible de classer les lipides en deux grandes catégories selon leur composition :

- Les **composés des acides gras (AG)**.
- Les **composés de l'isoprène** (= lipides isopréniques) dont font partie les **stérols**.

# Les acides gras (AG)

Les AG :

- Sont des **acides carboxyliques aliphatiques** (= avec une longue chaîne hydrocarbonée).
- Peuvent être **insaturés ou saturés** selon respectivement qu'ils contiennent ou non des  **doubles liaisons C=C** dans la chaîne carbonée.
- Ont généralement un nombre de carbones pair (de 4 à 40).
- Ne sont pas ramifiés.

## I • Les acides gras saturés (AGS)

### A Formule générale

Formule générale (semi-développée) :  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{(n-2)}-\text{COOH}$

avec  $n$ (nombre total de C)  $\geq 2$

### B Nomenclature

Le nom systématique des AG vient du **nom de l'alcane correspondant** avec le **suffixe -oïque** qui remplace la lettre « e ». Ex : Butane ( $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$ ) et acide butanoïque ( $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ ).

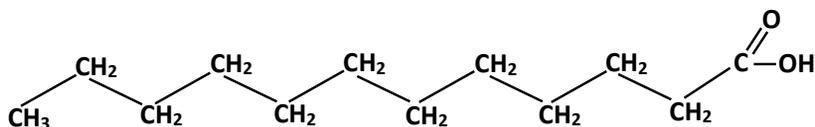
On symbolise les AG par la lettre **C**, suivie du nombre de carbones, et d'un « : » suivi du nombre de doubles liaisons. Ex : **C4 : 0** pour l'acide butanoïque.

Les AG sont cependant le plus souvent appelés par leur nom usuel lié à leur origine. **Exemples :**

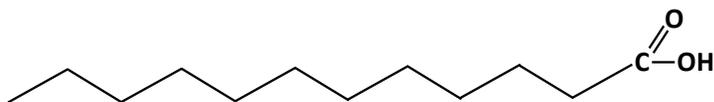
Symbole	Nom systématique	Nom usuel	Formule semi-développée
C12 : 0	Acide dodécanoïque	Acide laurique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$
C14 : 0	Acide tétradécanoïque	Acide myristique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$
C16 : 0	Acide hexadécanoïque	Acide palmitique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$
C18 : 0	Acide octadécanoïque	Acide stéarique	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$

En 3D, la chaîne de l'AG se dispose dans l'espace en formant des coudes.

*Illustration :*



Soit :



Les atomes de C peuvent pivoter par rapport à l'axe des liaisons qui les unissent, rendant la chaîne flexible.

## II • Les acides gras insaturés (AGI)

### A Formule générale

Les AGI :

- Possèdent une ou plusieurs doubles liaisons C=C sur la chaîne carbonée et sont respectivement **mono-insaturés (AGMI)** ou **poly-insaturés (AGPI)**.
- Ont leurs doubles liaisons séparées par trois atomes de C.

Les chaînes hydrocarbonées insaturées (...-CH<sub>2</sub>-CH=CH-CH<sub>2</sub>-...) ne peuvent plus pivoter au niveau de la double liaison qui forme un **coude rigide**.

### B Nomenclature

Le nom systématique des AGI se décrit de la façon suivante :

**acide** *cis/trans-x-(radical)-énoïque*.

Avec :

- **Cis/trans** : configuration de l'insaturation (les AGI naturels sont la plupart en configuration *cis*).
- **x** : position(s) de la ou des insaturation(s).
- **(radical)** : nombre de C.
- **-èn** : indique qu'ils dérivent des alcènes.
- **-oïque** : indique le caractère acide carboxylique.

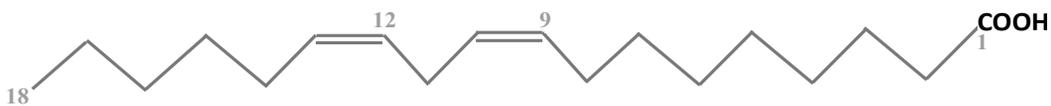
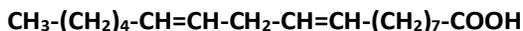
De la même façon que les AGS, les AGI se distinguent par un nom systématique, qui tient compte de la composition de l'AGI, et un nom usuel :

Symbole	Nom systématique	Nom usuel	Formule semi-développée
C18 : 1	Acide 9-octadécénoïque	Acide oléique	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> CH=CH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>7</sub> COOH
C18 : 2	Acide 9,12 octadécadiénoïque	Acide linoléique	CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> (CH=CH-CH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> COOH

Dans le cas des AGI, le nombre et la position des doubles liaisons peuvent être représentés de deux façons selon la considération du 1<sup>er</sup> carbone ;

- Soit en partant du carboxyle -COOH : nomenclature delta ( $\Delta$ ).
- Soit en partant du méthyl -CH<sub>3</sub> : nomenclature oméga ( $\omega$ ).

Exemple avec l'**acide linoléique** (18C et deux insaturations en positions 9 et 12) :



Soit deux écritures possibles :

- **C18 : 2  $\Delta^{9,12}$**   $\rightarrow$  18C, 2 insaturations dont la première en position 9 en partant du COOH (comme indiqué ci-dessus).
- **C18 : 2  $\omega^6$**   $\rightarrow$  18C, 2 insaturations dont la première en position 6 en partant du CH<sub>3</sub>.

Les **acides linoléiques** (précurseurs de la famille des  $\omega 6$ ) et  **$\alpha$ -linoléique** ( $\omega 3$ ) sont des **AG essentiels** qui doivent être fournis par l'alimentation.

Deux autres AGPI importants de la famille des  $\omega 3$  dérivent de l'acide  $\alpha$ -linoléique :

- L'**EPA** : acide eicosapentaénoïque = C20 : 5  $\Delta^{5,8,11,14,17}$ .
- Le **DHA** : acide docosahexaénoïque = C22 : 6  $\Delta^{4,7,10,13,16,19}$ .

Ces AGPI ainsi que l'**acide arachidonique** (C20 : 4  $\Delta^{5,8,11,14}$ ) sont les précurseurs de molécules biologiques d'importance (prostaglandines, leucotriènes).

### III • Propriétés des acides gras

#### A Le point de fusion

Le **point de fusion** correspond à la température de passage de l'état solide à l'état liquide.

Les AGI ont un point de fusion plus bas que les AGS car le point de fusion augmente avec le nombre de C et diminue avec le taux d'insaturation.

À 20 °C, les AG à n = 10C sont solides ; ils sont liquides si n < 10C.

## B Solubilité des AG

Les AG :

- Sont **amphiphiles** (hydrophiles par leur fonction -COOH, et hydrophobes par leur chaîne aliphatique CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-...). La solubilité dans l'eau diminue avec le nombre de C (ex : l'acide butyrique (C4 : 0) est soluble dans l'eau).
- Sont insolubles à partir de n > 10C. Les AG sont solubles dans les solvants organiques (acétone, éther, etc.).
- Forment des **structures feuilletées (films)** à l'interface air/eau, et des **structures micellaires** à l'interface huile/eau.

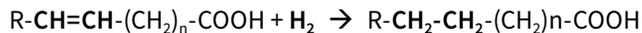
## C Oxydation des AGI

L'**oxydation** des doubles liaisons des AGI par l'O<sub>2</sub> de l'air contribue au phénomène de **rancissement des graisses**. Celui-ci correspond à l'oxydation des AGI en acide butyrique et radicaux peroxydes puis, par rupture de la double liaison, à la libération d'aldéhydes responsables de l'odeur rance.



## D Hydrogénation des AGI

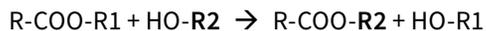
Elle correspond à l'addition de **dihydrogène H<sub>2</sub>** (par catalyseur et à haute température) au niveau des doubles liaisons. Les liaisons C-C de l'AG deviennent alors saturées en H :



**Remarque** : l'hydrogénation des graisses permet de transformer des AGMI en AGS dont le point de fusion est plus élevé. On y observe également la transformation d'AGI cis en AGI trans, plus stables mais considérés comme facteurs de pathologies cardiovasculaires.

## E Transestérification des AG

Il s'agit de la réaction d'un ester sur un alcool pour donner un autre ester :



**Remarque** : la transestérification de l'huile de colza par du méthanol permet d'obtenir un « carburant vert » composé de linoléate de méthyle.

## IV • Se préparer au BTS

### ► Questions tirées de la session 2019 du BTS diététique

Données extraites des 12<sup>es</sup> Journées Francophones de Nutrition, 10-12 décembre 2014.

Le microbiote intestinal produit des métabolites particuliers à partir de l'acide linoléique (C18 : 2  $\Delta^{9,12}$ ) ou de l'acide alpha linoléique (C18 : 3  $\Delta^{9,12,15}$ ). Ces métabolites influeraient sur le métabolisme lipidique hépatique.

Question 2.4. *Représenter la structure chimique (formule semi-développée) des deux acides gras soulignés.*

#### Correction

Question 2.4.

Acide linoléique :  $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

Acide alpha-linoléique :  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$

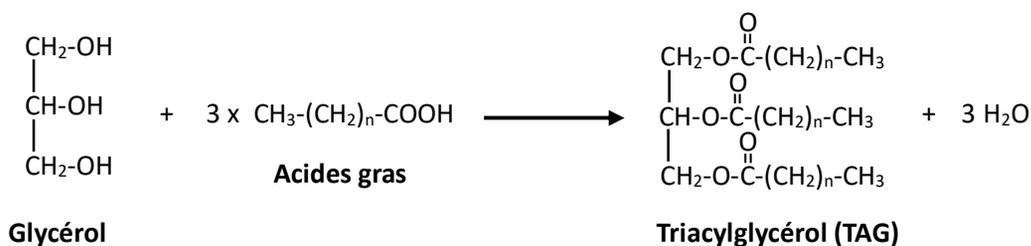
# Les glycérides ou acylglycérols

Les **glycérides**, ou **acylglycérols**, sont des esters d'AG et de glycérol. Ils forment des lipides de réserve énergétique qui constituent 90 % des **adipocytes** (cellules du tissu adipeux).

## I • Structure des acylglycérols

Ils résultent de l'association (par estérification) entre une molécule de glycérol et un, deux ou trois acides gras pour former respectivement un **mono**, **di** ou **triacylglycérols** (**mono di** ou **triglycérides**) notés **MAG**, **DAG** et **TAG**.

*Illustration de la synthèse d'un triacylglycérol :*



## II • Nomenclature

Un acylglycérol est **simple** si le glycérol n'est estérifié que par un seul type d'AG, il est **mixte** si le glycérol est estérifié par différents types d'AG.

Dans la nomenclature :

- Le suffixe *-ique* (ou *-ate*) des AG (nom usuel) est remplacé par *-yl*.
- La position des AG sur les C du glycérol est désignée par 1, 2 ou 3.
- On ajoute « glycérol » à la fin pour désigner l'alcool estérifié.

Autre possibilité : les AG se terminent par *-ate* et glycérol est remplacé par « *de glycéryle* ».

Exemples :

**TG simple** : trioléate de glycéryle (ou trioléyl glycérol).

**TG mixte** : 1-oléate 2-stéarate 3-oléate de glycéryle (ou 1-oleyl 2-stearyl 3-oleyl glycérol).

### III • Propriétés des acylglycérols

#### A Le point de fusion

Le **point de fusion** (Tf ; cf. *propriétés des AG*) dépend ici des AG constitutifs des acylglycérols. Ainsi, les huiles sont liquides à 15 °C car riches en AGI, tandis que les beurres ont un Tf d'environ 25 °C du fait de leur abondance en AGS.

Dans les cellules (37 °C), les TAG sont à l'état liquide sous forme de **gouttelettes lipidiques**.

#### B Solubilité des TAG

Les TAG sont :

- Très **hydrophobes** et donc très insolubles dans l'eau car le caractère hydrophile des AG est engagé dans la liaison ester avec le glycérol.
- Solubles dans les solvants organiques (acétone, éthanol, éther, etc.). La solubilité varie selon les AG constitutifs des TAG.

Les TAG forment des **émulsions** instables dans l'eau (stabilisées par le savon ou encore les sels biliaires).

#### C Hydrolyse des TAG

L'hydrolyse des TAG conduit à la libération des AG et du glycérol qui constituent les TAG. Les MAG et DAG formés au cours de cette hydrolyse correspondent ici à des formes intermédiaires.

L'hydrolyse peut se faire :

**En condition chimique** (à chaud, sous pression et en présence de base ou d'acide). En milieu fortement alcalin (soude NaOH ou potasse KOH) et à chaud, l'hydrolyse des TAG conduit à la formation de **savons** (= sels alcalins d'AG). C'est la **saponification** :



**Par voie enzymatique** grâce à des enzymes, les **lipases** :

- La **lipase pancréatique** (composante du suc pancréatique) catalyse l'hydrolyse des TAG alimentaires en MAG et 2 AG.
- La **lipase hormono-sensible** catalyse l'hydrolyse des TAG du tissu adipeux en 3 AG + glycérol.

# Les glycérophospholipides

Les **glycérophospholipides** :

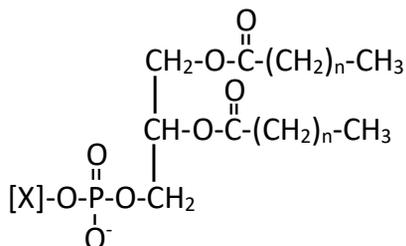
- Sont des **lipides complexes** contenant N et P en plus de C, H et O.
- Sont principalement **localisés au niveau des membranes cellulaires** (= rôle structural).

## I • Structure et principaux groupes

Les **glycérophospholipides** dérivent de l'**acide phosphatidique** (= association diacylglycérol + phosphate).

Pour former les différents glycérophospholipides, l'acide phosphatidique est estérifié au niveau de son **phosphate** par un **alcool aminé** (sérine, choline ou éthanolamine), ceci afin de former les différents glycérophospholipides membranaires : **Phosphatidylsérine**, **Phosphatidyléthanolamine**, **Phosphatidylcholine**.

*Formule générale d'un glycérophospholipide :*



[X]-O : alcool aminé (sérine, choline, éthanolamine) .

## II • Propriétés

Les **glycérophospholipides** sont des molécules amphiphiles. On retrouve ainsi :

- Une **tête hydrophile** (alcool aminé + phosphate).
- Une **queue hydrophobe** (deux chaînes d'acide gras liées au glycérol).

Les liaisons ester et ester-phosphate sont la cible d'enzymes appelées respectivement **estérases** et **phospho-estérases**.

Dans les **membranes cellulaires** (bicouche phospholipidique), les têtes hydrophiles sont orientées vers les milieux aqueux (intra et extracellulaire), tandis que les queues hydrophobes sont orientées vers l'intérieur de la membrane (interactions hydrophobes).

### III • Cas particulier des lécithines

Les **lécithines** correspondent à la **phosphatidylcholine**. Ils constituent les **phospholipides majeurs** des membranes cellulaires de nombreux tissus biologiques (tissu nerveux, foie, pancréas, soja, jaune d'œuf, etc.).

La partie « choline » est chargée positivement, tandis que le phosphate confère à la lécithine une charge négative.

Les lécithines sont :

- Des **tensio-actifs** qui, au contact de l'eau, se disposent soit en **bicouche** lipidique, soit en **micelle** (émulsion).
- Des composants de la **bile** où ils jouent un rôle dans l'émulsion des lipides alimentaires au cours de la digestion.
- Des composants du **surfactant pulmonaire** destiné à maintenir dilatées les parois alvéolaires.

**Dans l'industrie agroalimentaire**, les lécithines sont majoritairement extraites du soja et sont essentiellement utilisées comme **émulsifiants** (fabrication du chocolat, de pâtes à tartiner, etc.).



Le **cholestérol** est présent dans les membranes plasmiques. Il est totalement hydrophobe à l'exception de la **fonction -OH qui constitue un petit pôle hydrophile** et explique sa disposition dans les membranes (-OH étant orientée vers l'extérieur de la membrane).

La fonction -OH du cholestérol peut être estérifié par un AG pour former un **ester de cholestérol (stéride), totalement hydrophobe**.

## II • Les dérivés du cholestérol

### A Les acides biliaires

Les deux principaux sont les **acides choliques et désoxycholiques**.

Les acides biliaires :

- Sont des **produits de dégradation du cholestérol** et sa seule forme d'élimination.
- Sont synthétisés par le **foie** et éliminés dans la **bile** (1 % de la bile) sous forme de sels de sodium (= **sels biliaires**).
- Permettent l'**émulsion des lipides alimentaires** au niveau de l'intestin grêle, favorable à la dégradation enzymatique des lipides (par les lipases).

### B Les calciférols ou vitamines D

Ce sont des vitamines liposolubles nécessaires à l'**homéostasie phosphocalcique** en assurant :

- L'absorption intestinale et la réabsorption rénale des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et phosphates.
- La minéralisation osseuse (formation du cristal osseux à partir des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et phosphates).

Les calciférols comprennent en particulier :

- **D<sub>2</sub> ergocalciférol (origine végétale) ou vitamine D2.**
- **D<sub>3</sub> cholécalciférol (origine animale) ou vitamine D3.**

La **vitamine D<sub>3</sub>** dérive du « 7, déhydro-cholestérol » présent dans la peau. Les UV permettent la transformation de celui-ci en **cholécalciférol** (soleil, traitement UV) dont la forme active (**1,25 dihydroxy-cholécalciférol**) sera obtenue après passage au niveau du foie puis des reins.

### C Les hormones stéroïdes ou stéroïdiennes

On retrouve deux catégories d'hormones stéroïdiennes :

- Les **hormones sexuelles** : œstrogènes C18 (dont œstradiol), androgènes C19 (dont la testostérone) et les progestagènes C21 (dont progestérone), toutes impliquées dans le développement des caractères sexuels primaires et secondaires.
- Les **hormones corticosurrénales** (= corticostéroïdes), molécules en C21 comprenant les **glucocorticoïdes** (dont le cortisol) et les **minéralocorticoïdes** (aldostérone).

### III • Se préparer au BTS

► Questions tirées de la session 2020 du BTS diététique

Chez le nouveau-né, le cholestérol est une molécule importante qui intervient dans le développement cérébral. Il est en outre précurseur de nombreuses molécules dans l'organisme.

Le document 4 donne la formule du cholestérol non estérifié.

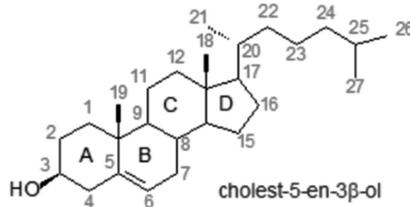
Question 1.2.5. À l'aide du document 4, justifier le caractère amphiphile du cholestérol non estérifié.

Question 1.2.6. En déduire la conséquence structurale au niveau des membranes cellulaires (...).

Question 1.2.7. Justifier l'affirmation soulignée en donnant au moins deux exemples.

**Document 4 : structure du cholestérol non estérifié**

Source : <https://www.lipidhome.co.uk/lipids/simple/cholest/index.htm>



*Correction*

**Question 1.2.5.**

La fonction alcool (-OH) est hydrophile, tandis que le reste de la molécule (cycles et chaîne latérale carbonés) est hydrophobe. Le cholestérol est donc amphiphile.

**Question 1.2.6.**

Dans la membrane plasmique, la partie hydrophile (-OH) du cholestérol est orientée vers les faces externes de la membrane plasmique, soit vers les milieux intra et extracellulaires (milieux aqueux), tandis que la partie hydrophobe est au contact des acides gras (queues hydrophobes des phospholipides).

**Question 1.2.7.**

Exemples de molécules synthétisées à partir du cholestérol : vitamine D, sels biliaires, hormones stéroïdiennes (hormones sexuelles, aldostérone, cortisol, etc.).

# Les vitamines liposolubles

Il s'agit des **vitamines A, D, E et K** appartenant au groupe des **lipides isopréniques**.

Si la vitamine D est proche des stéroïdes, on ne retrouve pas le noyau stérane dans les vitamines A, E et K. Ces dernières forment des **terpènes** ou substances partiellement isopréniques.

La vitamine D (cf. *Fiche 15*) est la seule vitamine synthétisée par l'organisme humain.

## A La vitamine A

La **vitamine A** n'existe que dans le règne animal. Le **rétinol** constitue une des formes de la vitamine A. Il est issu :

- Du **carotène ou provitamine A** (origine végétale).
- Du **palmityl rétinol** (origine animale).

La **provitamine A** a elle-même un rôle **anti-oxydant** (neutralisation des radicaux libres).

Le **rétinol** peut avoir plusieurs fonctions selon son métabolisme :

- Rôle dans la **vision** si transformé en **rétinol** (composant des pigments rétiniques).
- Rôle au niveau **cutané** si transformé en **acide rétinoïque** (hydratation, synthèse de mélanine, cicatrisation, croissance, etc.).

## B La vitamine E (ou tocophérol)

La **vitamine E** :

- Est **d'origine végétale** (huile de germes de céréales).
- Est un **antioxydant** qui freine le vieillissement cutané et assure la stabilité des structures cellulaires (protège les AGI dans les membranes cellulaires).
- Est également un facteur de fécondité et possède un rôle protecteur contre les maladies coronariennes.

## C La vitamine K

La **vitamine K** est essentiellement produite par les **bactéries du microbiote intestinal** mais peut également provenir de l'alimentation.

Elle intervient essentiellement dans la synthèse des **protéines de la coagulation sanguine** par le foie. C'est donc une vitamine **antihémorragique**. Elle possède également un rôle dans le métabolisme osseux.

Il existe deux formes de la vitamine K :

- **Vitamine K1** : Phylloquinone (origine végétale).
- **Vitamine K2** : Ménaquinone (origine animale et microbienne).

# Définition, structure et rôles des protides

## Les protides :

- Sont une famille de molécules regroupant les **acides aminés**, les **peptides** et les **protéines**, tous composés de C, H, O, N et parfois de S. On les qualifie pour cela de molécules azotées.
- Constituent 50 à 80 % du poids sec d'un organisme vivant.

**Au niveau structural**, peptides et protéines sont des enchaînements d'acides aminés (AA) déterminés génétiquement. Les acides aminés constituent ainsi la base structurale de tout peptide et protéine.

On distingue :

- Les dipeptides : 2 AA liés.
- Les oligopeptides : 2 à 10 AA liés.
- Les polypeptides : 10 à 100 AA liés.
- Les protéines : > 100 AA liés, soit un poids moléculaire supérieur à 10 000 g/mol.

**Au niveau fonctionnel**, les **peptides** et les **protéines** sont le groupe de molécules dont les fonctions biologiques sont les plus variées :

- **Catalyse** (enzyme).
- **Communication** (hormones : ocytocine, ADH, insuline, etc.).
- **Défense immunitaire** (anticorps).
- **Transport sanguin** (albumine, hémoglobine, etc.).
- **Contraction musculaire** (actine, myosine).
- **Transports membranaires** (canaux ioniques, pompes, etc.).
- **Structure** (collagène, kératine, etc.).
- Etc.

Ces fonctions biologiques sont intimement liées à la structure des peptides et des protéines.

Les **acides aminés** peuvent avoir un rôle fonctionnel en tant que tel (ex : Glu et Gly qui sont des neurotransmetteurs), mais peuvent aussi aboutir, après modification de leur structure, à diverses molécules biologiques d'importance (ex : adrénaline qui dérive de Tyr ; Créatine qui dérive de Met, etc.).

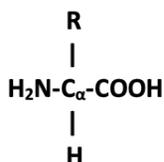
# Les acides aminés

## I • Structure et classification des acides aminés

### A Formule générale d'un acide aminé

Un AA contient une **fonction amine** ( $-\text{NH}_2$  ou  $-\text{NH}_3^+$  selon le pH) et une **fonction acide carboxylique** ( $-\text{COOH}$  ou  $\text{COO}^-$  selon le pH), toutes deux liées à un **C central** ( $\text{C}_\alpha$ ).

*Formule générale d'un acide aminé :*



**R (Radical)** constitue la **chaîne latérale**, variable selon l'acide aminé.

### B Classification des acides aminés

Les AA « ordinaires », constitutifs des protéines, sont **au nombre de 20** et sont classés selon la propriété de leur chaîne latérale :

- AA apolaires : Gly, Ala, Val, Leu, Ile, Met, Phe, Pro.
- AA polaires non chargés : Trp, Tyr, Ser, Thr, Cys, Asn, Gln.
- AA polaires chargés – (AA acides) : Asp, Glu.
- AA polaires chargés + (AA basiques) : Lys, His, Arg.

Les AA soulignés ci-dessus sont dits essentiels, l'organisme humain est incapable de les synthétiser, et doivent être apportés par l'alimentation (His en plus pour le nourrisson).

Certains AA, plus rares ou occasionnels, interviennent comme **intermédiaire du métabolisme** (ex : citrulline et ornithine dans le cycle de l'urée).

## II • Propriétés physiques des acides aminés

### A Solubilité

La solubilité (dans l'eau) d'un AA dépend :

- **De la nature de R** : les AA polaires et les petits AA apolaires (Gly, Ala) sont solubles, les apolaires plus grands sont peu ou pas solubles (Phe, Met, etc.).
- **Du pH du milieu** : le pH influe sur l'état d'ionisation des groupements fonctionnels (-NH<sub>2</sub> et -COOH en particulier) et donc sur la solubilité de l'AA (cf. *ionisation des AA*).

### B Stéréoisomérisation

Tous les AA, sauf Gly, ont un **C asymétrique**. Ce sont donc des **énantiomères** (= isomères images l'un de l'autre dans un miroir plan) et existent sous deux formes, **L** et **D**, selon que le groupe -NH<sub>2</sub> se trouve respectivement à gauche ou à droite dans la projection de Fischer.

Tous les AA naturels sont de la série L.

### C Absorption dans l'UV

Les AA **aromatiques** (Phe, Tyr et Trp) absorbent la lumière UV aux alentours de 280 nm. Cette propriété est utilisée pour l'analyse et le dosage des protéines par spectrophotométrie.

## III • Propriétés chimiques des acides aminés

### A Ionisation des acides aminés

Les AA sont des **amphotères** : ils se comportent à la fois comme des acides (par leur fonction -COOH) et comme des bases (par leur fonction -NH<sub>2</sub>)

L'ionisation d'un AA dépend des valeurs de pKa des groupements ionisables qui composent l'AA.

Le **pKa** :

- Dérive de **Ka = constante d'acidité** qui traduit la force d'un acide ( $K_a = 10^{-pK_a}$ ) : plus K<sub>a</sub> est petit, plus l'acide est faible et plus le pK<sub>a</sub> est élevé (et inversement).
- Valeur de pH pour laquelle on observe l'ionisation d'un groupement ionisable : pKa<sub>1</sub> et pKa<sub>2</sub> respectivement pour -COOH et -NH<sub>2</sub> du C<sub>α</sub>, et pK<sub>R</sub> pour le groupement de R.

Ainsi, selon le pH du milieu on observe :

- Ionisation du carboxyle :  $\text{COOH} \rightarrow \text{COO}^- + \text{H}^+$  (observée pour des pH acides).
- Ionisation de l'amine :  $\text{NH}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_3^+$  (observée pour des pH basiques).

Le **pHi (pH isoélectrique)** est le pH pour lequel la charge nette de l'AA est nulle (ou **neutre**). L'AA est alors sous **forme zwitterion**.

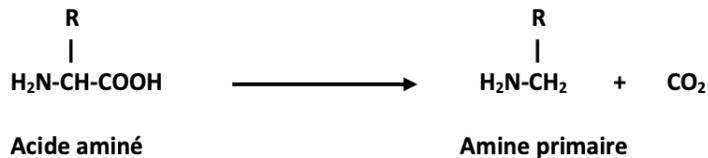
Quel que soit l'AA considéré et son pHi :

- Si pH du milieu < pHi, la charge majoritaire de l'AA est +.
- Si pH du milieu > pHi, la charge majoritaire de l'AA est -.
- Si pH du milieu = pHi, la charge majoritaire de l'AA est neutre ou nulle.

## B Propriété liée au groupement -COOH

**Décarboxylation** = perte du groupement -COOH (sous forme de CO<sub>2</sub>). L'AA devient alors une **amine primaire** (= **amine biogène** si la molécule obtenue a un rôle biologique). Cette réaction est catalysée par des enzymes **décarboxylases**.

*Illustration de la décarboxylation :*



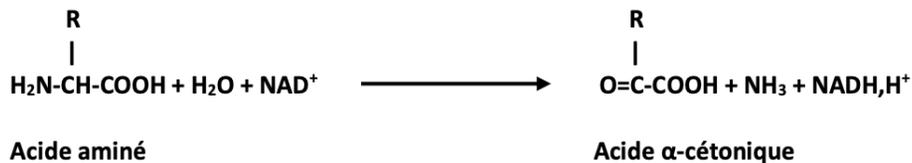
Ex : la décarboxylation de l'**histidine** permet la formation de l'**histamine**, molécule aux propriétés inflammatoires.

## C Propriété liée au groupement -NH<sub>2</sub>

On distingue :

- **La désamination** = perte du groupement -NH<sub>2</sub>. L'AA obtenu devient un **acide α-cétonique**. Cette réaction est catalysée par des enzymes **déshydrogénases** (déshydrogénation puis hydrolyse).

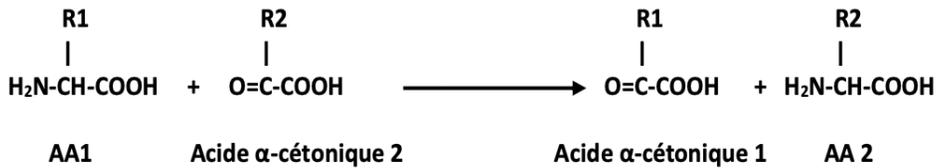
*Illustration de la désamination :*



Ex : la désamination du Glu donne l'**α-cétoglutarate**, intermédiaire métabolique du **cycle de Krebs**.

- **La transamination** = transfert du groupement -NH<sub>2</sub> d'un AA sur un **acide alpha-cétonique** grâce à des enzymes dites **transaminases** ou **aminotransférases**.

Illustration de la transamination :



Ces réactions sont importantes en biochimie métabolique et en particulier dans le métabolisme des acides aminés réalisé par le foie (cf. **Fiche 40** : Le métabolisme azoté).

## IV • Rôles biologiques des acides aminés

Outre leur rôle de composants élémentaires des peptides et des protéines, les AA ont également d'autres rôles biologiques d'importance :

- **Rôle inflammatoire.** Ex : **Histamine** qui dérive de l'histidine (cf. *décarboxylation*).
- Rôle de **neurotransmetteur**. Ex : **Gly** et **Glu** qui forment des neurotransmetteurs respectivement inhibiteur et excitateur ; la **sérotonine**, neurotransmetteur qui dérive du Trp.
- Rôle **hormonal**. Ex : l'**adrénaline** et les **hormones thyroïdiennes** qui dérivent de la tyrosine (Tyr).
- **Intermédiaires du métabolisme**. Ex : Ornithine et citrulline dans le **cycle de l'urée**.
- Rôle dans la **digestion des lipides**. Ex : Glycine et Taurine qui composent les **acides biliaires** permettant l'émulsion des lipides alimentaires.

# Les peptides

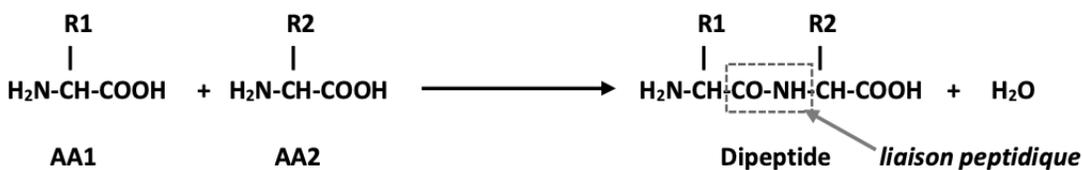
Un **peptide** est formé par l'assemblage d'au moins deux AA liés par une **liaison peptidique**. On définit un peptide dès lors que le nombre d'AA liés est compris entre 2 et 100.

## I • La liaison peptidique

### A Réaction de formation de la liaison peptidique

La liaison peptidique est une **liaison covalente** formée par une **réaction d'amidification** entre l' $\alpha$ -COOH d'un AA (c.à.d. COOH lié au C  $\alpha$ ) et l' $\alpha$ -NH<sub>2</sub> d'un autre AA.

*Illustration de la réaction de formation de la liaison peptidique :*



Cette réaction **nécessite de l'énergie** et est réalisée par les **ribosomes** dans la cellule au cours de la **traduction** (cf. *Fiche 42 : La traduction*).

### B Caractéristiques de la liaison peptidique

La liaison peptidique :

- Est **rigide, stable et plane**, elle ne peut donc subir de libre rotation.
- Est **polaire** du fait de l'électronégativité de O et de l'électropositivité de H.
- A la particularité de réagir avec le réactif de **Biuret**.
- Peut-être dégradée par **hydrolyse chimique** (en présence d'acide fort) ou **enzymatique** par des **peptidases** et des **protéases**.

## II • Caractéristiques des peptides

- Les peptides ont une **configuration en zig-zag** due aux propriétés de la liaison peptidique.
- Par convention, la fonction -NH<sub>2</sub> libre (extrémité N-terminale) est représentée à gauche, et la fonction -COOH libre (extrémité C-terminale) est représentée à droite :



- Dans la nomenclature, les premiers AA ont le suffixe *-yl*, le dernier AA garde son nom. Ex : **Glycyl isoleucyl valine**, soit un tripeptide composé de Gly, Ile et Val.
- Les peptides ont au moins un C asymétrique (et donc plusieurs stéréo-isomères possibles).
- Réagissent avec le réactif de **Biuret** : réaction positive (coloration violette) à partir des tétrapeptides.
- Ont un pHi caractéristique (comme pour les protéines).

### III • Exemples de peptides d'intérêt biologique

Dans l'organisme, les peptides sont surtout connus pour leur rôle hormonal. Exemples :

- **Hormones pancréatiques** de la glycémie : Insuline (51 AA), glucagon (29 AA).
- **Hormones digestives** : Cholécystokinine ou CCK(8 AA), peptide intestinal vasoactif ou VIP (27 AA).
- **Neurohormones hypophysaires** : Hormone anti-diurétique, ou ADH, et ocytocine (9AA).
- **Hormones parathyroïdiennes** de la calcémie : Parathormone (84 AA) et calcitonine (32 AA).

# Les protéines

Une protéine est composée d'au moins 100 AA liés par des liaisons peptidiques.

## I • Classification des protéines

### A les holoprotéines

Protéines constituées uniquement d'AA. On distingue :

- **Les protéines globulaires ou sphéroprotéines.** Ex : l'albumine, les globulines plasmatiques (enzymes plasmatiques, facteurs de coagulation, etc.), les histones, les prolamines et glutélines (protéines végétales).
- **Les protéines fibreuses** qui sont des protéines de structure des tissus. Ex : la tropomyosine, l'actine et la myosine des myocytes striés, les scléroprotéines (collagène, kératine, élastine, fibroïne de la soie).

### B les hétéroprotéines

Protéines constituées d'une partie protéique (l'**apoprotéine**) et d'une partie non protéique (**groupement prosthétique**) le plus souvent liée de manière covalente à la protéine. On y retrouve :

- Les **phosphoprotéines**, protéines associées à un ou plusieurs groupement(s) phosphate(s) telles que la caséine du lait ou la vitelline du jaune d'œuf.
- Les **hémoprotéines** : l'hémoglobine, la myoglobine et les cytochromes qui contiennent un ou plusieurs groupements **hème** (dérivé des porphyrines).
- Les **métalloprotéines**, protéines associées à ion métallique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ...).
- Les **lipoprotéines** (LDL, HDL, etc.).
- Les **glycoprotéines** (fibronectine, anticorps, etc.).
- Etc.

## II • Structure des protéines

Les protéines sont caractérisées par quatre niveaux de structure :

### A La structure primaire (I)

**Structure primaire (I)** : séquence linéaire des AA liés par des **liaisons peptidiques** (= chaîne peptidique). Cette structure est dictée par le génome.

### B La structure secondaire (II)

**Structure secondaire (II)** : repliement de la structure I dû à l'établissement de **liaisons H entre AA proches** dans la structure I. Ces liaisons se créent **entre les groupements -C=O et -NH** des liaisons peptidiques intra-chaînes. On distingue 3 types de structure II :

- **L'hélice  $\alpha$**  : la chaîne peptidique s'enroule en **hélice régulière/droite**. Les liaisons H sont parallèles à l'axe de l'hélice.
- **Les feuillets  $\beta$**  : une ou plusieurs chaînes peptidiques se dispose(nt) **en parallèle** et s'étire(nt) avec une structure **en zig-zag**. Les liaisons H intra ou inter-chaînes sont perpendiculaires à l'axe du feuillet.
- **Pelote statistique** : les liaisons H s'établissent dans n'importe quelle direction. La chaîne peptidique adopte une forme géométrique irrégulière.

Au sein de la protéine, pour passer d'une structure à une autre, la chaîne se replie souvent en formant des **coudes  $\beta$**  (qui impliquent parfois la **proline**).

À noter que les **protéines fibreuses** (ex : kératine, collagène, fibroïne de la soie) sont des protéines de forme allongée qui ne possèdent qu'un seul type de structure II.

### C La structure tertiaire (III ou 3D ou tridimensionnelle)

**Structure tertiaire (III ou tridimensionnelle)** : organisation spatiale qui résulte du regroupement et de l'interaction des structures II qui composent la protéine.

Ces interactions se font **entre les AA éloignés dans la structure primaire** et par le biais de leur chaîne latérale **R**. Ces interactions sont ainsi de plusieurs types : liaisons H, interactions ioniques, hydrophobes et **pont disulfure** (entre **deux cystéines**). Exemples de protéines de structure III : Myoglobine, albumine, anticorps.

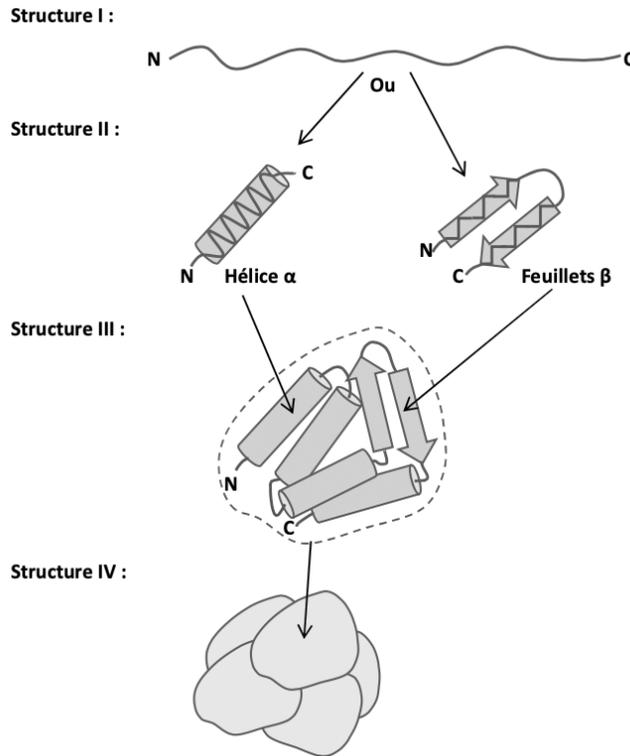
Dans la structure III, en général, les **AA polaires sont en surface** (au contact de l'eau) et les **AA hydrophobes en profondeur**, unis par des interactions hydrophobes.

## D La structure quaternaire (IV)

**Structure quaternaire** : association de **plusieurs chaînes polypeptidiques** (= sous unités = monomères de structure III) le plus souvent grâce à l'établissement de **liaisons faibles**.

L'ensemble forme un **oligomère** qui, seul, possède l'activité biologique. Les monomères au sein de celui-ci peuvent être identiques ou différents. Ex : l'hémoglobine, composée de quatre sous unités (deux alpha et deux bêta).

*Bilan des quatre niveaux d'organisation structurale des protéines :*



## III • La dénaturation des protéines

### A Définition de la dénaturation

La **dénaturation** des protéines :

- Consiste en la **désorganisation de leur structure 3D** par rupture des liaisons secondaires (= liaisons autres que peptidiques : H, hydrophobe, pont disulfure, etc.).
- Est induite par un ou plusieurs agents dénaturants qui agissent selon un mode plus ou moins spécifique. Elle est réversible dans certaines conditions.

### B Les agents dénaturants

Les **agents dénaturants physiques** (exemples) :

- **Le pH** : il modifie l'ionisation des chaînes latérales des AA ce qui conduit à la rupture des interactions ioniques.
- **La température** : elle accroît l'agitation et provoque la rupture des liaisons faibles. La plupart des protéines humaines sont dénaturées à des températures > 41 °C. La coagulation du blanc d'œuf au moment de la cuisson est liée à la dénaturation de l'ovalbumine.
- **Les radiations UV et ionisantes, les ultrasons.**

Les **agents dénaturants chimiques** (exemples) :

- Les **solvants organiques** (éthanol, acétone).
- Les sels comme le **sulfate d'ammonium**, notamment utilisé dans la **précipitation fractionnée des protéines** (pour les besoins de leur purification).
- Les **acides forts** (ex : **acide trichloroacétique**) qui dénaturent les protéines par rupture des interactions ioniques.
- Les **détergents anioniques** (ex : SDS ou Sodium-Dodecyl-Sulfate) qui permettent de séparer les sous-unités d'un oligomère par rupture des interactions ioniques.
- **L'urée** qui rompt les liaisons H.

### C Conséquences de la dénaturation

- **Perte de la fonction biologique** de la protéine (relation structure/fonction).
- **Perte de la solubilité**, ce qui est à l'origine de la précipitation des protéines.
- **Modification des propriétés optiques**, notamment l'absorption dans l'UV.

## IV • Propriété des protéines

### A Solubilité

Elle est liée à la proportion et à la répartition des groupements R polaires (hydrophiles) et apolaires (hydrophobes) des AA qui composent la protéine.

Il en résulte que la solubilité dépend de nombreux facteurs parmi lesquels :

- **Le pH** : la solubilité d'une protéine est minimale lorsqu'elle se trouve dans une solution dont le pH est proche de son pHi (pH isoélectrique).
- **Les électrolytes** : l'augmentation de la concentration en sels neutres (sulfate d'ammonium par exemple) diminue la solubilité de la protéine.
- **La température** : la solubilité augmente généralement avec la température (si inférieure à la température de dénaturation).
- Les **solvants organiques** (éthanol, acétone) insolubilisent les protéines en diminuant l'hydratation des groupements R polaires des AA.

### B Propriétés d'ionisation

Par leur composition en AA, les protéines contiennent de nombreux **groupements ionisables** acides ou basiques caractérisés par leur pK. Exemples : -COOH, -NH<sub>2</sub>, -SH, etc.

Selon le pH de la solution par rapport à leur pK respectif, ces groupements seront plus ou moins ionisés et la protéine se comportera soit comme un anion (-) soit comme un cation (+).

Dans la matière vivante, le pHi des protéines est généralement inférieur à 7 et les protéines se comportent comme des **anions**.

### C Propriétés biologiques

Certaines protéines ont un **pouvoir antigénique**, elles peuvent de ce fait être reconnues par des éléments du système immunitaire et induire une réponse immunitaire par la production d'anticorps spécifiques.

Certaines protéines ont des **propriétés toxiques**, c'est le cas de nombreuses **toxines** bactériennes (toxines du tétanos, du choléra, du botulisme, etc.).

### D Propriétés osmotiques

Les protéines développent une **pression osmotique caractéristique (ou oncotique)** du fait de leur incapacité à traverser les membranes biologiques. Elles génèrent ainsi un appel d'eau selon le phénomène d'**osmose**.

Cette propriété est fondamentale en physiologie où les protéines interviennent dans les échanges cellulaires et l'équilibre des compartiments hydriques.

## V • Se préparer au BTS

### ► Question tirée de la session 2017 du BTS diététique

Le transport des gaz respiratoires fait intervenir une protéine : l'hémoglobine.

Question 2.2. *Décrire succinctement les différents niveaux d'organisation structurale de cette protéine, en précisant les liaisons impliquées pour chacun de ces niveaux.*

*Correction*

Question 2.2.

- Structure primaire : *séquence linéaire et ordonnée d'acides aminés (AA) liés par des liaisons peptidiques.*
- Structure secondaire : *replis de la chaîne peptidique stabilisée par des liaisons H qui s'établissent entre C=O et N-H des liaisons peptidiques proches. Formation d'hélice alpha et/ou de feuillets bêta et/ou de pelotes statistiques.*
- Structure tertiaire : *organisation 3D ou spatiale de la chaîne peptidique stabilisée par des liaisons faibles (H, hydrophobes, etc.) et des ponts disulfures entre AA éloignés dans la structure primaire.*
- Structure quaternaire : *association de plusieurs monomères (de structure tertiaire) stabilisée par des liaisons faibles aboutissant à une protéine oligomérique.*

### ► Questions tirées de la session 2020 du BTS diététique

La teneur en protéines du lait de femme est comprise entre 8 et 12 g.L<sup>-1</sup>. Une des protéines du lait maternel est le lysozyme dont la structure 3D, ou tertiaire, est visible sur le **document 1**.

Question 1.1.1. *Définir la structure primaire d'une protéine.*

Question 1.1.2. *Écrire la séquence d'un tripeptide (formule chimique attendue). Préciser le nom de la liaison reliant deux acides aminés.*

Question 1.1.3. *Préciser si cette protéine est monomérique ou oligomérique. Justifier la réponse, et reporter sur la copie la légende du document 1.*

*Les propriétés de solubilité des protéines du lait sont étudiées dans le document 2.*

Question 1.1.4. *Analyser les expériences du document 2.*

*Conclure sur l'effet des paramètres physico-chimiques étudiés.*

**Document 1 : Structure 3D du lysozyme**

Source : <http://www.rcsb.org/3d-view/253L>



**Document 2 : Influence de paramètres physico-chimiques sur les protéines du lait.**

<b>Expérience 1</b>	Du lait entier porté à ébullition et refroidi lentement à température ambiante forme en surface une fine pellicule appelée "peau de lait".
<b>Expérience 2</b>	L'addition d'acide acétique par petites fractions dans du lait tiède entraîne la formation d'un précipité blanc.
<b>Expérience 3</b>	Une réaction du Biuret réalisée d'une part sur « la peau de lait » de l'expérience 1 et d'autre part sur le précipité blanc de l'expérience 2 donne un résultat positif.

**Données :**

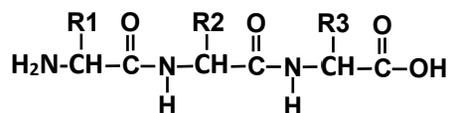
- Le pHi des caséines est de 4,6
- La réaction du Biuret permet de caractériser les protides.

*Correction*

**Question 1.1.1.** Enchaînement linéaire et ordonné d'acides aminés liés par des liaisons peptidiques.

**Question 1.1.2.** Nom de la liaison caractéristique : liaison peptidique.

Séquence d'un tripeptide :



**Question 1.1.3.** Protéine monomérique car on observe qu'une seule chaîne protéique ; 1. Hélice alpha.

**Question 1.1.4.**

**Expérience 1 :** l'augmentation de la température entraîne la formation de « peau de lait » (agglomérats, prise en masse par la chaleur).

**Expérience 2 :** l'acidification provoque l'apparition d'un précipité blanc.

**Expérience 3 :** la « peau de lait » et le précipité blanc réagissent avec le réactif de Biuret, ce qui met en évidence la présence de protides/protéines.

**Conclusion :** la « peau de lait » et le précipité blanc contiennent des protéines du lait accumulées respectivement sous l'effet de la température et de l'acidité. Cette accumulation est liée à la dénaturation des protéines du lait des protéines devenues insolubles sous l'effet :

De la température (**rupture des liaisons H**)

De l'acidité (**rupture des liaisons ioniques**).

► **Questions tirées de la session 2021 du BTS diététique**

Les protéines sont les constituants de base des muscles. Elles sont donc indispensables pour préserver et augmenter notre masse musculaire.

**Question 2.1.** Citer 3 autres rôles des protéines dans l'organisme.

La barre protéinée apporte également différents types de glucides simples et complexes.

**Question 2.5.** *Justifier l'appellation de glucides simples et complexes sur la base de leur structure biochimique.*

*Correction*

**Question 2.1.**

Rôle de transport (hémoglobine, albumine, transports membranaires, etc.), rôle immunitaire (anticorps, cytokine, etc.), rôle catalytique (enzymes) ; rôle structural (collagène, élastine, etc.) ; rôle de communication (insuline, glucagon, hormones de croissance, etc.) ; etc.

**Question 2.5.**

Glucide simple car formé d'une seule unité glucidique (ose ou monosaccharide) et non hydrolysable ; glucide complexe car formé de plusieurs unités glucidiques (ex : polyside ou polysaccharide) dont l'ensemble est hydrolysable.

# Structure et rôles des nucléotides

Les acides nucléiques sont des **polymères de nucléotides**. Ils se distinguent des autres biomolécules par le fait qu'ils contiennent, en plus de N, une forte teneur en **phosphore (P)**. Ils sont donc composés principalement de C, H, O, N et P et se divisent en deux grandes catégories : l'**ADN (acide désoxyribonucléique)** et les **ARN (acides ribonucléiques)**.

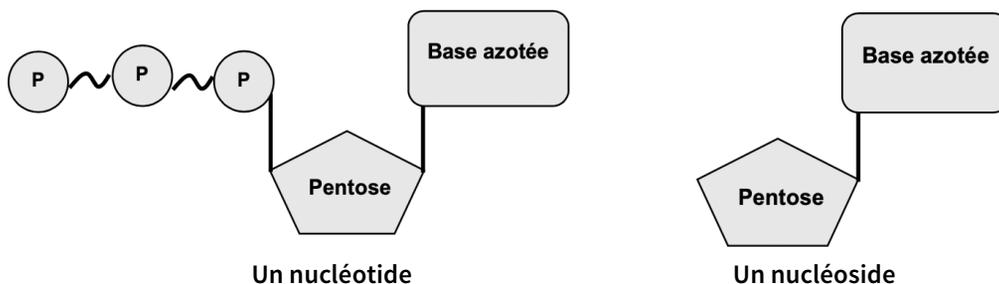
## I • Structure des nucléotides

Un nucléotide est composé :

- D'un **glucide à 5C (pentose)** : le **ribose** (ou **désoxyribose** dans l'**ADN**).
- D'une **base azotée** (= un/deux cycles carbonés avec azote), qui peut être une **base purique (Adénine ou Guanine)** ou une **base pyrimidique (Cytosine ou Thymine ou Uracile)**, liée au C1 (ou C1') du ribose.
- D'un, deux ou trois **groupements phosphoryle** issu(s) du **phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ )**. Le premier phosphate est lié au C5 (ou C5') du ribose. Les groupements phosphates confèrent au nucléotide une à plusieurs charges négatives.

À noter que les **nucléosides** correspondent uniquement à l'association du pentose avec sa base azotée.

Schémas d'un **nucléotide** (ici nucléoside triphosphate, à gauche) et d'un **nucléoside** (à droite) :



Base azotée	Nucléoside	Abréviation	Exemples de nucléotides
Adénine	Adénosine	A	ATP : Adénosine triphosphate
Guanine	Guanosine	G	GDP : Guanosine diphosphate
Cytosine	Cytidine	C	CMP : Cytidine monophosphate
Thymine	Thymidine	T	TMP : Thymidine monophosphate
Uracile	Uridine	U	UDP : Uridine diphosphate

## II • Rôles des nucléotides

Les nucléotides ont principalement trois rôles :

- **Constituants de base** des acides nucléiques (ADN et ARN).
- Rôle dans le **métabolisme** en tant que **molécule énergétique** (ATP, GTP, etc.) et en tant que **composant de coenzymes** (NAD<sup>+</sup>, FAD, acétyl-CoA, etc.).
- **Communication intracellulaire** par les mécanismes de **phosphorylation/déphosphorylation** et comme **second messenger** (AMPc, GMPc).

# Structure et rôles des acides nucléiques (ADN et ARN)

ADN et ARN diffèrent par leur structure mais aussi par leur rôle biologique : l'ADN est le véritable **support de l'information génétique**, alors que l'ARN est l'élément permettant l'expression de cette information génétique.

## I • L'ADN (Acide désoxyribonucléique)

### A Structure de l'ADN

L'ADN est une molécule **bicaténaire** (*caténa* = chaîne), c'est-à-dire composée de deux brins, ou chaînes, dont l'association forme une **double hélice**.

Chaque brin d'ADN est un **polymère de désoxyribonucléotides** reliés entre eux par des **liaisons 5'-3' phosphodiester** : le phosphate d'un nucléotide (lié au C5' de son désoxyribose) est lié au C3' du désoxyribose du nucléotide suivant.

Les **bases azotées** d'un brin restent libres (ne participent pas à l'enchaînement) mais elles constituent la partie variable de l'ADN.

Les deux brins d'ADN :

- Sont **complémentaires** grâce aux bases azotées constitutives : **A s'associe à T, et inversement, et C s'associe à G et inversement**. Cette association est permise grâce aux liaisons H établies entre les bases azotées.
- Sont **antiparallèles** : l'un est orienté dans le sens 5'-3', tandis que le brin complémentaire est orienté dans le sens 3'-5'.

L'association de deux bases complémentaires forme une **paire de bases (pb)**. Chez l'être humain, la longueur de l'ADN est estimée à  $3,2 \cdot 10^9$  pb.

### B Localisation et rôle de l'ADN

L'essentiel de l'ADN des cellules eucaryotes se trouve dans leur **noyau** mais on en trouve aussi dans les **mitochondries** (et dans les **chloroplastes** des cellules végétales).

Chez les procaryotes, l'ADN est sous la forme d'un chromosome unique localisé dans le cytoplasme.