

MODULE : BIOCHIMIE

Chapitre 2 : Les lipides

Plan du chapitre

- A.** Structure et propriétés physico-chimiques des lipides.
- B.** Métabolisme des acides gras
- C.** Métabolisme des corps cétoniques
- D.** Métabolisme des triglycérides
- E.** Métabolisme du cholestérol
- F.** Métabolisme des phospholipides
- G.** Métabolisme des lipoprotéines.



Dr Daroui-Mokaddem H.

A- Structure et propriétés physico-chimiques des lipides

1-Généralités :

Les lipides (du grec lipos, graisses) sont les corps gras : huiles, beurres, graisses, cires.... Ils forment un groupe très hétérogène de composés, dont les structures sont très différentes, mais ils ont une propriété commune, c'est d'être insolubles dans l'eau et solubles dans les solvants organiques (méthanol, chloroforme, cyclohexane, éther éthylique, acétone....).

Les lipides assurent quatre principales fonctions:

- représentent des réserves énergétiques importantes, ainsi 1 gramme fournit 9 calories.
- contribuent à la structure des membranes cellulaires.
- rôle de protection à la surface de micro-organismes, des insectes et des mammifères.
- précurseurs de molécules douées d'activités biologiques fondamentales comme les hormones stéroïdes, les vitamines liposolubles, les coenzymes, les médiateurs extracellulaires et les messagers intracellulaires...

2- Classification : La classification la plus utilisée est la suivante :

2-1 Les lipides vrais saponifiables: Lipides à base d'acides gras qui se divisent en deux classes :

▪**Les lipides simples** : Ils résultent de la condensation d'acides "gras" avec des alcools par une liaison ester ou amide, selon le type d'alcool on distingue :

- les glycérolipides : l'alcool est le glycérol
- les cériques : les alcools sont à longue chaîne
- les stérides : l'alcool est un stérol (polycyclique)

▪**Les lipides complexes** : Condensation (acides "gras" + alcool + X (O, N, P, S), on distingue :

- les glycérophospholipides.
- les sphingolipides.

2-2 Les composés à caractère lipidique (les lipoïdes) insaponifiables:

Lipides à bases d'isoprènes (polyisopréniques), on trouve le groupe des composés terpéniques et les stéroïdes.

2-3 Les lipoprotéines: Les lipides se lient aux protéines par des liaisons covalentes ou non covalentes.

3- Les acides gras : Sont des acides organiques possédant une chaîne hydrocarbonée et un groupement carboxylique.

3-1 Nomenclature : La numérotation de la chaîne commence par le groupement carboxylique c'est le carbone n°1, puis le carbone n°2 ou carbone alpha, le carbone n°3 ou bêta et le carbone méthylique terminal est connu sous le nom de carbone n.



La convention la plus fréquemment utilisée indique le nombre d'atome de carbone, le nombre de doubles liaisons et les positions de ces doubles liaisons : **C_n : X Δ^{x,y,z}**

n : nombre d'atome de carbone. **X** : Nombre de doubles liaisons. **x, y, z** : positions des doubles liaisons.

Dans le cas des acides gras insaturés, la convention la plus utilisée en médecine et en biologie a pour symbole ω , ou la numérotation des carbones commence par la fonction méthyle.

3-2- Etude descriptive : Selon leurs structures, on distingue :

3-2- 1- Les acides gras saturés : C_n : 0

▪ Les AG saturés à chaîne droite :

. La formule générale est : **C_nH_{2n}O₂**

. C₄, C₆, C₈, C₁₂, C₁₄ possèdent uniquement un rôle énergétique.

. C₁₆, C₁₈ sont les plus répandus dans la nature, ils possèdent une fonction énergétique et structurelle.

▪ Les AG saturés à chaîne ramifiée :

La plupart ne possèdent qu'une seule ramification. Les plus importants en médecine sont les acides gras ramifiés des bactéries, en particulier celui que l'on trouve dans le bacille de koch B.K., acide tuberculo-stéarique (Ac.10 méthyl-stéarique):

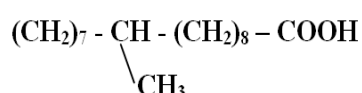
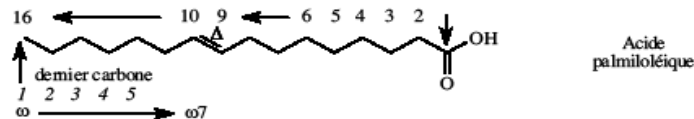


Tableau : Liste de quelques acides gras saturés :

Longueur relative	nC	Nom systématique	Nom commun	Répartition dans la nature
Chaîne courte	4	n-butanoïque	Butyrique	Beurre de vache Lait de chèvre
	6	n-hexanoïque;	caproïque	
	10	n-décanoïque	caprique	
Chaîne moyenne	12	n-dodécanoïque	Laurique	Huiles ou graisses animales ou végétales
	14	n-tétradécanoïque	Myristique	
	16	n-hexadécanoïque	Palmitique	
	18	n-octadécanoïque	stéarique	
Chaîne longue	20	n-eicosanoïque	Arachidique	Graines
	24	n-tétracosanoïque	Lignocérique	

3-2-2- les AG insaturés (éthyléniques) : Ils renferment dans leurs structures une ou plusieurs double liaisons.

a- les AG mono-éthyléniques : La plupart sont à chaîne droite, ils sont représentés par l'acide oléique (C₁₈:1) et l'acide palmitoléique (C₁₆:1). Ils sont énergétiques et caractérisés comme ayant un effet neutre sur le plan cardio-vasculaire, Exp. : L'huile d'olive en contient 73%, celle d'arachide (60.9%). Ce sont des AG à chaîne supérieure à 16 atomes de carbone.



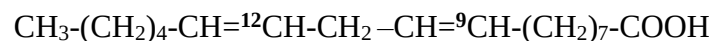
b- les AG poly-éthyléniques :

Ils englobent les AG essentiels : précurseurs pour la synthèse de molécules biologiquement actives : les prostaglandines et des composés voisins des eicosanoïdes.

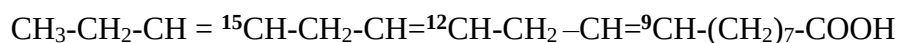
Les carences en AG essentiels conduisent à des désordres de la perméabilité des échanges cellulaires et à des troubles de la coagulation.

Les AG essentiels sont :

- L'acide linoléique (ω 6) C₁₈ : 2Δ^{9,12} ou C₁₈ : ω 6, 9



- L'acide linolénique (ω 3) C₁₈ : 2Δ^{9, 12,15} ou C₁₈ : ω : 3,6,9



- L'acide arachidonique (ω 6) C₂₀ : 4Δ^{5, 8, 11,14} ou C₂₀ : ω 6,9,12,15



Le ratio alimentaire idéal (ω6/ω3) varie, selon les experts, entre 4/1 et 1/1.

Les doubles liaisons ne sont pas conjuguées, il y a un groupement méthylène qui les sépare.

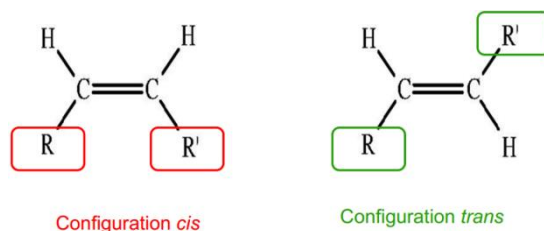
On rencontre classiquement les acides gras avec liaisons conjuguées chez les ruminants (viandes et lait). Ils sont produits par hydrogénation et isomérisation de l'acide linoléique par les bactéries du rumen, c'est l'exemple de l'acide ruminique.



Tableau : Listes des acides gras insaturés

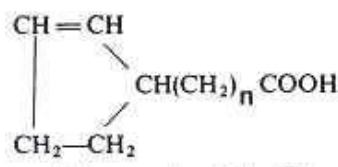
nC	nom systématique	nom courant	symbole	série	
16	cis-9-hexadécénoïque	palmitoléique	C16: 1(9)	ω7	<i>très répandu</i>
18	cis-9-octadécénoïque	oléique	C18: 1(9)	ω9	<i>très répandu</i>
	cis-11- octadécénoïque	vaccénique	C18: 1(11)	ω7	<i>bactéries</i>
	cis, cis-9-12 octadécadiénoïque	linoléique	C18: 2(9, 12)	ω6	<i>graines</i>
	tout cis-9-12-15 octadécatriénoïque	linolénique	C18: 3(9, 12, 15)	ω3	<i>graines</i>
20	tout cis-5-8-11-14 icosatétraénoïque	arachidonique	C20: 4(5, 8, 11, 14)	ω6	<i>animaux</i>
	tout cis-5-8-11-14-17 icosapentaénoïque	EPA*	C20: 5(5, 8, 11, 14, 17)	ω3	<i>huiles de poissons</i>
24	cis-15-tétracosénoïque	nervonique	C24: 1(15)	ω9	<i>cerveau</i>

Les acides gras naturels sont majoritairement en position **cis**.



3-2-3- les AG cycliques :

Acide chaulmoogrique (18 c), présent dans l'huile de chaulmoogra, utilisée anciennement dans le traitement de la lèpre.



3-2-4- les AG porteurs de fonctions diverses :

Ils portent généralement des fonctions oxygénées :

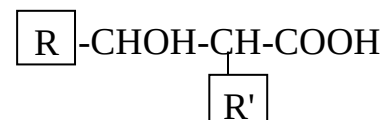
a) d'une fonction alcool :

- Importants dans la constitution des lipides complexes du cerveau, exp. acide cérébronique : acide α-OH lignocérique

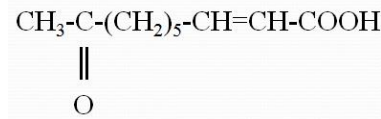


- D'autres ont une grande importance dans l'édification des parois des bactéries :

Ex : acide mycolique, extrait des lipides du Bacille de Kock (B.K.).



- Ac. 10 hydroxy-t2-décénoïque, responsable des effets thérapeutiques de la gelée royale.

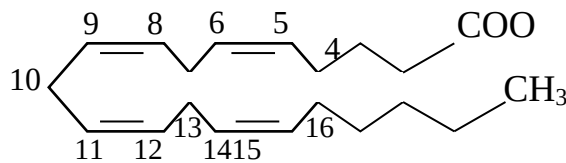


b) d'une fonction cétone

Le plus célèbre est extrait de la gelée royale des abeilles : Ac. 9-oxo-t2-décénoïque de la gelée royale. Des activités antibiotiques et antifongiques ont été attribuées à cet acide gras.

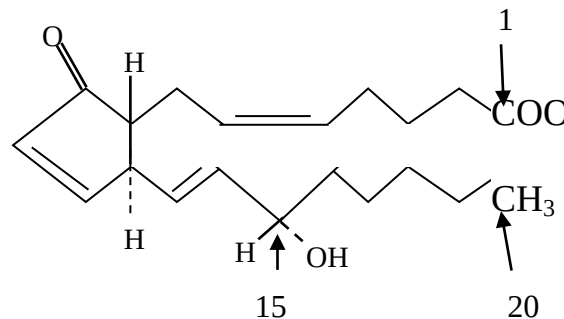


3-2-5-Les éicosanoïdes : Sont des AG insaturés à 20 C, produits à partir de l'acide arachidonique (C20 : 4)



On distingue 3 familles différentes par leurs structures et leurs fonctions :

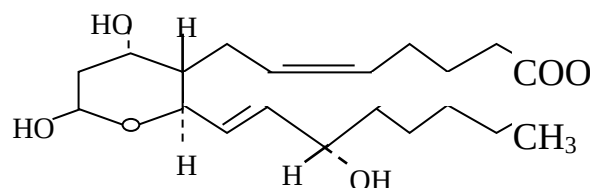
- a- Les prostaglandines** : Sont des acides gras cyclopenténiques possédant une fonction alcool sur le carbone 15, qui est en position α (dirigé en arrière du plan).



Les prostaglandines jouent un rôle dans la régulation hormonale, l'agrégation des plaquettes sanguines et les contractions musculaires de l'utérus.

b- Les thromboxanes :

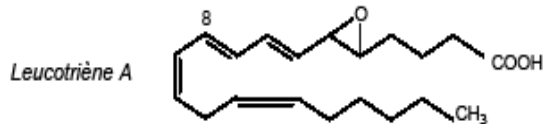
Composés voisins des prostaglandines : possèdent un hétérocycle à 6 sommets à la place du cyclopentane.



Les thromboxanes sont de puissants proagrégants plaquettaires, ils diminuent le taux de l'AMP cyclique et augmentent le taux du calcium.

c- Les leucotriènes: Dérivent de l'acide arachidonique et sont ainsi nommés, parce qu'on les rencontre dans les leucocytes, ils contiennent 3 doubles liaisons conjuguées (triènes.)

Les représentants actifs de ce groupe contiennent une partie peptidique ou un résidu d'acide aminé lié à la molécule. On les regroupe sous l'appellation : " substances à réaction lente de l'anaphylaxie ", caractérisées par une action décongestive sur le tractus respiratoire.

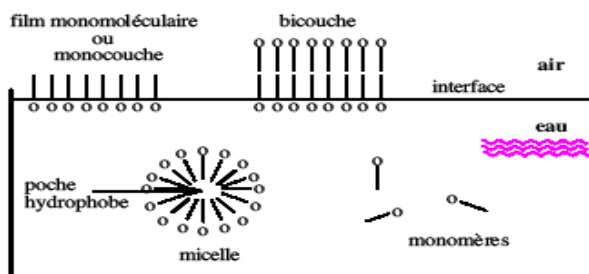


3-3- Propriétés physiques :

a- solubilité : les acides gras ne sont pas solubles dans l'eau car à part la fonction carboxylique toute la molécule est hydrophobe.

Les acides gras à courte chaîne sont solubles dans l'eau, mais dès que le nombre d'atomes de C de la chaîne augmente, ils deviennent insolubles. La solubilité des A.G. insaturés est supérieure à celle des acides gras saturés surtout s'ils ont la configuration cis, les A.G. par contre sont solubles dans les solvants organiques.

En milieu aqueux, les AG s'associent spontanément pour former des films (structures feuilletées ou des structures micellaires).



b- Point de fusion :

La présence de doubles liaisons dans un A.G. abaisse son point de fusion par rapport à celui de l'A.G saturé correspondant. Ex : l'huile d'olive qui est liquide à t° ambiante contient des A.G essentiellement insaturés.

- Les A.G. ou le nombre de carbone <10 sont liquides, >10 sont solides à température ambiante, ex : la graisse de bœuf, qui est riche en A.G saturés à longues chaînes est solide à la t° ambiante, alors que la graisse du beurre, qui contient des quantités importantes d'A.G à courtes chaînes est molle.

Chez les espèces thermophiles, la présence d'acides gras méthylés permet une stabilité des membranes jusqu'à des températures de 85° c.

c- **Point d'ébullition** : plus la chaîne des acides gras est longue et plus leur point d'ébullition est élevé.

3-4- Propriétés chimiques :

-Dues à la présence de COOH

a- Formation de sels : Le traitement d'un AG par NaOH ou KOH donne naissance à un sel alcalin d'AG "savon" solide et soluble dans l'eau ; possédant des propriétés moussantes mouillantes et émulsifiantes. Il s'agit de molécules amphipathiques : groupements polaires et apolaires (un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe).

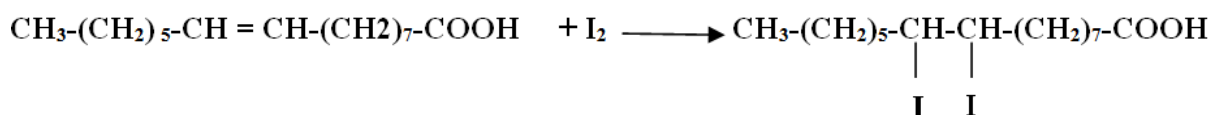
b- Formation d'esters :

Les AG réagissent avec les alcools pour former des esters. On fabrique surtout des esters méthyliques qui permettent le fractionnement des AG par distillation chromatographique.

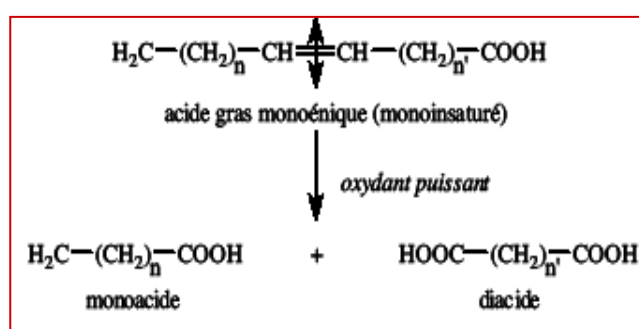
- Dues à la présence de doubles liaisons

a- Réaction d'addition :

-Les AG insaturés ont la propriété de fixer un halogène (Iode ou Brome) pour donner un dérivé halogéné. En application de cette propriété : détermination de **l'indice d'iode** (la quantité d'iode en g fixée par 100 g de lipide). La valeur de l'indice d'iode est proportionnelle au nombre de double liaisons.



-Les oxydants puissants (ozone, ion permanganate en milieu alcalin) provoquent la scission de la molécule d'un acide gras insaturé en mono et diacides :



- **L'auto-oxydation** des huiles et des graisses à l'air libre a pour résultat, le rancissement qui produit des peroxydes puis, par rupture de la chaîne, des aldéhydes responsables de l'odeur, et des acides (tous toxiques).

-**L'oxydation biologique** : Les lipides insaturés des membranes subissent une dégradation lors d'agression oxydative (Irradiation ultraviolette, espèces réactives de l'oxygène comme les

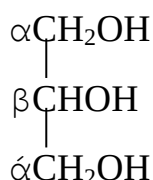
peroxydes ou lesradicaux libres). La vitamine E, les composés terpéniques, ont un effet protecteur contre cettedégradation.

4-Les Lipides simples : Ce sont des esters d'acides gras + Alcool.

Selon l'alcool, on distingue : Les glycérides, les cérides et les stérides.

4-1- Les glycérides: Esters de glycérol et d'acides gras.

Le glycérol possède 3 positions d'estérifications : deux positions α (α et α') et une position β



4-1-1- Nomenclature :Elle résulte de la combinaison de 2 critères :

La nature des AG :

- Homogène : lorsque un type unique d'acide gras estérifie le glycérol.
- Hétérogène ou mixte : lorsque les acides gras sont différents (sont les plus nombreux).

Le nombre et la position des AG :

- Monoglycérides : α et β .
- Diglycérides (α , α') ou (α , β).
- Triglycérides

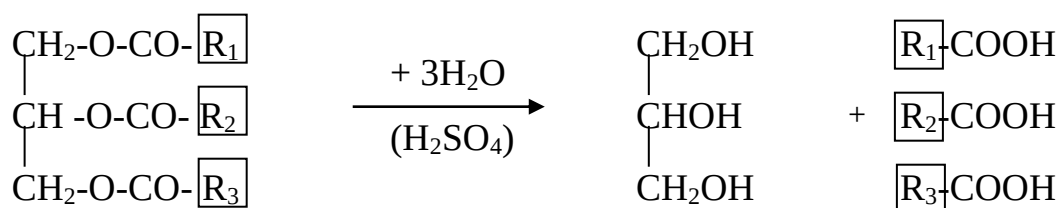
La configuration des triglycérides mixtes peut être rattachée à la configuration du L-Glycéraldéhyde. Les chaines des acides gras peuvent comporter de 4 à 22 carbones, celles de 16 et 18 carbones sont les plus fréquentes. Sachant que la majorité des acides gras naturels sont à nombre pair de carbone.

4-1-2 Propriétés physiques: Les triglycérides naturels sont complètement apolaires. Les têtes polaires (fonctions carboxyles) disparaissent dans les liaisons esters.

Les glycérides sont solubles dans le benzène, le chloroforme, l'éther et l'acétone, ce dernier critère permet de les séparer des phospholipides qui sont insolubles dans l'acétone.

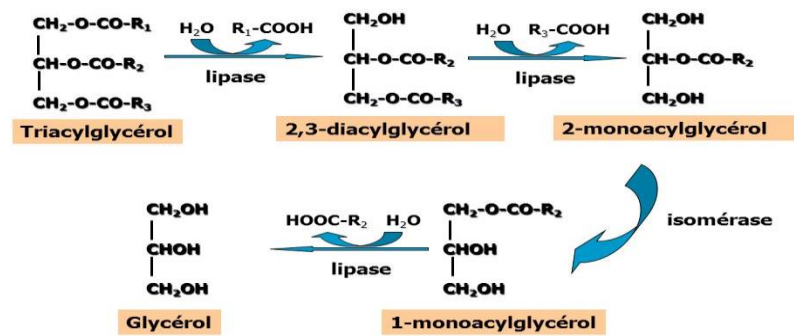
4-1-3 Propriétés chimiques :

-Hydrolyse par H_2SO_4 : Rupture des liaisons esters

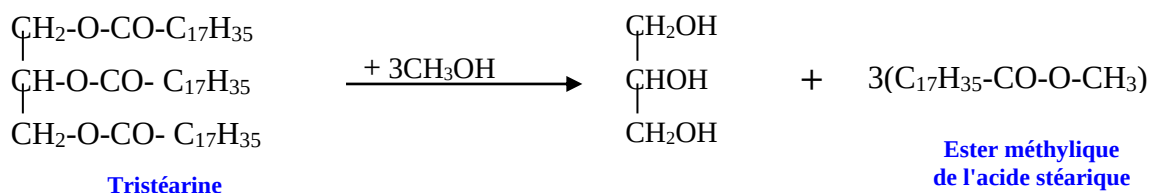


-**Saponification ou hydrolyse basique** : Traité par la potasse ou la soude, un triglycéride se décompose en glycérol et sels alcalins d'acides gras (savon). Cette réaction a permis de caractériser les graisses par leur indice de saponification qui correspond à la quantité de KOH (en mg) nécessaire pour saponifier 1g de graisse.

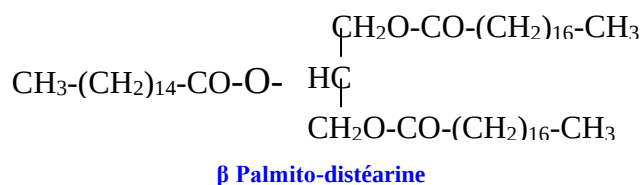
- **Hydrolyse enzymatique** : Par les lipases pancréatiques, conduit à une coupure en C1 et C3. Cette chaîne de réaction se produit dans l'intestin et permet l'assimilation des graisses.



-**Alcoolyse** : permet de libérer du glycérol et des AG sous forme d'esters méthyliques ou éthyléniques



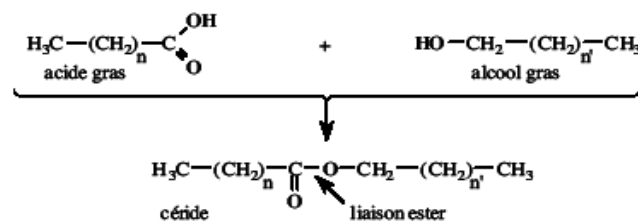
- **Exemple de glycérides naturels** :



4-2- Les cérides :

Sont des esters d'AG et d'alcool, (P.M et point de fusion élevés $\geq 80^\circ \text{C}$).

Rôle biologique : lipides de protection et de revêtement (lipides constitutifs de cire animale : baleine). Les animaux supérieurs ne peuvent pas métaboliser les cérides.



•**Ex.de cérides** :

Palmitate de cétyle: **CH₃-(CH₂)₁₄-CO-O-CH₂-(CH₂)₁₄-CH₃**.

•**Ex. d'alcools pouvant estérifier les AG :**

Alcool cérylique : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{CH}_2\text{OH}$

Alcool myricylique: $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{28}-\text{CH}_2\text{OH}$

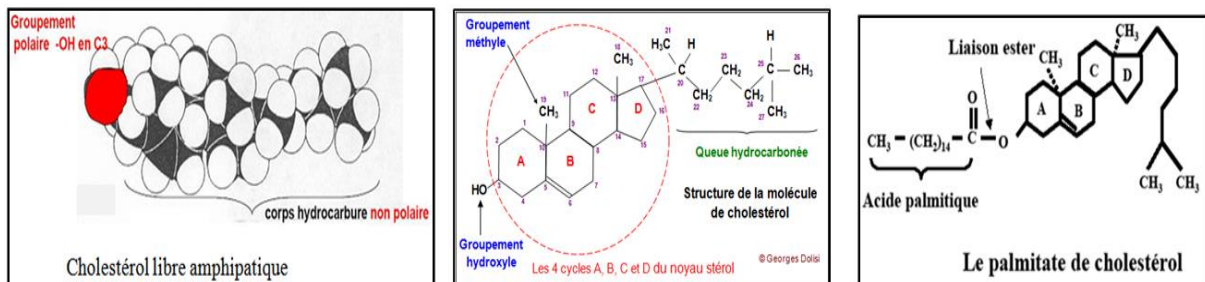
•**Ex. d'AG impliqué dans la structure des cérides :**

Acide cérotique : $\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{COOH}$

4-3- Les stérides: sont des esters d'AG et d'alcool (stérols). Les stérols possèdent un noyau fondamental de structure polycyclique (stérane ou gonane) et le stérol animal majeur : c'est le cholestérol.

- **Cholestérol et dérivés:** le cholestérol est solide, insoluble dans l'eau, classé parmi les lipides insaponifiables. C'est le stéroïde le plus important, il contient 8 C asymétriques : il présente $2^8 = 256$ stéréoisomères, dont un seul existe à l'état naturel.

De même que pour les acides gras insaturés, les halogènes (l'iode et le brome) peuvent se fixer par addition sur la double liaison du cholestérol. L'indice d'iode est de 65,8g/100g de cholestérol. Le cholestérol est présent dans tous les tissus, soit à l'état libre (calculs biliaires, tissu cérébral et tissu nerveux) soit sous forme d'esters (palmitate, stéarate, oléate).

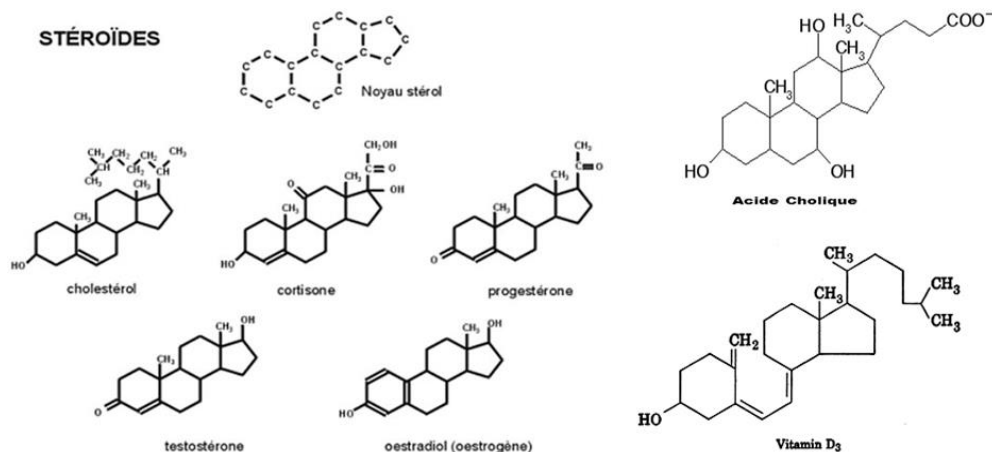


Les dérivés du cholestérol sont :

-**La vitamine D:** les rayonnements du soleil photolysent le 7-déhydrocholestérol de l'épiderme en provitamine D3 qui subit une isomérisation thermique pour former la vitamine D ou cholécalciférol qui est indispensable à la minéralisation du tissu osseux par son intervention dans le métabolisme phosphocalcique.

-**L'acide cholique** des acides biliaires dans le foie, constituant majeur de la bile et indispensables à la digestion des lipides.

-**Les hormones stéroïdiennes** (hormones sexuelles et du placenta : androgènes, œstrogènes et progestagènes et les corticostéroïdes des glandes corticosurrénales).

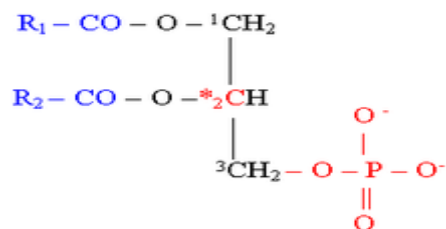


5-Les lipides complexes

- Principaux constituants des membranes.
- polaires contenant une fonction polaire dans leur molécule.
- Formés éventuellement de N, P, S, ose (s)

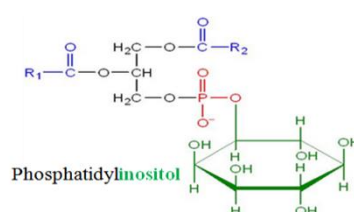
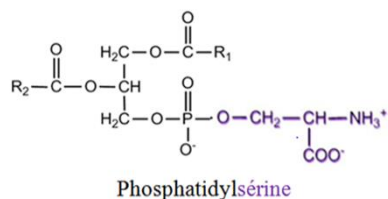
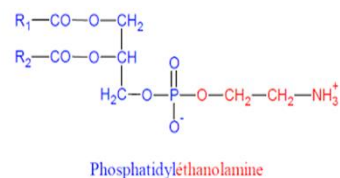
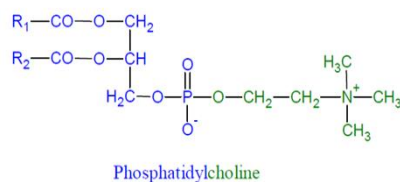
5-1- Les glycérophospholipides :

5-1-1- Acides phosphatidiques : Esters phosphoriques de diglycéride, dont l'un des AG est insaturé, le groupement hydroxy en C₃ est phosphoestérifié. Ils existent rarement à l'état libre, et jouent un rôle important dans la biosynthèse des glycérophospholipides.



5-1-2- Glycérophospholipides dérivés des acides phosphatidiques :

Une des deux fonctions acides libres du résidu phosphate est estérifiée par un alcool.



- **Phosphatidyl-choline (Lécithines)**: Constituants du jaune d'œuf (acide oléique en β , acide stéarique en α) et aussi des cellules du foie, du rein, des muscles et du tissu nerveux. L'acide phosphatidique est estérifié par un alcool azoté, la choline. La molécule est soluble dans l'éther et le benzène mais insolubles dans l'acétone. Elle présente :

- **Un caractère amphipatique** : Un pôle hydrophile (groupements polaires) + Un pôle hydrophobe (ses A.G.).
- **Un caractère amphotère** : Acide phosphorique (acide) + Fonction ammonium quaternaire (basique).

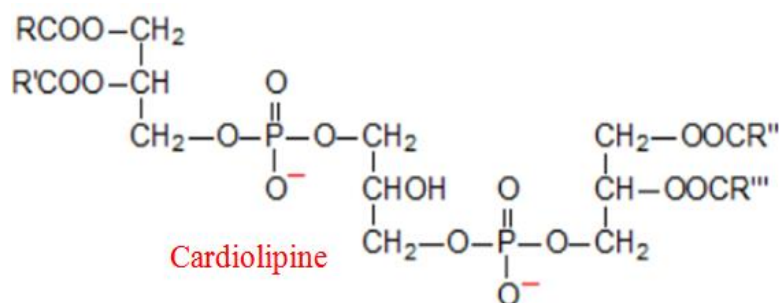
- **Phosphatidyl-éthanolamine (Céphalines)** : Les céphalines présentes dans la substance blanche du cerveau portent une éthanolamine (alcool aminé) au lieu d'une choline.

- **Phosphatidyl-sérine** : Ils représentent 50% des glycérophospholipides du cerveau. L'acide phosphatidique est estérifié par la fonction alcool de la sérine (acide aminé alcool), ce qui leur confère un caractère acide marqué.

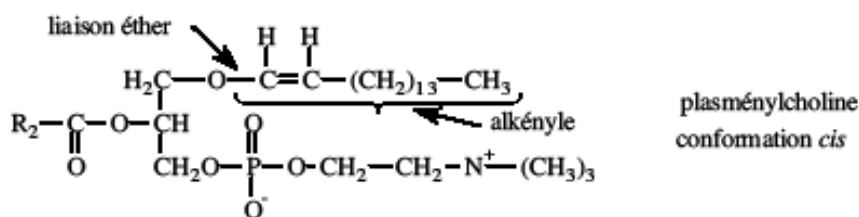
- **Phosphatidyl-inositol** : Ils se trouvent préférentiellement sur la face interne de la bicouche lipidique des membranes cellulaires et mitochondriales. Le groupement phosphate est associé à une molécule d'inositol, un hexaalcool cyclique qui a 9 isomères possibles. Les phosphatidyl-inositols libèrent les ions calciums stockés dans le réticulum sarcoplasmique et interviennent dans la formation de messagers intracellulaires qui sont libérés en réponse à un signal extracellulaire.

- **Cardiolipide (cardiolipine)** :

C'est un diphosphatidyl glycérol, constituant important des membranes mitochondriales, présent dans beaucoup de cellules animales (cœur +++), il peut être isolé des bactéries (Trépanème pâle = agent causal de la syphilis).

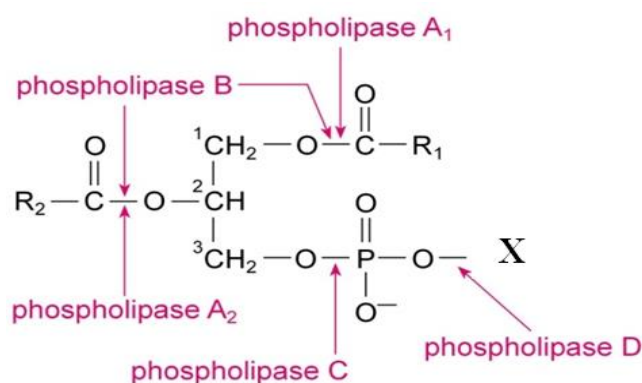


- **Ether ou acétal phosphatide (plasmalogènes)**

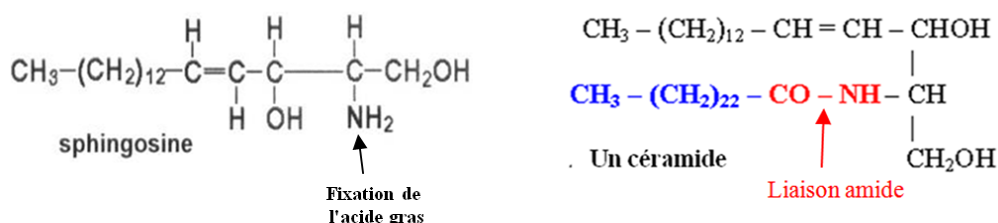


Ce sont des dérivés alkényl-éthers formés avec un alcool gras vinylique où le deuxième alcool est le plus souvent la choline (plasmalogènes du cœur). On les trouve dans les tissus à haute intensité respiratoire (système nerveux, muscle cardiaque), dans les macrophages et dans les cellules de la glande thyroïde. Ils pourraient protéger les membranes des cellules contre le stress oxydatif en piégeant les espèces réactives de l'oxygène ou capter les halogénures en excès comme l'iode.

5-1-3-Hydrolyse des phospholipides : In vivo, l'hydrolyse est réalisée par des phospholipases (**A₁**, **A₂**, **B**, **C** et **D**).

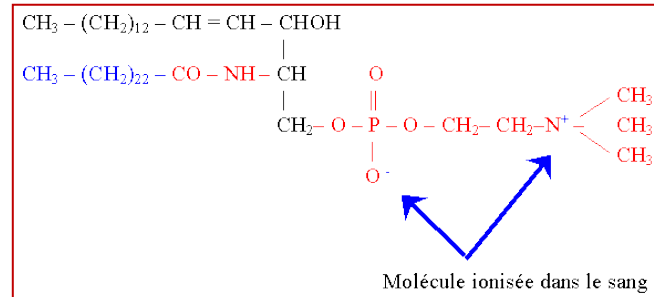


5-2- Les sphingolipides : Lipides complexes où l'amino-alcool éthylénique sphingosine (4-sphingénine) joue le rôle de glycérol et fixe par sa fonction amine un résidu (Ac. lignocérique ou Ac. cérébrérique), un tel composé s'appelle **un céramide**, molécule précurseur de tous les lipides du groupe.



5-2-1- Les phosphosphingolipides

Le céramide lié par son alcool primaire à la phosphocholine, on obtient la sphingomyéline, constituant des poumons, de la rate et de la gaine de myéline des fibres nerveuses. Ce phospholipide représente 15 à 20 % des phospholipides totaux.



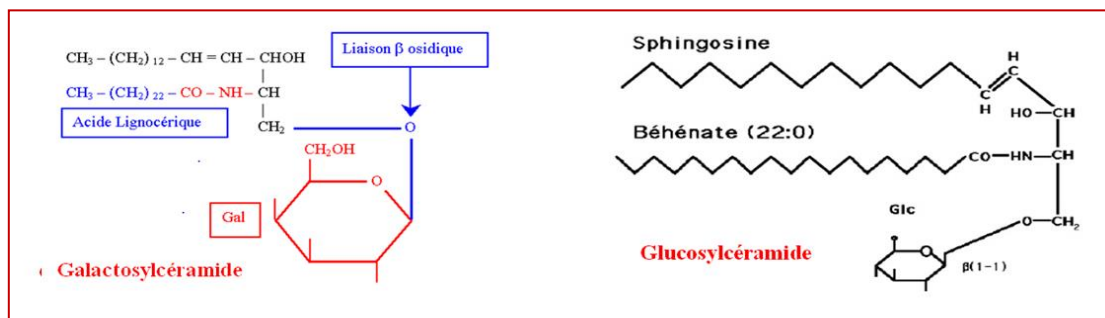
5-2-2- Les glycosphingolipides :

Ce sont des glycolipides contenant un ou plusieurs oses (mais pas de choline), on distingue plusieurs types de glycosphingolipides :

- Les cérébrosides :

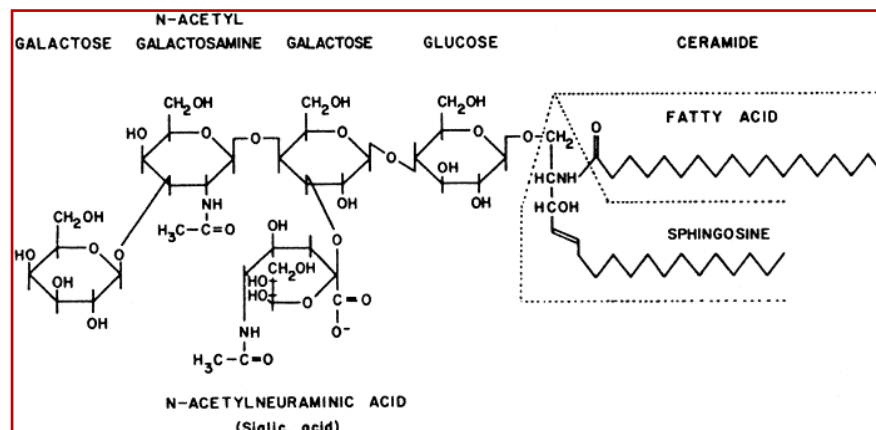
Glycolipides les plus simples où il y a un seul résidu osidique (glucose ou galactose).

Ces glycosphingolipides sont appelés aussi glycolipides neutres, ils sont fréquents dans (rate, globules rouges, tissus nerveux, foie et rein).



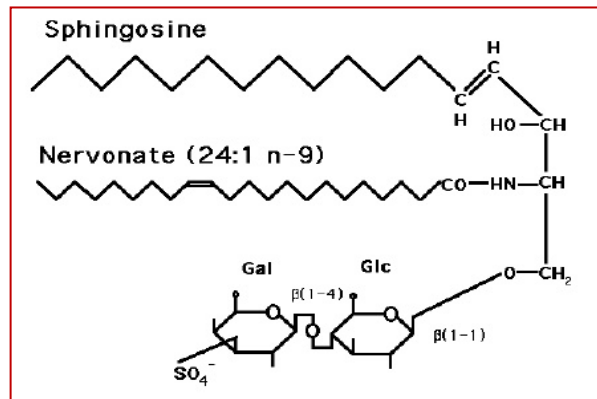
- Les gangliosides: Sont des glycolipides plus complexes contenant une chaîne ramifiée de plus de sept résidus osidiques et contenant de l'acide sialique (NANA).

Ces gangliosides représentent une grande famille des lipides membranaires avec une fonction de récepteurs.



-Les sulfatides (sulfato-glycosphingolipide) :

Lorsque le galactosyl-céramide et le glucosyl-céramide sont estérifiés par l'acide sulfurique (sulfaté), ils sont appelés sulfatides (cerveau, foie, rate et poumons).



6-Les composés à caractères lipidiques (Les lipoïdes) :

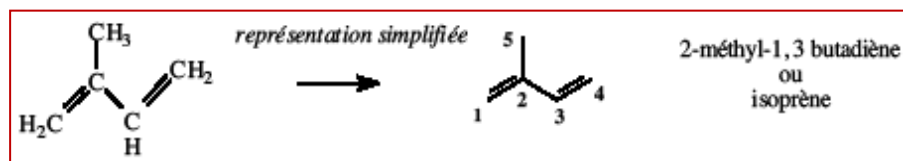
Lipides insaponifiables à base d'isoprène (pas d'acide gras) qui jouent un rôle biologique fondamental (hormones et vitamines). L'isoprène est le 2-méthyl-1,3 butadiène, hydrocarbure à cinq carbones.

La polymérisation de plusieurs unités d'isoprènes conduit à la formation de produits isopréniques: les vitamines liposolubles A, E, K et Q:

-**La vitamine A** est un pigment indispensable à la vision et à la croissance, une carence sévère conduit à la cécité.

-**La vitamine E** (α-tocophérol) est un antioxydant qui empêche la peroxydation des acides gras polyinsaturés membranaires et l'oxydation des fonctions thiols des protéines.

-**Les vitamines K** sont synthétisées par le foie et par la flore intestinale; ils sont indispensables à la coagulation.



-**La vitamine Q** : transporteur d'électrons, connue sous le nom d'**ubiquinone**, cette coenzyme est présente dans toutes les cellules humaines et intervient dans la transformation de l'énergie fournie par l'alimentation en énergie utilisable par la cellule.

-**Les carotènes et les xanthophylles**: on les rencontre dans les chloroplastes ou les chromoplastes des cellules végétales. Les carotènes sont des précurseurs du rétinol (vit. A).

-Les dolichols : Ils ont entre 17 et 21 unités isoprènes chez les animaux, fixent par leur groupe alcool des oses et servent essentiellement de bras lors de la N-glycosylation des protéines.

7- Les lipoprotéines : Agrégats sphériques de lipides et de protéines de transport appelées apoprotéines. A la surface des sphères, on trouve les protéines hydrophiles, les phospholipides et le cholestérol non estérifié ; au centre on trouve du cholestérol estérifié et les triglycérides.

