

LES LIPIDES

• **2.1 Définition**

- Ce sont des molécules organiques insolubles dans l'eau (lipos) et solubles dans les solvants organiques apolaires comme benzène, chloroforme, éther, ...
- Ils sont caractérisés par la présence dans la molécule d'au moins un acide gras ou chaîne grasse.
- Sont rattachés aux lipides, en raison de leur insolubilité dans l'eau, le cholestérol, les stéroïdes, la vitamine D.

• **2.2 Rôle biologique**

- Les lipides représentent environ 20 % du poids du corps.
- Ils sont une réserve énergétique mobilisable : 1g lipides 9 Kcal
- Ils ont un rôle de précurseurs : stéroïdes, vitamines, prostaglandines.
- Deux acides gras polyinsaturés sont des facteurs nutritionnels essentiels car ils ne sont pas synthétisés par l'organisme et doivent lui être apportés par l'alimentation. Ce sont des acides gras indispensables : acide linoléique et acide linoléique.
- Les membranes ont une structure lipidique.

LES LIPIDES

- **2.3 Les acides gras**
- Ils sont monoacides, linéaires, à nombre pair de carbone, soit saturés, soit insaturés.
- **2.3.1 Les acides gras saturés**
- **[CH₃ -(CH₂)_n - COOH]**
- 4C Acide butyrique
- 16C Acide palmitique
- 18C Acide stéarique
- 24C Acide lignocérique

LES ACIDES GRAS

NOMENCLATURE

La nomenclature générale utilise la représentation : $C_n : X^*$

n: Nombre d'atomes de carbone

X: Nombre de double liaisons, parfois remplacé par Δ

*****: Position des double liaisons en représentant le numéro du carbone le plus proche du groupement carboxyle.

Pour les acides gras saturés, $X = 0$

Acide linoléique $C_{18} : 2^{9,12}$ $CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$

Acide myristique $C_{14} : 0$ $CH_3-(CH_2)_{12}-COOH$

LES ACIDES GRAS

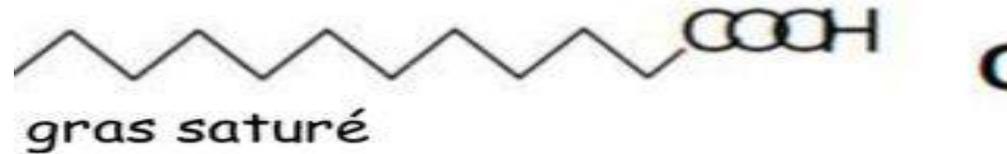
Suivant la nomenclature la plus fréquemment utilisée (système de Genève), les acides gras sont nommés selon l'hydrocarbure ayant le même nombre d'atomes de carbone. Le suffixe OIQUE est ensuite ajouté:

- A.G saturés : suffixe ANOIQUE (alcane)
- A.G insaturés: suffixe ENOIQUE (alcène)

LES ACIDES GRAS

Le premier carbone est le carboxyle. Exemple : **Acide palmitique** $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_{14} - \text{COOH}$

C'est un AG
saturé



C'est un AG
Insaturé
Monoinsaturé ou
éthylénique



LES ACIDES GRAS

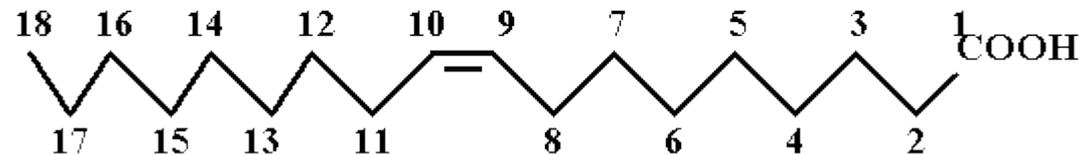
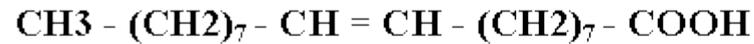
LISTE DES PRINCIPAUX ACIDES GRAS SATURES NATURELS

Formule brute	Nom systématique	Nom commun	Point de fusion	Répartition dans la nature
$C_4 H_8 O_2$	Butanoïque	Ac butyrique	- 7°	Beurre de vache ou de chevre
$C_6 H_{12} O_2$	Hexanoïque	Ac caproïque	- 3°	
$C_8 H_{16} O_2$	Octanoïque	Ac caprylique	+ 16°	
$C_{10} H_{20} O_2$	Décanoïque	Ac caprique	+31°	
$C_{12} H_{24} O_2$	Dodécanoïque	Ac laurique	+ 44°	Huiles ou graisses animales ou végétales
$C_{14} H_{28} O_2$	Tétradécanoïque	Ac myristique	+ 54°	
$C_{16} H_{32} O_2$	Hexadécanoïque	Ac palmitique	+ 63°	
$C_{18} H_{36} O_2$	Octadécanoïque	Ac stéarique	69°	
$C_{20} H_{40} O_2$	Eicosanoïque	Ac arachidique	+ 75°	
$C_{22} H_{44} O_2$	Docosanoïque	Ac béhénique	+ 80°	
$C_{24} H_{48} O_2$	Tétracosanoïque	Ac lignocérique	+ 84°	
$C_{26} H_{52} O_2$	Hexacosanoïque	Ac cérotique	+ 87°	Cires
$C_{28} H_{56} O_2$	Octacosanoïque	Ac montanique	+ 91°	
$C_{30} H_{60} O_2$	triacontanoïque	Ac mélistique	+ 93°	

LES ACIDES GRAS

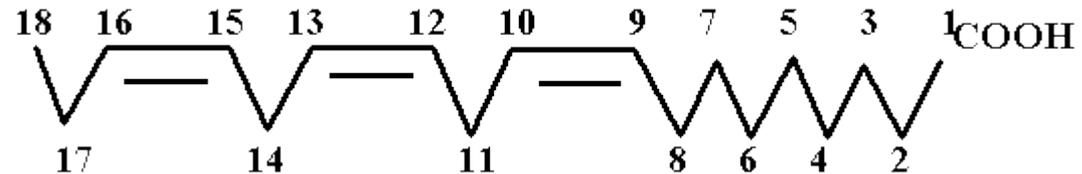
LES ACIDES GRAS MONOINSATURES OU MONOETHYLENIQUES

Acide oléique: $C_{18}:1^9$

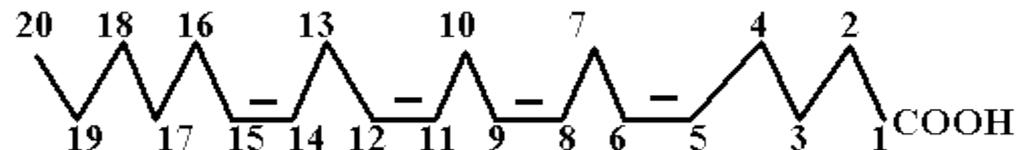


LES ACIDES GRAS POLYINSATURES OU POLYETHYLENIQUES

Acide Linoléique: $C_{18}:3^{9,12,15}$

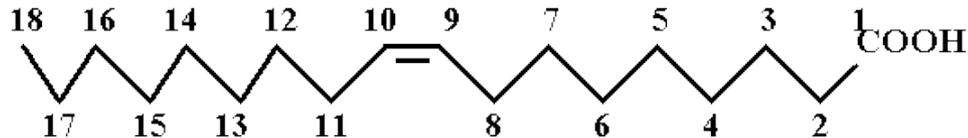
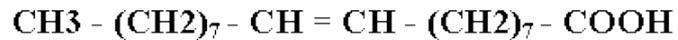


Acide Arachidonique: $C_{20}:4^{5,8,11,14}$



LES ACIDES GRAS

La présence d'une double liaison dans un acide gras entraîne une isomérisie cis-trans. Les acides gras naturels sont cis :

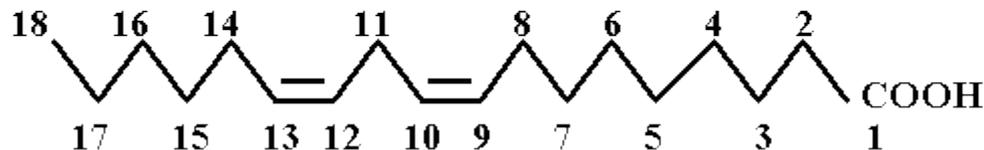
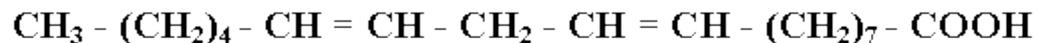


2.3.3 Les acides gras polyinsaturés

Acide linoléique C₁₈ : 2^{9,12}

L'acide linoléique est un acide gras indispensable (besoins quotidiens : 3-4 g).

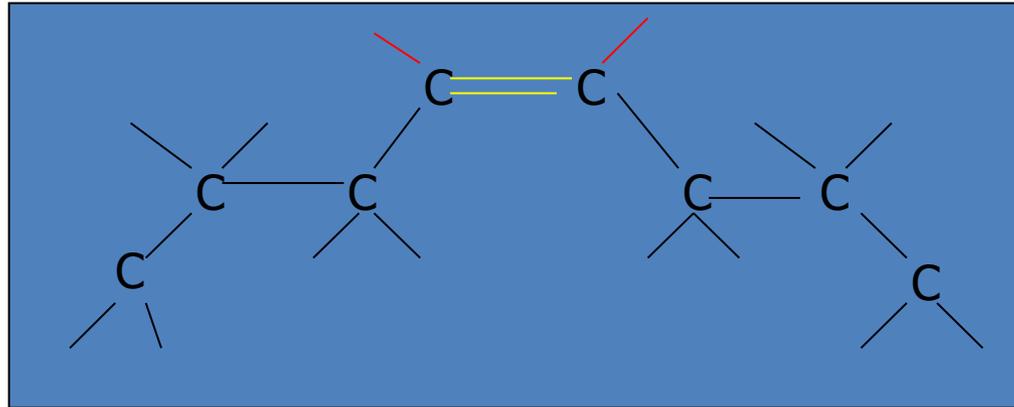
C'est un acide gras en C₁₈ avec 2 doubles liaisons (9, 12)



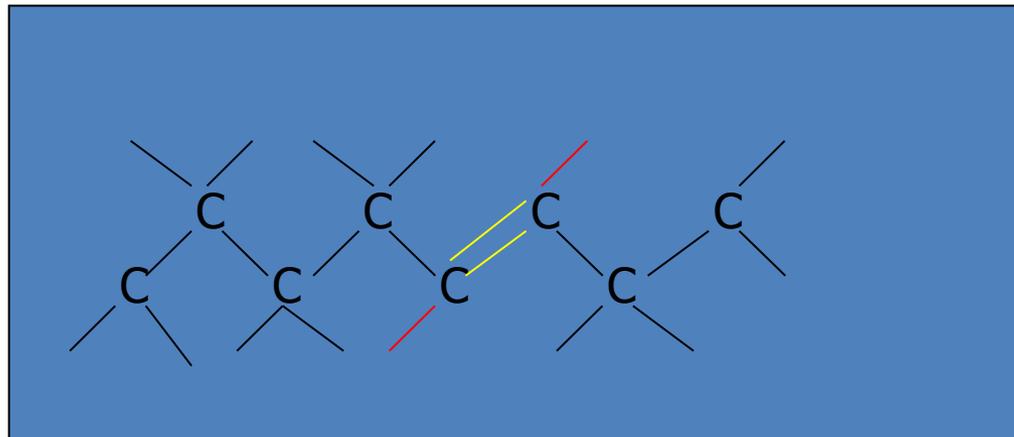
LES ACIDES GRAS

LES ACIDES GRAS INSATURES OU ETHYLENIQUES

Configuration CIS



Configuration Trans

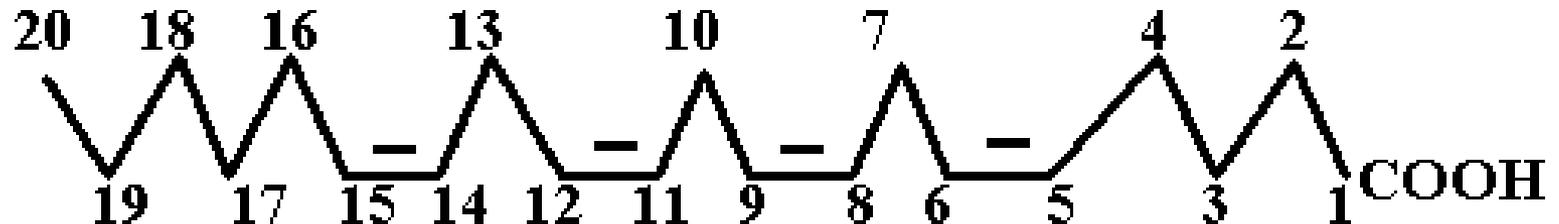


LES ACIDES GRAS

Acide arachidonique C_{20} : 4^{5,8,11,14}

Il possède 4 doubles liaisons en 5, 8, 11, 14

L'acide linoléique donne naissance dans l'organisme à l'acide arachidonique à 20 C et 4 doubles liaisons. En l'absence d'acide linoléique dans l'alimentation, l'acide arachidonique devient indispensable.



LES ACIDES GRAS

Propriétés des acides gras

Propriétés physiques :

Solubilité

L'acide butyrique à 4C est soluble dans l'eau, puis la solubilité des acides gras baisse progressivement et ils sont insolubles à partir de 10C.

Ils sont solubles dans les solvants organiques apolaires : benzène, chloroforme, ...

Le point de fusion (P.F); Le point d'ébullition (P.E):

augmente avec le nombre de C (plus la chaîne carbonée est longue et plus le P.E est élevé).

Ex: palmitate (C16), P.F = 70°C ; Oléate (C18), P.F = 80°C

Le P.F diminue quand le nombre de doubles liaisons augmente.

Ex: Stéarate (C18:0), P.F = 70°C ; Oléate (C18:1), P.F = 13°C

Augmente avec la longueur de la chaîne (*ex: C16, P.E=70°C ; C18, P.E=80°C*)

Par contre , le nombre de double liaison n'a aucune influence sur le point d'ébullition

Propriétés spectrales

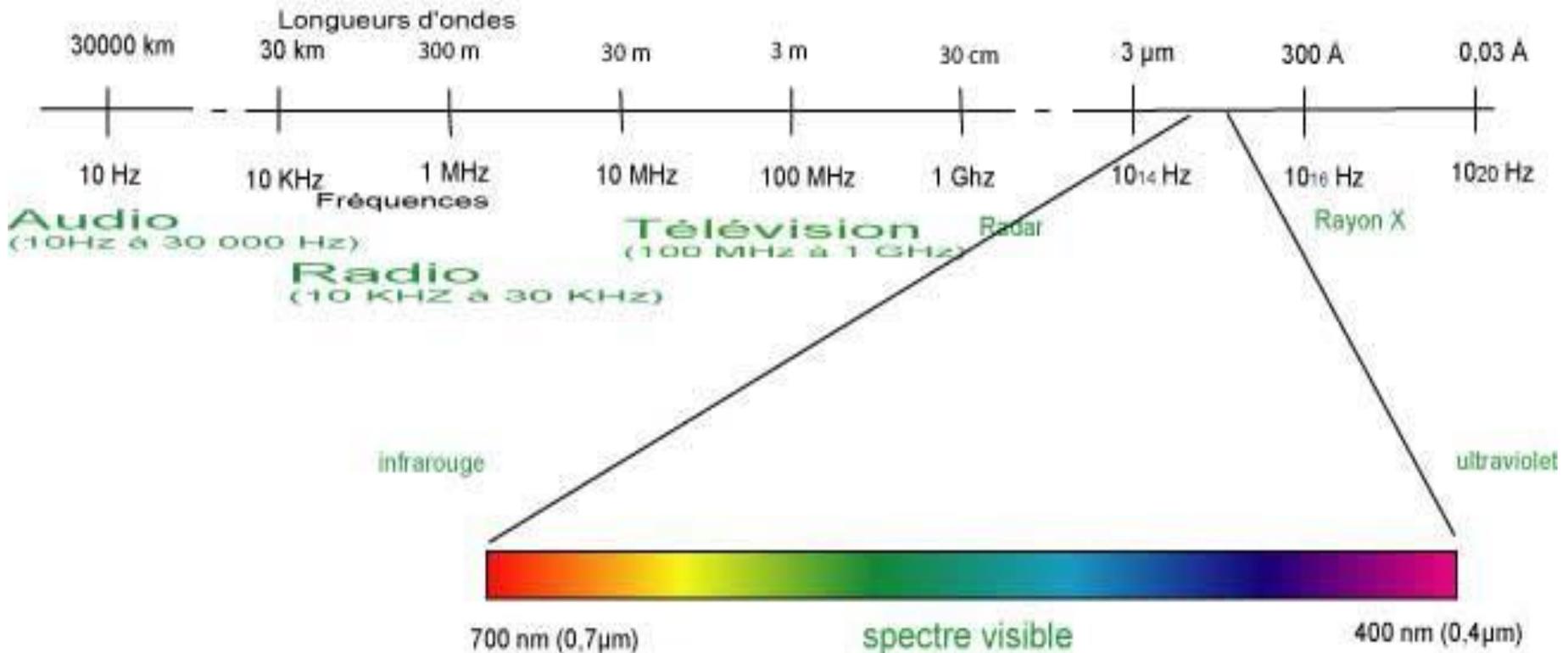
Les acides gras absorbent dans l'ultra-violet (U.V). Le maximum d'absorption dépend du nombre de double liaisons:

Que veut dire , propriétés spectrales , absorbent dans l'U.V, maximum d'absorption ???

LES ACIDES GRAS

Principe de la Spectrophotométrie d'Absorption Moleculaire

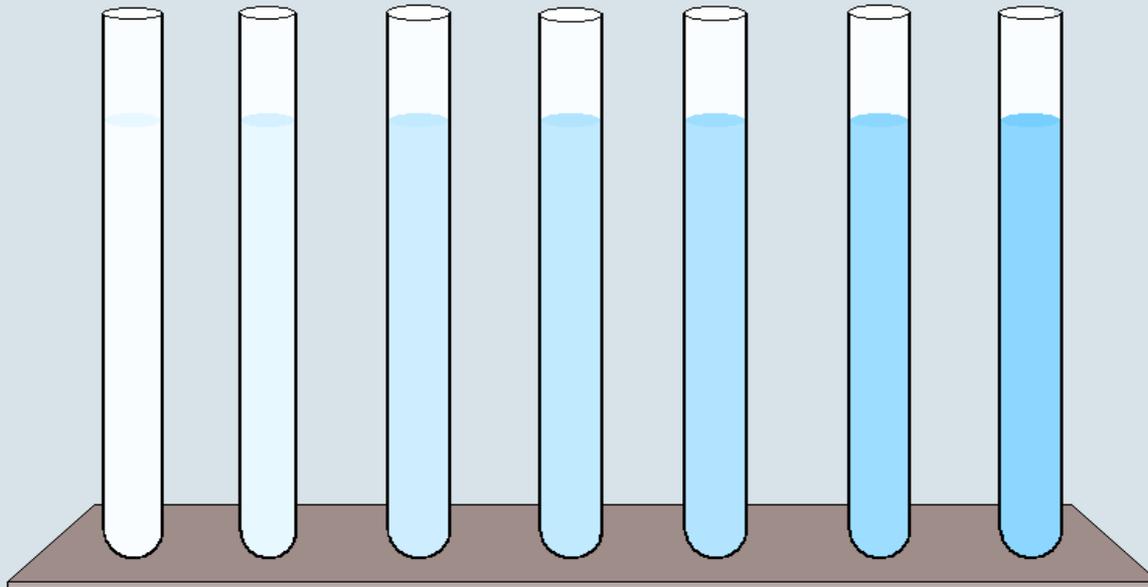
Les longueurs d'ondes et le spectre visible



Un composé coloré absorbe sa propre couleur ou les couleurs qui lui sont complémentaires

LES ACIDES GRAS

Gamme étalon , avec des concentrations croissantes de sulfate de cuivre (bleu) = Cu SO_4

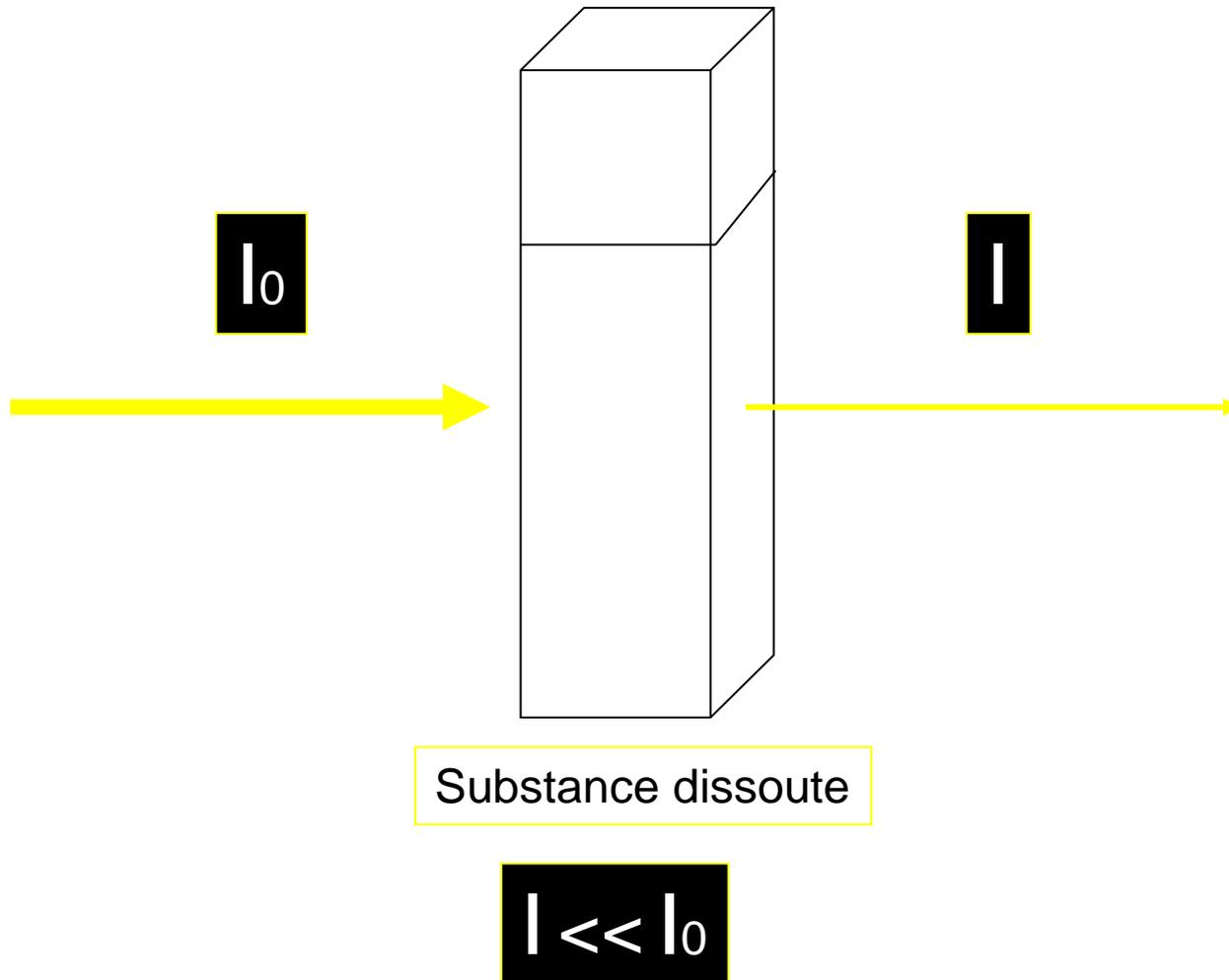


On note que plus la quantité de CuSO_4 mise dans le tube augmente et plus ce dernier devient foncé. En réalité cette constatation doit être interprétée autrement:

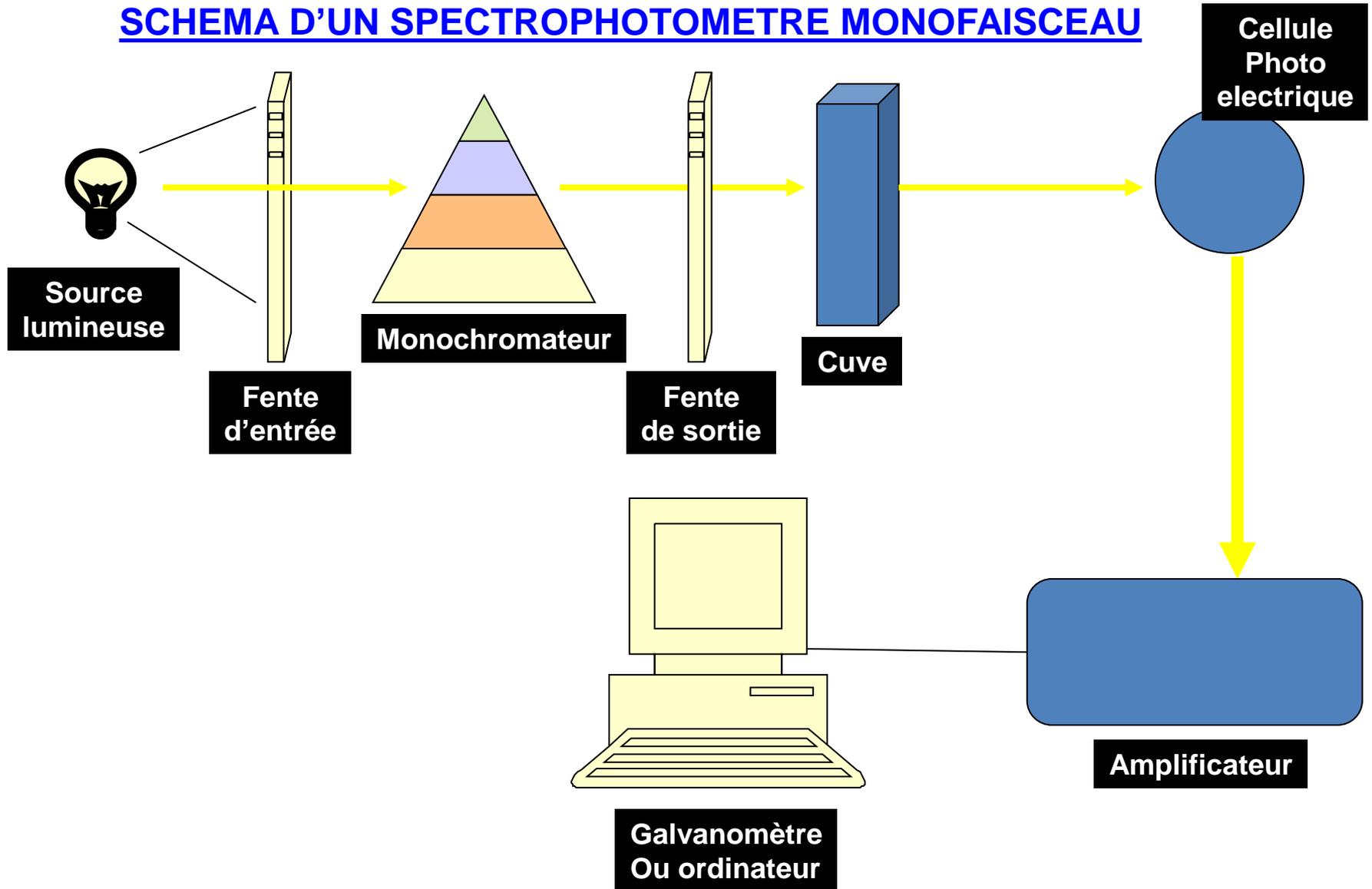
Plus le nombre de molécules de CuSO_4 augmente dans le milieu et plus la quantité d'énergie lumineuse absorbée est grande : En d'autres termes plus le tube est foncé (ou opaque), plus la Lumière sortante du tube est faible = IL Y A EU ABSORPTION MOLECULAIRE

1. Définition et principe

Faisceau lumineux monochromatique traversant une cuve avec substance dissoute



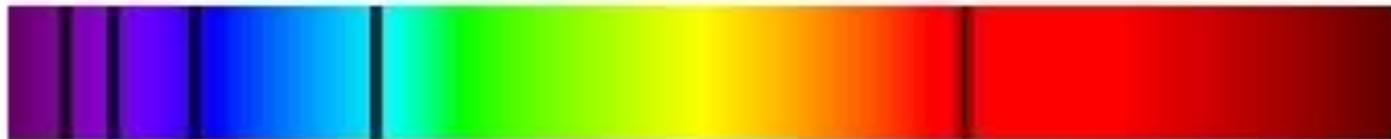
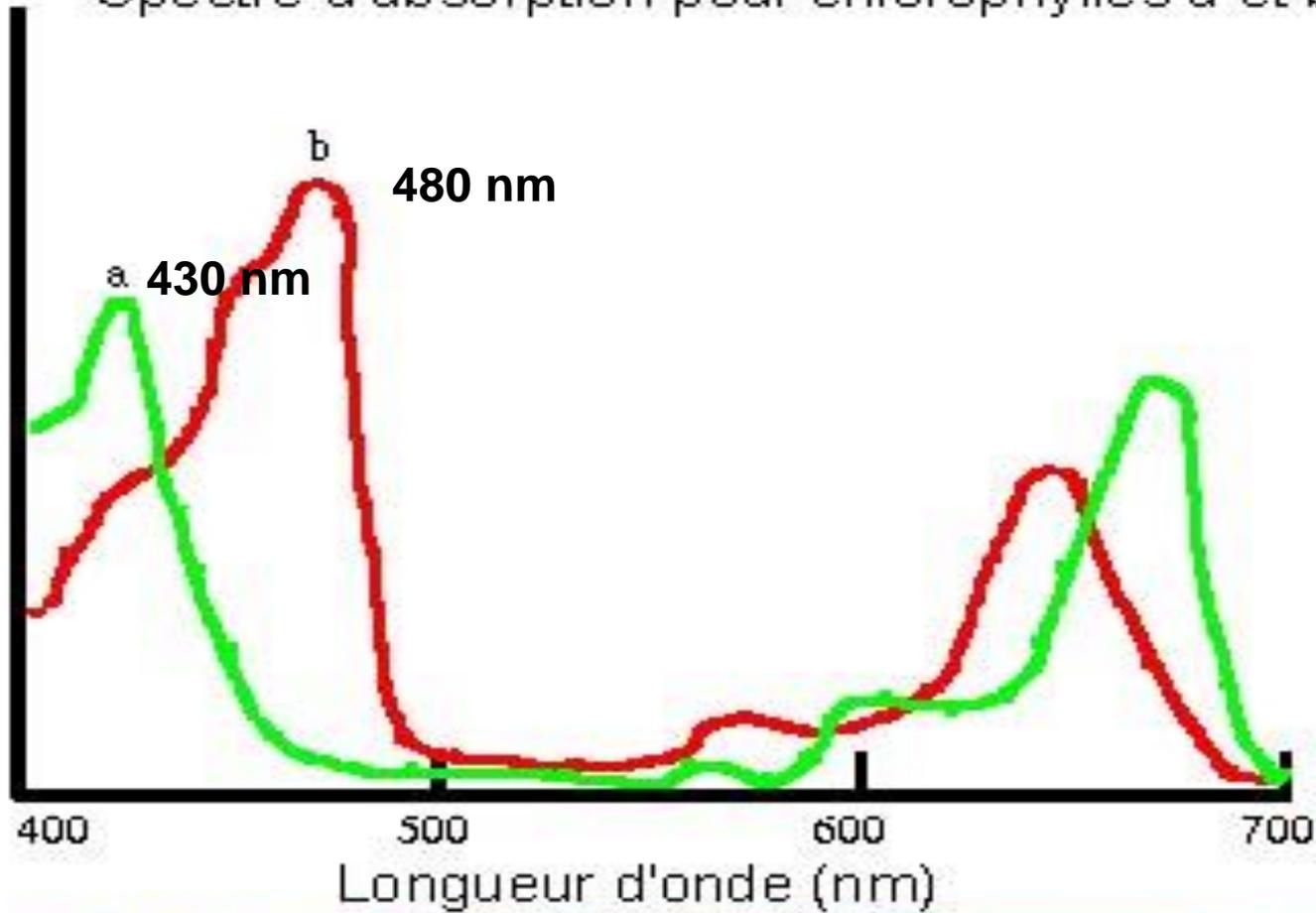
SCHEMA D'UN SPECTROPHOTOMETRE MONOFAISCEAU



Notion de spectre d'absorption

- Celui-ci est établi afin de déterminer **le maximum d'absorption** de lumière par une substance donnée et ce en faisant **varier la longueur d'onde**
- Ex: Les chlorophylles **a** et **b** absorbent dans la zone bleue et la zone rouge du spectre. Mais à quelle longueur d'onde faut-il régler l'appareil pour lire l'absorption de chacune des chlorophylles dans des conditions optimales ?

Spectre d'absorption pour chlorophylles a et b



Couleurs des longueurs d'ondes du graphique

LES ACIDES GRAS

Propriétés spectrales

Les acides gras absorbent dans l'ultra-violet (U.V). Le maximum d'absorption dépend du nombre de double liaisons:

Exemple : 2 double liaisons : 232 nm

3 double liaisons : 268 nm

4 double liaisons : 300 nm

Propriétés chimiques :

Celles-ci vont dépendre de deux paramètres fondamentaux

- La présence de la fonction carboxyle
- La présence de double liaisons

(la chaîne carbonée ne donne pas à la molécule des propriétés chimiques particulières)

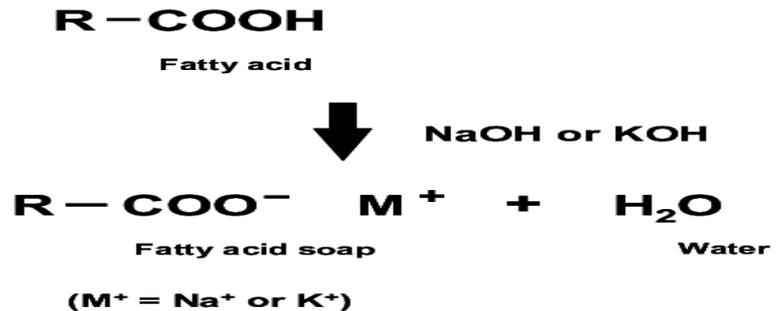
Propriétés dues à la fonction carboxyle (COOH)

- Formation de sels: (saponification)

L'action d'hydroxyde métallique (NaOH ou KOH), sur un AG donne naissance à un sel alcalin ou Savon. Les sels alcalins sont solubles dans l'eau et possèdent des propriétés moussantes et émulsifiantes

LES ACIDES GRAS

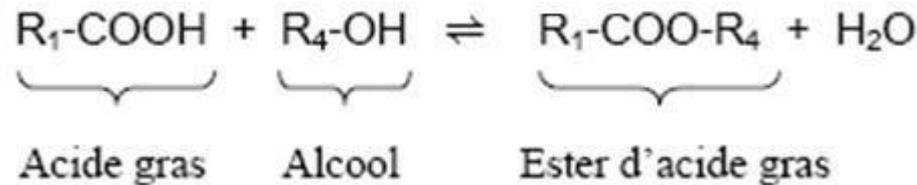
Réaction de saponification par NaOH ou KOH



Formation d'esters

La réaction d'estérification nécessite du point de vue chimique la présence d'un acide minéral comme Catalyseur. Dans l'organisme vivant cette réaction est catalysée par des enzymes spécifiques: [Les Estérases](#)

Principe



Propriétés dues à la présence de double liaisons

Réduction (ou réaction d'addition)

La fixation d'hydrogène sur la ou les double liaisons transforme l'AG insaturé en AG saturé



In vitro , le catalyseur est le noir de platine . C'est grâce à ce procédé que dans l'industrie agro-alimentaire, Les huiles végétales sont transformées en margarines.

LES ACIDES GRAS

Oxydation

Se fait par un peracide : molécule possédant un oxygène entre le C et OH. Grand pouvoir oxydant
Ex: acide performique

A froid : l'oxydation d'un AG éthylénique par un péracide conduit à un époxyde (composés très toxiques pour la peau)

A chaud: à 50°C, sous l'action d'un sel minéral, un acide gras donne un glycol.

Si les AG insaturés sont traités par un puissant antioxydant tel que le permanganate de Potassium (KMnO₄)
On aboutit à la formation de deux acides

LES ACIDES GRAS

Autooxydation des graisses insaturées

Ce processus se développe normalement à l'air libre et confère aux graisses une odeur caractéristique (c'est le rancissement). Cette autooxydation peut être activée par des Catalyseurs organiques (époxydes) ou biologiques (lipoxydases). Le rancissement conduit à la formation de Dérivés toxiques. En industrie alimentaire, cette autooxydation est partiellement évitable grâce à l'emploi d'antioxydant.

Fixation d'halogènes (Br, I)

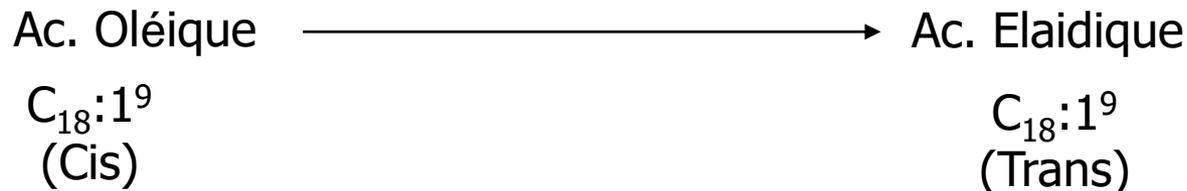
L'iode se fixe sur les carbones des double liaisons:



Intérêt: Cette propriété est utilisée pour la détermination du nombre de double liaisons. On définit ainsi l'indice Iode: c'est le nombre de molécule d'iode (I₂) nécessaires pour saturer toutes les double liaisons d'un acide gras insaturé.

Isomérisation:

L'isomérisation cis-trans des acides gras insaturés naturels est possible par voie chimique. Elle est très lente à Température ambiante et plus rapide à chaud. (C'est un des facteur de rancissement des matières grasses).



LES ACIDES GRAS

SEPARATION DES ACIDES GRAS :

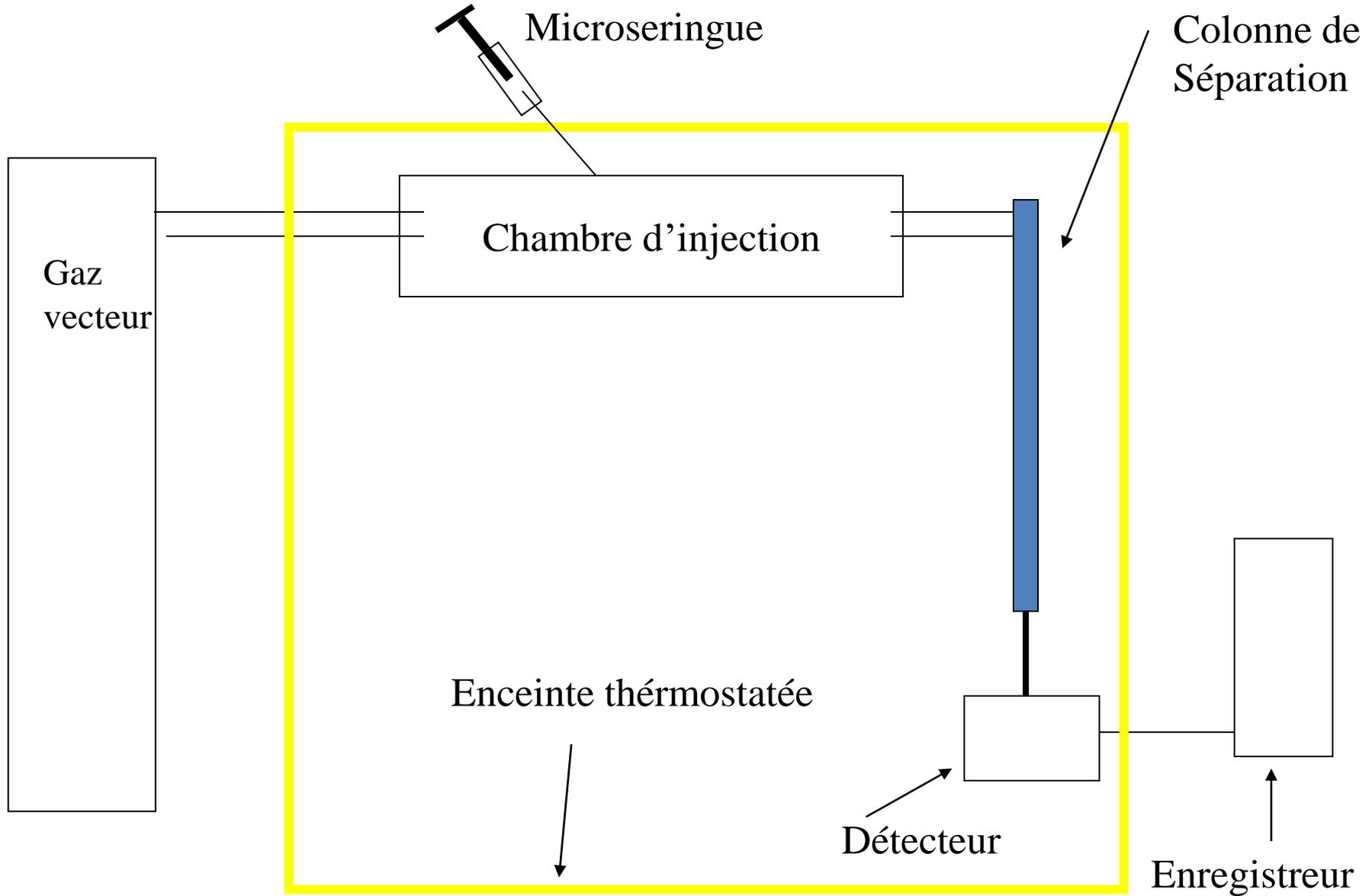
L'analyse des mélanges d'AG obtenus par hydrolyse des lipides naturels ne pose aucun problème depuis l'utilisation de la chromatographie en phase gazeuse (C.P.G), procédé d'analyse très précis et très sensible.

Principe: c'est une chromatographie de partage qui n'est utilisée que pour les molécules **De faible poids moléculaire** et qui sont **volatiles**

Principe de la CPG:

- **Séparation , identification et dosage** de constituants **volatiles** d'un mélange selon le coefficient de partage entre une phase stationnaire (solide ou liquide) et une phase mobile (gazeuse).
- Séparation selon le **temps de rétention** à travers la phase stationnaire (en général une colonne)

Appareillage

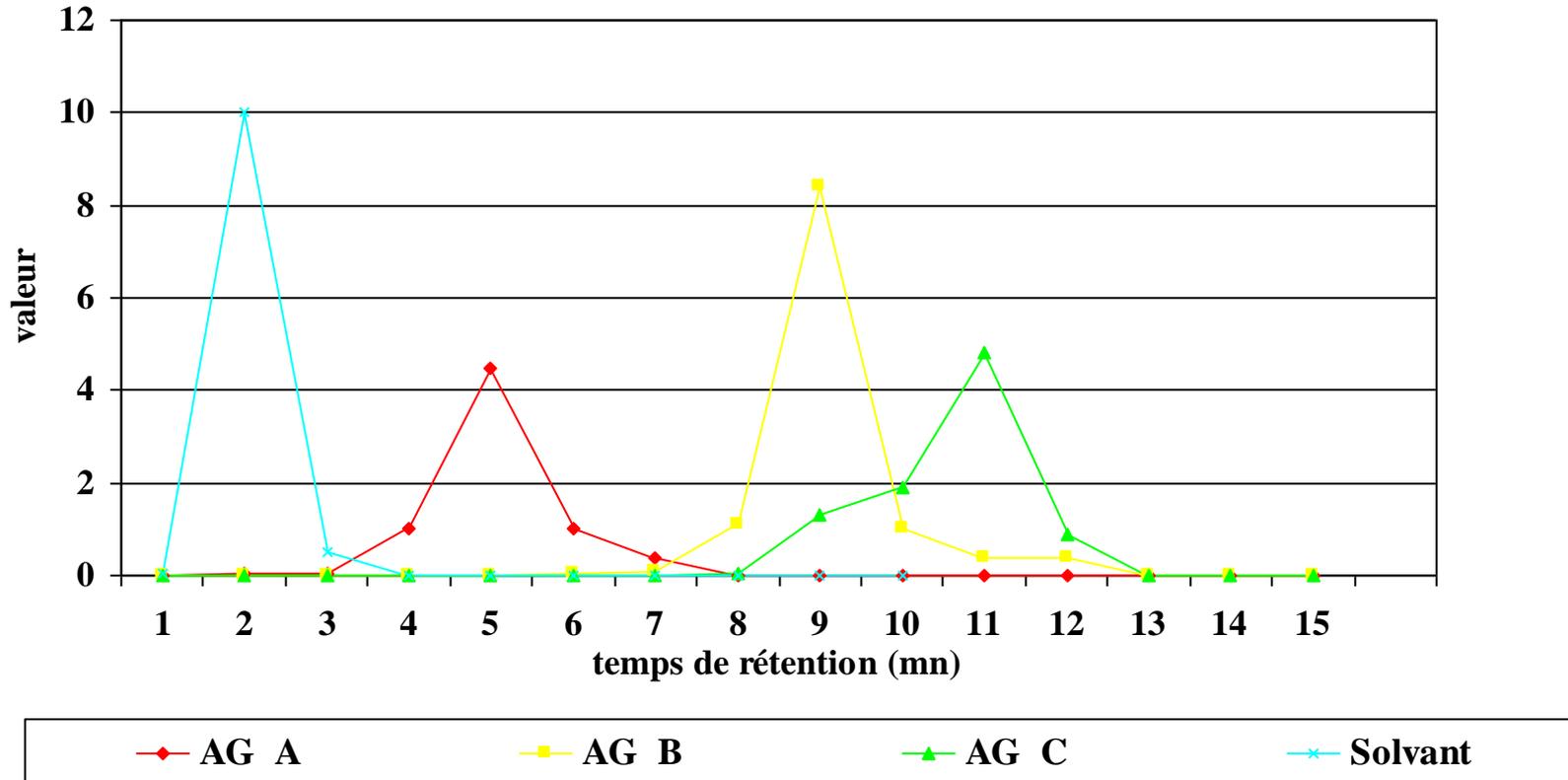


Technique et protocole expérimental:

1. **Solubilisation des substances** (solvants organiques appropriés sans affinité pour la phase stationnaire)
2. **Injection de l'échantillon à l'aide de microseringue** (Chambre d'injection préalablement chauffée à 350°C)
3. **Volatilisation du solvant et des substances à séparer**
4. **Injection d'un flux de gaz vecteur** (pas d'affinité du gaz pour la colonne)
5. **Migration des substances à travers la colonne**
6. **Sortie des substances de la colonne** (ordre de sortie inversement proportionnelle au temps de rétention dans la colonne = Plus l'affinité est grande pour la colonne et plus la sortie de la substance sera tardive)
7. **Détection** (par des systèmes de mesures ultrasensibles)
8. **Enregistrement** (soit sur papier soit directement sur écran de contrôle)

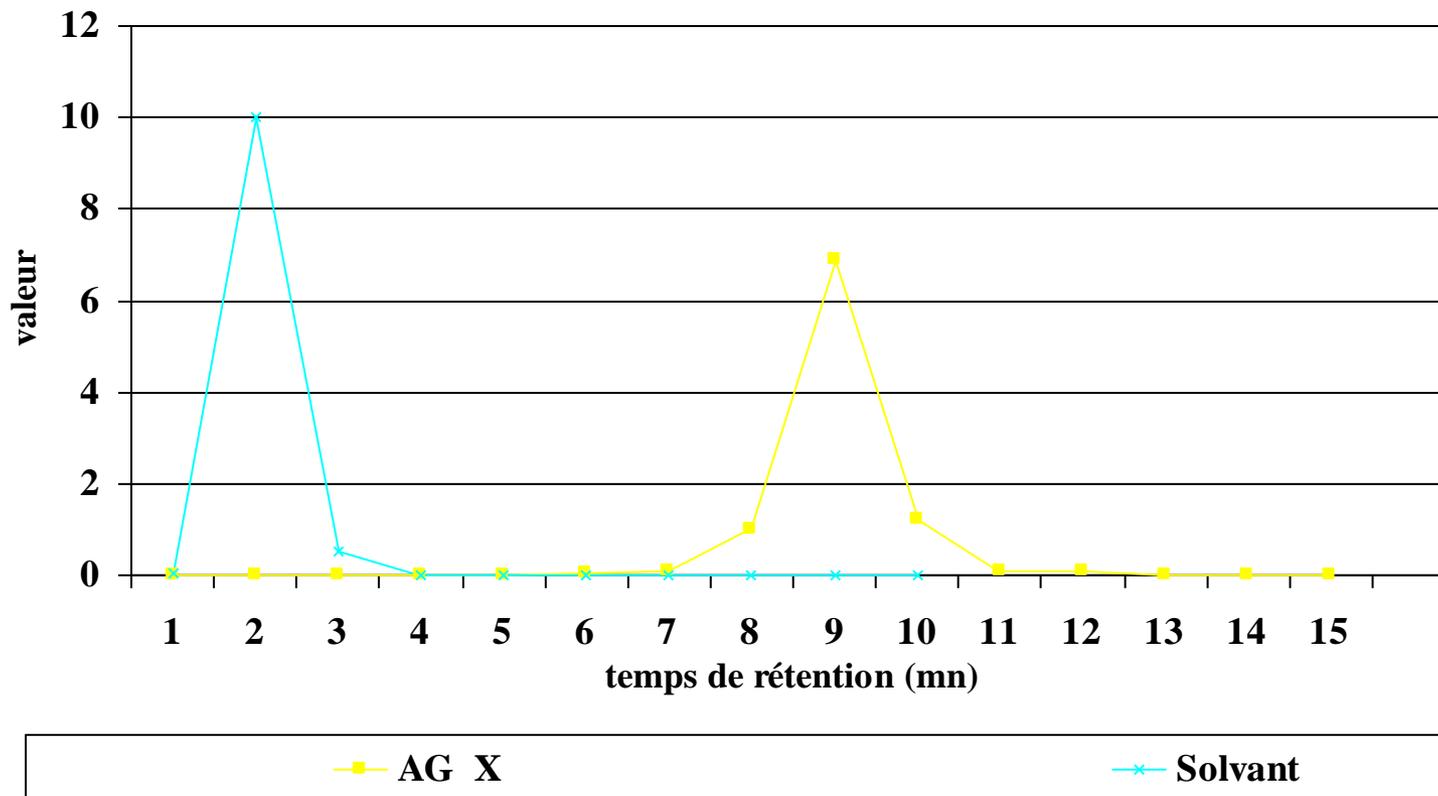
Exemples de tracés d'enregistrement:

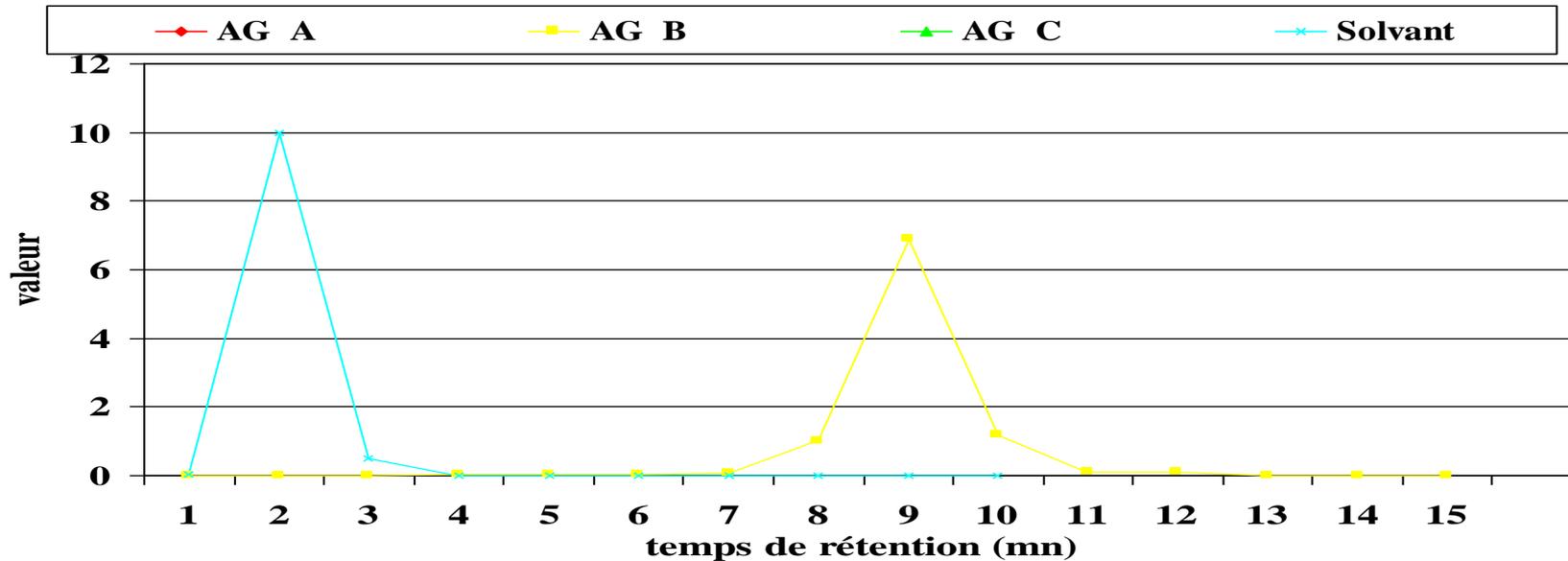
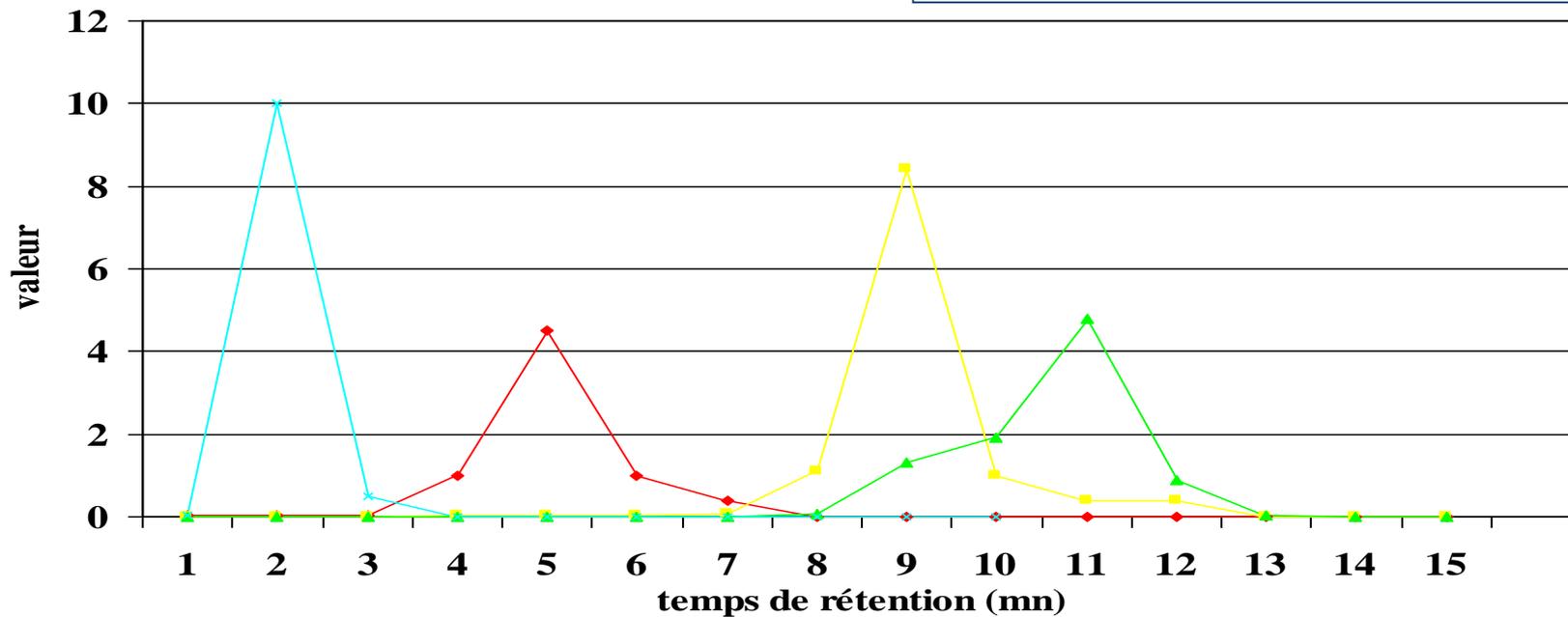
Tracés de CPG pour Acides gras témoins (éléments connus)



Exemples de tracés d'enregistrement:

Tracés de CPG pour échantillon (élément inconnu)





Interprétation des graphes:

- La CPG permet d'identifier les éléments séparés (temps de rétention spécifiques à chaque substance) = **Méthode Qualitative**
- Les éléments séparés peuvent être quantifiés par rapport à la hauteur du pic obtenus et de l'aire sous la courbe = **Méthode Quantitative**

Domaines d'application:

- **Domaine très large , (ex: AGL dans le sérum) mais également la recherche de résidus médicamenteux (antibiotiques) ou toxiques (organochlorés)**

Exemples de tracés réels de chromatographie en Phase Gazeuse

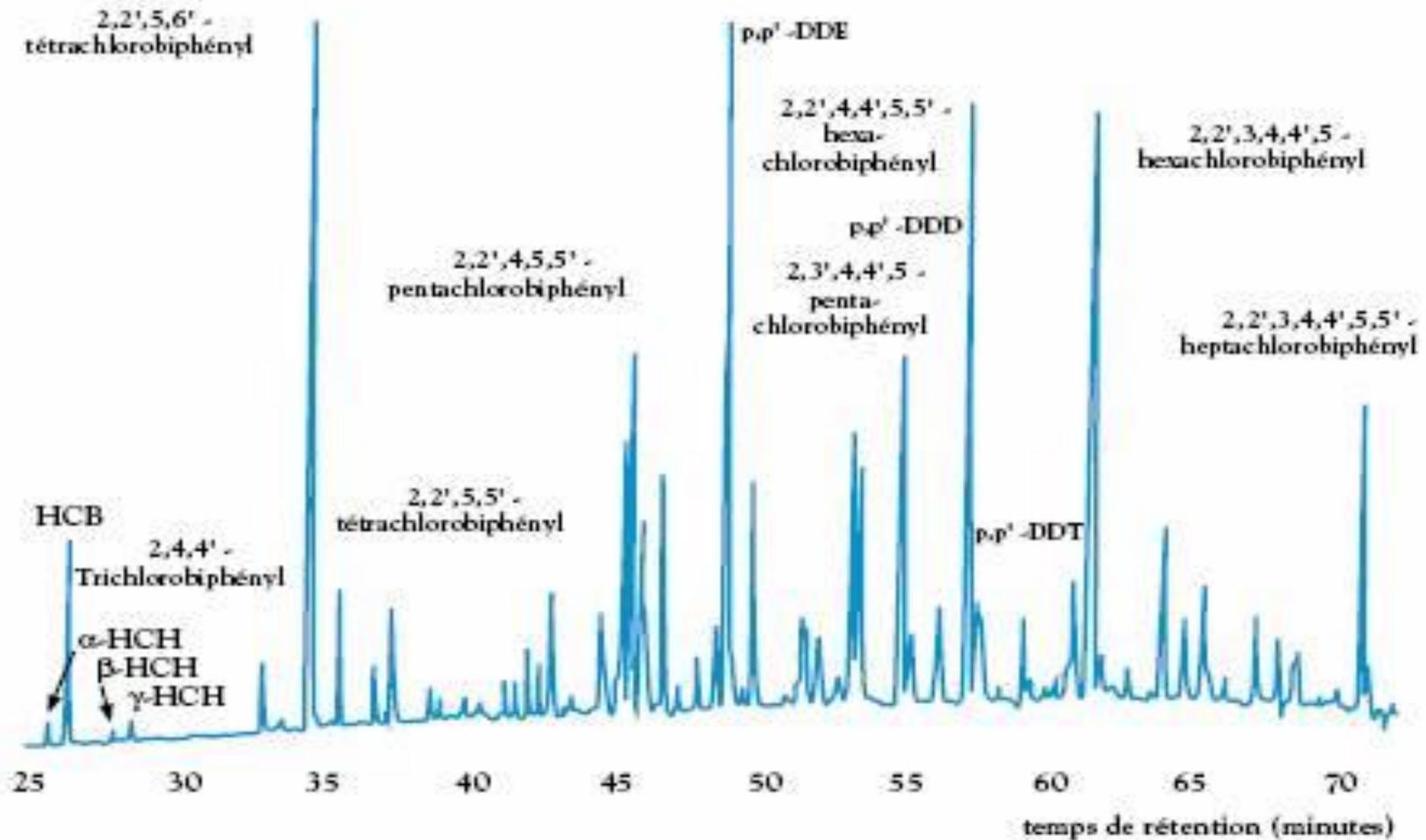
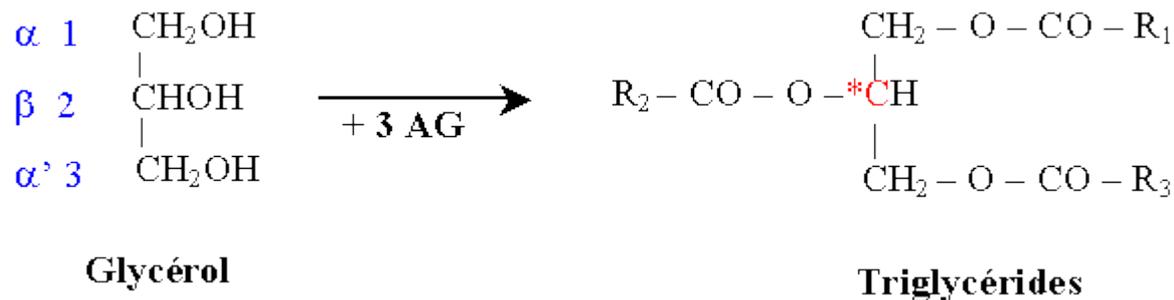


Figure 4.2 : Chromatogramme-type de l'analyse de polluants persistants (ici, dans le hareng) par chromatographie gazeuse dans les années quatre-vingt-dix

LES LIPIDES SIMPLES

LES GLYCERIDES

Ce sont des lipides simples, composés ternaires constitués de C, H, O
Ce sont des esters d'acides gras + glycérol



Si les 3 AG sont identiques, le triglycéride est homogène ; s'ils sont différents, il est hétérogène. Ce sont les lipides naturels les plus nombreux, présents dans le tissu adipeux (graisses de réserve) et dans de nombreuses huiles végétales. Ils représentent une réserve énergétique importante chez l'homme.

LES GLYCERIDES

NOMENCLATURE

Celle-ci résulte de la combinaison de deux critères:

La nature des acides gras estérifiant le glycérol
nombre et position de ces acides gras

Ainsi, on peut avoir des mono, di ou triglycérides selon le nombre d'acides gras présents:

- Estérifié par des AG de même nature = **Homogène**
- Estérifié par des AG de nature différentes = **Hétérogène**

LES GLYCERIDES

NOMENCLATURE

Nom général	structure
α monoglycéride	
	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---O---CO---R} \\ \\ \text{CHOH} \\ \\ \text{CH}_2\text{---O---CO---R} \end{array} $
αβ diglycéride hétérogène	
	$ \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{---O---CO---R}_1 \\ \\ \text{CH---O---CO---R}_2 \\ \\ \text{CH}_2\text{---O---CO---R}_3 \end{array} $

LES GLYCERIDES

Un autre système de nomenclature tient compte de la racine de l'acyl estérifiant le glycérol en définissant clairement sa position, suivi du mot glycérol.

Exemple: 1 ac. Palmitique en C1 = 1 palmitiyl glycérol ou α palmityl glycérol

A compléter

1 ac palmitique en C1 et 2 ac. Stéarique en C2 et C3 (nom et structure)

=

3 acides oléiques en C1, C2 et C3 (nom et structure)

=

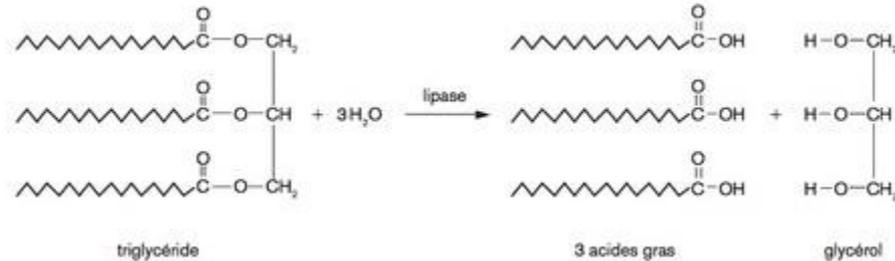
1 ac laurique en C1, 1 ac linoléique en C2, 1 ac stéarique en C3 (nom et structure)

=

LES GLYCERIDES

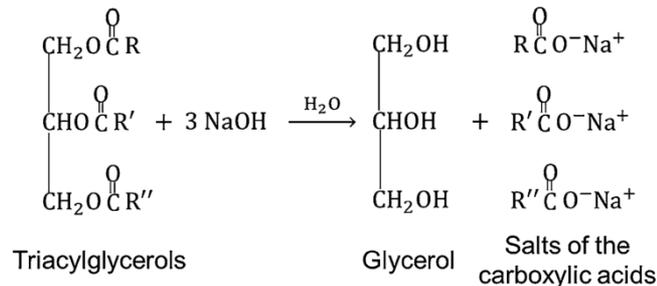
HYDROLYSE:

En milieu acide dilué (H₂SO₄, à 5%), les liaisons esters sont détruites et on obtient ainsi une libération des acides Gras d'une part et de glycérol d'autre part



SAPONIFICATION

Un triglycérider traité par de la potasse (KOH), donne naissance à du glycérol et des acides gras mais sous forme De sels (ou savons)



Cela permet de déterminer un indice de saponification qui sera d'autant plus élevé que la quantité de triglycérider à estérifier dans les matières grasses sera plus grand. L'indice de saponification représente la quantité de KOH (en mg) nécessaire par Saponifier 1 gramme de graisse.

Nature de matière grasse	Indice de saponification
Graisse animale	196
Beurre	225
Huile d'olive	185

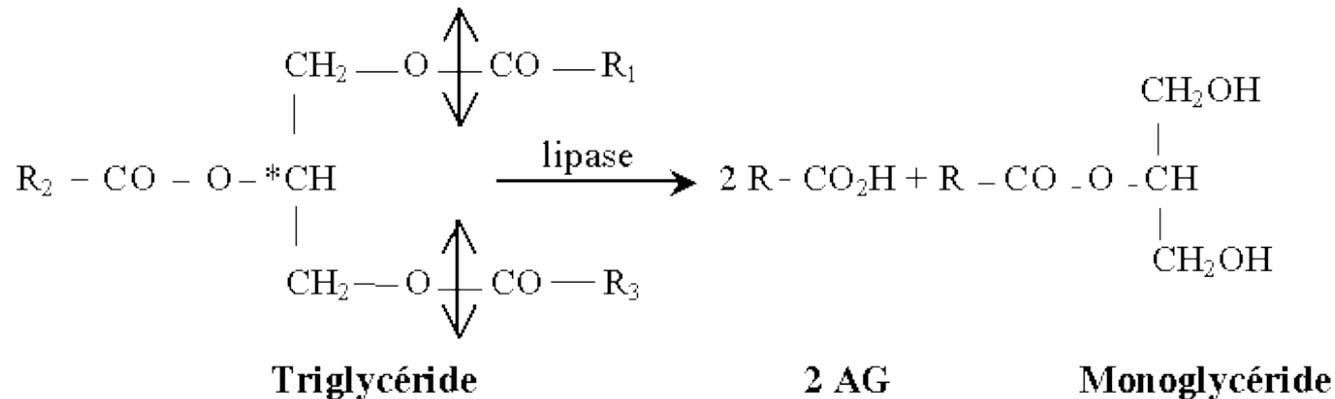
LES GLYCERIDES

Propriétés physico-chimiques

Ils sont solubles dans l'acétone ce qui les différencie des phospholipides (ils sont très apolaires).

Hydrolyse des triglycérides

La lipase, enzyme du suc pancréatique, hydrolyse les triglycérides alimentaires en monoglycéride + 2 acides gras :



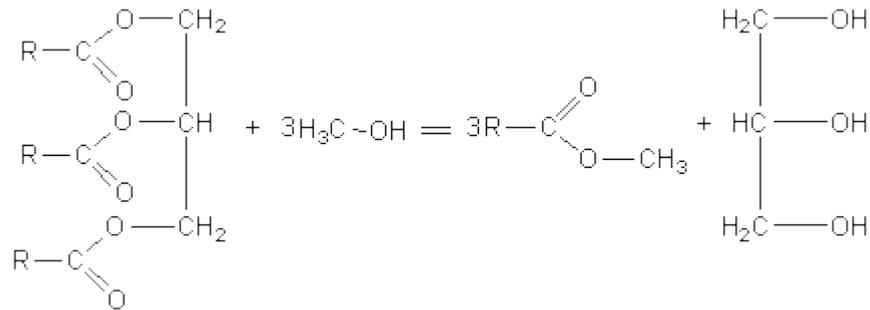
- Dans le tissu adipeux, l'hydrolyse est complète car elle fait intervenir
- la lipase hormonosensible, puis une monoglycéride lipase pour donner :

Glycérol + 3 AG

LES GLYCERIDES

ALCOOLYSE

Cela se fait par des alcools (méthanol ou éthanol) et l'on obtient d'une part des esters méthyliques ou éthyliques D' AG et d'autre part du glycérol



RANCISSEMENT :

sur le plan chimique , c'est une oxydation des liaisons des liaisons éthyléniques au sein des AG insaturés. Par moment , l'oxydation peut aboutir à la coupure de la chaîne au niveau des double liaisons libérant ainsi des Aldéhydes et des AG volatils composés à l'origine de l'odeur désagréable du rancissement .

PROPRIETES BIOLOGIQUES

Les glycérides servent de réserves énergétiques et sont stockées dans le cytoplasme des adipocytes. Ils jouent Un rôle d'isolant thermique. Ils servent à la protection mécanique, contre les chocs et au soutien des organes. Ce sont aussi des intermédiaires métaboliques dans la synthèse et la dégradation des lipides.

LES CERIDES

Définition:

Ce sont des esters d'acides gras et d'alcool à longues chaînes carbonées et à poids moléculaires élevés On les appelle communément CIREs; Ils font partie des lipides des cires animales (insectes ou blanc de baleines)

Les alcools constitutifs sont

Alcool cérylique = $(\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{28}-\text{CH}_2\text{OH})$

Alcool myricylique = $(\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{24}-\text{CH}_2\text{OH})$

Propriétés physico-chimiques:

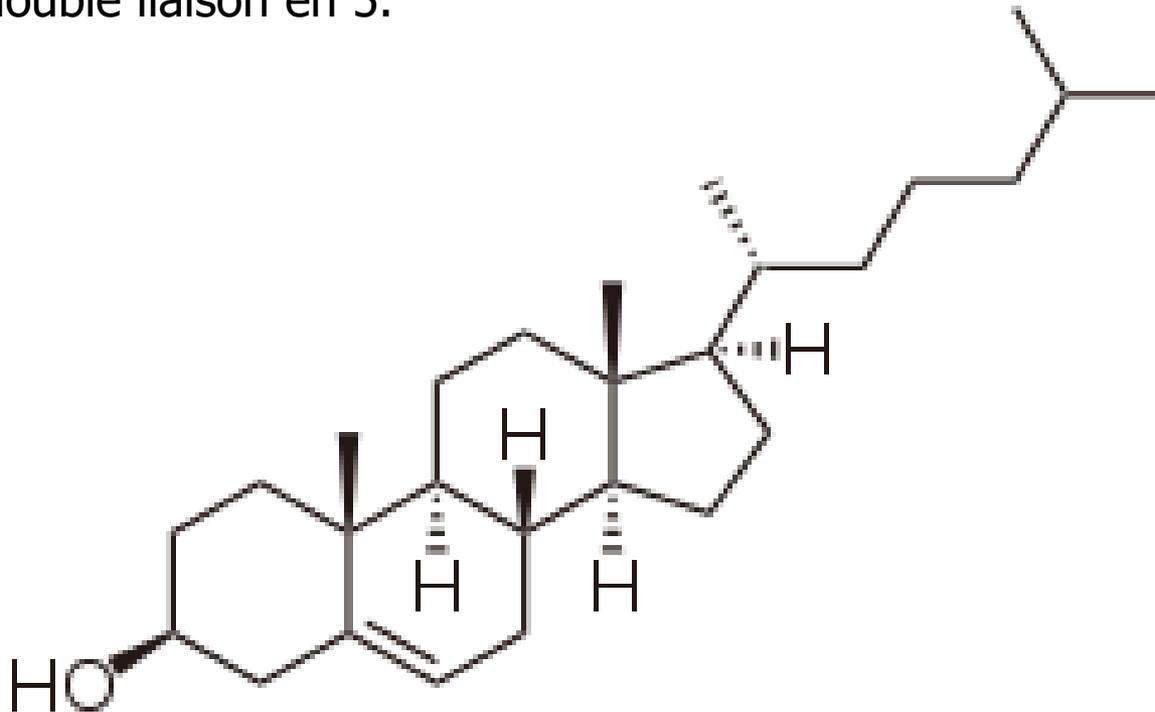
Dans l'ensemble, les cérides possèdent les mêmes propriétés physico-chimiques que les acides gras et les triglycérides

Propriétés biologiques:

Cette classe de lipides a la particularité d'entrer principalement dans la structure des lipides de revêtement

LES STERIDES

- Ce sont des esters du cholestérol. Le cholestérol est une structure composée
- de 3 cycles hexagonaux + un cycle pentagonal correspondant au
- **cyclopentanoperhydrophénanthrène**. Il possède une fonction alcool secondaire en C3
- et une double liaison en 5.



LES STERIDES

Le stéride est formé par estérification d'un AG sur la fonction alcool en 3 du cholestérol.

Le cholestérol est apporté dans l'alimentation et synthétisé par le foie ; il est transporté dans le sang dans les lipoprotéines.

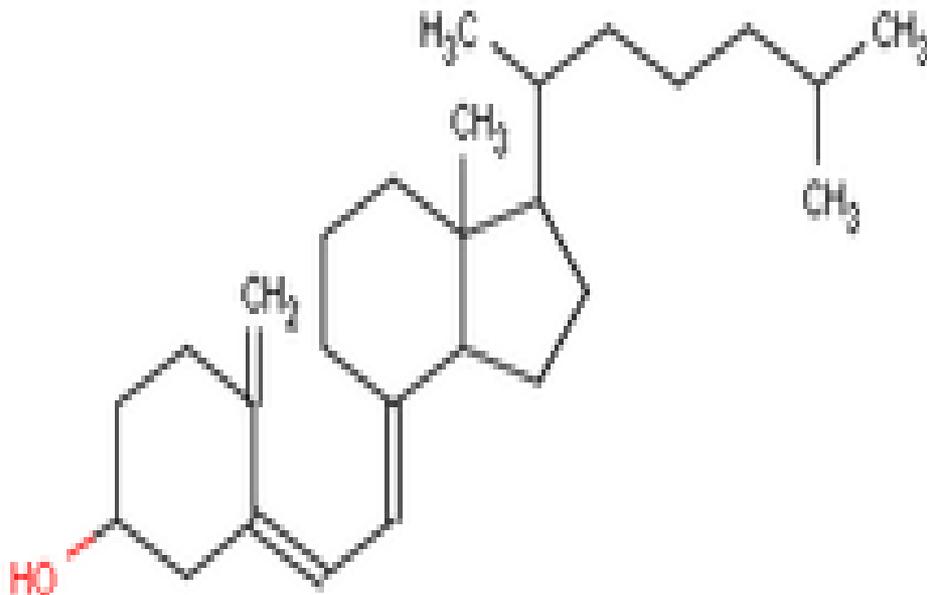
C'est un constituant des membranes (rôle dans la fluidité).

Le cholestérol sert dans l'organisme à la synthèse de 3 groupes de molécules :

Les hormones stéroïdes (cortisol, testostérone...)

La vitamine D3

Les acides biliaries



Elle est synthétisée à partir d'un précurseur le 7-déhydrocholestérol, présent dans la peau, qui se transforme en vitamine D3 sous l'effet des UV. Elle est métabolisée dans le foie où une 25-hydroxylase la transforme en 25-OH-vitamine D3 puis cette dernière est hydroxylée dans le rein par une 1-hydroxylase pour donner la 1,25-dihydroxyvitamine D3 ou calcitriol qui est une hormone. Le calcitriol est responsable de toutes les propriétés de la vitamine D3. La vitamine D3 est une vitamine liposoluble qui prévient le rachitisme en favorisant la fixation du calcium sur l'os.

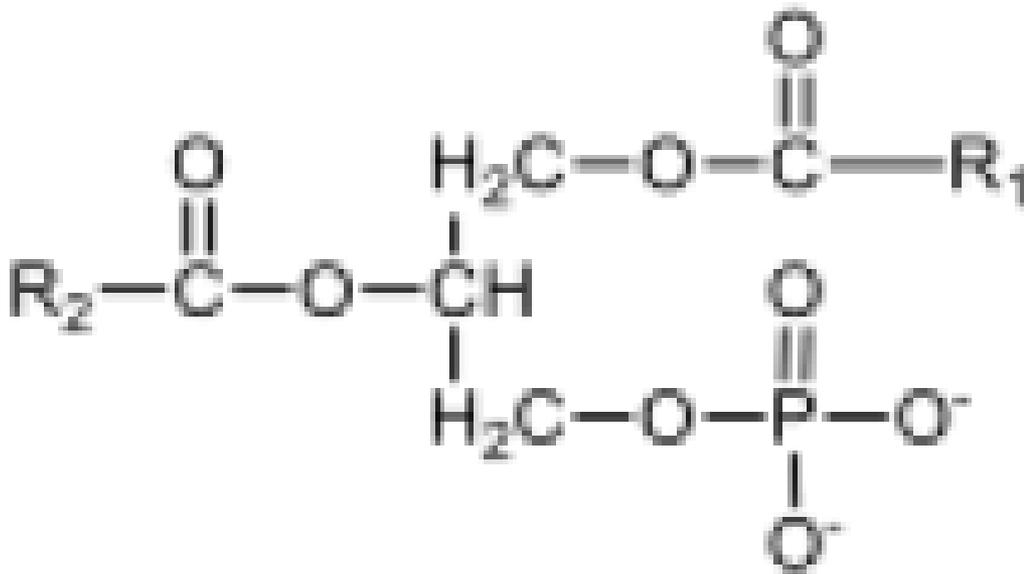
LES LIPIDES COMPLEXES

LES GLYCEROPHOSPHOLIPIDES

L'acide phosphatidique

C'est l'élément de base des glycérophospholipides.

Acide phosphatidique = Ester phosphorique de diglycéride



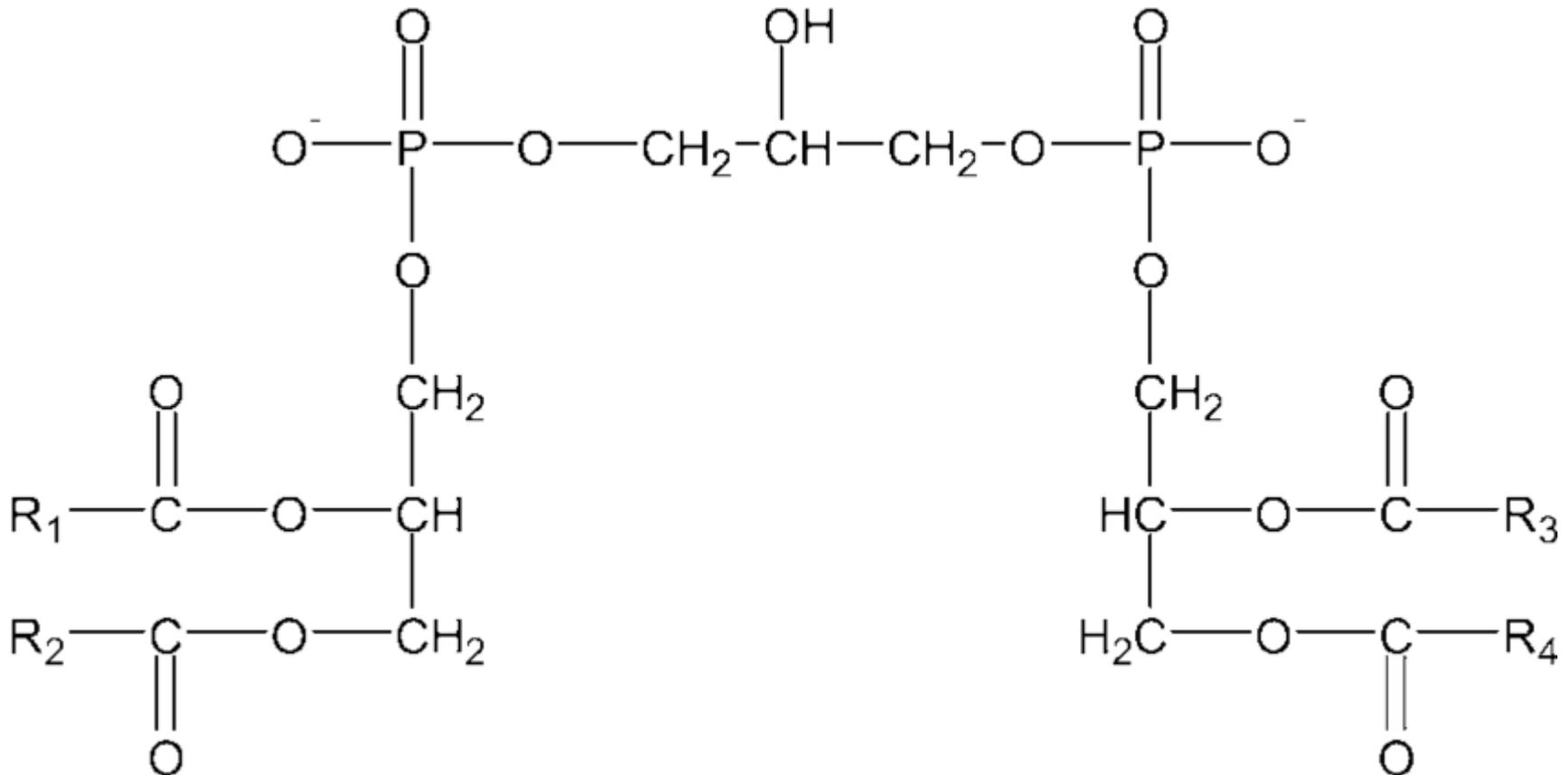
Les deux acides gras ont une chaîne longue (14C), l'acide gras en position 2 est souvent insaturé.

L'acidité de la molécule provient des 2 H mobiles libres de l'acide phosphorique.

LES GLYCEROPHOSPHOLIPIDES

La **cardiolipine** (ou diphosphatidylglycérol)

Structure



LES LIPIDES COMPLEXES

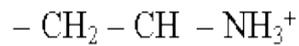
LES GLYCEROPHOSPHOLIPIDES

Les glycérophospholipides

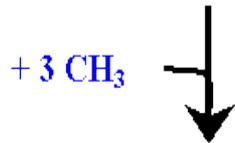
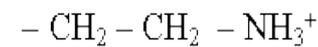
Ils sont constitués d'acide phosphatidique + alcool

Nature de l'alcool

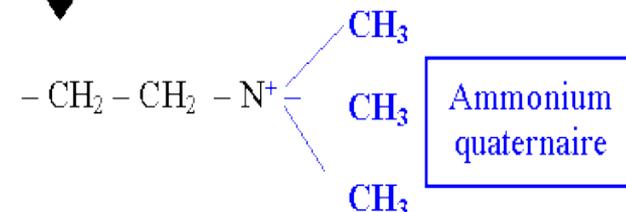
- Sérine



- Ethanolamine



- Choline



Les différentes classes de glycérophospholipides

Le lipide se forme par fixation d'un alcool sur l'acide phosphatidique.

Selon l'alcool, on obtient des classes différentes de lipides.

Phosphatidylsérines =

Acides Phosphatidiques + Sérine

Phosphatidyléthanolamines = CEPHALINES

Acides Phosphatidiques + Ethanolamine

Phosphatidylcholines = LECITHINES

Acides Phosphatidiques + Choline

Phosphatidylinositols =

Acides Phosphatidiques + Inositol

Les lécithines sont des substances jaunes cireuses répandues dans le foie, le cerveau et le jaune D'œuf. Cette molécule peut subir l'action d'enzymes spécifiques : **les lécithinases** ou **phospholipases**

Les lécithinases

Il existe 4 formes enzymatiques de lécithinases (avec un lieu d'action spécifique pour chacune D'entre elles

Forme A: présente dans les venins (serpents, scorpion, abeilles,...), conduit à 1 AG + une lysolécithine.

Forme B: présente dans le pancréas. N'agit qu'après l'action de la forme A (donc sur la lysolécithine)
Provoque des hémolyses intravasculaires et conduit à 1 AG + glycérophosphocholine

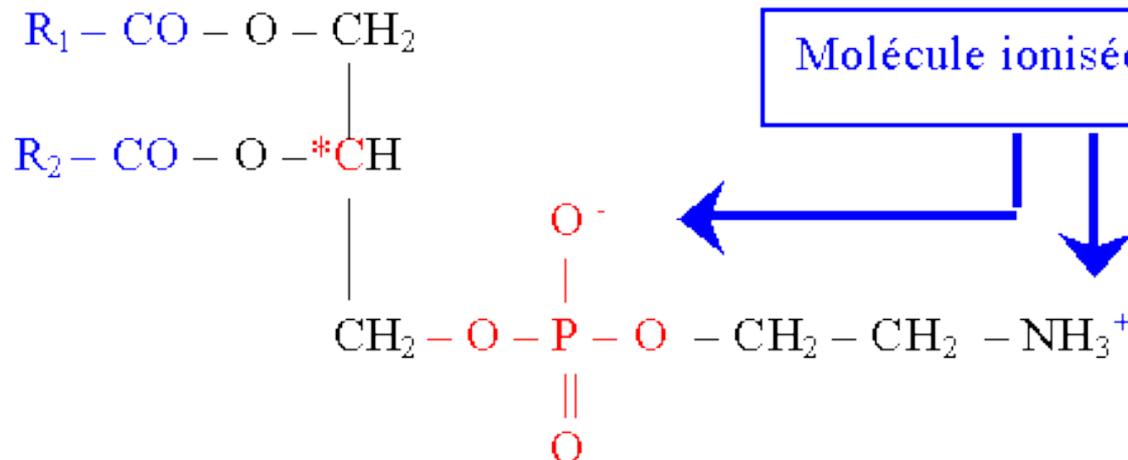
Forme C: Présente dans les bactéries. Action indépendante des deux formes A et B. Conduit à 1 glycéride + phosphocholine

Forme D: Extraite des légumes. Conduit à 1 ac. Phosphatidique + Choline

LES LIPIDES COMPLEXES

LES GLYCEROPHOSPHOLIPIDES

LES PHODPHATIDYL-ETHANOLAMINE OU CEPHALINES



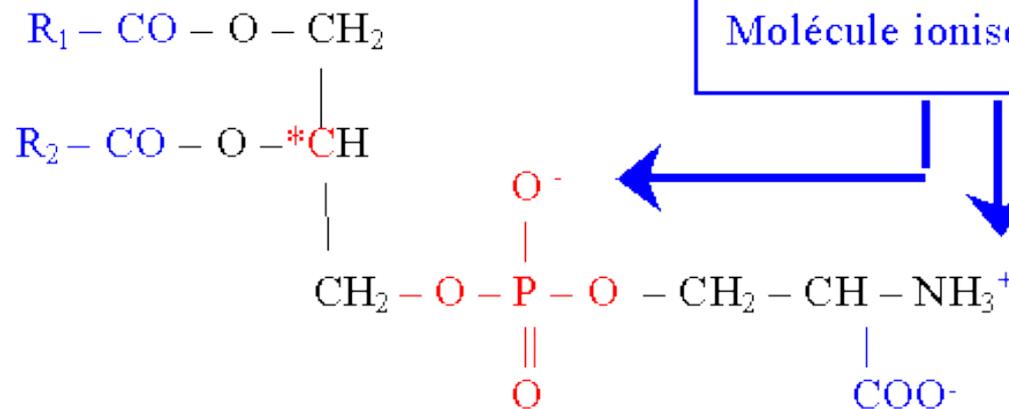
Phosphatidyl-Ethanolamine

Au pH du sang (7,35 - 7,45) les molécules sont ionisées.

LES LIPIDES COMPLEXES

LES GLYCEROPHOSPHOLIPIDES

LES PHOSPHATIDYL-SÉRINE



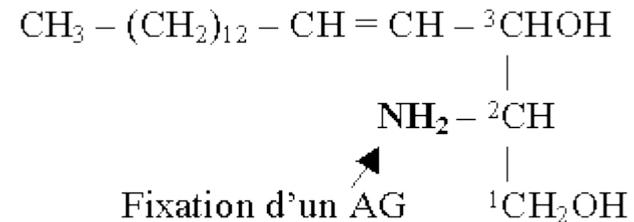
Phosphatidyl-Sérine

LES LIPIDES COMPLEXES

LES SPHINGOLIPIDES

On donne le nom de sphingolipides à des lipides complexes qui contiennent dans leur structure Une molécule de 4-sphingénine (*appelée autrefois sphingosine*)

AG + NH₂ de la sphingosine



STRUCTURE DE LA SPHINGOSINE

Sphingosine

(Ou 2 Amino-octadéc-4-ène 1,3 diol ou 2-amino-4-octadecène-1,3-diol)

NB: Il faut retenir que les sphingolipides se différencient des autres lipides par le fait que les AG Ne sont pas engagés avec la sphingosine par une liaison ester mais par une liaison amide (c'est-à-dire au niveau de la fonction amine primaire de la sphingosine). Les fonctions alcools restantes peuvent à leur tour contracter des liaisons ester avec:

- Soit des glucides = **GLYCOSPHINGOLIPIDES**
- Soit des phosphates = **PHOSPHOSPHINGOLIPIDES**