

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université de RELIZANE
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département des Sciences Biologiques



POLYCOPIÉ DE COURS

Destiné aux étudiants Master1 Biochimie Appliquée

Intitulé

Structure et Fonction des Macromolécules

Elaboré par :

Dr. DERMECHE Keltoum

Année universitaire : 2024/2025

AVANT PROPOS

Ce polycopié, bien que modeste, est le fruit de nos expériences d'enseignement avec les étudiants de la première année Master Biochimie Appliquée de la faculté des sciences et de la Technologie du département des Sciences Biologiques de l'Université de Relizane.

Ce module est essentiel pour les différents modules qui suivent dans le programme prévu de la première et deuxième année master. Il constitue également une base solide pour la réalisation des travaux de recherche de fin d'études, et éventuellement pour les travaux de doctorat, en permettant aux étudiants de maîtriser les fondamentaux de la biochimie structurale.

Tout au long de sa conception, j'ai veillé à présenter les informations de façon claire et pédagogique.

Au cours de ce module, nous explorerons les structures, la biosynthèse et les fonctions des complexes biomoléculaires, notamment les protéines, les lipides, les glucides et les hormones, en mettant l'accent sur leur rôle dans la régulation des processus physiologiques.

Cette approche holistique nous permettra de mieux comprendre les interactions complexes qui régissent la vie cellulaire.

Liste de figures

Figure 01: Synthèse de polymères.	1
Figure 02 : Différents polymères.	2
Figure 03 : Liaison peptidique.	2
Figure 04 : Structure primaire.	3
Figure 05: Structure Secondaire et tertiaire.	3
Figure 06: Structure quaternaire.....	4
Figure 07: Structure d'une glycoprotéine.	6
Figure 08 : Différents types de glycosylation des protéines.	7
Figure 09 : Mécanisme de la N-glycosylation et O-glycosylation.....	8
Figure 10 : Structure générale des lipoprotéines.	10
Figure 11 : Classification selon la densité.	11
Figure 12 : Classification selon la mobilité électro phorétique.	11
Figure 13 : Métabolisme des lipoprotéines.	14
Figure 14 : Structure des phosphoprotéines.	16
Figure 15 : Structure d'hémoglobine.	18
Figure 16 : Synthèse de l'hème.	19
Figure 17 : Structure de la myoglobine.....	21
Figure 18 : Saturation en oxygéné de la myoglobine et de l'hémoglobine.....	22
Figure 19 : Classification des lipides.	23
Figure 20 : Structure des glycérophospholipides.....	25
Figure 21 : Classification des glycérophospholipides.....	26
Figure 22 : Schéma général de la biosynthèse des glycérophospholipides.....	29
Figure 23 : Structure de l'acide gras avec la Sphingosine.	30
Figure 24: Catabolisme des sphingolipides et Sphingolipidoses.....	34
Figure 25 : Structure d'isoprène.....	35
Figure 26 : Structure de l'amidon.	38
Figure 27: Structure de la cellulose.....	39
Figure 28: Structure de la chitine.	39
Figure 29: Structure des glycosaminoglycane.	41
Figure 30: Biosynthèse des glucides	42
Figure 31 : Les Glandes.	43
Figure 32 : Système endocrinien.....	45
Figure 33 : Schéma général de biosynthèse des hormones stéroïdes.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1: Les différentes lipoprotéines. 12

Tableau 2 : Les Différents rôles des Glycérophospholipides..... 27

Tableau 3 : Caractéristique des glycosphingolipides 32

Tableau 4: Effets des hormones 47

SOMMAIRE

Avant-propos

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre I

Qu'est-ce qu'une macromolécule ?

1- Définition.....	1
2- Structure.	1
3- Polymérisation.	1
4- Rôle.....	1

Structure, biosynthèse et fonctions des complexes formés avec les protéines

1- Présentation	2
2- Structure des protéines.....	3
3- Rôle des protéines.....	5
4- Biosynthèse des protéines.....	5

Les Glycoprotéines

1- Définition.....	6
2- Structure.	6
3- Glycosylation des protéines.....	6
4- Types de glycosylation.	7
4-1-Les N-glycoprotéines.	8
4-2-Les O-glycoprotéines.	8
5- Rôles des glycoprotéines.....	9
6- Les principales glycoprotéines.....	9

Les Lipoprotéines

1- Définition.....	10
2- Structure.	10
3- Classification des lipoprotéines.....	11
A/ Selon la densité.	11
B/ Selon la mobilité électrophorétique.	11
C/Caractéristiques des lipoprotéines.....	12

4- Les différentes classes de lipoprotéines.....	12
5- Les apolipoprotéines.....	13
6- Le métabolisme des lipoproteines nécessite.....	13
6-1- Les enzymes.....	13
6-2- Les protéines de transfert.....	13
6-3- Les récepteurs.....	13
7- Métabolisme des lipoprotéines.....	14
8- Rôle des lipoproteines.....	14

Phosphoprotéines

1- Définition.....	15
2- Les différentes classes.....	15
3- Structure des phosphoprotéines.....	16
4- Rôle des Phosphoprotéines.....	16

Chromoprotéines

1- Définition.....	17
2- Rôles des chromoprotéines.....	17
3- Catégories des chromoprotéines.....	17
3-1-Chromoprotéines non porphyriniques.....	17
3-1-1- Flavoprotéines.....	17
A- Cryptochromes.....	17
3-2-Chromoprotéines porphyriniques.....	18
3-2-1-Hémoprotéines.....	18
A-Hémoglobine.....	18
A-1-Structure.....	18
A-2-Les différentes hémoglobines.....	19
A-3-Biosynthèse de l'hémoglobine.....	19
A-4-Fonction de l'hémoglobine.....	20
B-Myoglobine.....	20
B-1-Physiopathologie.....	20
B-2-Structure.....	20
B-3-Rôle.....	21
B-4-La cinétique de l'oxygénation de l'Hb et myoglobine.....	21

Chapitre 2

Structure, biosynthèse et fonctions des complexes formés avec les lipides

1- Définition.....	23
2- Classification des lipides	23
3- Rôle des lipides.....	24
3-1-Rôle énergétique.	24
3-2-Rôle structural.	24
3-3-Rôle de messenger.	24

LES LIPIDES COMPLEXES

A-Phospholipides

1- Définition.....	25
2- La structure	25
3- Classification des glycérophospholipides.....	26
a- Les dérivés d'alcool aminé.	26
b- Les dérivés de polyols non azotés.	26
4-Rôles.	26
4-1.Principaux Rôles.	27
5-Biosynthèsedes Glycérophospholipides.....	27
5-1-Voie du CDP diglycéride.	27
5-2-Voie du CDP choline.	28
6- Catabolisme.....	29

B-Sphingolipides

1- Définition.....	30
2- Classification	30
3- Structure.	30
A- Céramide ou acylsphingosine.	31
B - Les Sphingomyélines.	31
C- Les glycosphingolipides.	31
C-1- Cérébrogalactosides ou Galactosylcéramides.	31
C-2. Les Gangliosides ou Oligosylcéramides.	32
4- Rôle des sphingolipides.....	32

5- Caractéristiques et localisation des glycosphingolipides.	32
6- Biosynthèse des sphingolipides et Sphingolipidoses.	33
7- Catabolisme des sphingolipides et Sphingolipidoses.	34

C- Les composés à caractère lipidique

1-Définition.	35
2-Structure.	35
A- Les terpènes et composés terpéniques.	35
B- Les stérols et composés stéroïdes.	36
3- Rôle.	36

Chapitre 3

Structure, biosynthèse et fonctions des complexes formés avec les glucides

1-Présentation.	37
2-Classification des glucides.	37
3-Le rôle des glucides dans l'organisme.	37
4- Polysaccharides.	37
A. Les Homopolysaccharides (Glucannes).....	38
A.1.Polysaccharides de réserve.	38
a. L'amidon.	38
b. Le glycogène.....	38
A.2.Polysaccharides de structure.	39
a. La cellulose.....	39
b. La Chitine.	39
B- Les Hétéropolysaccharides Mucopolysaccharides.	39
B-1-Les GAG de structure.....	40
a. Acide hyaluronique.	40
b. Les chondroïtines.....	40
c. Les kératanes.....	40
B-2-les GAG de sécrétion.....	41
a. L'héparine.	41
5. Biosynthèse des glucides.	43

Chapitre 4

Structure, biosynthèse et fonctions des hormones

Système endocrinien

1-Définition.	43
2-Fonctions du système endocrinien.	44
3-Interaction avec le système nerveux.	44
3.1. Communication rapide et lente.	44
3.2. Réponse au stress.	44
3.3. Boucles de rétroaction.	45
3.4. Hypothalamus.	45
3.5. Influence sur le comportement et les émotions.	45
4-Caractéristiques du système endocrinien.	46
5-Cancers du système endocrinien.	46

LES HORMONES

1-Definition.	47
2. Classification des hormones.	47
A. Les hormones dérivées d'amines.	47
B. Les hormones peptidiques.	47
C. Les hormones stéroïdes.	47
3- La sécrétion hormonale.	47
4- Rôles des hormones.	46
5- Origine et effets de quelques hormones.	48
6- Structure de quelques hormones.	48
7- Biosynthèse et sécrétion des hormones.	49
8- Classification fonctionnelle.	50

Références bibliographies

Chapitre I

MACROMOLECULES

1-Définition :

Une macromolécule (polymère) est une molécule organique complexe, de très grande taille, conservée dans tous les êtres vivants. Elle peut être décomposée en libérant l'énergie, ou transformée en utilisant un apport énergétique. Les polymères peuvent être d'**origine naturelle** (animale ou végétale) ou d'**origine synthétique**. Les macromolécules naturelles sont les caoutchoucs, les polysaccharides, le glycogène, l'ADN, les protéines... et origine synthétiques sont représentées par exemple par le polyéthylène, le polypropylène, le polystyrène, le PVC, le PTFE, les polyesters, les polycarbonates ...

2-Structure :

Structure complexe et précise à 3 ou 4 niveau d'organisation primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire*forme définitive et souvent « active » de la molécule.

3-Polymérisation :

Deux mécanismes entièrement différents sont utilisés pour la synthèse de polymères lors de la polymérisation : Réactions de condensation et Réactions d'hydrolyse (Fig.1).

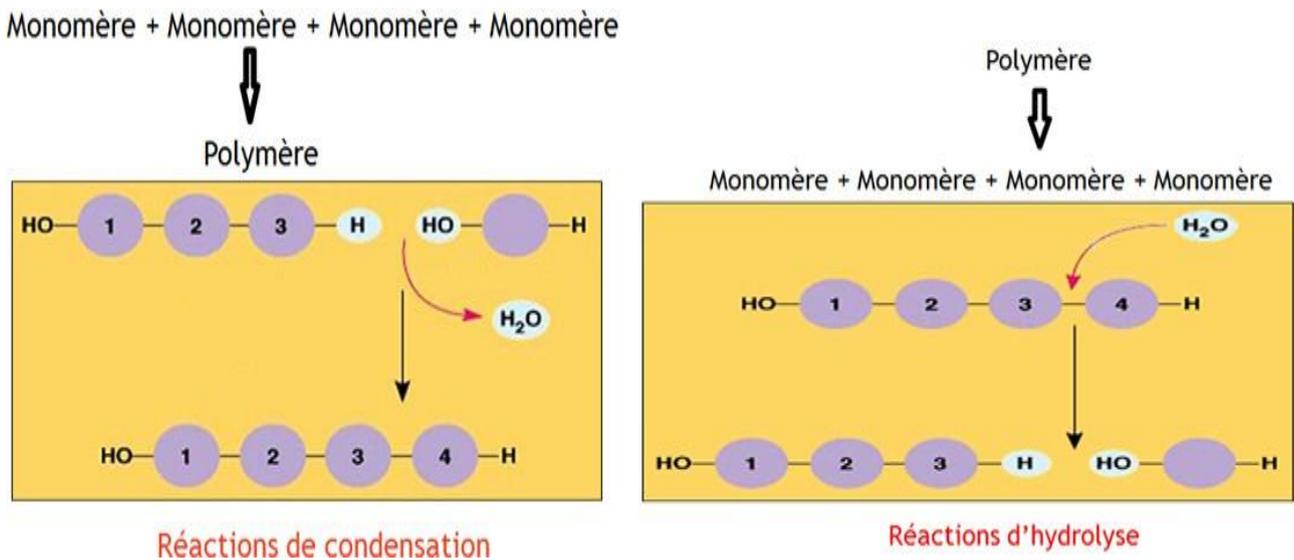


Figure 1 : Synthèse de polymères

4-Rôle :

Les macromolécules accomplissent des rôles cruciaux au sein de la cellule :

- Responsables des fonctions les plus caractéristiques de la cellule vivante :
- assemblage des constituants cellulaires-catalyse des transformations chimiques
 - production de mouvements
 - transport et stockage
 - hérédité

Les Protéines

1-Présentation :

Les protéines sont des polymères d'acides aminés appelés monomère reliés par des liaisons peptidiques (Fig.2). La réaction d'un groupe COOH d'un acide aminé avec un groupe NH₂ d'un autre acide aminé donne un amide. La liaison formée est une liaison peptidique, cette liaison, une fois formée, est très stable. Les protéines contiennent généralement plus de 100 acides aminés.

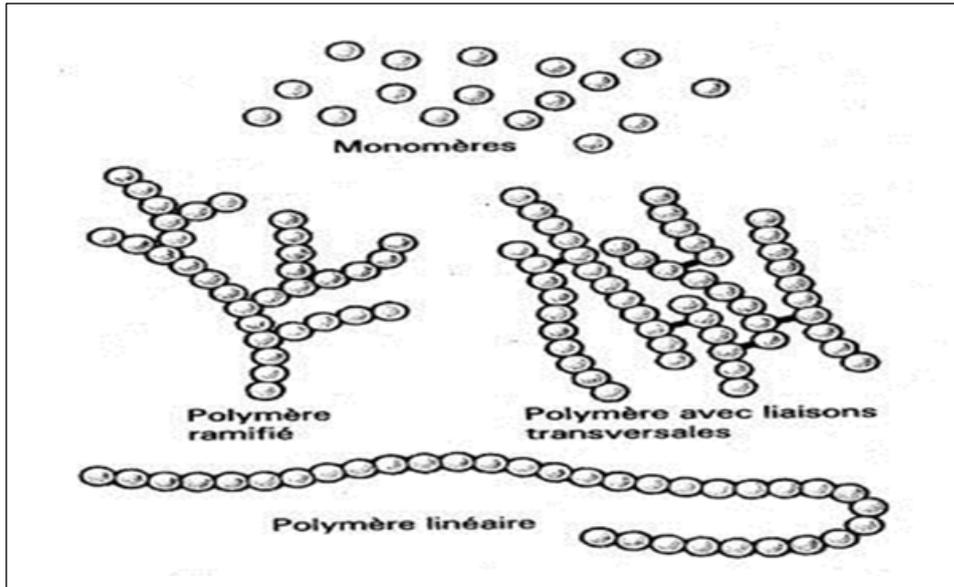


Figure 2 : Différents polymères.

Les molécules plus petites sont appelées peptide (moins de 20 acides aminés) ou polypeptide (20 à 100) (Fig.3). Les protéines contiennent toutes du carbone, de l'oxygène, de l'hydrogène et de l'azote. Plusieurs contiennent également du phosphore et du soufre. La « taille » et/ou la structure chimique d'une protéine peut être modifiée après traduction (modification post-traductionnelle).

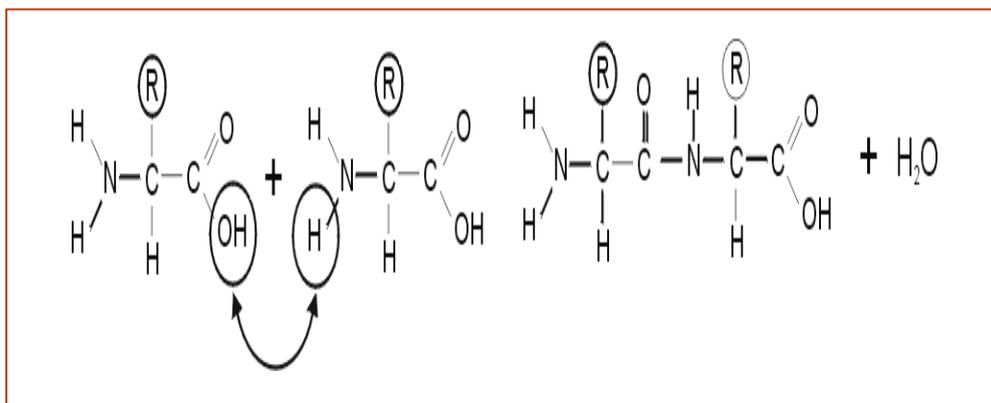


Figure 3 : Liaison peptidique.

2-Structure :

A. La **structure primaire** est la structure chimique (covalente) : ordre dans lequel sont placés les acides aminés (**Fig.4**). Ex. le lysozyme : 129 acides aminés.



Figure 4 : Structure primaire.

B. La structure **secondaire** correspond aux structures spatiales régulières (hélices α , feuillets β etc...).

C. La **structure tertiaire** concerne l'arrangement dans l'espace des structures secondaires : position dans l'espace de chaque atome (**Fig.5**).

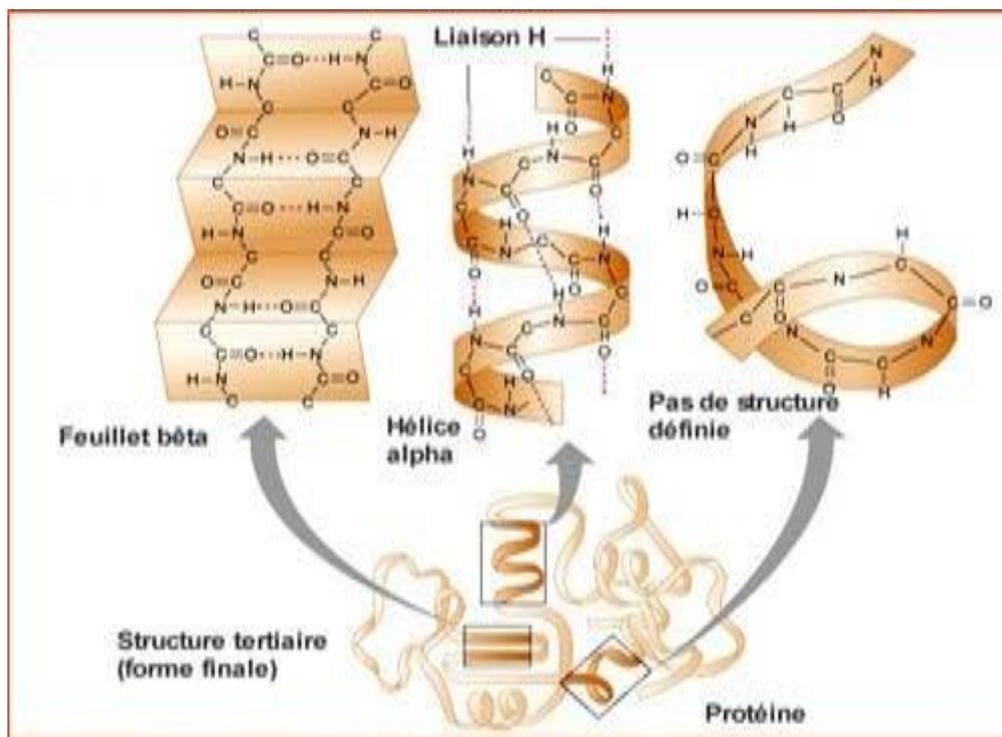


Figure 5: Structure Secondaire et tertiaire.

D. La structure quaternaire est une association de structures tertiaires : certaines protéines existent sous forme de complexes comportant plusieurs sous-unités (plusieurs chaînes d'acides aminés qui s'imbriquent les unes dans les autres (**Fig.6**).

Ex. Hémoglobine : 2 chaînes alpha et 2 chaînes bêta.

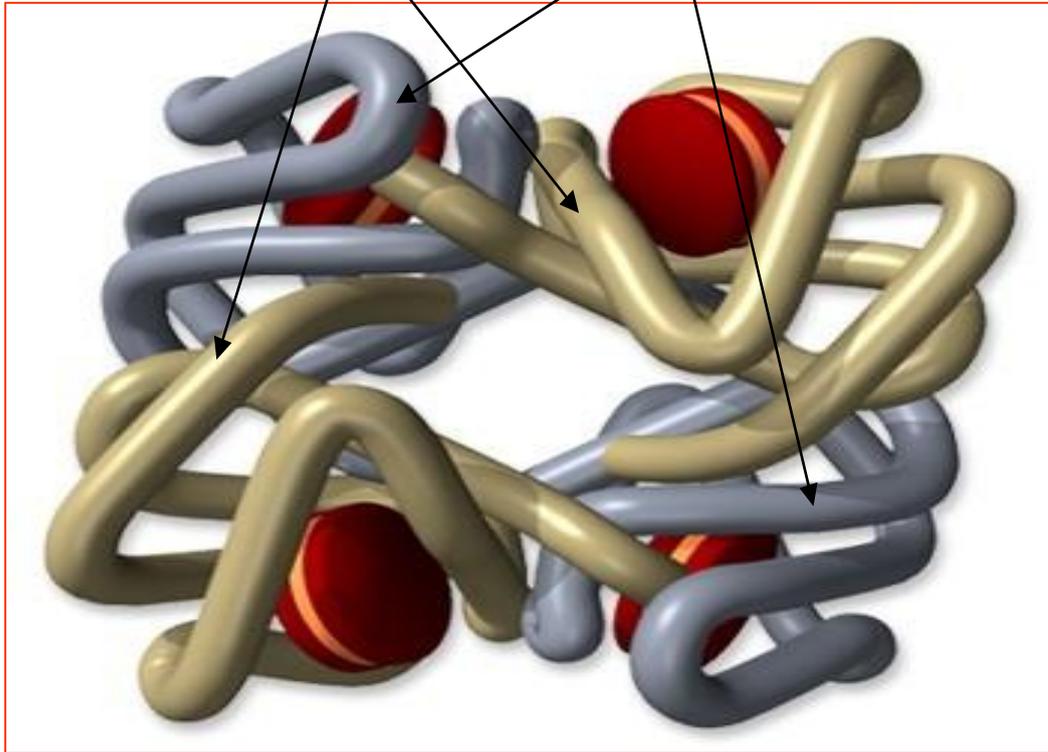


Figure 6: Structure quaternaire.

E. Protéines globulaires : La plupart des protéines ont une forme compacte (comme un petit nuage). Elles sont beaucoup plus complexes par leur conformation que les protéines fibreuses et elles ont des fonctions biologiques plus variées et sont donc plus dynamique que statiques (enzymes, anticorps...).

F. Protéines fibreuses : Certaines sont longues et filiformes (formées d'une seule hélice alpha). Elles peuvent s'associer entre elles pour former des fibres résistantes.

Elles représentent plus du tiers des protéines des vertébrés supérieurs :

- Elles constituent leur protection : peau, cuir, cheveux, plumes, ongles....
- Elles sont les principaux constituants organiques des tissus conjonctifs : os, tendon....
- Elles ont des structures plus simples que celles des protéines globulaires.

3-Rôle des protéines:

- a) Permettent à la cellule de maintenir son organisation dans l'espace ;
- b) Assurent le transfert des différentes molécules dans et en dehors des cellules par les protéines de transport ;
- c) Régulatrices, qui modulent l'activité d'autres protéines ou qui contrôlent l'expression des gènes ;
- d) Assurent les transmissions dans la cellule ou l'organisme par les protéines de signalisation, qui captent les signaux extérieurs.

Par exemple : les protéines hormonales, qui contribuent à coordonner les activités d'un organisme en agissant comme des signaux entre les cellules ;

- e) Protègent la cellule contre les virus (ex. : les anticorps) ;
- f) Les protéines de stockage, qui permettent la mise en réserve d'acides aminés pour pouvoir créer d'autres protéines (ex : l'ovalbumine, la principale protéine du blanc d'œuf sert de stockage pour le développement des embryons de poulet) ;
- g) Les protéines motrices, permettant aux cellules ou organismes ou à certains éléments (cils) de se mouvoir ou se déformer (ex. : l'actine et la myosine permettent au muscle de se contracter).

Dans la nature, il existe un large spectre de macromolécules issues de l'association d'une protéine et une fraction non protéique jouant un rôle fondamental au sein des organismes vivants, parmi lesquels on cite: Glycoprotéines, Lipoprotéines, Phosphoprotéines, Chromoprotéines.

4-Biosynthèse des protéines

Elle se réalise in vivo en deux étapes; la transcription et la traduction:

- Chez les eucaryotes: la transcription et la maturation de l'ARNm s'effectue au niveau du noyau alors que la traduction au niveau du cytoplasme.
- Chez les procaryotes: les deux processus physiologiques se réalisent au niveau du cytoplasme.

Les glycoprotéines

1-Définition :

Une glycoprotéine est une protéine portant un ou plusieurs groupements oligosaccharides. C'est un hétéroside (composé de plusieurs oses différents) dont le premier motif glucidique est fixé de façon covalente à la chaîne polypeptidique (**Fig.7**). Une glycoprotéine est synthétisée par la glycosylation d'une protéine, qui peut être de trois types (N-glycosylation, C-glycosylation et O-glycosylation) selon l'acide aminé utilisé, asparagine (NH₂), Tryptophane (en C2), sérine ou thréonine (OH). Elles concernent les enzymes, les récepteurs membranaires, les protéines de transport et les immunoglobulines.

2-Structure :

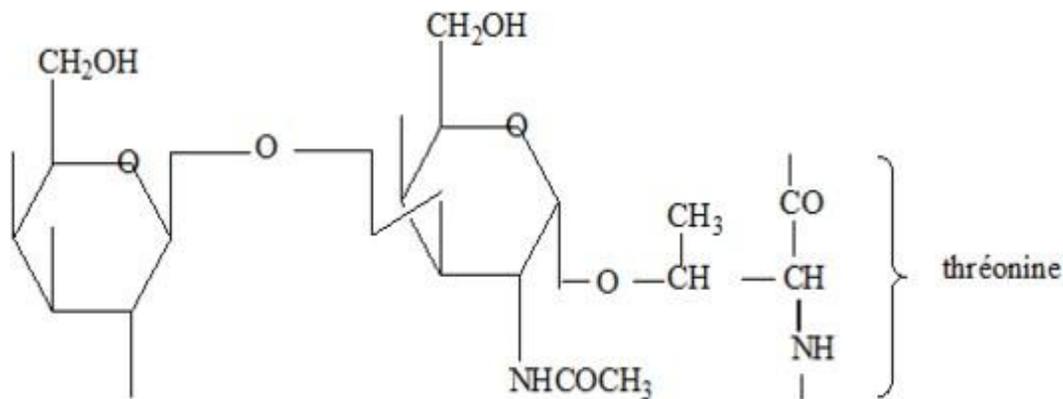


Figure 7: Structure d'une glycoprotéine.

3-Glycosylation des protéines

Les glycoprotéines sont composées de protéines liées de façon covalente à des sucres, qui peuvent contribuer à leur stabilité, leur adressage, leur solubilité ou faciliter l'adoption d'une structure. Le sucre situé le plus à l'extérieur d'une chaîne glucidique liée à une protéine est souvent l'acide N- acétylneuraminique, chargé négativement, qui aide à tenir les protéines éloignées les unes des autres.

La glycosylation des protéines est présente dans toutes les cellules eucaryotes. Elle se retrouve aussi chez les bactéries, une découverte assez récente d'ailleurs.

C'est une réaction enzymatique permettant l'adjonction par covalence de chaînes glycosylées sur une protéine, ce qui lui confère des propriétés particulières, sous l'action des glycosidases et des glycosyltransférases, spécifiques du sucre qui va être ajouté (glucose, mannose, fucose...); Les chaînes glucidiques des glycoprotéines sont dites liées en N ou en O selon leur site d'ancrage.

4-Types de glycosylation

La liaison entre la partie protéique et celle glucidique se fait entre le groupement réducteur terminal de la fraction glucidique et un acide aminé de la protéine. L'asparagine, la sérine et la thréonine sont les AA les plus couramment glycosylés, par conséquent les oligosaccharides ont majoritairement deux possibilités de se lier aux protéines, soit par liaison à N (N-glycosylation) ou par liaison à O (O-glycosylation) (**Fig. 8**).

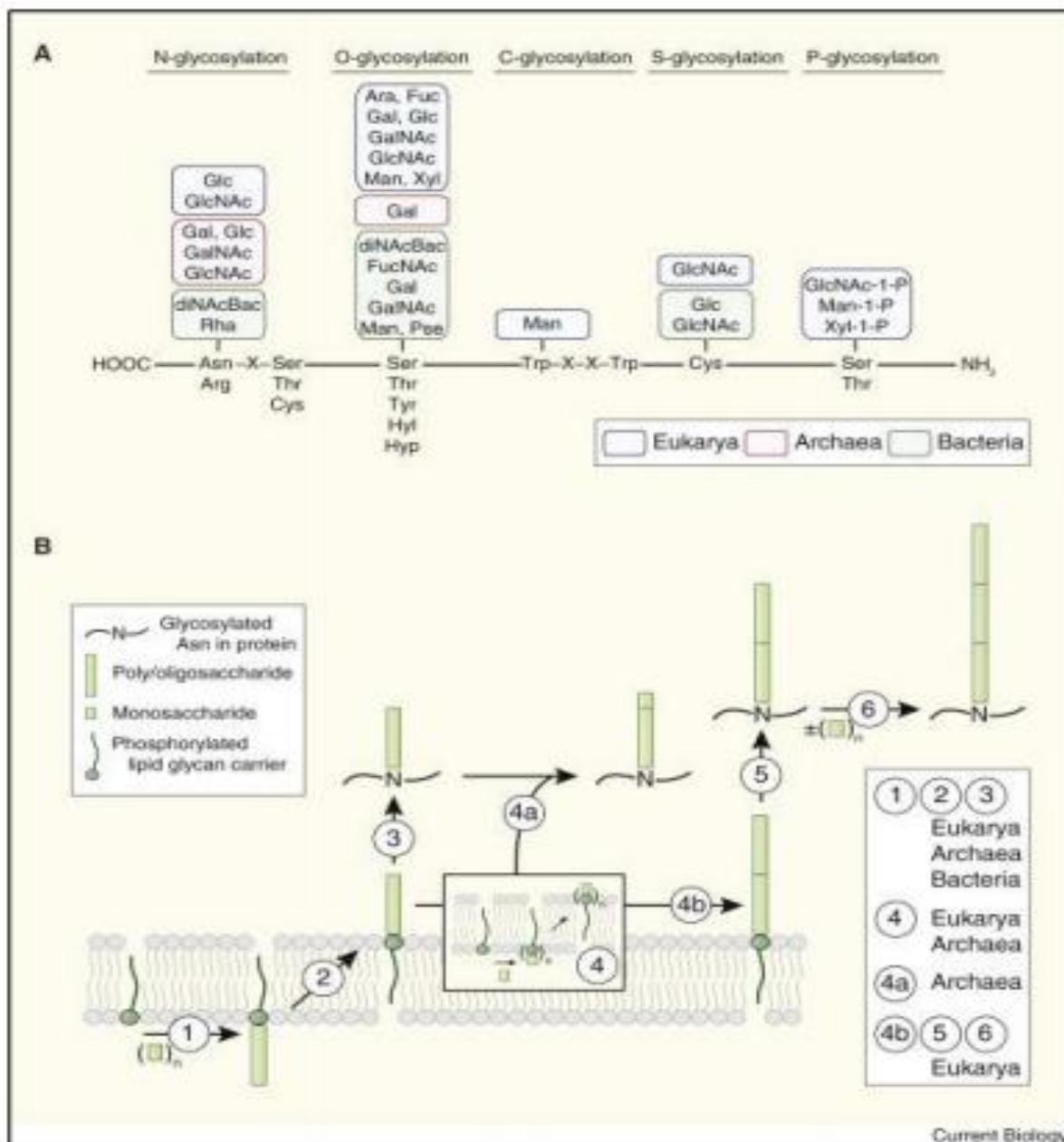


Figure 9 : Différents types de glycosylation des protéines.

Les osides sont fixés sur les protéines par deux types de liaisons formées par condensation (**Fig10**):

- La liaison **N-osidique** qui s'établit en général entre le dérivé N acétylglucosamine et la fonction amide de l'**asparagine (acide aminé)**.
- La liaison **O-osidique** est plus diverse. Elle s'établit par le dérivé N-acétylgalactosamine et la fonction alcool de la **sérine** ou de la **thréonine**.

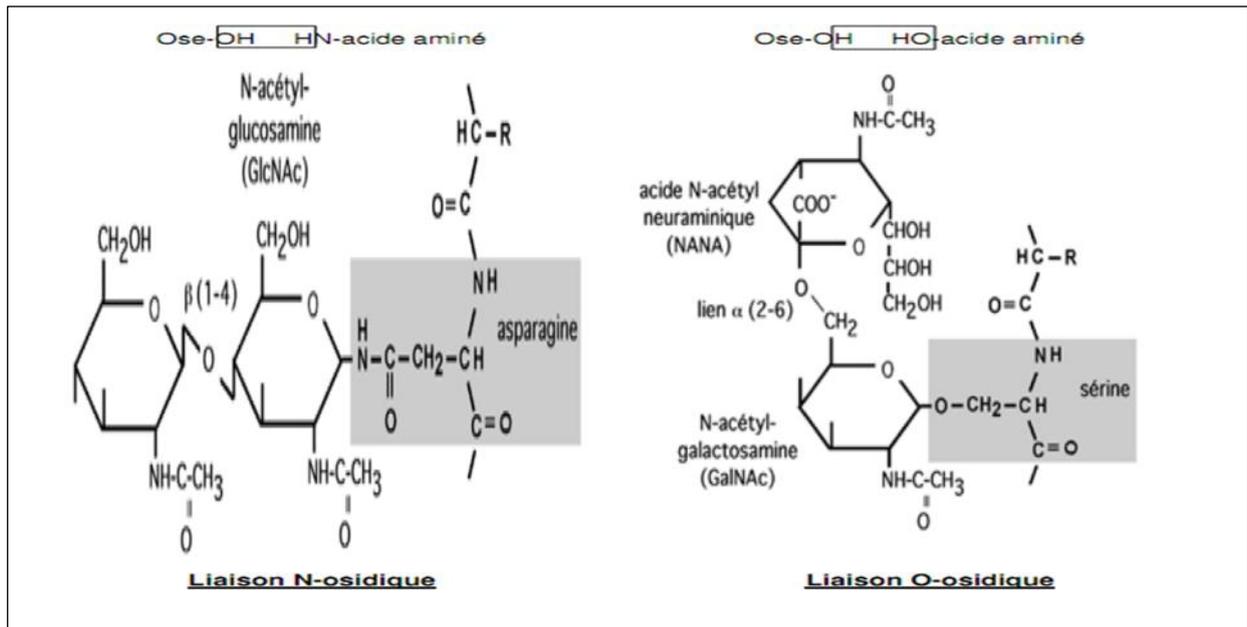


Figure 10 : Mécanisme de la N-glycosylation et O-glycosylation.

4-1-Les N-glycoprotéines :

La N-glycosylation est l'une des modifications post-traductionnelles majeures conservées des cellules. L'asparagine est substituée dans une liaison N-glycosidique par la N-acétylglucosamine. Les résidus d'asparagine ne sont pas tous glycosylés. Seuls ceux inclus dans la séquence consensus Asn-XSer/Thr, où X représente un quelconque acide aminé.

Ex : les récepteurs membranaires, les molécules d'adhérence, les immunoglobulines...

Ils sont biosynthétisés au niveau du réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi par des réactions progressives étroitement contrôlées, impliquant des glycosidases et des glycosyltransférases.

4-2-Les O-glycoprotéines :

Au niveau des cellules humaines, la sérine et la thréonine sont généralement glycosylées par la N-acétylgalactosamine (GalNAc) ou la N-acétylglucosamine dans une liaison O-glycosidique. Tous les résidus de sérine ou de thréonine ne sont pas glycosylés, contrairement au cas des N-glycoprotéines, On les

trouve dans : les mucines, sécrétions de muqueuse (salivaire, bronchiale, intestinale) et les globulines plasmatiques.

5-La fraction glucidique : On trouve 4 groupes de glucides :

- Oses : D mannose, D galactose
- 6-désoxyhexoses : L fucose (6 désoxy L galactose)
- Glucosamine et galactosamine souvent acétylées
- Acide N-acétylneuraminique (NANA) souvent terminal qui donne leur caractère acide aux glycoprotéines.
- Enchaînement glucidique souvent ramifié, caractéristique (glycosyl-transférases spécifiques).

5-Rôles des glycoprotéines :

Les glycoprotéines sont présentes dans les tissus animaux (au niveau des liquides biologiques; salive, urine, lait, larmes, sang...) et végétaux ainsi que chez les microorganismes, les glycoprotéines assurent ainsi de diverses fonctions biologiques, leur présence au niveau des membranes cellulaires leur confère un rôle crucial dans la cohésion tissulaire et les phénomènes immunitaires.

Au niveau des pores nucléaires, elles semblent intervenir dans la filtration des entrées/sorties, elles peuvent être aussi liées à l'ADN et interviennent dans les processus de réplication et de transcription.

6-Les principales glycoprotéines

- Les hormones hypophysaires : LH et FSH.
- Les glycoprotéines du plasma : Orosomucoïdes, haptoglobine.
- Les glycoprotéines du blanc d'oeuf : ovalbumine.
- Les glycoprotéines végétales ou lectines, sont des réactifs utilisés pour leurs propriétés d'agglutination des globules rouges, leurs propriétés mitogènes, etc.

Les lipoprotéines

1-Définition :

Les lipoprotéines sont des macromolécules sphériques de taille et composition variables dans laquelle on distingue une partie centrale plus ou moins volumineuse, entourée d'une couche périphérique. Le noyau central comprend les lipides apolaires, strictement insolubles dans l'eau : triglycérides et cholestérol estérifié. La couche périphérique est constituée par les lipides polaires assemblés en une monocouche de phospholipides dans laquelle s'insèrent des molécules de cholestérol non estérifié et par les apolipoprotéines liées de façon non covalente aux lipides assurent la stabilité de la macromolécule et en contrôlent le devenir métabolique.

2-Structure:

Les particules lipoprotéiques sont constituées (Fig.10):

- D'une enveloppe : constituée de protéines et de lipides amphiphiles (polaires) : phospholipides et de cholestérol libre.
- D'un noyau lipidique ou cœur (hydrophobe) : constituée de lipides apolaires : triglycérides et esters de cholestérol.

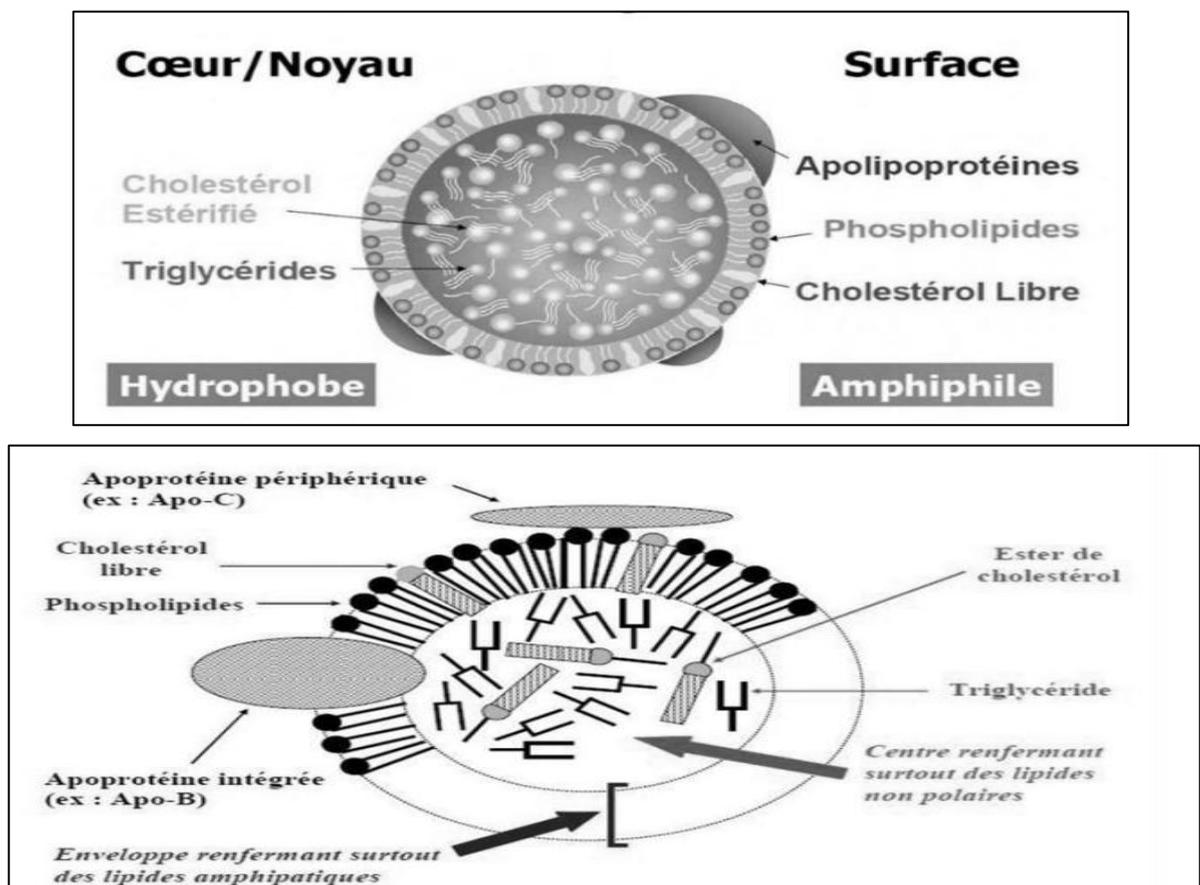


Figure 10 : Structure générale des lipoprotéines.

3-Classification des lipoprotéines:

Les lipoprotéines représentent une vaste famille subdivisée en plusieurs sous-groupes distincts sur la base de leurs caractéristiques physico-chimiques.

A/ Selon la densité:

Du fait de leur constituants lipidiques et protéique variables les fractions des lipoprotéines ont une densité inversement proportionnelle à la taille et la teneur en lipides et proportionnelle à la portion protéique. Elles sont séparées par ultracentrifugation de flottation :

$$\text{Densité: } CM < VLDL < IDL < LDL < HDL \text{ (Fig.11).}$$

Les chylomicrons ont une densité <0.99 tandis que les HDL ont une densité comprise entre 1.063-1.2. Il y a une relation entre la taille, la densité et la composition des lipoprotéines. Plus une lipoprotéine est petite plus sa densité est haute, plus elle contient de protéines et moins elle contient de lipides.

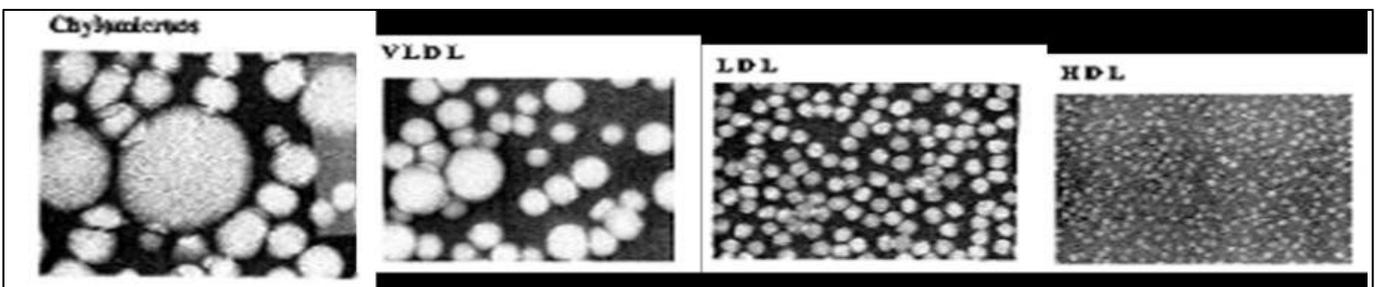


Figure 11 : Classification selon la densité.

B/ Selon la mobilité électrophorétique(Fig.12) :

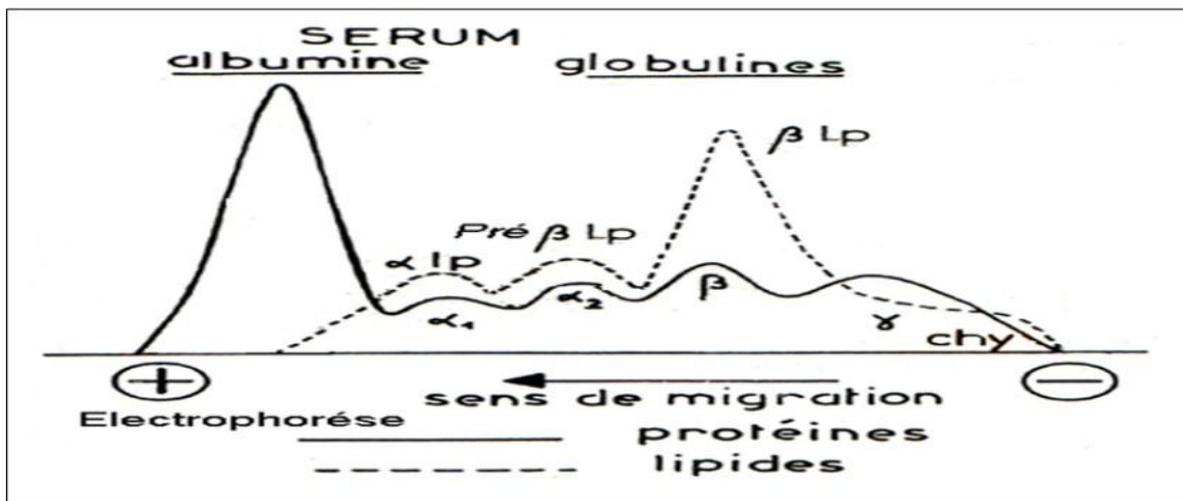


Figure 12 : Classification selon la mobilité électro phorétique.

- 1/ Chylomicrons : ne migrent pas et restent au dépôt, sont absents à jeun chez un sujet sain.
- 2/ VLDL : migrent en position pré-bêta (pré β-lipoprotéines)
- 3/ LDL : migrent en position bêta (β -lipoprotéines).
- 4/ HDL : migrent en position α (α -lipoprotéines)

C/Caractéristiques des lipoprotéines :

	chylomicrons	VLDL	LDL	HDL
Diamètre	10 ² -10 ³	30-70	15-25	6-15
Densité	< 0,94	0,94 < d < 1,006	1,006 < d < 1,063	1,063 < d < 1,27
Mobilité électrophorétique	DEPOT	PREβ	β	α

4-Les différentes classes de lipoprotéines : Les lipoprotéines forment un ensemble de macromolécules de taille et de composition variables. Elles sont constituées de protéines (les apolipoprotéines) et de lipides (cholestérol, phospholipides et triglycérides). Elles ont été initialement isolées en fonction de leur densité : chylomicrons, VLDL, LDL, HDL ou de leur mobilité électrophorétique Chylomicrons (dépôt) VLDL (pré β-lipoproteines , LDL (β -lipoproteines), HDL (α –lipoproteines) (alpha préβ et β). Les lipides étant moins denses que l'eau ; lorsque leur proportion augmente dans la lipoprotéine la densité de cette dernière diminue.

Tableau 01 : Les différentes lipoprotéines.

	TG	Cholestérol	phospholipide	protéine	apoprotéine	Lien	rôle
Chylomicron + remnants	87 % AL	3%	8%	2%	AI, AIV B48, CII, E	Intestin	Transport de TG et cholestérol vers le foie
VLDL (<i>Very Low Density Lipoproteins</i>)	49%	25%	13%	13%	B100, CI, CII, CIV,E	Foie	Transport de TG et cholestérol vers les tissus
IDL (<i>Intermediate Density Lipoprotein</i>)	30%	35%	15%	20%	B100,E	A partir des VLDL	Départ des TG
LDL (<i>Low Density Lipoproteins</i>)	13%	44%	18%	25%	B100	A partir des IDL	Fournissent du cholestérol aux tissus
HDL (<i>High Density Lipoproteins</i>)	3%	30% estérifié	27%	40%	AI, C,E	Dans le sang	Draine le cholestérol des tissus vers le foie

5- Les apolipoprotéines : sont caractérisées par la présence de protéines spécifiques de poids moléculaire variable à leur surface appelées les apolipoprotéines. Elles ont une double fonction de structure et de régulation métabolique : elles assurent la cohésion du complexe lipidique et sa solubilisation ; elles agissent comme cofacteur et/ou activateur de nombreuses enzymes plasmatiques et elles servent de ligands pour les interactions avec les protéoglycans et des récepteurs cellulaires des lipoprotéines.

6- Le métabolisme des lipoprotéines nécessite :

6-1- Les enzymes : trois enzymes jouent un rôle central dans le métabolisme des lipoprotéines plasmatiques: la lipoprotéine lipase, la lipase hépatique et la lécithine-cholestérol-acyl-transférase.

- a) La lipoprotéine lipase est synthétisée dans de nombreux tissus mais plus particulièrement dans le tissu adipeux et les muscles striés.
- b) La structure de la lipase hépatique a une structure proche de celle de la lipoprotéine lipase. Elle est synthétisée par le foie et reste localisée dans cet organe à la surface des cellules endothéliales des capillaires.
- c) La Lécithine-Cholestérol-Acyl-Transférase (LCAT) est synthétisée par le foie.

6-2- Les protéines de transfert : Dans le compartiment sanguin, les lipides des lipoprotéines sont échangés entre les différentes lipoprotéines. Des protéines de transfert assurent ces échanges :

- La CETP (Cholesterol Ester-Transfer Protein) catalyse le transfert réciproque des molécules des triglycérides et d'esters de cholestérol entre les HDL et les chylomicrons ou les VLDL.
- La PLTP (Phospholipid Transfer Protein) assure le transfert rapide et spécifique des phospholipides entre les lipoprotéines.

6-3- Les récepteurs : Plusieurs récepteurs membranaires interviennent dans le métabolisme des lipoprotéines :

- **Le LDL-récepteur (ou récepteur B/E)** est synthétisé dans la cellule et après une glycosylation.
- **Les récepteurs “ poubelles ” ou récepteurs “ scavenger ” de classe A** sont essentiellement présents sur les macrophages.
- **Les lipoprotéines résultant** du catabolisme des chylomicrons et des VLDL par la lipoprotéine lipase (“ remnants”) sont rapidement captées par le foie par l'intermédiaire de l'apo E et de récepteurs cellulaires spécifiques.
- **Un récepteur permet aux HDL** naissantes de capter le cholestérol libre des cellules des parois artérielles et des macrophages.
- **Le récepteur “ scavenger ” de classe B et de type 1 (SR-B1)** récepteur intervient dans le métabolisme des HDL.

7- Métabolisme des lipoprotéines : Le cholestérol a deux origines chez l'homme : une origine exogène (alimentation) et une origine endogène (biosynthèse)(Fig.13).

- Métabolisme des lipoprotéines transportant les lipides alimentaires
- Métabolisme des lipoprotéines contenant l'apo B100
- Métabolisme des lipoprotéines impliquées dans l'épuration du cholestérol des tissus périphériques.

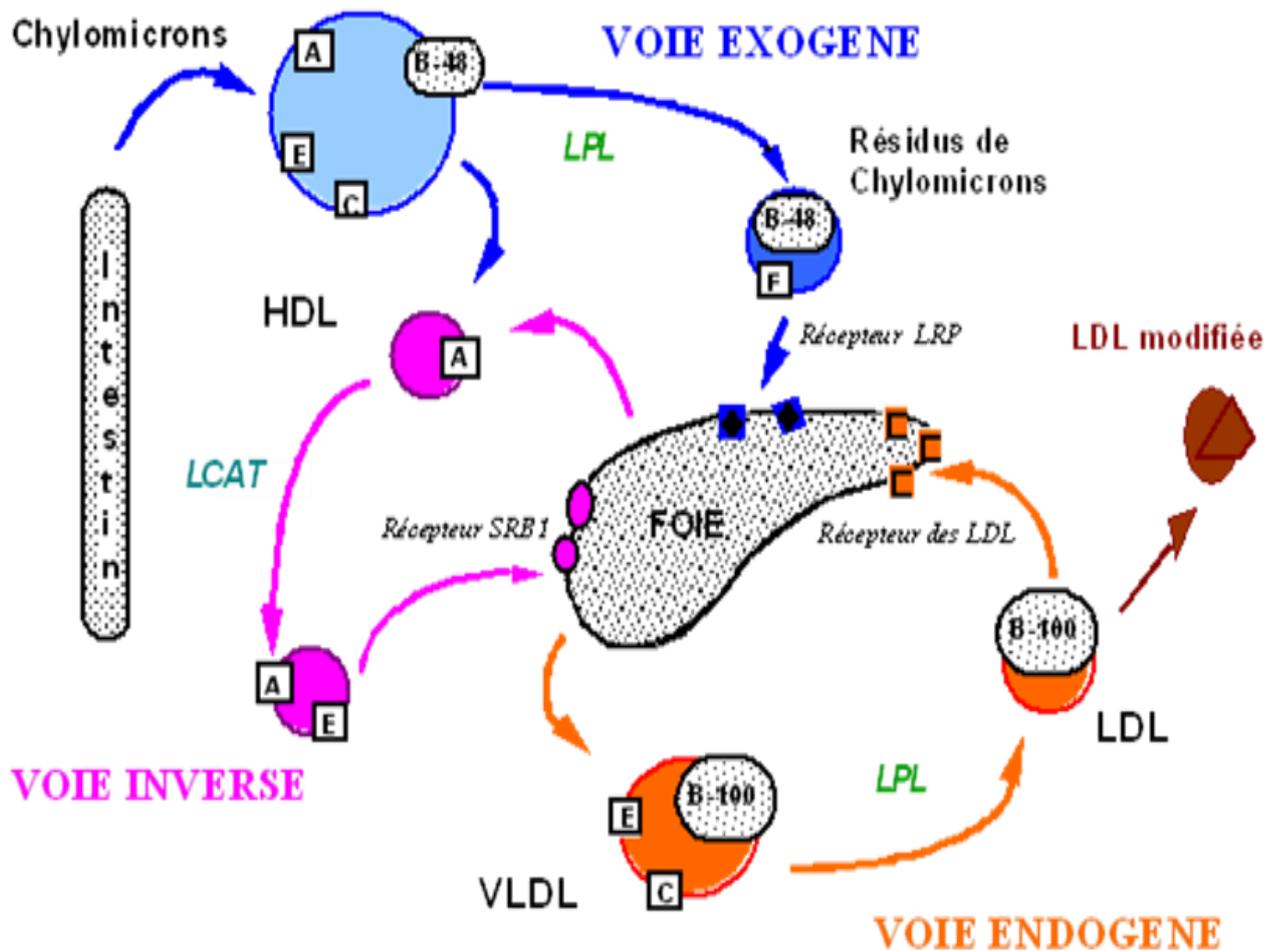


Figure 13 : Métabolisme des lipoprotéines.

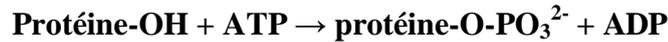
8-Rôle des lipoproteines :

- Rôle structurel du maintien du complexe macromoléculaire pour le transport des sites de synthèse vers les sites d'utilisation (assemblage et sécrétion des LP) et permettent aussi de transporter certaines vitamines et hormones.
- Rôle d'activateur ou d'inhibiteur d'enzymes impliqués dans le métabolisme des LP.
- Rôle de reconnaissance des LP par les cellules (ligand de liaison cellulaire).

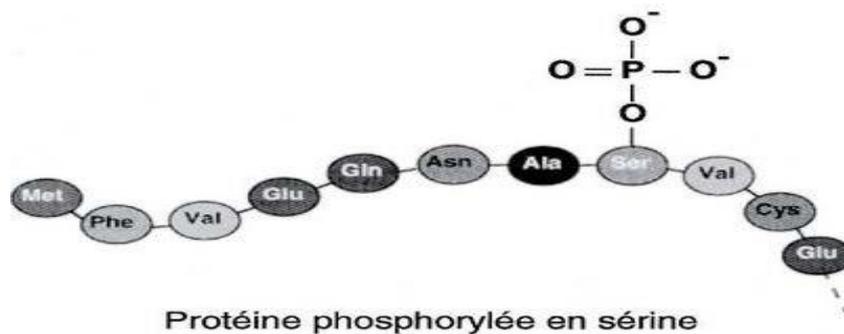
PHOSPHOPROTEINES

1- Définition :

Protéines complexes (hétéroprotéines) renfermant du phosphore sous forme d'acide phosphorique, que l'on trouve dans les œufs et dans le lait (caséine).



Les Protéines phosphatases sont des enzymes (phosphatases) qui déphosphorylent les sérines, les thréonines, ou les tyrosines des protéines. Les enzymes qui transfèrent le phosphate (à partir de l'ATP) sur la protéine (ou le lipide) sont appelées kinases, *ils* catalysent le transfert d'un groupe phosphate de l'adénosine triphosphate (ATP) sur l'hydroxyle (groupe -OH) des chaînes latérales des acides aminés ayant une fonction alcool : sérine, thréonine et tyrosine.



Rq : enzymes qui enlèvent le phosphate sont appelées phosphatases et certaines

2- Les différentes classes :

Les protéines phosphatases sont classées en 4 familles :

- Les phospho-protéines phosphatases (PPP) : enzymes spécifiques des Ser/Thr phosphorylées.
 - Les protéines phosphatases magnésium-dépendantes (PPM) : enzymes spécifiques des Ser/Thr phosphorylées.
 - Les phosphatases à aspartate : enzymes spécifiques des Ser/Thr phosphorylées.
 - Les protéines tyrosine phosphatases : elles peuvent déphosphoryler les 3 résidus phosphorylés
- Exemple : les MAP kinase phosphatases.

3- Structure des phosphoprotéines :

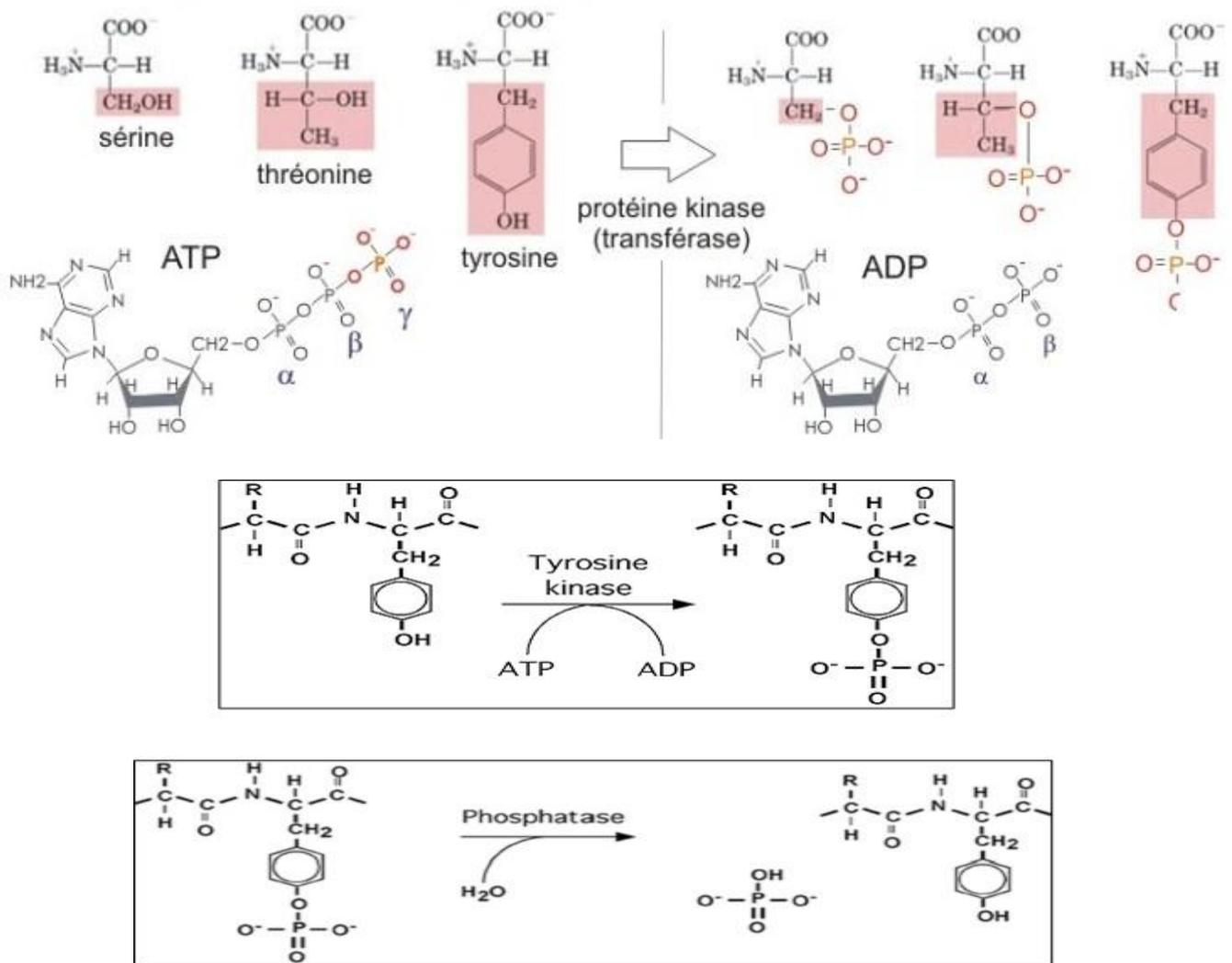


Figure 14 : Structure des phosphoprotéines.

4- Rôle des Phosphoprotéines :

Les rôles sont multiples :

- Mise en réserve du phosphate car on connaît un phosphoprotéine du lait : caséine dont on admettait a priori.
- Nutritif par ce que l'apport de phosphate en même temps que de résidus d'acides aminés qu'elle réalise dans l'alimentation est excellent pour la croissance.
- Phosphoprotéine d'os, dont le radical phosphate fixe des atomes de calcium : c'est un facteur actif dans la minéralisation du squelette.

Chromoprotéine

1-Définition :

Une chromoprotéine désigne une hétéroprotéine, qui représente un groupe prothétique qui lui confère une couleur donnée, par exemples : l'hémoglobine et myoglobine. Les molécules se lient de manière covalente et absorbent la lumière ultraviolette grâce à l'interaction entre leur système d'électrons conjugués et l'apoprotéine.

2-Rôles des chromoprotéines :

- Le transport d'électrons, comme celui réalisé par les flavoprotéines, est crucial pour de nombreuses réactions biochimiques.
- En ce qui concerne le transport et le stockage de l'oxygène, les hémoglobines et les myoglobines jouent un rôle essentiel chez les organismes multicellulaires complexes.
- La myoglobine humaine joue un rôle important dans la protection contre le monoxyde d'azote (NO). Lorsqu'elle est liée à l'oxygène (O₂), elle peut réagir avec le NO dans une réaction bimoléculaire.
- Photosynthèse chez les cyanobactéries et algues rouges

3- Catégories des chromoprotéines : Selon la nature de chromophore, on distingue deux types :

- **Chromoprotéines fluorescentes** : Ces chromoprotéines absorbent la lumière à une certaine longueur d'onde et émettent une lumière à une longueur d'onde plus longue, produisant ainsi une fluorescence.
- **Chromoprotéines non fluorescentes** : Ces chromoprotéines absorbent la lumière mais ne réémettent pas de fluorescence. Elles jouent des rôles variés dans les systèmes biologiques sans émettre de lumière visible.

3-1-Chromoprotéines non porphyriniques

3-1-1- Flavoprotéines : ce sont des protéines contenant un groupement prosthétique dérivé de la riboflavine (vitamine B2). Elles jouent un rôle clé dans divers processus biologiques, notamment en tant que coenzymes dans des réactions d'oxydo-réduction, essentielles pour la respiration cellulaire et le métabolisme énergétique.

A- Cryptochromes : sont des protéines sensibles à la lumière, présentes chez de nombreux organismes, allant des plantes aux animaux. Ils jouent un rôle essentiel dans la perception de la lumière et la régulation des rythmes circadiens.

3-2-Chromoprotéines porphyriniques

3-2-1-Hémoprotéines : ce sont des chromoprotéines dont le groupement prosthétique est l'hème, une porphyrine, qui représente un macrocycle conjugué composé de quatre unités pyrroliques reliées par des ponts méthényles, et elle contient un métal.

A-Hémoglobine : L'hémoglobine est une chromoprotéine dont la principale fonction est le transport du dioxygène dans l'organisme humain et chez les autres vertébrés.

Elle est constituée d'une partie protéique « la globine », et d'une partie non protéique « l'hème ». On la symbolise par « Hb ».

A-1-Structure

L'Hb est formée de quatre chaînes polypeptidiques, formant une structure appelée tétramère (**Fig.15**). Chaque chaîne d'Hb est elle-même constituée d'une partie protéique, la globine, et d'une partie non protéique, l'hème, qui renferme un atome de fer ferreux (Fe^{2+}). Dans chaque tétramère d'Hb, on trouve deux chaînes *alpha* et deux chaînes *bêta*. Les chaînes *alpha* sont composées de 141 acides aminés et les chaînes *bêta* en contiennent 146.

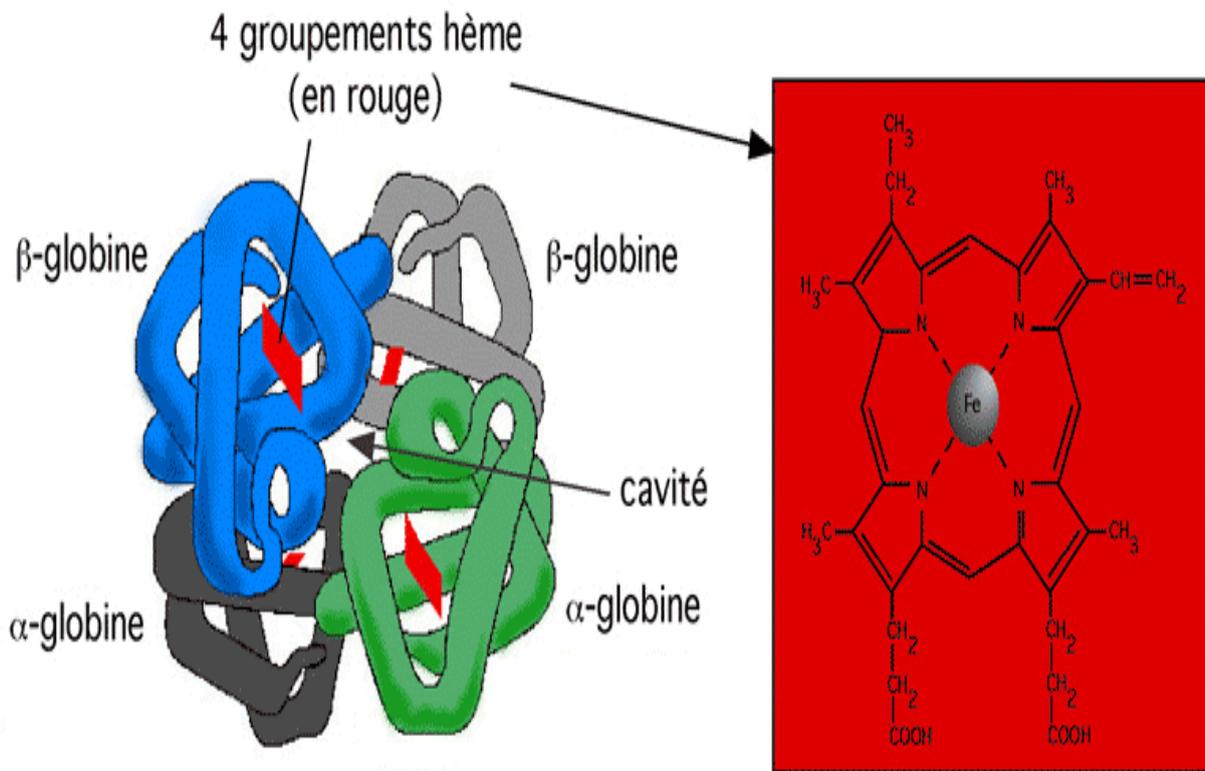


Figure 15 : Structure d'hémoglobine.

A-2-Les différentes hémoglobines :

- Hb A1 : 2 chaînes α et 2 chaînes β = représente 98% de l'Hb de l'adulte.
- HbA2 : 2 chaînes α et 2 chaînes δ = représente 2à3%.
- Hb F : 2 chaînes α et 2 chaînes γ = représente 60à80% à la naissance et disparaît au cours de la 1ere année.

A-3-Biosynthèse de l'hémoglobine :

➤ **Synthèse de l'hème (Fig16) :**

- **La 1ere étape** : intra-mitochondriale ; réaction entre la **glycine** et le **succinyl coenzyme A**, qui aboutit à la production d'**acide delta aminolevulinique(ALA)**. Cette réaction nécessite la présence d'*ALA synthétase*.
- **La 2eme étape** : extra-mitochondriale (dans le cytoplasme); 2 molécules d'acide delta aminolevulinique se condensent avec perte de deux molécules H₂O pour donner un composé à noyau pyrrolique: le **porphobilinogène(PBG)**. Cette réaction catalysée par *l'ALA deshydrase*.
- **La 3eme étape** : 4 molécules de PBG s'unissent pour donner **l'uroporphyrinogène (UPG)** qui sera décarboxylé en **copro-porphyrinogène (CPG)**.
- **La 4eme étape** : Le CPG décarboxylé et oxydé fournit le **proto-porphyrinogène III** qui sera deshydrogéné en **protoporphyrine III**.
- **Dans les mitochondries**, cette protoporphyrine III fixe un atome de fer ferreux au centre de son noyau tétrapyrrolique pour aboutir à **l'hème** ; réaction catalysé par *l'hème synthétase* (H-Sy).

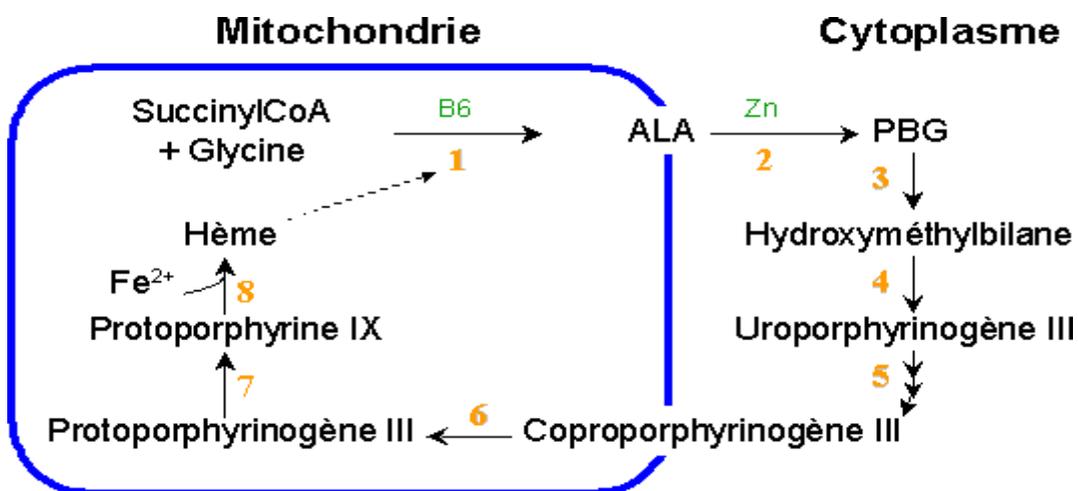


Figure 16 : Synthèse de l'hème.

➤ **Synthèse de la globine :**

La globine est une chaîne polypeptidique synthétisée sur le modèle commun de la synthèse protéique à quatre niveaux de structure : structure primaire, structure secondaire, structure tertiaire et structure quaternaire.

La synthèse de la globine de l'hémoglobine comprend :

-**Transcription** : Les gènes de la globine sont transcrits en ARNm.

-**Maturation** : L'ARNm est modifié et épissé.

-**Traduction** : L'ARNm est traduit en chaînes polypeptidiques.

-**Assemblage** : Les chaînes (α et β) se lient à des groupements hème pour former l'hémoglobine.

-**Intégration** : L'hémoglobine est intégrée dans les globules rouges.

A-4-Fonction de l'hémoglobine :

- L'hémoglobine est un bon transporteur de dioxygène, l'hémoglobine se trouve dans les globules rouges, cette protéine essentielle transporte l'oxygène (O_2) des poumons vers les tissus et facilite le retour du dioxyde de carbone (CO_2) des tissus vers les poumons.
- L'Hb fixe directement l' O_2 qui s'y trouve.
- L'Hb désoxygénée peut fixer plus de CO_2 que l'Hb oxygénée. Ce phénomène, connu sous le nom d'effet Haldane présente un certain intérêt physiologique puisque l'Hb ayant déchargé une partie de son O_2 au niveau des tissus pourra fixer plus de CO_2 . Ce CO_2 sera par contre libéré plus facilement au niveau des échangeurs respiratoires, l'Hb se chargeant en O_2 .

B-Myoglobine : La myoglobine est une métalloprotéine formée d'une chaîne de globine et d'une partie hémique. Elle est présente dans le cytoplasme des cellules des muscles squelettiques et du myocarde. Elle assure une fonction de transfert et de stockage de l'oxygène dans ces tissus.

B-1-Physiopathologie : Toute lyse des cellules des muscles cardiaque ou squelettiques entraîne une libération de myoglobine dans la circulation sanguine.

B-2-Structure :

La myoglobine est une protéine globulaire (une globine) constituée de huit tronçons d'hélice α associée à un hème, groupement prosthétique formé d'un noyau tétrapyrrolique à cœur occupé par un atome de fer, constituée d'une seule sous-unité (**Fig.17**). La structure primaire de la myoglobine comprend une seule chaîne polypeptidique qui compte 154 résidus. Sa structure secondaire comprend huit hélices α , lesquelles regroupent les trois quarts des résidus d'acides aminés de la protéine. Sa structure tertiaire est celle d'une globine utilisant l'hème b comme groupe prosthétique.

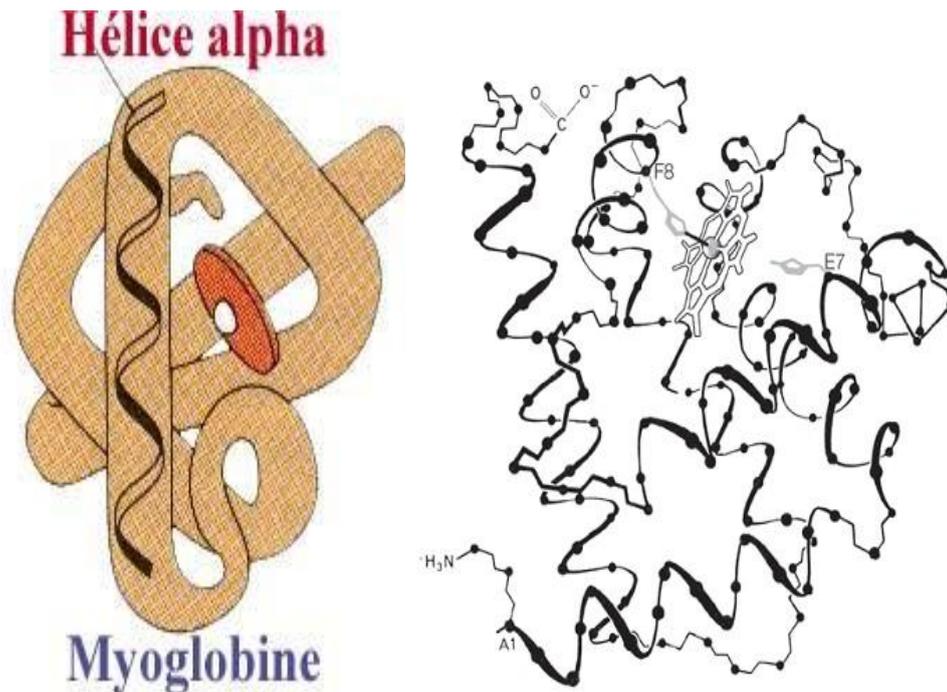


Figure 17 : Structure de la myoglobine.

B-3-Rôle :

La myoglobine est une protéine jouant plusieurs rôles :

-**Stockage de l'oxygène** : Elle stocke l'oxygène dans les muscles, permettant une disponibilité rapide lors d'efforts intenses.

-**Transport de l'oxygène** : Elle facilite le transport de l'oxygène des capillaires sanguins vers les cellules musculaires.

-**Protection contre le monoxyde de carbone** : Elle aide à prévenir les effets toxiques du monoxyde de carbone en se liant préférentiellement à l'oxygène.

-**Régulation du métabolisme musculaire** : En libérant de l'oxygène en fonction des besoins métaboliques, elle soutient l'activité musculaire.

B-4-La cinétique de l'oxygénation de l'Hb et myoglobine :

Courbe de saturation de l'oxygène qui exprime le pourcentage de saturation en oxygène de l'hémoglobine (ordonnée) en fonction de la pression partielle en oxygène (abscisse) la pression partielle du sang artériel qui provient des alvéoles pulmonaire est de l'ordre de 100mmHg (**Fig18**). Cette pression partielle est beaucoup plus faible au niveau des capillaires, des tissus, puisqu'elle se situe entre 20 et 35mmHg environ. La courbe de saturation en oxygène de la myoglobine, est hyperbolique (myoglobine) alors que la courbe de la courbe de l'hémoglobine à une forme sigmoïde.

A faible pression partielle en oxygène, la fixation de l'oxygène en HB se fait mal et elle augmente rapidement quand la pression partielle en oxygène augmente.

La myoglobine présente au niveau des muscles, serait un très mauvais transporteur d'oxygène, car elle a une forte affinité pour l'oxygène entre 20 et 35mmHg et donc elle ne cédera pas son oxygène au niveau des tissus, l'affinité est trop forte. Dans les conditions physiologiques, au niveau du muscle, elle est capable de libérer une partie de son oxygène, à faible pression partielle en oxygène et permet de libérer cet oxygène au niveau des mitochondries pour des réactions d'oxydoréduction qui conduisent à la synthèse d'ATP.

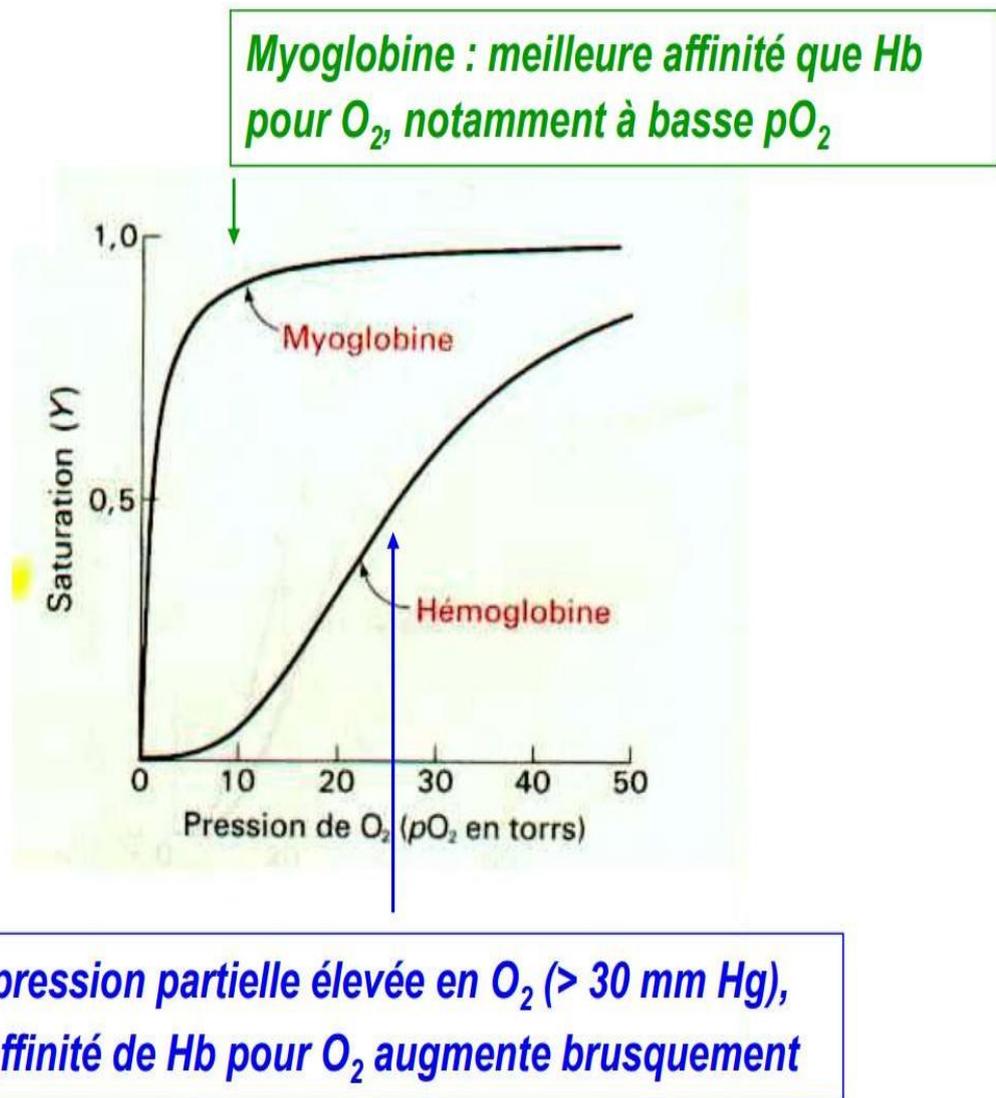


Figure 18 : Saturation en oxygène de la myoglobine et de l'hémoglobine.

Chapitre II

LES LIPIDES

1-Définition :

Les lipides sont des substances naturelles qui, avec les glucides, les protides, l'eau et d'autres éléments, constituent la matière vivante et ayant la propriété commune d'être insolubles en milieu aqueux, mais solubles dans les solvants organiques : éthanol, chloroforme, éther,... Ce sont les huiles (liquides) et les graisses (gélifiées ou solides). Ils sont très abondants à la fois dans le monde animal et le monde végétal et sont un des constituants essentiels des membranes biologiques mais jouent aussi le rôle de matière de réserve. Ils peuvent aussi jouer d'autres rôles, notamment dans le contrôle du métabolisme (hormones stéroïdes).

Il existe plusieurs classifications anciennes, basées sur les produits d'hydrolyse (lipides simples ou complexes), mais elles sont abandonnées au profit d'une classification basée sur la structure.

2-Classification des lipides :

Les lipides peuvent effectivement être classés en plusieurs catégories principales (Fig.19):

- Lipides simples ou homolipides / - Lipides complexes ou hétérolipides / - Lipides isopréniques.

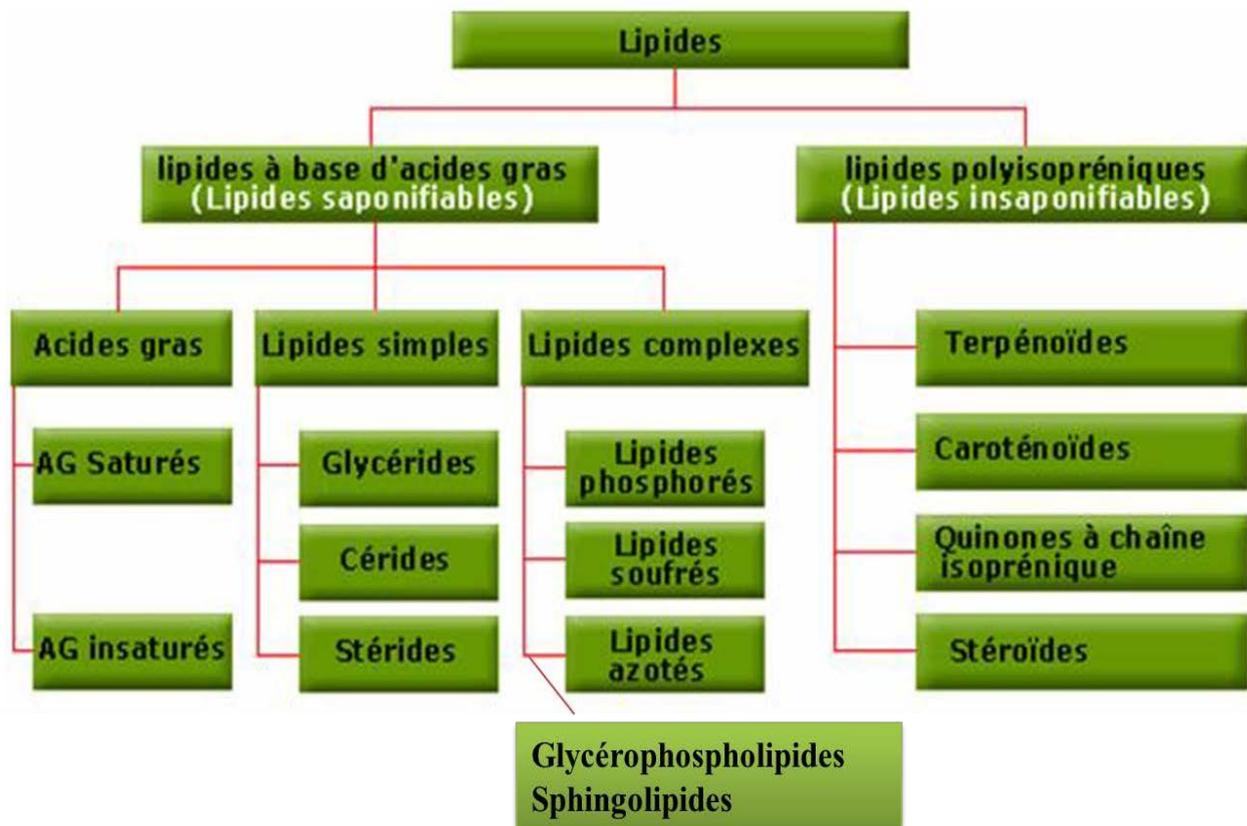


Figure 19 : Classification des lipides.

3-Rôle des lipides :

Dans l'organisme, les lipides ont 4 fonctions principales :

3-1-Rôle énergétique : stockés sous forme de triglycérides dans les tissus adipeux, les lipides constituent ainsi une réserve énergétique mobilisable (1 g de lipides donne environ 9,3 Kcal).

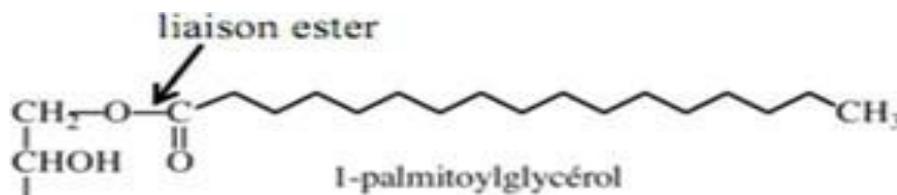
3-2-Rôle structural : les acides gras servent à la synthèse des lipides, notamment les phospholipides qui forment les membranes autour des cellules et des organelles. La composition en acides gras de ces phospholipides donne aux membranes des propriétés physiques particulières (élasticité, viscosité). Ils jouent le rôle de protection à la surface des cellules, des tissus (constituant membranaire).

3-3-Rôle de messenger : les acides gras sont les précurseurs de plusieurs messagers intra et extracellulaires. Par exemple, l'acide arachidonique est le précurseur des eïcosanoïdes, hormones intervenant dans l'inflammation, la coagulation sanguine, etc. 4. Rôle de transporteur : Les lipides jouent le rôle de transporteur des vitamines liposolubles (A, D, E, K) par contre les acides gras sont transportés par l'albumine.

LIPIDES SIMPLES OU HOMOLIPIDES

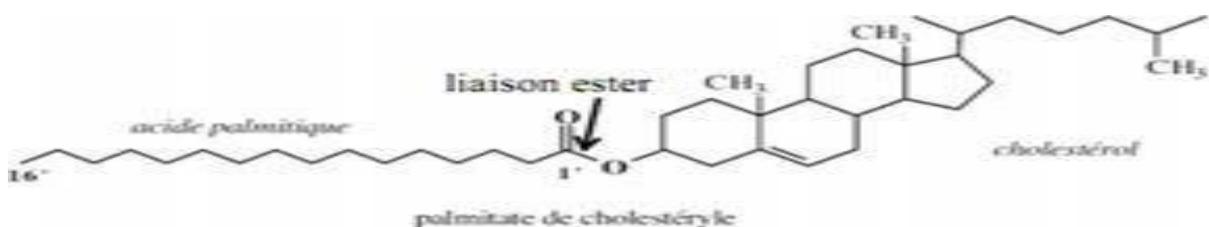
Les lipides simples ont pour composition élémentaire C, H, O. Ils comprennent les acides gras et les esters d'acides gras où l'alcool peut être de trois types :

➤ Les glycérides (mono-, di-, tri-) = esters de glycérol : ce sont des esters d'acides gras et de glycérol. Le glycérol : est un trialcool qui présente 3 possibilités d'estérification.



➤ Les cérides = esters d'alcool gras : Ils sont les principaux constituants des cires animales, végétales et bactériennes, d'où leur nom. Ce sont des monoesters d'acides gras et d'alcools aliphatiques à longue chaîne.

➤ Les stérides = esters de stérol : Ce sont des esters d'acides gras et d'alcools (les stérols). Les stérols constituent une large famille de composés à fonction biochimique et hormonale variée. Le cholestérol est le représentant le plus important des stérols chez les animaux supérieurs tant quantitativement qu'en raison des dérivés auxquels il donne naissance (hormones stéroïdes, acides biliaires et les vitamines).



LES LIPIDES COMPLEXES

Ces Hétéropeptides contiennent du phosphore (P), de l'azote (N) ou du soufre (S). Ils sont formés d'un alcool qui fixe un acide gras et/ou d'autres composés. On peut les classer en fonction de l'alcool utilisé :

- soit le **glycérol**: ce sont des glycérolipides complexes, qui regroupent:
 - Les glycérophospholipides (P) et -Les glycéroglycolipides (sucres),
- soit une **base sphingoïde** = un alcool aminé à longue chaîne: ce sont les sphingolipides.

A- Phospholipides (Glycérophospholipides).

1-Définition :

Ce sont des glycérolipides dont un des carbones du glycérol porte non un acide gras, mais un acide phosphorique, ce qui donne un **acide phosphatidique**.

2-La structure :

Le groupement phosphoryle peut être porté soit par le carbone α , soit par le carbone β , donc les acides phosphatidiques sont construit à partir du sn-glycérol 3 phosphate. La fonction acide du phosphoryle peut être elle-même estérifiée, par diverses molécules alcooliques : choline, éthanolamine, sérine. Les phospholipides sont des intermédiaires importants du métabolisme (**Fig.20**).

L'alcool peut être un alcool aminé ou un polyol sans azote :

- ✓ **les alcools aminés** peuvent être, la sérine ou son produit de décarboxylation= l'éthanolamine et le dérivé N-triméthyle de ce dernier= la choline
- ✓ **les polyols non azotés** comme le glycérol, un stéréoisomère de l'inositol= le myoinositol ou de ses ester-phosphates.

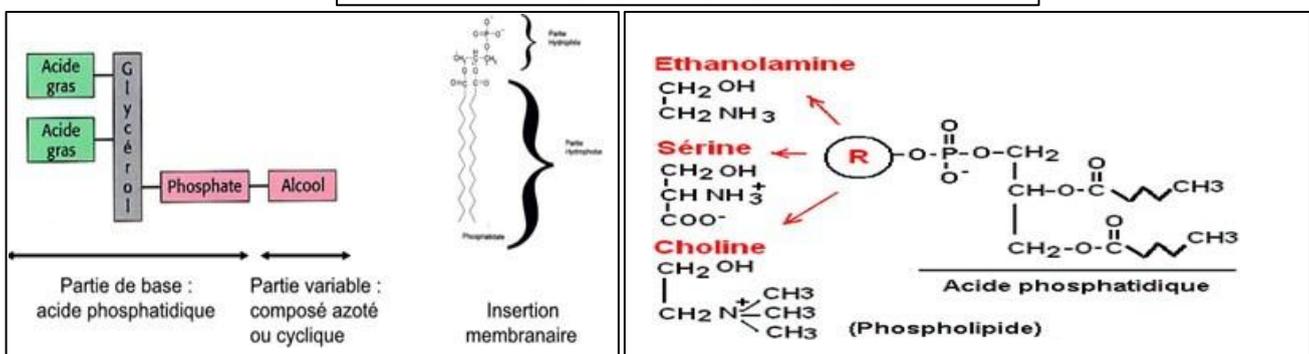
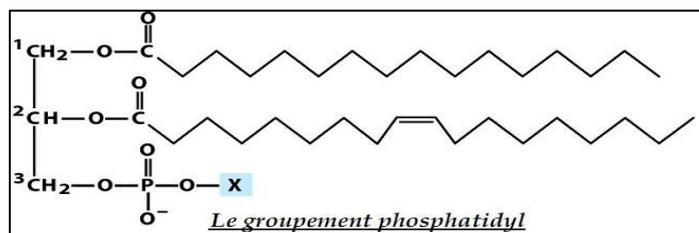
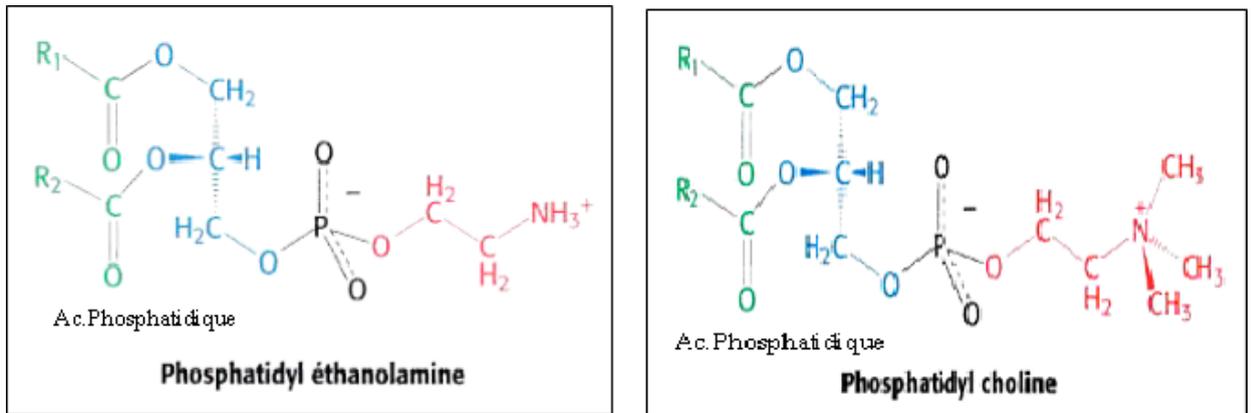


Figure 20 : Structure des glycérophospholipides.

Exemple :



3-Classification des glycérophospholipides :

Ils sont habituellement classés en fonction du deuxième alcool qui leur confère des propriétés Spécifiques(Fig.21) :

a- Les dérivés d'alcool aminé : Phosphatidylsérine (céphalines), Phosphatidyléthanolamine (céphalines) et Phosphatidylcholine (lécithines)

b- Les dérivés de polyols non azotés : Phosphatidylinositol (inositides), Phosphatidylglycérol et Biphosphatidylglycérol

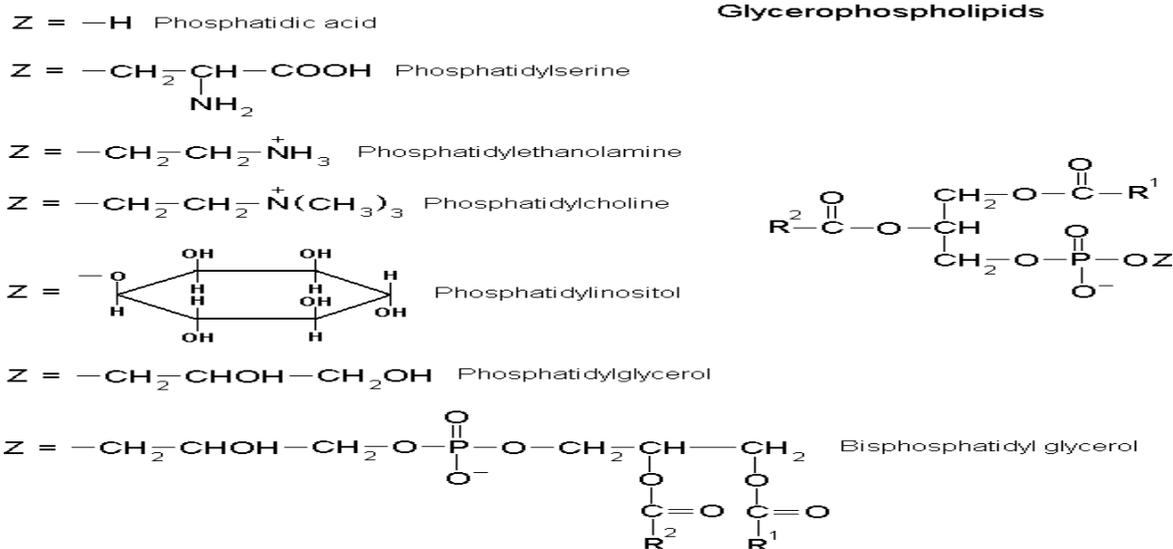


Figure 21 : Classification des glycérophospholipides.

4-Rôles :

- Une molécule ayant deux charges opposées à des propriétés tensioactives, c'est-à-dire qu'elle permet de stabiliser des émulsions.
- Ce sont les phospholipides de la membrane plasmique. Alors que les acides gras constituent la partie hydrophobe, l'acide phosphorique constitue la partie hydrophile. Ces acides gras s'arrangent naturellement en structure feuilletée bicouche lipidique.

4-1.Principaux Rôles

Tableau 2 : Les différents rôles des Glycérophospholipides

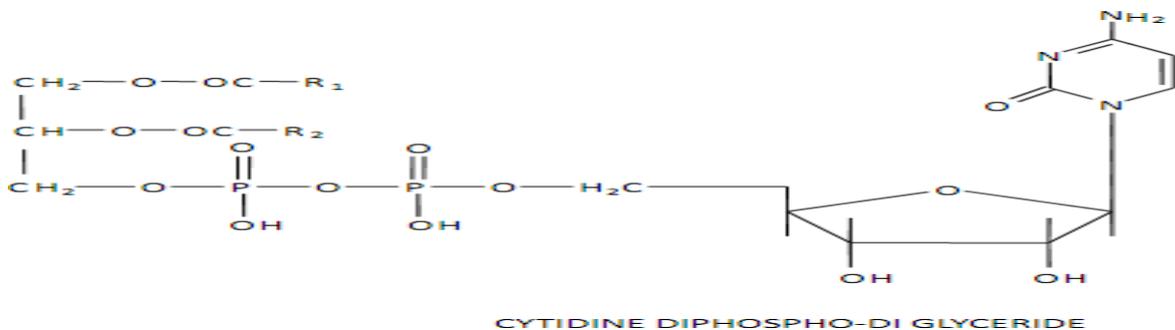
Glycérophospholipides	Localisation	Rôles biologiques
Phosphatidylcholines = Lécithine	Feuillet externe Membranaire	-Réserve de choline (transmission nerveuse) -Réserve de groupements méthyles -Rôle de surfactant pulmonaire
Phosphatidyl-éthanolamine	Feuillet interne membranaire	-La fusion membranaire et de démontage dans l'anneau contractile au cours de la cytokinèse dans la division cellulaire. -Il régule la courbure de la membrane.
Phosphatidylsérine	Feuillet interne membranaire Gaine de myéline (tissus nerveux)	- son apparition sur le versant extracellulaire constitue un signal d'apoptose cellulaire (mort cellulaire programmée).
Phosphatidylinositol	Phospholipides important du cerveau	-Source de IP3 (inositol 1,4,5 triphosphate) après action de PLC , IP3 est un second messager important dans la transmission de signaux cellulaires
Les Plasmalogènes	-Tissus à hautes densité respiratoires (système nerveux, muscle cardiaque) -Dans les macrophages -Dans les cellules de la glande thyroïde	Protègent les membranes des cellules contre le stress oxydatif en piégeant les espèces réactives de l'oxygène
Les Cardiolipines	Membranes mitochondriales	Responsable de la forte imperméabilité de la membrane interne aux protons au niveau de la mitochondrie (Synthèse d'ATP), la stabilité de TOM (Translocase de la Membrane externe) au niveau de la mitochondrie.

5-Biosynthèdes des Glycérophospholipides :

Il existe deux voies de synthèse : voie du CDP diglyceride et voie du CDP choline.

5-1-Voie du CDP diglycéride :

a) L'acide phosphatidique est condensé avec le CTP, pour fournir le cytidinediphosphatediglycérider précurseur commun à tous les phosphoglycérider

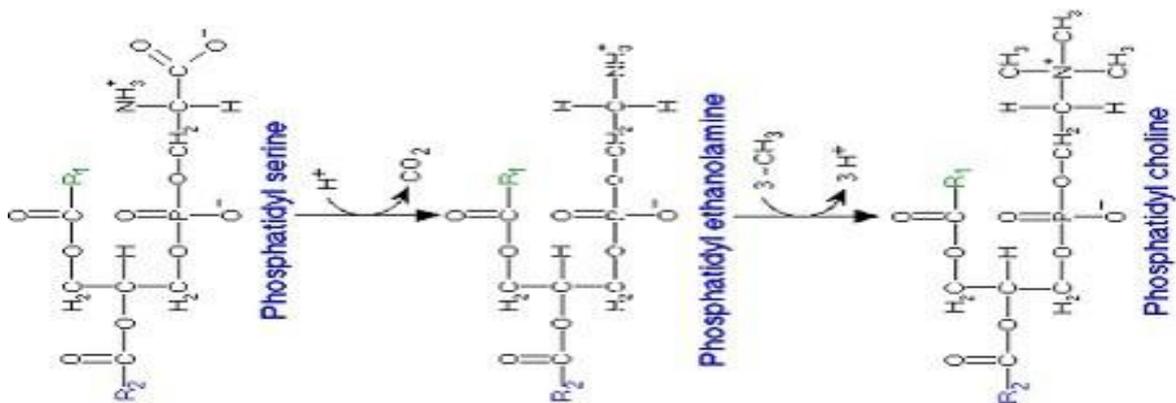


b)Le CDP diglycéride peut être considéré comme un transporteur de l'acide phosphatidique pour la biosynthèse des différents phospholipides en réagissant avec l'inositol, le glycérol phosphate et la sérine:

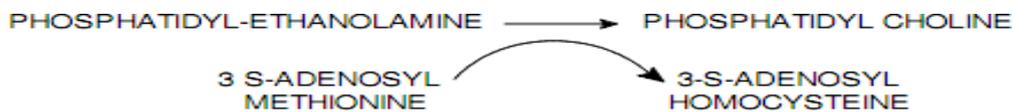
- **CDP DIGLYCERIDE + INOSITOL → PHOSPHATIDYL-INOSITOL + CMP**
- **CDP DIGLYCERIDE + SERINE → PHOSPHATIDYL-SERINE + CMP**
- **CDP DIGLYCERIDE + GLYCEROL-PHOSPHATE → PHOSPHATIDYL-GLYCEROL PHOSPHATE + CMP**

Chacun de ces glycérophospholipides peut donner d'autres glycérophospholipides :

- Le phosphatidylinositol est le précurseur de 2 dérivés : le phosphatidylinositolmonophosphate et le phosphatidylinositoldiphosphate.
- la décarboxylation du résidu sérine de la phosphatidyl sérine donne naissance à une phosphatidyléthanolamine **PHOSPHATIDYL SERINE → PHOSPHATIDYL-ETHANOLAMINE + CO₂**.



- La phosphatidyléthanolamine est elle-même le précurseur de la phosphatidyl choline :



- Le phosphatidylglycerol phosphate conduit au cardiolipide :
 - 1- Formation du phosphatidyl glycérol (sous l'action d'une phosphatase) :
phosphatidylglycérol phosphate → phosphatidylglycérol + Phosphate
 - 2- Condensation avec une molécule de CDP diglycérade **phosphatidylglycérol + CDP diglycérade → cardiolipide + CMP**

5-2-Voie du CDP choline :

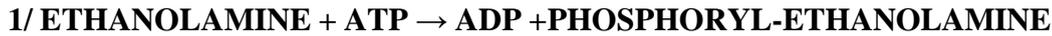
Cette voie permet l'utilisation directe de la choline [apport alimentaire ou dégradation des phospholipides endogènes (récupération)].

Etape 1: **CHOLINE + ATP → ADP + PHOSPHORYL CHOLINE**

Etape 2: **CTP + PHOSPHORYL CHOLINE → CDP-CHOLINE + PP**

Etape 3: **CDP CHOLINE + 1.2 DIGLYCERIDE → PHOSPHATIDYL-CHOLINE + CMP**

Des réactions tout à fait semblables, conduisent auxcéphalines (phosphatidyléthanolamine)



➤ Résumé général de la biosynthèse des Glycérophospholipides

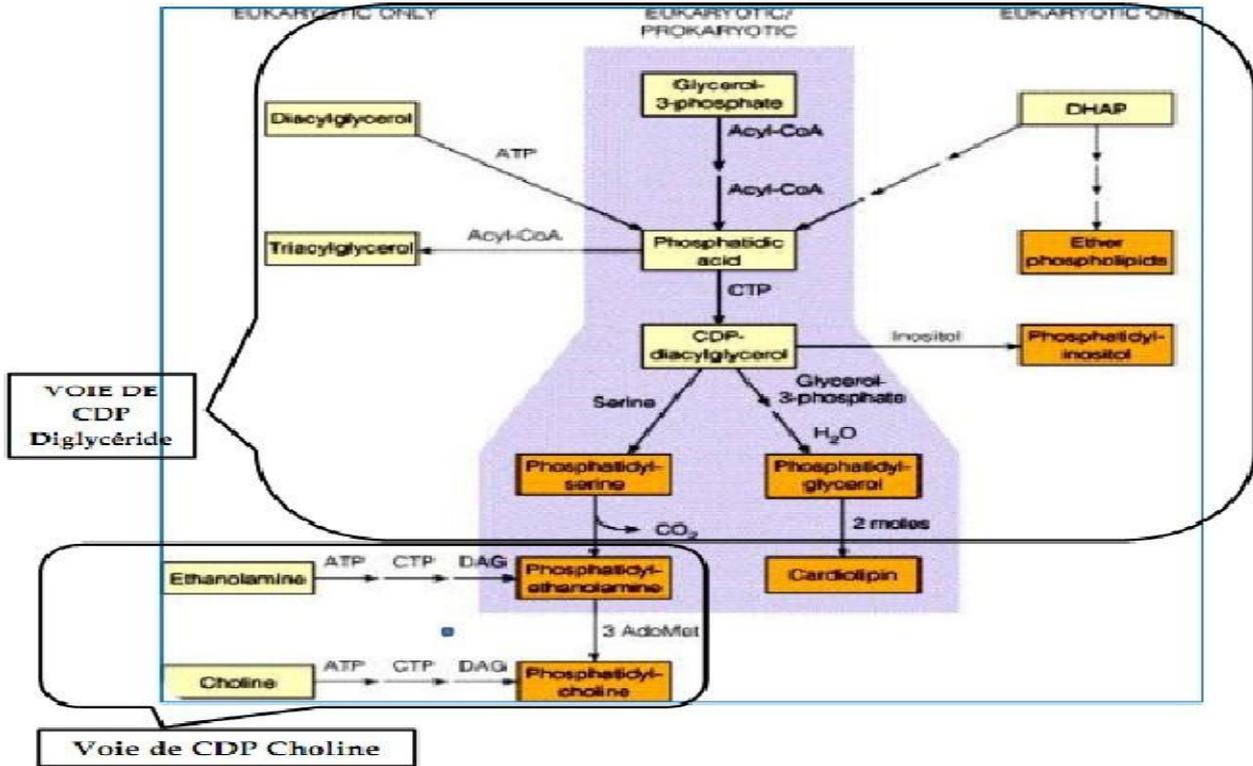
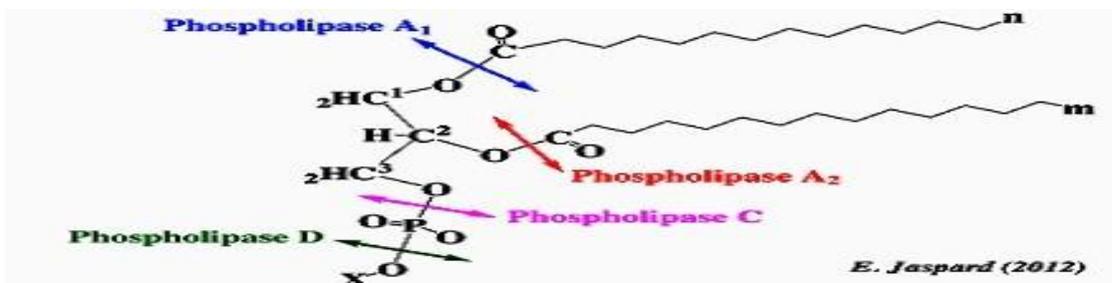


Figure 22 : Schéma général de la biosynthèse des glycérophospholipides.

6- Catabolisme: L'hydrolyse enzymatique est réalisée par les phospholipases spécifiques des différentes liaisons esters : PLA1 pour la liaison ester sur le carbone 1, PLA2 sur le carbone 2 et PLC et PLD pour la liaison ester avec l'acide phosphorique.

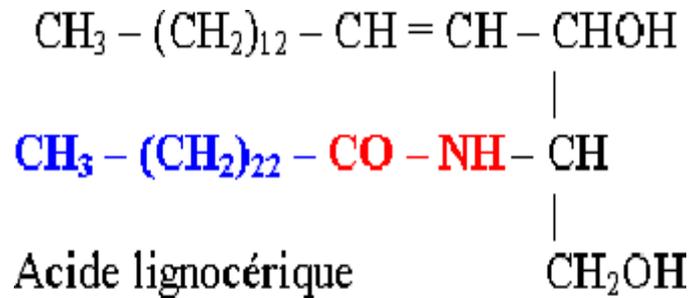
Les sites d'hydrolyse des glycérophospholipides par les phospholipase



- La PLA 2 libère le lysophospholipide+ acide gras
- La PLC libère le Diacylglycerol + alcool
- La PLD libère l'acide phosphatidique + alcool amine

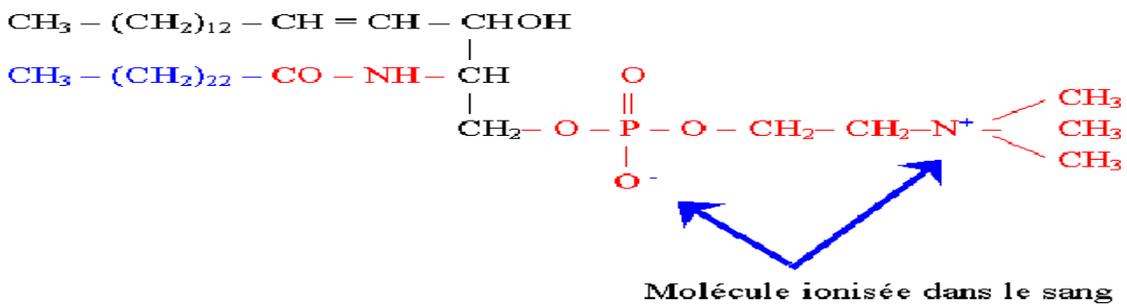
On distingue :

A- **Céramide ou acylsphingosine** : Le plus simple des sphingolipides est céramide ou acylsphingosine et l'acide gras est saturé et à longue chaîne.



B - Les Sphingomyélines

Elles sont constituées de l'association Sphingosine + AG + Phosphorylcholine.

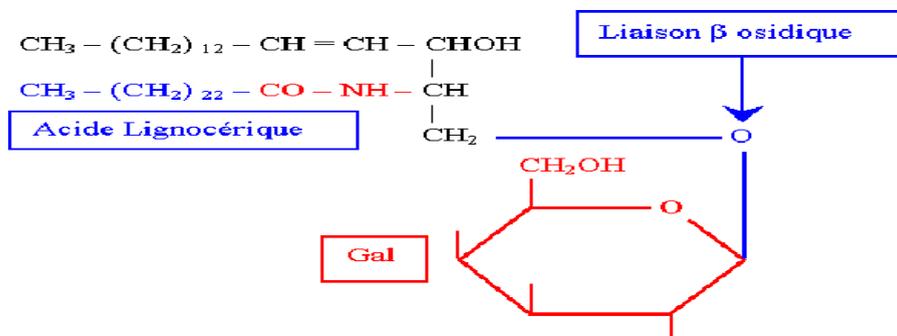


- On les trouve dans le tissu nerveux (graines de myéline) et dans les membranes.
- La déficience en sphingomyélinase entraîne leur accumulation dans le cerveau, la rate et le foie.

C- Les glycosphingolipides

C-1- Cérébrogalactosides ou Galactosylcéramides

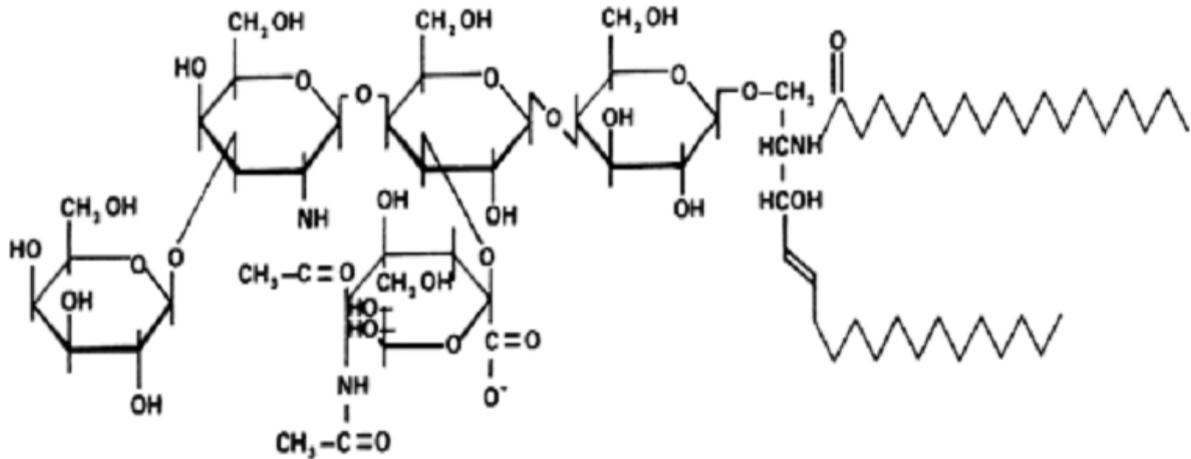
Ce sont des glycolipides neutres constitués de : Sphingosine + AG + βD Galactose.



- Le galactose est uni à l'alcool primaire de la sphingosine par une liaison β osidique.

C-2. Les Gangliosides ou Oligosylcéramides

Ce sont les glycolipides acides constitués de :Sphingosine + AG + chaîne de plusieurs oses et dérivés d'oses (NANA) (=oligoside), Ils sont abondants dans les ganglions d'où leur nom. Ces oligosides sont présents sur la face externe de la membrane plasmique. Ils sont spécifiques, donc reconnus par des protéines (toxines bactériennes, lectines).Exemple : antigènes des groupes sanguins.



4-Rôle des sphingolipides :

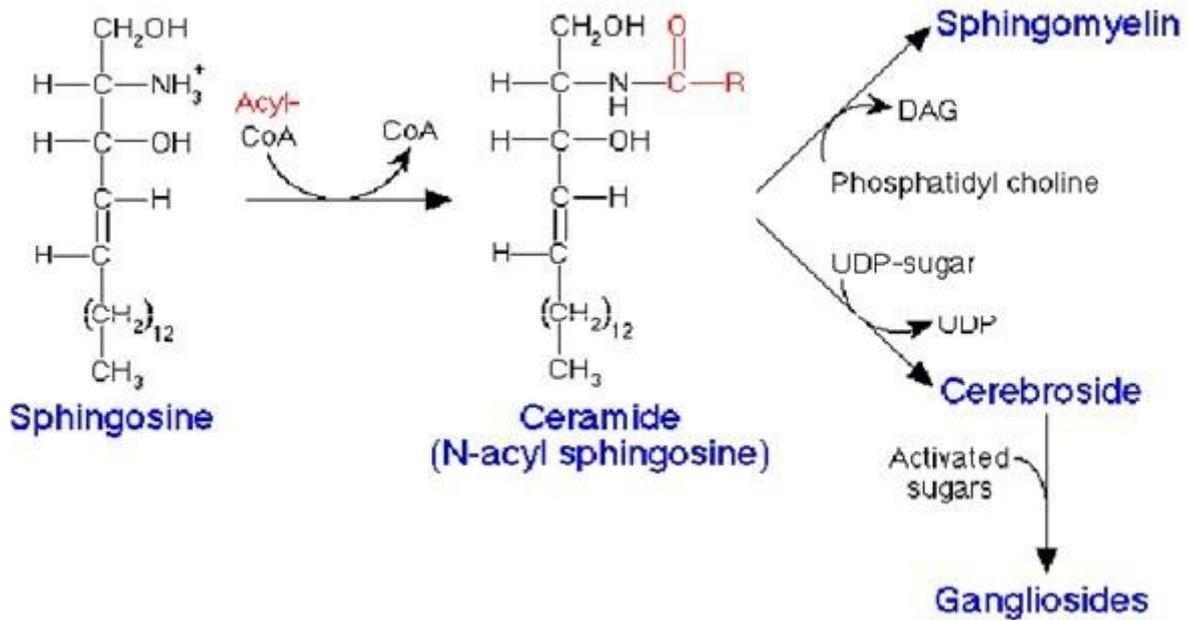
- Constituant des membranes.
- Signalisation intracellulaire.
- Composant du système nerveux.
- Antigéniques : susceptibles de donné lieu à l'apparition d'anticorps.

4- Caractéristique et localisation des glycosphingolipides(GSL) :

Tableau 3 : Caractéristique des glycosphingolipides

Famille	charges	caractéristiques	Localisation
A. GLS neutres Monoglycosylcéramide -Galactosylcéramide	Neutres	Ose = Galactose GalCer	Tissu nerveux , cerveau substance blanche Myéline
- Glucosylcéramide		Ose = Glucose GluCer	Tissu extraneurveux :Epithélium - Lipides majeur de la peau (Précurseurs des céramides) -Hématies - Intestin , vessie
-Oligoglycosyl- céramide (lactosylceramides)		n > 1 à 20 saccharides	Membrane plasmique -stabilise - active certains récepteurs (insuline, facteurs de croissance) - liaison spécifique à certaines bactéries - marqueurs d'auto-immunité

6-Biosynthèse des sphingolipides et Sphingolipidoses.



<p>Biosynthèse du Céramide</p> <p>Sérine, + palmitoyl-CoA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sérine palmitoyltransférase <p>3-cétosphinganine.</p> <p>+ NADPH+H⁺ • 3-cétosphinganine réductase</p> <p>Dihydrosphingosine</p> <p>+ l'acyl-CoA, • Dihydrosphingosine N-acyltransférase</p> <p>Dihydrocéramide</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dihydrocéramide désaturase <p>Céramide + 2H</p>	<p>Biosynthèse de la sphingomyéline</p> <p>céramide + phosphatidylcholine</p> <ul style="list-style-type: none"> • sphingomyéline + diacylglycérol. <p>Biosynthèse du Cérébroside .</p> <p>céramide + UDPGal • Cérébroside</p>
--	---

7-Catabolisme des sphingolipides et Sphingolipidoses.

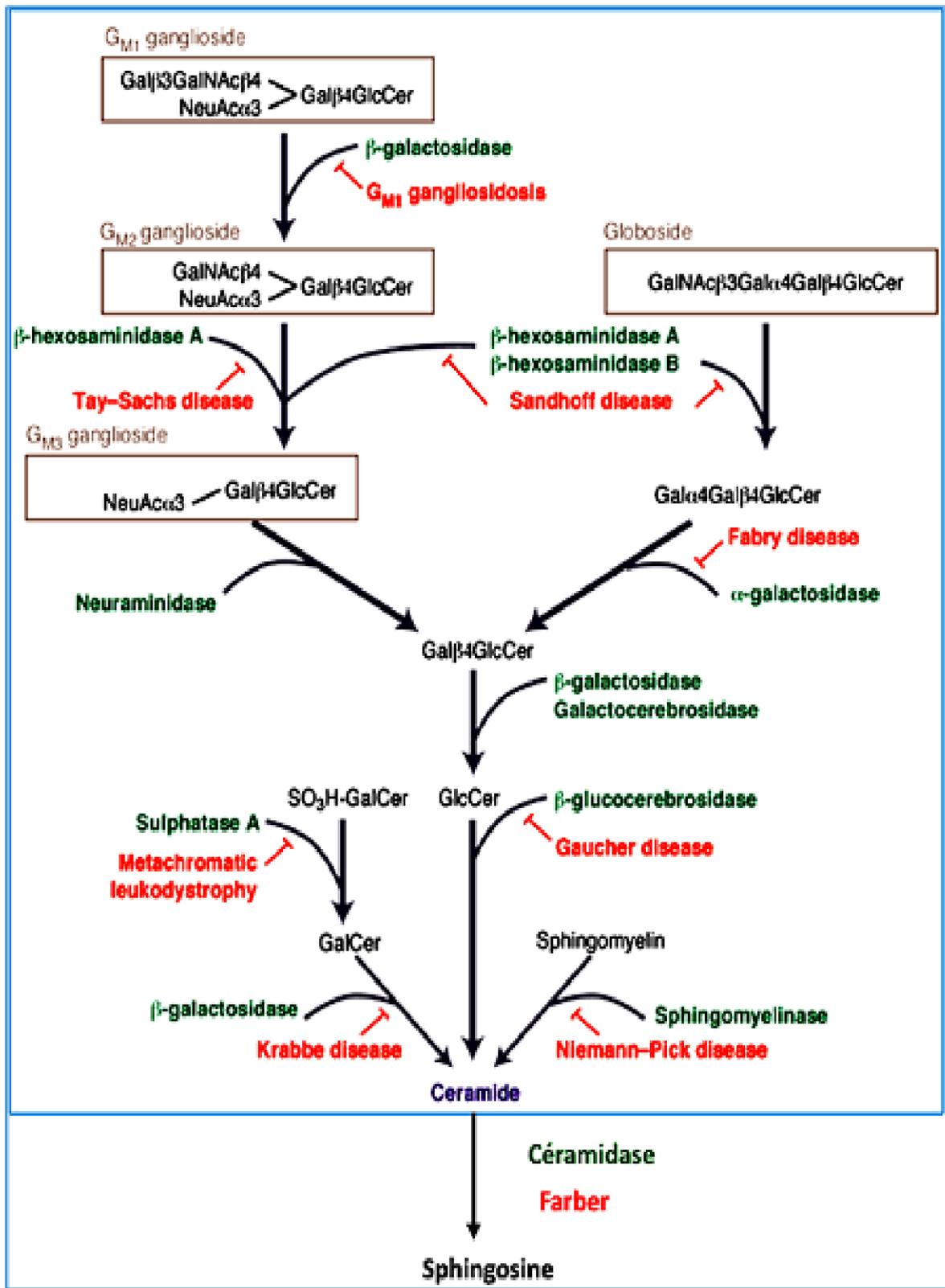


Figure 24: Catabolisme des sphingolipides et Sphingolipidoses.

C- Les composés à caractère lipidique

1- Définition :

Ces lipides ne sont ni des acides gras, ni le résultat de l'association entre un acide gras et un alcool insaponifiables. Ils possèdent donc le caractère commun à tous les lipides: l'insolubilité en milieu aqueux. Il existe 2 familles chimiquement distinctes:

a- les isoprénoïdes, avec - les **terpènes** et - les **dérivés des stéroïls**.

b- les éicosanoïdes, dérivés de l'acide gras polyinsaturé : l'acide arachidonique.

*** LES ISOPRÉNOÏDES OU LIPIDES ISOPRÉNIQUES**

Ils constituent une famille de molécules dérivées d'un hydrocarbure ramifié à doubles liaisons: l'isoprène (C₅H₈) = 2-méthyl 1,3-butadiène.

2- Structure :

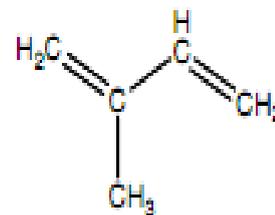
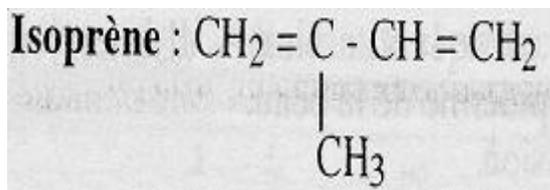
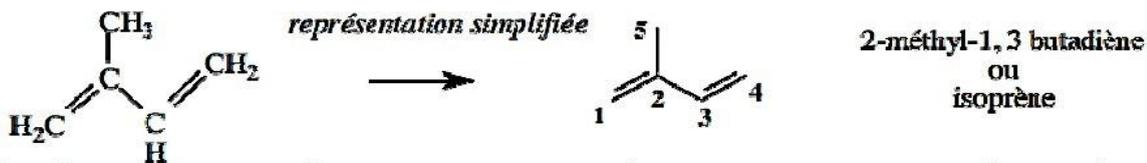


Figure 25 : Structure d'isoprène.

Un lipide isoprénique est un polymère d'unités isopréniques.

A- Les terpènes et composés terpéniques :

Un grand nombre de composés naturels de la famille des terpènes viennent des polymérisations et de remaniements d'un même précurseur l'isoprène, carbure diénique à 5 atomes de carbone :



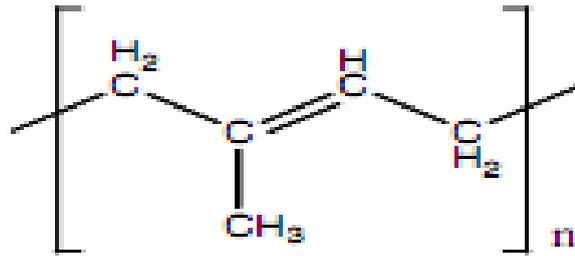
Les terpènes courants sont le limonène (C₁₀H₁₆) et le citral (les deux présents dans le citron), le camphre, le pinène (pin), l'eugénol (clou de girofle), l'anéthol (fenouil, anis), le thymol (thym, origan), le géraniol (roses) et le menthol.

C₁₀ : dérivés monoterpéniques : eucalyptol, linalol,

C₂₀ : dérivés diterpéniques : vitamines A, E, K

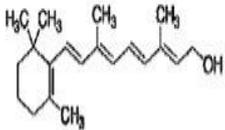
C₃₀ : dérivés triterpéniques ou stéroïdes : cholestérol, acides biliaires, hormones stéroïdiennes, vitamine

C₄₀ : dérivés tétraterpéniques : caroténoïdes

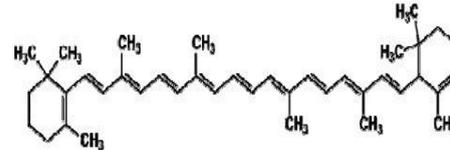


n = 4 : les diterpènes (ex : vitamine A)

n = 8 : les tétraterpènes



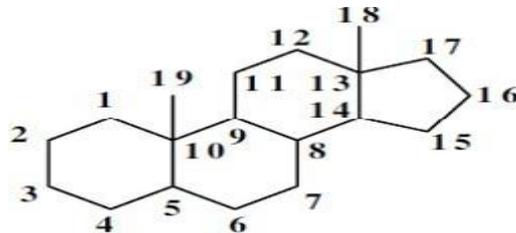
Rétinol (une des formes majeures de la vitamine A, dérive de la coupure de β -carotène)



β -carotène

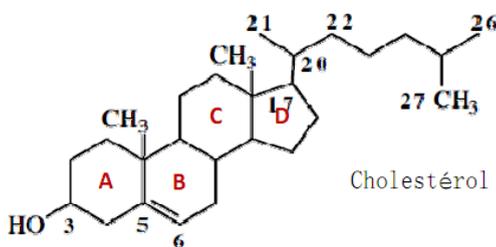
B-Les stérols et composés stéroïdes :

Leur squelette est un carbure tétracyclique : le stérane.

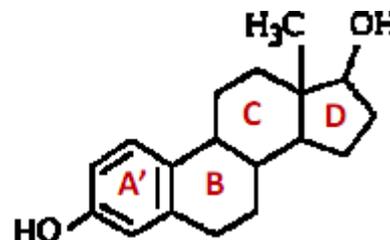


Les stéroïdes diffèrent les uns des autres par la nature et la position des différents groupements portés par ce noyau, par la présence éventuelle de doubles liaisons et leur nombre. Les stéroïdes naturels sont répartis en quatre séries :

- les stérols
- les acides et sels biliaires
- les stéroïdes hormonaux
- les vitamines D et autres dérivés



Œstradiol (19C)



3- Rôle :

Il intervient dans la structure de nombreux composés biologiques.

Chapitre III

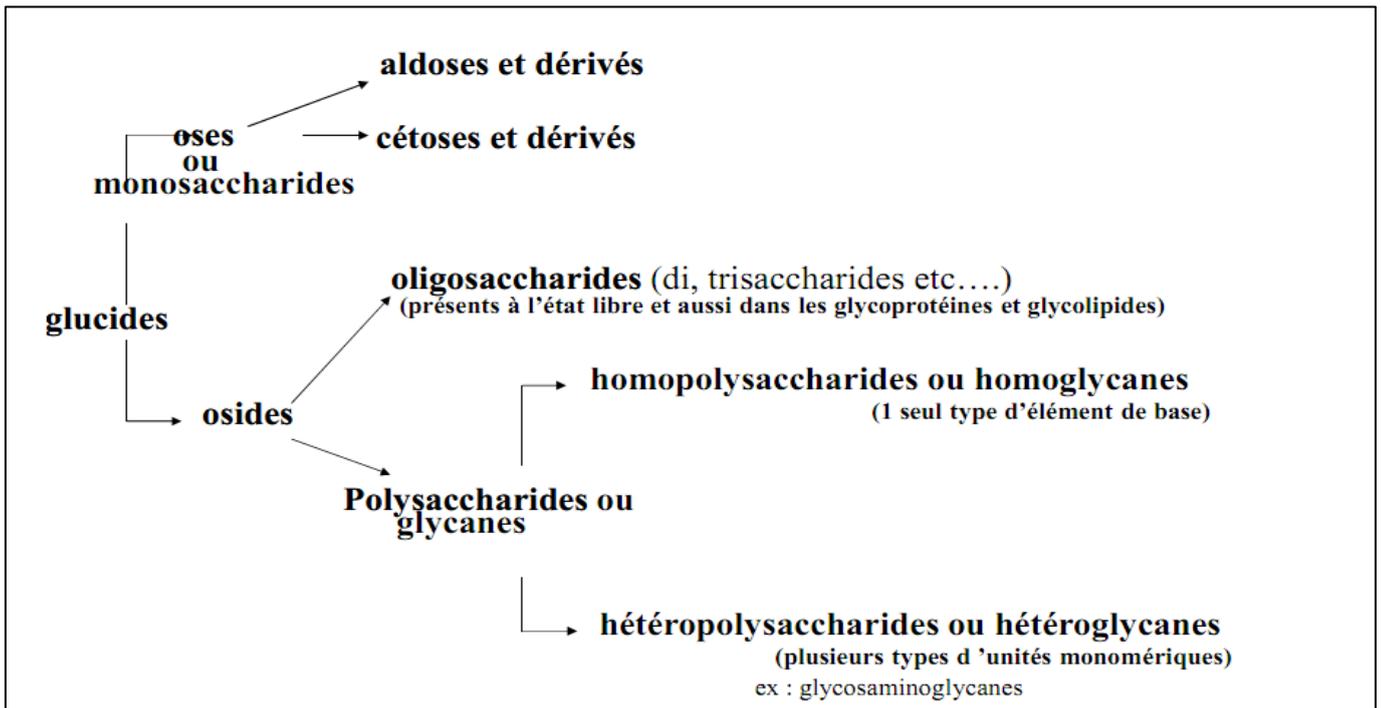
Les Glucides

1. Présentation

Les glucides ou saccharides constituent une classe de produits naturels constitués d'atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Dans les végétaux, les glucides sont synthétisés lors de la photosynthèse à la lumière et grâce à la chlorophylle.

2. Classification des glucides :

En se basant sur les critères de classification des glucides, on peut distinguer deux principales classes: les oses et les osides.



3. Le rôle des glucides dans l'organisme :

Le principal rôle des glucides est énergétique. Les glucides apportés par l'alimentation sont dégradés plus ou moins rapidement en glucose qui servira directement à la fourniture d'énergie ou sera stocké sous forme de glycogène dans le foie et les muscles. Certains glucides possèdent également un rôle structurel et interviennent comme élément de soutien ou de protection (cellulose par ex).

4. Polysaccharide :

Sont des polymères de la famille des glucides constitués de plusieurs oses liés entre eux par des liaisons osidiques. On distingue deux catégories de polysaccharides :

- **Les homopolysaccharides** : constitués du même monosaccharide. Tel que : l'amidon, le glycogène, cellulose...
- **Les hétéropolysaccharides** : formés de différents monosaccharides. On a comme exemple : Les pectines, L'agar-agar...

A. Les Homopolysaccharides (Glycanes) :

Ce sont des polysaccharides (polymères d'oses) composé exclusivement de monomère de glucose qui sont représentés par l'amidon, le glycogène et la cellulose. Ils peuvent être linéaires (amylose, cellulose, chitine) ou ramifiés (amylopectine, glycogène) qui sont subdivisés en 2 catégories par rapport à leur fonction : les polyosides de réserves et les polyosides de structures.

Nom	Structure	Monomère	Liaison	Type
Amylose	Linéaire	D-Glcp	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Glucane
Cellulose	Linéaire	D-Glcp	$\beta 1 \rightarrow 4$	Glucane
Chitine	Linéaire	D-GlcN(Ac)p	$\beta 1 \rightarrow 4$	Chitosane
Amylopectine	Ramifiée	D-Glcp	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Glucane
Glycogène	Ramifiée	D-Glcp	$\alpha 1 \rightarrow 4$	Glucane

A.1. Polysaccharides de réserve :

a. L'amidon : L'amidon est la principale réserve glucidique des végétaux et l'aliment glucidique le plus important pour l'homme. Il est composé de deux substances : alpha amylose (20% de l'amidon) et d'amylopectine (80% de l'amidon).

✓ **Structure de l'amidon**

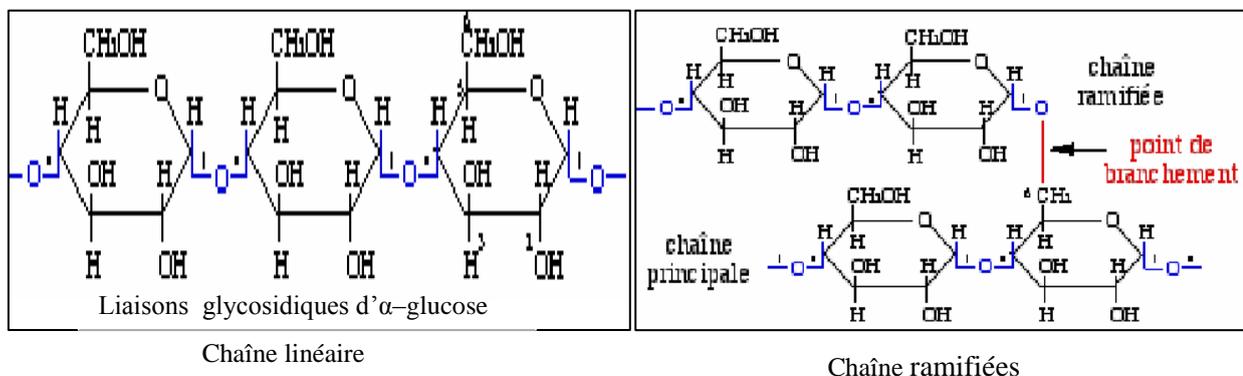
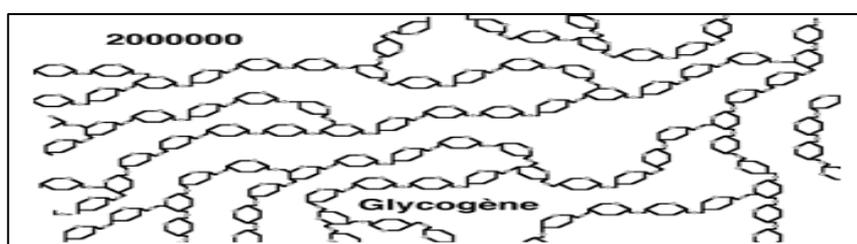


Figure 26 : Structure de l'amidon.

b. Le glycogène : c'est la forme de stockage du glucose chez les animaux. Abondant chez les Vertébrés (muscles et foie), le glycogène se rencontre également chez certaines bactéries, des algues et les levures.

✓ **structure :** La structure chimique du glycogène est analogue à celle de l'amylopectine, mais sa masse moléculaire est généralement plus élevée.



A.2. Polysaccharides de structure:

a. La cellulose : La cellulose est un composant végétal (universel) important responsable de la structure des parois cellulaires des végétaux.

✓ **structure :**

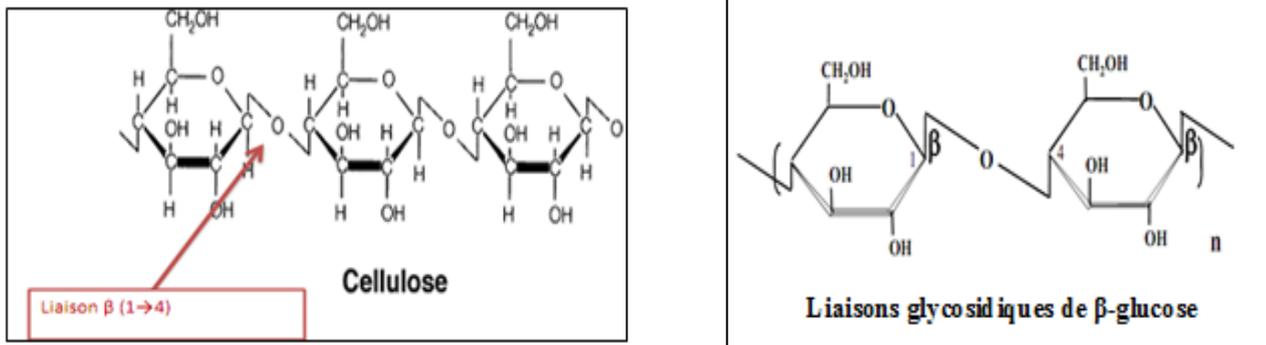


Figure 27: Structure de la cellulose.

b. La Chitine :

La chitine est un polymère linéaire constitué de N-acétyl-D-glucosamine; Les résidus sont liés par la liaison glycosidique β (1-4). C'est un homoglucone structural de l'exosquelette cuticule) des insectes et des crustacés, et des parois cellulaires de la plupart des champignons et de nombreuses algues. La chitinase est une hydrolase commune de défense des plantes contre les attaques par des champignons pathogènes.

✓ **structure :**

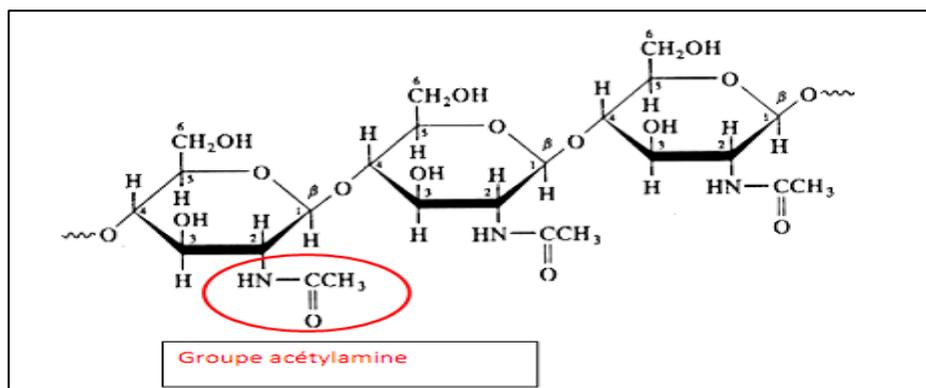
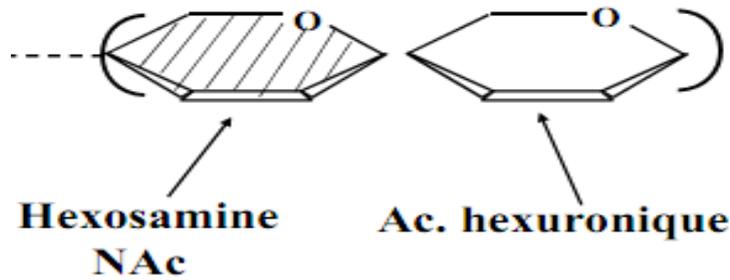


Figure 28: Structure de la chitine.

B- Les Hétéropolysaccharides :

Les glycosaminoglycanes ou mucopolysaccharides(GAG) : ce sont des hétéropolysaccharides de longues chaînes composées d'unités disaccharidiques répétitives, souvent sulfatées : Un des deux résidus glucidiques est toujours un Hexoamine N-acétylée éventuellement sulfaté (N- acétylglucosamine ou N-acétylgalactosamine) et le second est habituellement un acide hexuronique (glucuronique ou iduronique). On en distingue deux types : les GAG de structure et les GAG de sécrétion.

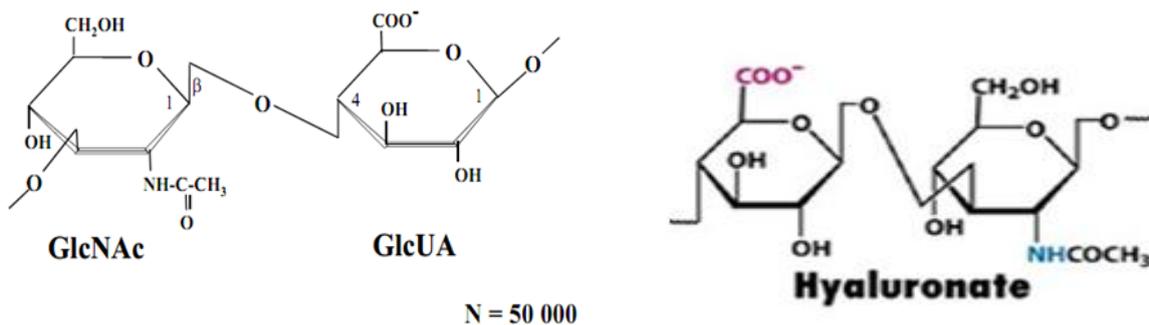
✓ Structure :



B-1-Les GAG de structure :

- Les tissus conjonctifs sont formés de cellules, de formations fibrillaires et de substance fondamentale ou matrice extra cellulaire,
 - La substance fondamentale est impliquée dans la protection, l'organisation, l'assemblage et les transferts intercellulaires l'information.
 - Sa composition chimique comporte les GAG, des protéines, des électrolytes diffusibles et de l'eau
- Il en existe plusieurs, dont les principaux sont:

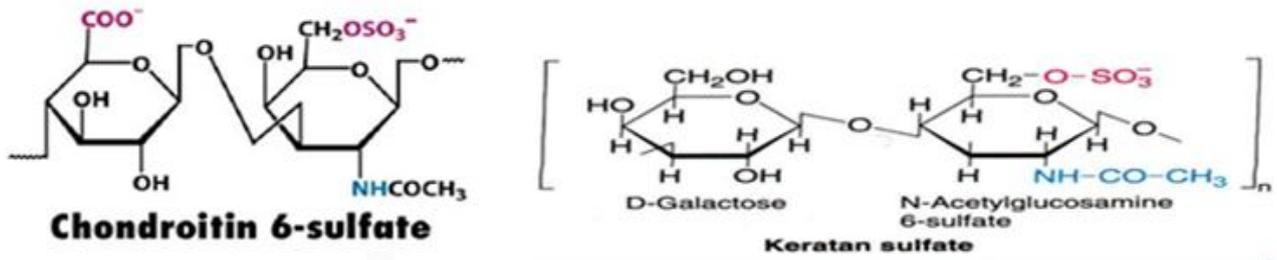
a. Acide hyaluronique : Le plus simple des mucopolysaccharides constitué d'une molécule de N-acétyl-glucosamine β -(1,4) et d'une molécule d'acide glucuronique. il est répartie largement parmi les tissus conjonctifs, épithéliaux et nerveux. On le trouve, par exemple, dans l'humeur vitrée et le liquide synovial. C'est l'un des principaux composants de la matrice extracellulaire.



b. Les chondroïtines (sulfaté) : Constituants majeurs du cartilage, sont constituées de la polycondensation de motifs disaccharidiques : [Acide β D glucuronique + N-acétylgalactosamine] $_n$. Les liaisons sont également β (1-3) dans les motifs et β (1-4) entre les motifs. Elles sont très riches en charges négatives en raison des groupements sulfates et uronates. Elles fixent donc fortement les cations. Les sulfates sont fixés en C4 ou C6 de la galactosamine.

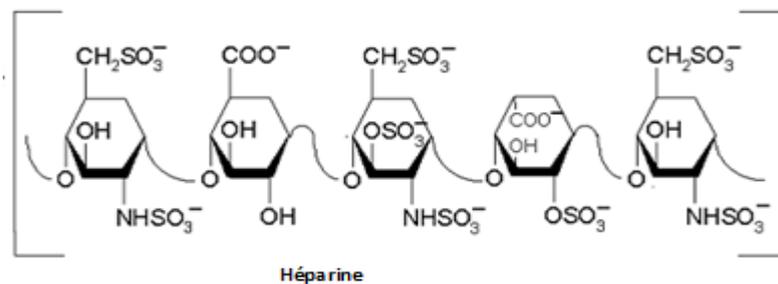
c. Les kératanes (sulfaté) : sont liés entre eux par des liaisons β (1-4) et β (1-3). Cet hétéropolymère ne contient pas d'acide glucuronique, mais du galactose à sa place. Le groupement sulfate, trouve au niveau de la cornée et des os.

✓ structure



B-2-les GAG de sécrétion :

a. **L'héparine (sulfaté)** : L'héparine est un composé contenu dans des granules de sécrétions, des mastocytes et qui donc lors de la libération vont inhiber la coagulation sanguine. Elle est constituée de la polycondensation de : [Acide α D glucuronique + D Glucosamine N-Sulfate] $_n$. Les sulfates sont indispensables à l'activité biologique, ils sont fixés sur l'azote et l'alcool primaire en 6 de la glucosamine mais certaines héparines peuvent en contenir beaucoup plus.



➤ La Structure des glycosaminoglycane :

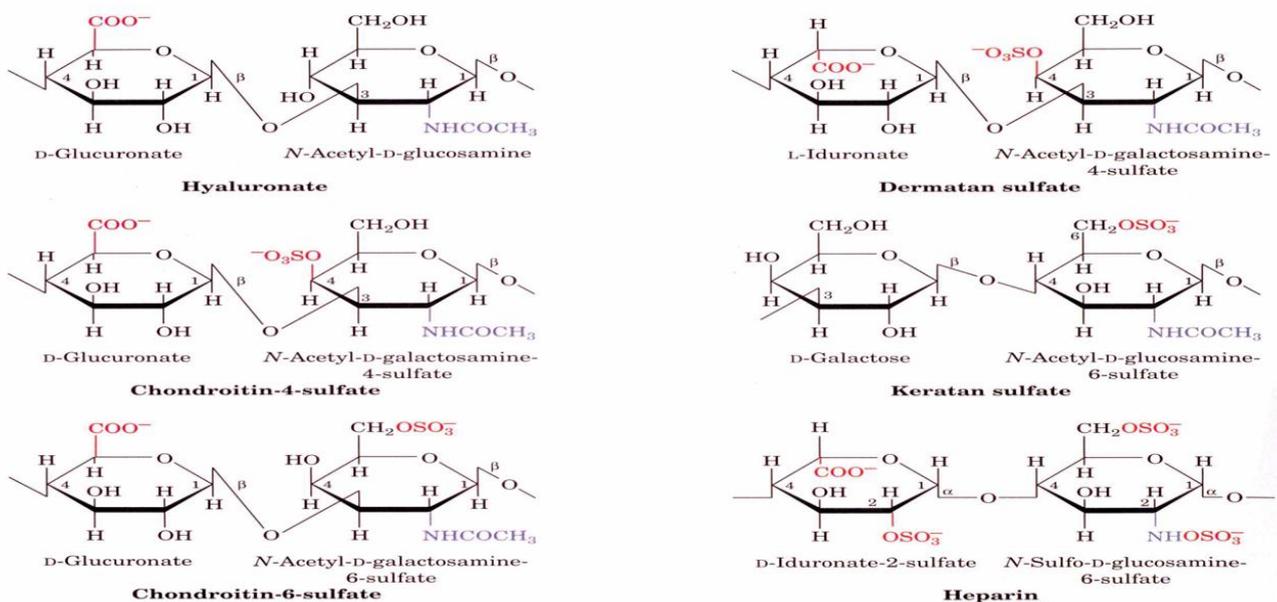


Figure 29: Structure des glycosaminoglycane.

➤ **Fonction des Glycosaminoglycanes :**

GAGs	Fonction
Hyaluronate	- Caractère d'absorption des chocs élevé - Une barrière pour les substances étrangères
Chondroïtin sulfate	- Plus abondante GAG - Généralement associé à des protéines pour former des protéoglycanes - Il absorbe l'eau et protège le tissu des réactions enzymatiques
Héparine sulfates	- Contient de la glucosamine acétylée
Dermatan sulfate	- Peut fonctionner dans la coagulation, la réparation des plaies, la fibrose et l'infection
Kératane sulfate	- Généralement associé avec protéine pour former protéoglycanes, le kératocane,...etc

5. Biosynthèse des glucides :

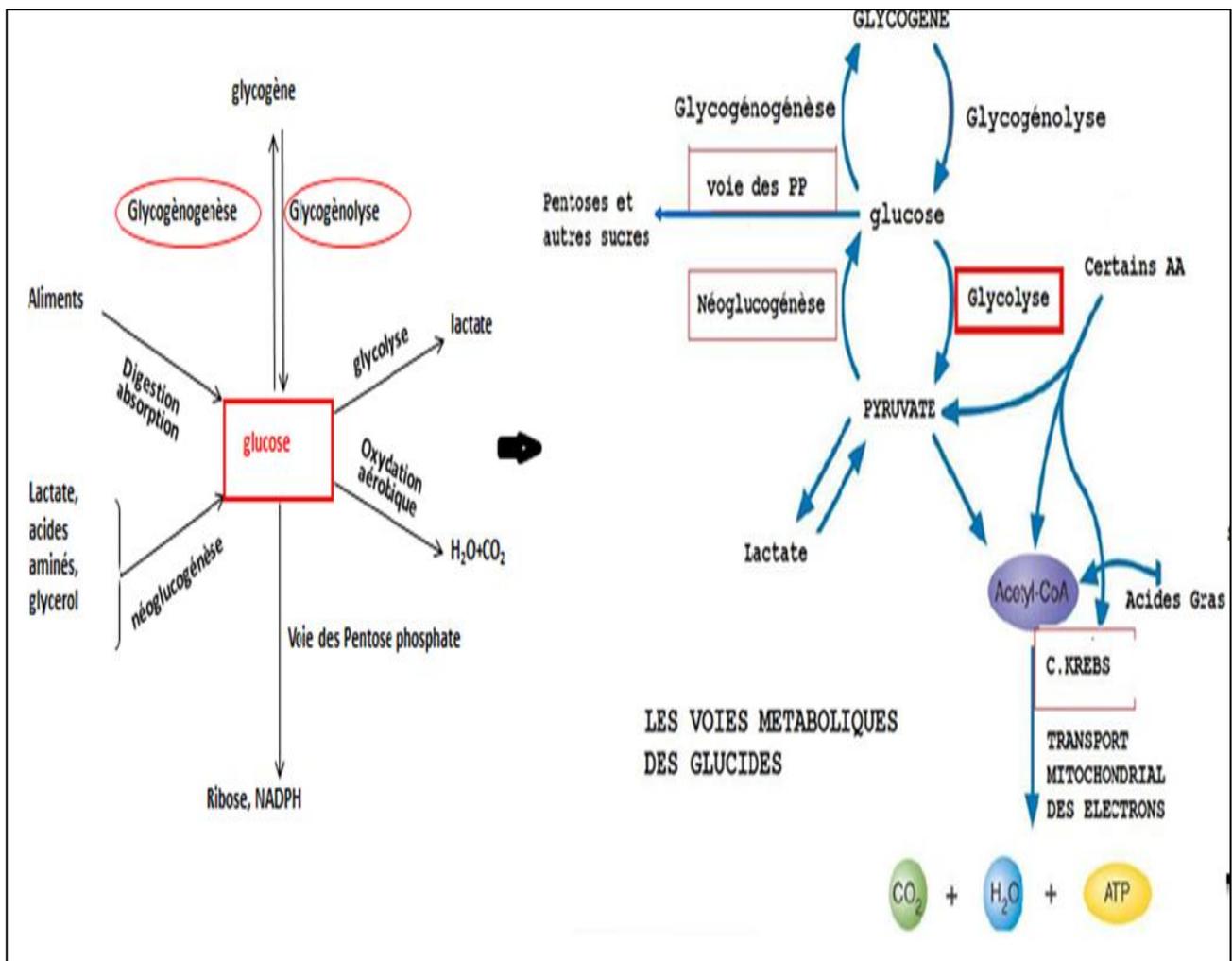


Figure 30: Biosynthèse des glucides.

Chapitre V

Système endocrinien

1-Definition :

Le système endocrinien est l'un de 2 systèmes de régulation de l'organisme, travaillant en association étroite (synergie) avec le système nerveux. Le système endocrinien agit par l'intermédiaire d'hormones, messagers chimiques déversés par les glandes endocrines directement dans le sang et diffusées ensuite à tout l'organisme.

C'est un réseau complexe de glandes et d'organes qui produisent et libèrent des hormones dans le sang pour réguler de nombreuses fonctions corporelles.

Les glandes endocrines sont l'hypophyse, l'épiphyse, la thyroïde, les parathyroïdes et les surrénales. Le thymus est une glande fonctionnant dans l'enfance, ses hormones agissant dans l'initiation du système immunitaire.

Il existe 3 types de glandes :

➤ **Les glandes exocrines** : Déversent leurs sécrétions non hormonales dans une structure tubulaire ou une cavité (= milieu externe).

Ex. : glandes sudoripares, glandes sébacées, glandes salivaires, glandes à mucus du tube digestif, etc.

➤ **Les glandes endocrines** : Synthétisent et libèrent des hormones vers le sang (= milieu intérieur) :

Ex. : Glande hypophyse, la glande thyroïde, les glandes parathyroïdes, les glandes surrénales, etc.

➤ **Les glandes mixtes ou amphicrines** : Sont à la fois exocrines et endocrines. Ex. : le pancréas, les ovaires, les testicules, etc.

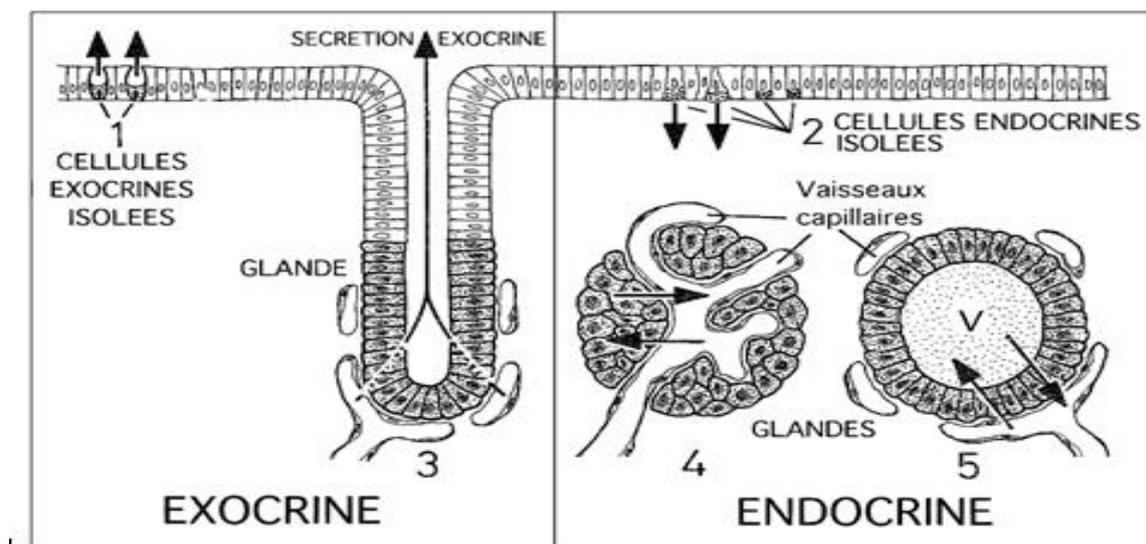


Figure 31 : Les Glandes.

2-Fonctions du système endocrinien :

Le système endocrinien remplit plusieurs fonctions essentielles au bon fonctionnement de l'organisme. Les principales fonctions :

- **Régulation du métabolisme** : Les hormones contrôlent la façon dont le corps utilise et stocke l'énergie.
- **Croissance et développement** : Les hormones influencent la croissance corporelle et le développement des tissus.
- **Réponse au stress** : Le système endocrinien joue un rôle crucial dans la gestion du stress grâce à la libération d'adrénaline et de cortisol.
- **Équilibre hydrique et électrolytique** : Les hormones régulent la rétention d'eau et l'équilibre des minéraux dans le corps.
- **Régulation de l'humeur et du comportement** : Influence l'humeur, le sommeil et le comportement social par des hormones comme la sérotonine et l'ocytocine.
- **Homéostasie** : Contribution à la stabilité interne de l'organisme en ajustant les fonctions physiologiques selon les besoins.
- **Reproduction** : Les hormones sexuelles régulent le cycle menstruel, la grossesse, et la spermatogenèse.

3-Interaction avec le système nerveux :

L'interaction entre le système endocrinien et le système nerveux est essentielle pour le fonctionnement global de l'organisme. Voici les principales façons dont ces deux systèmes interagissent :

3.1. Communication rapide et lente

- **Système nerveux** : Utilise des neurotransmetteurs pour transmettre des signaux rapidement entre les neurones, permettant des réponses instantanées.
- **Système endocrinien** : Utilise des hormones qui circulent dans le sang, produisant des effets plus lents mais durables sur diverses fonctions corporelles.

3.2. Réponse au stress

- **Réaction rapide** : En cas de stress, le système nerveux envoie des signaux au cerveau, qui active l'hypothalamus.

- **Libération d'hormones** : L'hypothalamus stimule l'hypophyse, qui à son tour active les glandes surrénales pour libérer de l'adrénaline et du cortisol, augmentant la vigilance et l'énergie.

3.3. Boucles de rétroaction

- **Rétroaction négative** : Les hormones peuvent inhiber leur propre production. Par exemple, lorsque le taux de cortisol est élevé, il inhibe la libération de CRH par l'hypothalamus et d'ACTH par l'hypophyse.
- **Régulation de l'homéostasie** : Cela aide à maintenir l'équilibre hormonal et physiologique.

3.4. Hypothalamus : un lien central

- L'hypothalamus reçoit des informations nerveuses et régule la libération d'hormones par l'hypophyse, intégrant ainsi des signaux de l'environnement et du corps.

3.5. Influence sur le comportement et les émotions

- Les hormones comme l'ocytocine et la vasopressine, libérées par l'hypophyse, affectent des comportements sociaux et émotionnels, démontrant l'impact des hormones sur la psychologie.

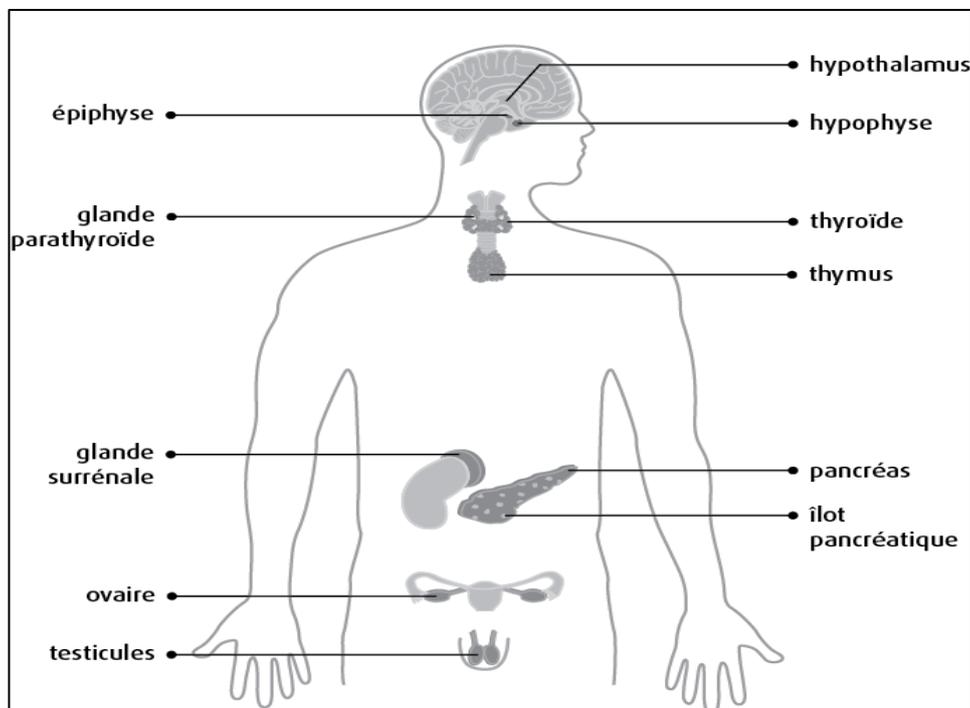


Figure 32 : Système endocrinien.

4- Caractéristiques du système endocrinien

Le système endocrinien possède plusieurs caractéristiques clés qui le distinguent des autres systèmes de régulation dans le corps. Voici quelques-unes de ses caractéristiques principales:

- **Production d'hormones** : Les glandes endocrines produisent et sécrètent des hormones, qui sont des messagers chimiques agissant sur des cibles spécifiques dans le sang.
- **Action à distance** : Contrairement à d'autres systèmes de communication (comme le système nerveux), les hormones peuvent agir sur des organes et tissus éloignés.
- **Régulation à long terme** : Les hormones ont souvent des effets durables et sont impliquées dans des processus chroniques comme la croissance, le métabolisme et la reproduction.
- **Boucles de rétroaction** : Le système utilise des mécanismes de rétroaction, notamment négatifs et positifs, pour réguler la production hormonale et maintenir l'homéostasie.
- **Interconnexion avec d'autres systèmes** : Le système endocrinien interagit avec le système nerveux et d'autres systèmes corporels, assurant une coordination efficace des fonctions physiologiques.
- **Spécificité de l'action** : Les hormones agissent sur des cellules cibles spécifiques, qui possèdent des récepteurs adaptés à ces hormones, ce qui détermine la réponse cellulaire.
- **Variété de glandes** : Comprend plusieurs glandes majeures, telles que l'hypophyse, la thyroïde, les glandes surrénales, le pancréas, etc., chacune ayant des rôles distincts.
- **Influence sur de nombreux processus** : Les hormones régulent divers processus physiologiques, y compris le métabolisme, le développement, l'humeur, la réponse au stress, et bien plus.

5- Cancers du système endocrinien

Les cancers du système endocrinien touchent les glandes endocrines et peuvent varier en type et en gravité au sein des organes et cellules. Ces cancers peuvent entraîner une augmentation des niveaux d'hormones, ce qui peut provoquer divers problèmes. Parmi les cancers du système endocrinien, on trouve :

- Les tumeurs neuroendocrines (TNE)
- Certaines tumeurs cérébrales et de l'hypophyse
- Le cancer de la thyroïde et parathyroïde
- Le cancer du thymus
- Le cancer des glandes surrénales
- Le cancer des îlots pancréatiques

LES HORMONES

1. DEFINITION

Une hormone est une substance libérée dans l'espace extracellulaire ou dans les capillaires de la glande, agissant sur le métabolisme d'autres cellules à distance. L'hormone n'est active que sur certaines cellules (cellules-cibles), ralentissant ou accélérant leurs processus normaux. Une hormone a donc son action soumise à l'activité de base de la cellule-cible. Par exemple, seules les musculaires lisses des vaisseaux sanguins se contractent sous l'effet de l'adrénaline.

2. Classification des hormones

Une hormone peut être polypeptidique (formée de nombreux AA et hydrosoluble) ou stéroïde (formée à partir du cholestérol et liposoluble) qui sont sécrétées par les gonades et les surrénales ou dérivée d'acide amines.

- A. **Les hormones dérivées d'amines**, qui sont constituées d'un seul acide aminé (la tyrosine ou le tryptophane) mais sous une forme dérivée. Exemples : les catécholamines, les H. thyroïdiennes, l'adrénaline et la dopamine.
- B. **Les hormones peptidiques** ; qui sont des chaînes d'acides aminés, donc des protéines, appelées peptides pour les plus courtes. Exemples d'hormones de type protéines : l'insuline, glucagon et l'hormone de croissance.
- C. **Les hormones stéroïdes**, qui sont des stéroïdes dérivés du cholestérol. Les principales sources sont la cortico-surrénale et les gonades. Exemples d'hormones stéroïdes : les œstrogènes, la testostérone et le cortisol.

3. La sécrétion hormonale :

La sécrétion hormonale est le processus par lequel les glandes endocrines libèrent des hormones dans le sang. Elles peuvent être accumulées dans la glande avant d'être libérées dans le sang d'où la fluctuation des concentrations hormonales.

4. Rôle des Hormones:

Les hormones jouent un rôle crucial dans le fonctionnement de l'organisme. On distingue plusieurs catégories de fonctions :

- A. La communication hormonale, par rapport à celle du système nerveux, peut être décrite comme lente, continue et diffuse. Les niveaux d'hormones, analysés en endocrinologie, fournissent ainsi des informations représentatives de divers états physiologiques.

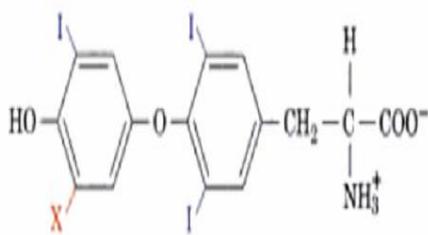
- B. régulent l'activité d'un ou plusieurs organes ou organismes dont elles modifient le comportement et les interactions ainsi que la régulation de la sécrétion hormonale se fait par l'intermédiaire de rétrocontrôle, dit « positif » en cas d'augmentation de sécrétion de l'hormone, et « négatif » s'il induit une diminution de la sécrétion hormonale.
- C. Les hormones interviennent dans de nombreux processus, dont la reproduction, la différenciation cellulaire, l'homéostasie, ou encore la régulation des rythmes chronobiologiques...

5. Origine et effets de quelques hormones :

Tableau4 : Effets des hormones

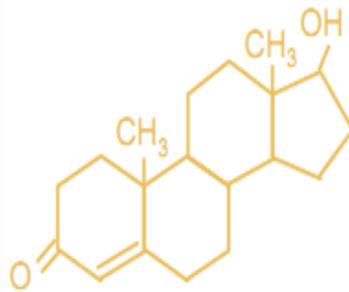
Hormone	origine	Effets principaux
polypeptides		
Corticoliberine CRF	Hypothalamus	Stimule la libération d'ACTH
Gonadoliberine (GnRF)	Hypothalamus	Stimule la libération de FSH et de LH
Thyroliberine TRF	Hypothalamus	Stimule la libération TSH
Somatocrine GRF	Hypothalamus	Stimule la libération de GH
Hormone folliculinisante FSH	Adénohypophyse	Dans les ovaires : stimule le développement folliculaire, l'ovulation et synthèse d'œstrogènes et dans les testicules : stimule la spermatogenèse
Hormone Lutéinisante LH	Adénohypophyse	Dans les ovaires : stimule la maturation des ovocytes et la synthèse folliculaire d'œstrogènes et de progestérone Dans testicule : stimule la synthèse des androgènes
Corticotrophine ACTH	Adénohypophyse	Stimule la libération des glucocorticoïdes
Thyrotrophine TSH	Adénohypophyse	Stimule la libération de T3, T4
Somatotrophine GH	Adénohypophyse	Stimule la croissance et la synthèse des somatomedines
Insuline	pancréas	Diminue la glycémie, stimule la glycogenèse, la synthèse protéique et la lipogenèse
stéroïdes		
Glucocorticoïdes cortisol	corticosurrénale	Modifient le métabolisme de différentes manières, diminuent l'inflammation.
Œstrogènes	Gonades	Maturation et fonctionnement des organes sexuels secondaires, principalement chez la femme
Androgènes (Testosterone)	Gonades	Maturation et fonctionnement des organes sexuels secondaires, principalement chez l'homme
progestines	Ovaire et placenta	Régulation du cycle menstruel et maintien la grossesse
Vitamine D	Alimentaire et lumière solaire	Stimule l'absorption de Ca ²⁺ au niveau de l'intestin, rein et de l'os
Derivesd'acide amines		
Adrénaline	médullosurrénale	Stimule la contraction de certain muscle et en relâche d'autre Augmente la fréquence cardiaque et la pression sanguine
Triiodothyronine T3 et Thyroxine T4	Thyroïde	Stimulation de métabolisme de base

6 .Structure de quelques hormones :

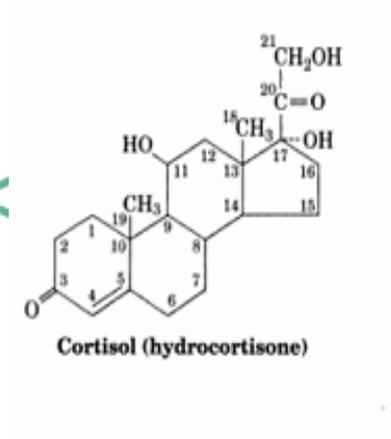


X = H Triiodothyronine (T₃)

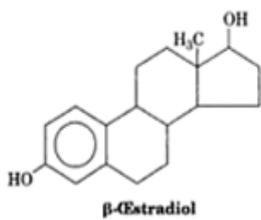
X = I Thyroxine (T₄)



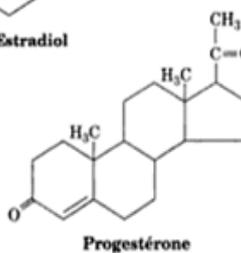
Testostérone



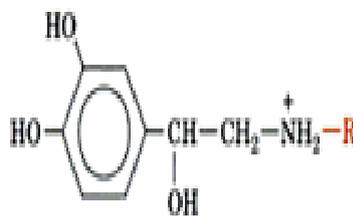
Cortisol (hydrocortisone)



β-Estradiol

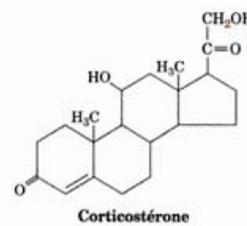


Progéstérone

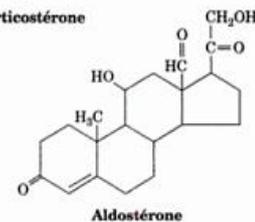


R = H Noradrénaline

R = CH₃ Adrénaline



Corticostérone



Aldostérone

7-Biosynthèse et sécrétion des hormones :

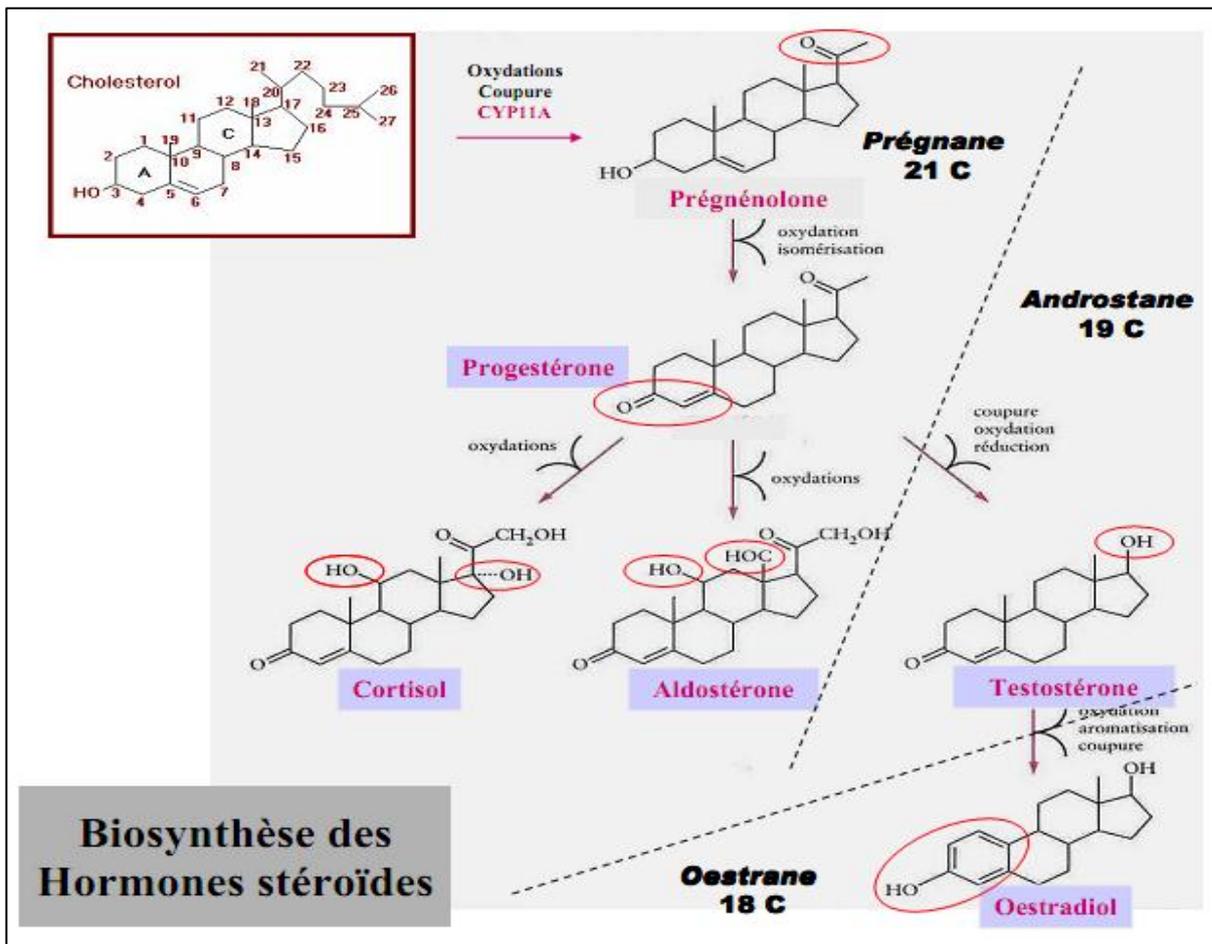
La biosynthèse et la sécrétion des hormones sont des processus cruciaux pour le fonctionnement du système endocrinien. La Biosynthèse des hormones débute avec des substances de base, comme les acides aminés ou le cholestérol. Par exemple :

- Les hormones stéroïdiennes, telles que le cortisol et les œstrogènes, sont dérivées du cholestérol.
- Les hormones peptidiques, comme l'insuline, sont formées à partir de chaînes d'acides aminés.

Chaque hormone est synthétisée dans des glandes spécifiques du système endocrinien, telle que :

- **Glande thyroïde** : Produit les hormones thyroïdiennes (T₃ et T₄) qui régulent le métabolisme.
- **Glandes surrénales** : Sécrètent des hormones stéroïdiennes, comme le cortisol et l'aldostérone, importantes pour la réponse au stress et la régulation de la pression artérielle.
- **Pancréas** : Fabrique l'insuline et le glucagon, qui régulent les niveaux de glucose dans le sang.

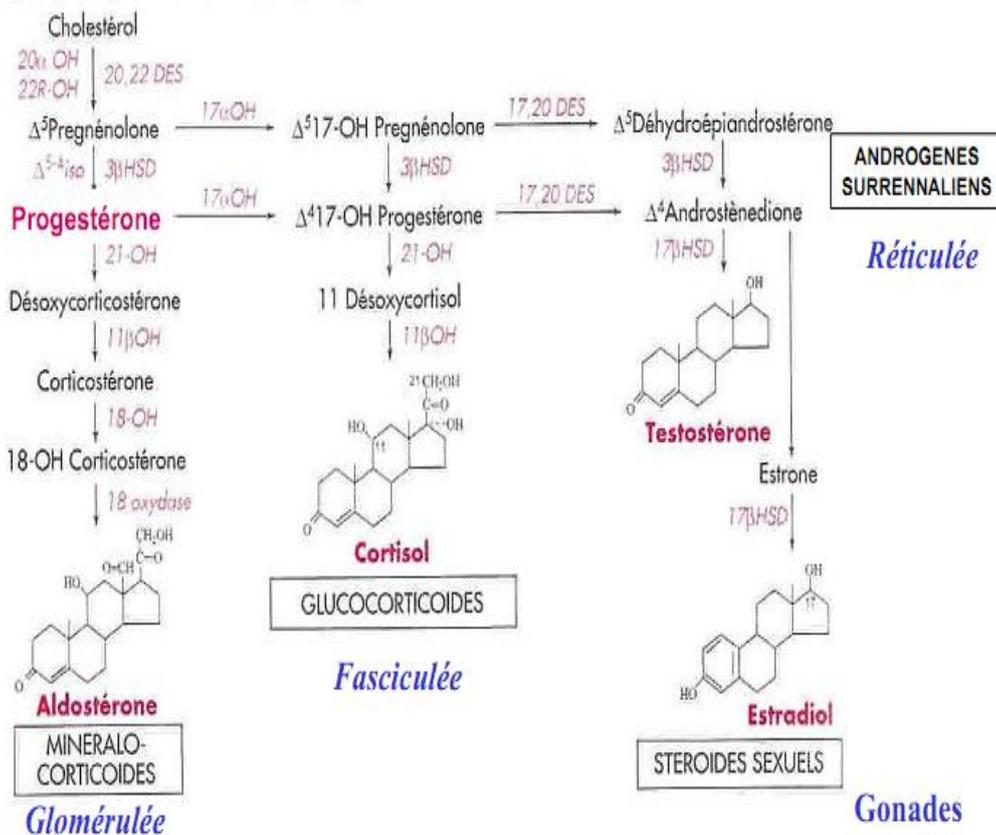
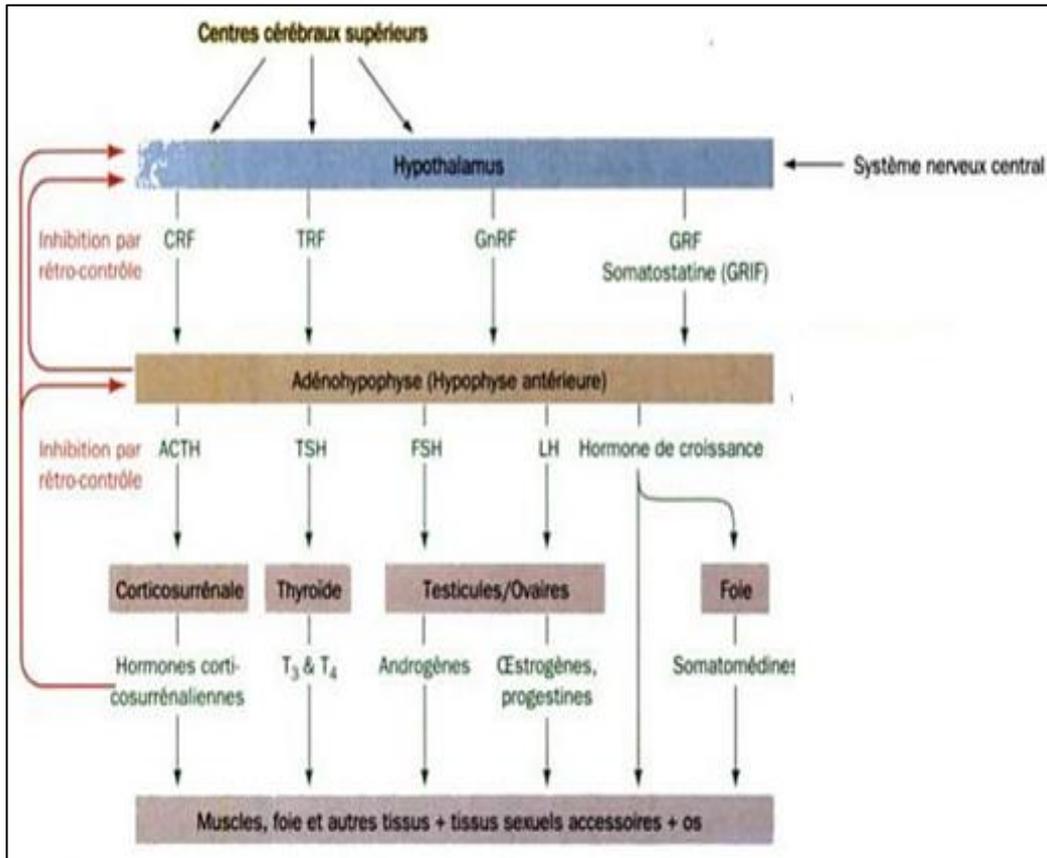
Certaines hormones, en particulier les hormones peptidiques, sont souvent stockées dans des vésicules jusqu'à leur libération.



8- Classification fonctionnelle : les hormones peuvent être classées en fonction de leur rôle physiologique :

- Hormones de la croissance GH stimule la croissance des tissus et des os et Hormones thyroïdiennes (T3et T4) régulent le métabolisme et jouent un rôle dans la croissance.
- Hormones hyperglycémiantes : Glucagon qui augmente le taux de glucose dans le sang en favorisant la libération de glucose par le foie et les catécholamines (adrénaline et noradrénaline) : Libérées en réponse au stress, elles augmentent la glycémie.
- Hormones de la reproduction : Oestrogènes, testostérone, etc...
- Hormones de l'équilibre hydro électrolytique : Aldostérone et ADH qui Régule la réabsorption de l'eau par les reins pour maintenir l'équilibre hydrique.
- Hormones thermorégulatrices : Hormones thyroïdiennes Influencent le métabolisme basal et stimulent la production de chaleur en augmentant le métabolisme des graisses et des glucides, les catécholamines, etc...

Chaque groupe d'hormones joue un rôle spécifique dans le maintien de l'homéostasie et le bon fonctionnement de l'organisme.



(DES : Desmolase, HSD : Hydroxydéshydrogénase, -OH : Hydroxylase)

Figure 33 : Schéma général de biosynthèse des hormones stéroïdes.

Références

bibliographiques

Références bibliographiques

- ✚ **Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P.** (2015). *Molecular Biology of the Cell*. 6th Edition. Garland Science.
- ✚ **Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L.** (2015). *Biochemistry*. 8th Edition. W.H. Freeman and Company.
- ✚ **Cox, M. M., & Nelson, D. L.** (2018). *Biochemistry*. 8th Edition. W.H. Freeman.
- ✚ **Eisenberg, D., & O'Donoghue, S. I.** (2016). *Protein Structure and Function*. Oxford University Press.
- ✚ **Freeman, W. M., & Hunsicker, P. R.** (2017). *The Biochemistry of the Cell*. Academic Press.
- ✚ **Garrett, R. H., & Grisham, C. M.** (2016). *Biochemistry*. 5th Edition. Cengage Learning.
- ✚ **Graham, G. D., & Vela, L. A.** (2015). "The role of hormones in cellular signaling." *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 44(3), 491-509.
- ✚ **Horton, H. R., et al.** (2016). *Principles of Biochemistry*. 6th Edition. Pearson.
- ✚ **Jacques P. Borel, François Xavier Maquart** (2003). Précis de biochimie et biologie moléculaire
- ✚ **Lehninger, A. L., Nelson, D. L., & Cox, M. M.** (2017). *Principles of Biochemistry*. 7th Edition. W.H. Freeman and Company.
- ✚ **Murray, R. K., et al.** (2015). *Harper's Illustrated Biochemistry*. 30th Edition. McGraw-Hill Education.
- ✚ **Petersen, T. W., & Reiter, R. J.** (2014). *Biomolecules: Structure and Function*. Wiley-Blackwell.
- ✚ **Rawn, J. D.** (2015). *Biochemistry*. 2nd Edition. Cengage Learning.
- ✚ **Seetharaman, J., et al.** (2005). "The structure of a glycoprotein: The case of the human glycosylation pathway." *Nature*, 437(7060), 1091-1095.
- ✚ **Voet, D., & Voet, J. G.** (2011). *Biochemistry*. 4th Edition. John Wiley & Sons.

Travaux Dirigés

TD

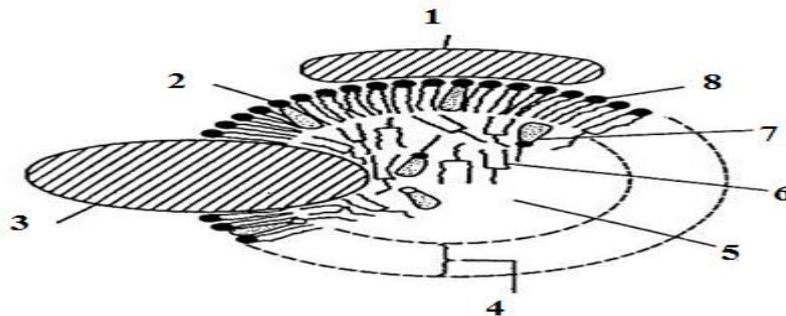
TD1 : PROTEINES

Questions 1 : décrivez brièvement les structures ci-dessous :



.....

.....



.....

Questions 2 : Parmi les propositions suivantes laquelle (lesquelles) est (sont) exacte(s) ?

1- Concernant les différentes structures des protéines :

- a) La structure secondaire peut être étudiée par le dichroïsme circulaire.
- b) Les solvants miscibles et les agents chaotropiques peuvent entraîner une dénaturation des protéines.
- c) La structure tertiaire est maintenue par des liaisons covalentes et non covalentes.
- d) Toutes les protéines possèdent une structure quaternaire.
- e) La structure quaternaire des protéines correspond à l'association de sous-unités reliées les unes aux autres par des liaisons covalentes.

2- Concernant les lipoprotéines

- a) Les liaisons unissant les protéines et les lipides sont de types covalents.
- b) Les LDL ont une densité plus grande que les chylomicrons.
- c) Les LDL contiennent une apoprotéine.

3- Concernant les lipoprotéines:

- a) Les VLDL matures contiennent les apoprotéines A, C et E
- b) Les HDL portent les apoprotéines B48 et A
- c) Les acides gras libres sont véhiculés dans le sang par les chylomicrons.

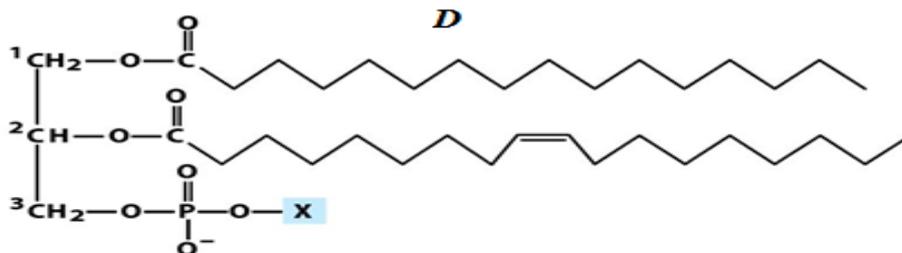
Questions 3 : Indiquez la ou les propositions exactes

- a) Toutes les protéines possèdent des structures tertiaires ou quaternaires.
- b) La structure tertiaire correspond à l'agencement dans l'espace de la protéine, tandis que la secondaire est l'enchaînement des acides aminés.
- c) La myoglobine et l'hémoglobine servent à lier l'oxygène, mais leur rôle est différent.
- d) L'hémoglobine est un très bon transporteur d'O₂ de par sa très forte affinité avec l'oxygène.

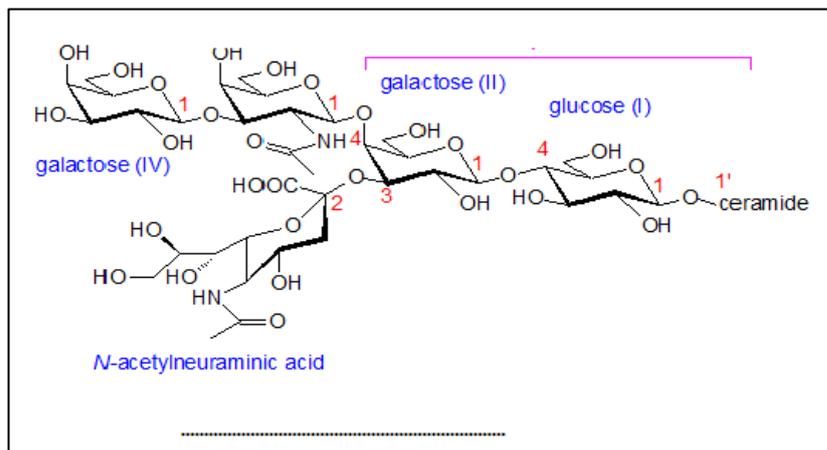
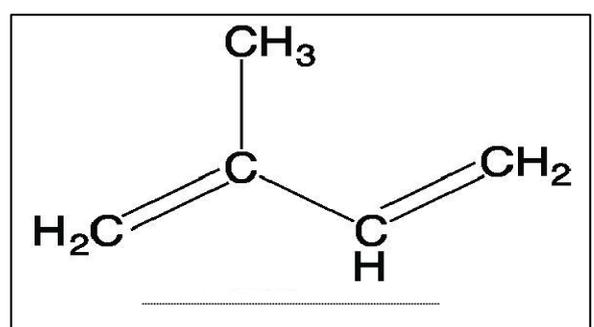
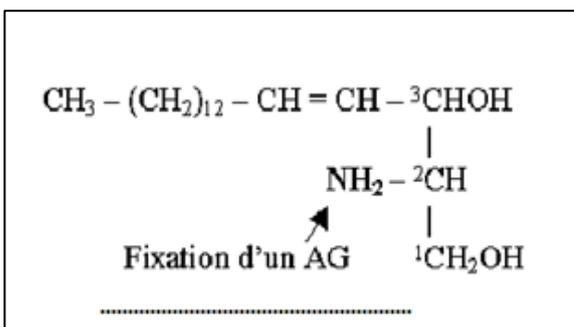
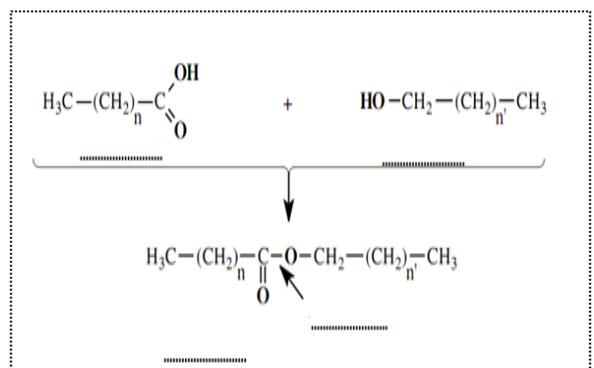
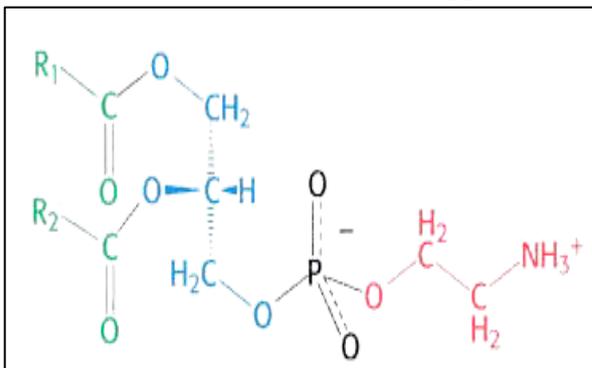
TD2: Les lipides

Exercice 1 : On veut déterminer la structure suivante :

- 1) À quelle classe de lipide appartient la molécule D ?
- 2) Quels sont les constituants majeurs de cette molécule ?
- 3) La molécule D est-elle amphiphile? Amphotère ?



4) Donner le nom des formules développées suivantes :



Exercice 2 :**QCM 1 :** Concernant les lipides complexes :

- a) Ils s'organisent en bicouches au sein de structures comme les liposomes et les lipoprotéines.
- b) Le cardiolipide est présent dans la membrane externe des mitochondries.
- c) Les phospholipides peuvent diffuser latéralement dans la membrane plasmique grâce à des translocases.
- d) L'action de la phospholipase C sur un glycérophosphoinositol peut entraîner une libération de calcium intracellulaire.

QCM 2 : Concernant Le glycérol est :

- a) Un alcool rencontré dans certains lipides.
- b) Insoluble dans l'eau, comme les acides gras.
- c) Un trialcool.
- d) Forme des liaisons amides avec des acides gras dans les glycérides.

QCM 3: Laquelle ou lesquelles contient/contiennent un groupement phosphate dans sa /leur structure ?

- a) La sphingomyéline
- b) Le galactocérobroside
- c) Le céramide
- d) La phosphatidylsérine

Exercice 3 : Parmi les propositions suivantes, choisissez l'information (ou les informations) juste(s)

- 1) Les lipides rentrent dans la structure des hormones et des vitamines.
- 2) La présence ou absence de liaisons doubles dans les acides gras influence l'apparition des formes solides ou liquides des lipides.
- 3) La queue' d'un acide gras est une extrémité hydrophobe.
- 4) La tête' d'un acide gras est une extrémité hydrophobe.
- 5) La céramide résulte de la liaison de la sphingosine avec un acide gras de longue chaîne, à travers une liaison amide.
- 6) L'acide linoléique est considéré comme un acide gras essentiel.
- 7) La céramide résulte de la liaison de la sphingosine avec un acide gras de longue chaîne, à travers une liaison amide.
- 8) Les Sphingolipides sont des amides de la sphingosine qui se forment par liaison du carboxyle de l'AG sur le -NH₂ de la sphingosine.

TD3 : Glucides

Exercice 1 : QCM

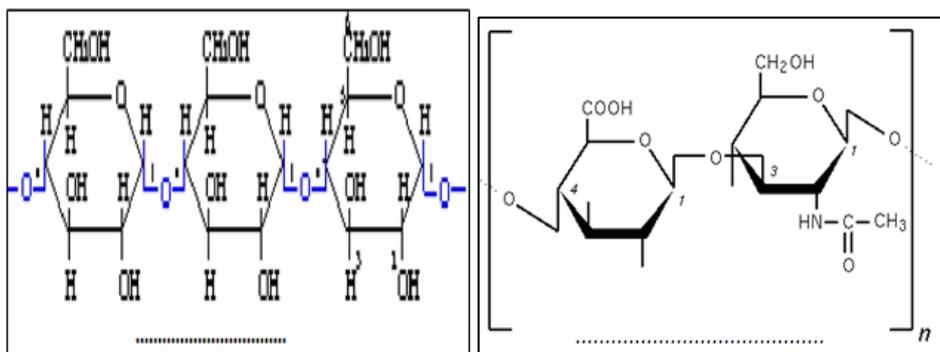
QCM1 : A propos des polysaccharides complexes :

- A. Le glycogène est une forme de stockage d'énergie qui permet le maintien de l'homéostasie glucidique.
- B. Le glycogène est un polymère formé par des molécules de glucose liées par liaisons glycosidiques α 1-6 avec des branches formées par liaisons glycosidiques α 1-4 tous les 10 résidus environ.
- C. Toutes les extrémités des molécules de glycogène sont réductrices car elles possèdent toutes un groupe hydroxyle libre.

QCM 2: Concernant l'acide hyaluronique :

- A) C'est un hétéropolysaccharide ramifié
- B) Il s'agit d'un hétéropolysaccharide composé d'une séquence disaccharidique répétitive constitué de N acétylglucosamine et de glucuronate
- C) Il ne contient que des liaisons β (1-4) dans sa structure

Exercice 2: Déterminer les structures suivantes :



Exercice 3 :

Les glucides fournissent de l'énergie 1 g de glucide sera transformé par l'organisme en 18 KJ (1KJ = 4.18 Kcal) et 100 g de lait ½ écrémé contiennent 3,35 g de lactose.

Quelle quantité d'énergie est fournie par les glucides d'un bol de lait additionné de 2 morceaux de sucre.

Données : 1 bol : 350 g, 1 morceau de sucre : 5 g, 100% de saccharose dans le sucre.

TD4 – Les Hormones

1/Questions :

- A. Citer les différents types d'hormones ?
- B. Quels sont les deux types de glandes ?

2/QCM :

1. Le complexe hypothalamo-hypophysaire :

- a) Est situé dans l'appareil génital
- b) Se situe dans le cerveau
- c) Est un système endocrinien uniquement
- d) Se situe dans les gonades

2. L'hypophyse est une glande endocrine qui sécrète

- a) De la FSH et la LH
- b) De la GNRH et de la LH
- c) De la LH et de la testostérone
- d) De la FSH et de la testostérone

3. Une hormone est une substance

- a) Est une substance chimique présente dans le sang
- b) Agit sur un organe précis appelé organe cible
- c) Est une substance qui permet la communication entre deux organes
- d) Est sécrétée uniquement par le cerveau

4. Laquelle de ces hormones régule la fonction des gènes et interagit avec les récepteurs à l'intérieur des cellules ?

- a) Hormone antidiurétique
- b) Hormone de croissance
- c) Hormone Thyroïdienne
- d) Thyrotrophine

5. Chez l'homme, les gonades produisent :

- a) Des œstrogènes,
- b) De la progestérone
- c) De la testostérone
- d) Des œstrogènes et de la de la progestérone

6. Chez la femme, le développement des follicules ovariens est dû à l'action :

- a) De la LH,
- b) De la FSH
- c) Des œstrogènes
- d) De la de la progestérone

3/Question: Déterminer les structures suivantes

