

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



Université A. Mira de Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés



Biochimie et Chimie des aliments

Filière : Génie des procédés
Spécialité : Mater1Génie Alimentaire

Réalisée par:

Dr BEY-OULD SI SAID ZAKIA

Année Universitaire: 2025/2026

Liste des figures

Figure 1:Classification des glucides	3
Figure 2:Critères pour classification des oses	5
Figure 3: Détermination de la série D ou L d'un ose	6
Figure 4: Synthèse de Killiani Fischer	6
Figure 5:La filiation des oses	7
Figure 6:Les différents types d'isomères	8
Figure 7:La forme furane et pyranes des oses	9
Figure 8:Représentation de Tollens et projection de Haworth	10
Figure 9:Pouvoir rotatoire des glucides	11
Figure 10:La déshydratation des aldoses et des hexoses	13
Figure 11:Réaction d'interconversion et d'épimérisation en milieu alcalin.....	13
Figure 12:Les différentes liaisons osidiques possibles entre un glucose et un galactose	14
Figure 13:Représentation de l'extrémité non réductrice	15
Figure 14:Structure du saccharose.....	15
Figure 15:Représentation de l'extrémité réductrice	16
Figure 16:Les principaux disaccharides réducteurs	16
Figure 17:Structure de l'amidon :A.Amylose,B:Amylopectine	18
Figure 18:Structure de la cellulose	18
Figure 19: Structure de la chitine	19
Figure 20:Liaisons présentes dans les glycoprotéines	20
Figure 21:Classification des lipides et des lipoides.....	22
Figure 22:Structure d'un acide gras saturé(C18:0).....	23
Figure 23:Isomérisation géométrique trans (A)et Cis (B).....	24
Figure 24:Numérotation systématique et diététique des AG.....	25
Figure 25:Représentation du comportement biochimiques des lipides selon la polarité du milieu	29
Figure 26:A) Structure du glycérol, B (monoacylglycérine, diacylglycérine et triacylglycérine)	30
Figure 27:Formation d'un cériide	32
Figure 28: Palmitate de triacontanol Principal composant de la cire d'abeille	32
Figure 29:Cholestérol en projection plane	33
Figure 30:structure générale d'un phospholipide	33
Figure 31:Exemples de phospholipides.....	34
Figure 32:Hydrolyse des phospholipides par les phospholipases.....	35
Figure 33:Structure de la céramide.....	35
Figure 34: Structure des acides aminés	38
Figure 35:Structure de l'alanine et de la glycine	38
Figure 36:Liste des 20 acides aminés naturels	39
Figure 37:Ionisation des acides aminés	41
Figure 38:La liaison peptidique	43
Figure 39:Configuration en hélice α	45
Figure 40: Conformation B	45
Figure 42:Les liaisons intervenant dans la structure tertiaire	46
Figure 43:Structure quaternaire d'une protéine	47

Figure 41 : Conformation α et β	45
----------------------------------------------------	----

Liste des tableaux

Tableau I: Liste de quelques acides gras saturés	24
Tableau III: Applications fonctionnelles des protéines du lait	48
Tableau IV: Propriétés techno-fonctionnelle de l'œuf et applications alimentaires	49

Sommaire

Introduction	1
I. Les glucides	2
I.1. Objectifs	2
1.2. Généralités sur les glucides	2
I.3. Classification des glucides	3
I.4. Les oses	3
1.4.1. Définition , structure et nomenclature :	3
1.4.2. Structures des oses	5
1.4.3. Propriétés physiques des oses	10
1.4.4. Propriétés chimiques des oses	12
I.5. les osides	14
I.5.1. Définition de la liaison osidique :	14
I.5.2. Les disaccharides (oligosies)	14
I.5.3. Les polyosides	17
I.5.3. Hétérosides	19
I.6. Propriétés fonctionnelles des sucres dans les aliments	20
II. Les lipides	21
I.1. Objectifs	21
II.2. Généralités sur le rôle et l'origine des lipides	21
II.3. Classification des lipides selon la structure	22
II.3.1. Les lipides vrais :	22
II.3.1.1. Les lipides simples	22
II.3.1.2. Les lipides complexes:	22
II.3.2. Composés à caractère lipidique (lipoides).....	22
II.4. Les Acides gras	23

II.4.1.Acides gras saturés	23
II.4.2.Acides gras insaturés :	24
II.5.Propriétés des acides gras	27
II.5.1. Propriétés physiques :	27
II.5.2. Propriétés chimiques	27
II.6.Les lipides simples ou ternaires	29
II.6.1. Acylglycérols (Glycéride)	30
II.6.2.Les Cérides (les cires biologiques).....	32
II.6.3.Les stérides	32
II.7.Les lipides complexes	33
II.8. Les corps gras alimentaires	35
II.8.1.Définitions	35
II.8.2.Propriétés technologiques des lipides :	36
III. Les protides	37
III.1.Objectifs de l'enseignement	37
III.2.Généralités sur la synthèse et le rôle des protéines	37
III.3.Les acides aminés	38
III.3.1.Classification des acides aminés selon le type de radical R	39
III.4.Des acides aminés aux peptides :	43
III.4.1.Liaison peptidique.....	43
III.4.2.Mode de représentation d'une séquence peptidique :	43
III.5.Les Protéine	44
III.5.1.Types de structure des protéines	44
III.5.2.Protéines de nos aliments et propriétés fonctionnelles	47

Références bibliographique

Introduction

La biochimie est une porte d'entrée de toutes les branches des sciences de la vie. C'est un domaine d'un intérêt et d'une utilité énormes. Notre compréhension de la nature moléculaire de la vie croît à un rythme incroyable (**Gajera., Patel, ., Golakiya, 2008**).

La biochimie, établit donc un pont entre la chimie, qui étudie les structures et les interactions des atomes et molécules, et la biologie, qui étudie les structures et les interactions des cellules et des organismes (**Voet et Voet., 2016**).

Les outils de la biochimie ont été utilisés pour expliquer des processus biologiques tels que l'origine de la vie, le développement cellulaire, la différenciation cellulaire, la dynamique énergétique, l'origine et la cause des maladies et même les comportements humains. Les principes de la biochimie s'étendent désormais à la chimie, aux sciences de la santé, à la nutrition, à l'agriculture, à la physiologie, à l'immunologie, à la neurologie, à la biologie cellulaire, à la biotechnologie, à la nanotechnologie, à l'écologie, à l'informatique et à la psychologie. Non seulement la biochimie s'étend, mais d'autres disciplines utilisent les outils de la biochimie pour résoudre leur problème unique. Ainsi, la biochimie est au cœur d'autres branches de la science (**Gajera., Patel, ., Golakiya, 2008**).

Ce document est destiné aux étudiants de 1ère année Master Génie Alimentaire. Il va leur permettre de connaître les grands constituants alimentaires, à savoir les glucides, les lipides et les protéines, et de comprendre leur importance en matière de propriétés technologiques et fonctionnelles.

I. Les glucides

I.1.Objectifs

A l'issu de ce chapitre, vous serez capables de :

- ✓ Connaître les familles des glucides.
- ✓ Maîtriser la représentation de Fischer des sucres.
- ✓ Connaître les différentes formes d'isoméries liées aux sucres.
- ✓ Maîtriser la représentation cyclique des oses selon Haworth.
- ✓ Appréhender les propriétés technologiques des glucides

1.2.Généralités sur les glucides

Les glucides viennent du mot grec "glukus" qui signifie "doux". Ils sont composés d'hydrogène, de carbone et d'oxygène d'où aussi leur nom d'hydrates de carbones. Ils constituent la première source d'énergie de l'organisme. Ils sont le carburant idéal de nos efforts.

On classe schématiquement les glucides en deux familles :

- **les sucres simples** : ils sont directement assimilables par l'organisme. Il sont hydrolysés par les enzymes salivaires et digestives. C'est le cas notamment des *monosaccharides* comme le glucose, le fructose et le galactose mais aussi des *disaccharides*.

- **les sucres complexes** (*les polysaccharides*) : Ils vont subir une hydrolyse plus poussée. C'est le cas de l'amidon et du glycogène, lequel est fabriqué par notre organisme (glycogénèse) et est stocké au niveau du foie et des muscles. C'est le sucre de réserve de l'homme.

On les appelle aussi hydrates de carbone (en anglais, *carbohydrates*) en raison de leur formule élémentaire $C_n(H_2O)_n$ (n compris entre 3 et 6). (Weinman et Méhul.,2004).

Les glucides sont des plus importantes classes de composés biologique formés au cours de la photosynthese chez les végétaux (Elie.,2004) $CO_2 + H_2O \rightarrow CH_2O)_n + nO_2$

Les glucides sont les biomolécules les plus abondantes de la planète. Ils jouent au sein des êtres vivants un nombre de rôles très divers, tant structuraux que métaboliques. Les glycoconjugués participent, eux, essentiellement aux processus de reconnaissance et de communication intercellulaire (Weinman et Méhul., 2004).

Les glucides, indispensables au fonctionnement des muscles et du cerveau, constituent la source d'énergie la plus rapidement utilisable par l'organisme et sont impliqués dans l'anabolisme des protéines. Les glucides ont donc **un rôle essentiellement énergétique**.

Apportés par l'alimentation, ils sont dégradés en glucose lequel va se répartir dans l'organisme. Une partie est stockée sous forme de glycogène dans le foie et les muscles ce qui servira de **réserve**.

Certains glucides ont un rôle dit de "**constitution**". Ils rentrent dans la composition de tissus fondamentaux de l'organisme : les cartilages, les acides nucléiques, le mucus, les substances antigéniques.

I.3. Classification des glucides

Parmi les glucides on distingue principalement; les **oses simples**, les **oligosides**, les **polysaccharides** et les **glycoconjugués** (figure1)

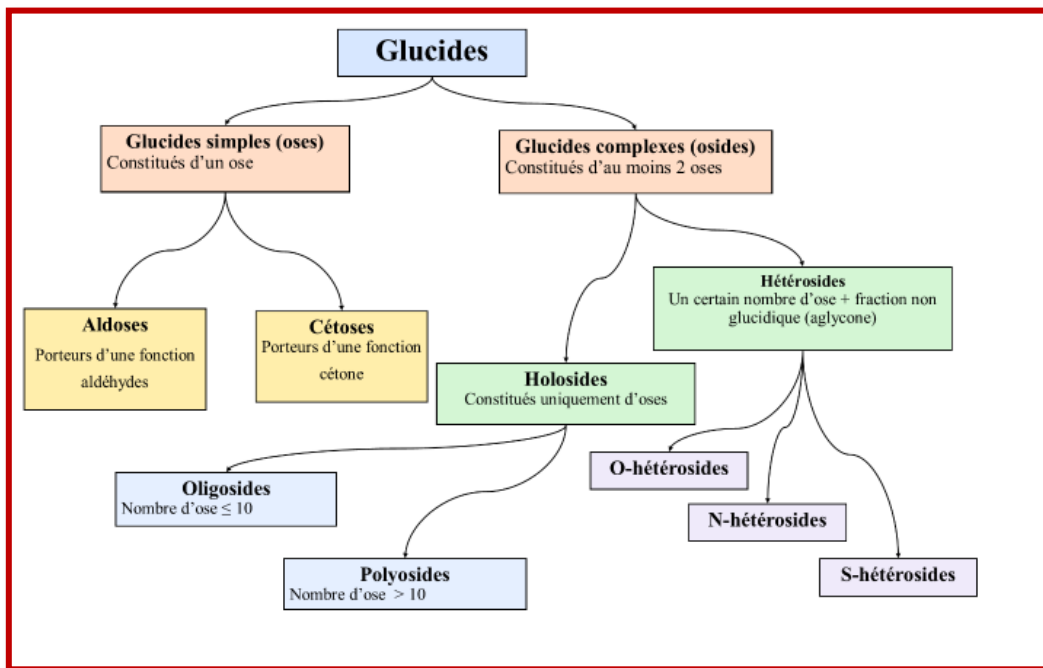


Figure 1: Classification des glucides (Ousmaal, 2017)

I.4. Les oses

1.4.1. Définition , structure et nomenclature :

De formule chimique brute générale $(CH_2O)_n$ avec $n > 3$, on classe les oses en fonction du nombre de carbones constitutifs et de la nature du groupement carbonyle de la chaîne carbonée (figure 2) :

- 3 atomes de carbone et sont des trioses.
- 4 atomes de carbone sont respectivement des tétroses,
- 5 atomes de carbones sont des pentoses,
- 6 atomes de carbones sont des hexoses,

Lorsque le groupe carbonyle est un **aldéhyde**, l'ose est un **aldose** ;

Lorsque le carbonyle est une **cétone**, l'ose est un **cétose**.

En ce qui concerne la dénomination des cétooses, on insère très souvent « ul » entre le suffixe « ose » et le nom de l'ose ; par exemple, le ribulose est le cétoose correspondant au ribose.

Dans tous les cas, le dernier carbone de la chaîne carbonée est impliqué dans une fonction alcool primaire.

Dans le cas des aldoses, le **carbone n°1 (C1)** est inclus dans la fonction **aldéhyde**, tandis que dans le cas des cétooses, le C1 se retrouve dans une fonction alcool primaire et le **carbone n°2 (C2)** est une **cétone**.

Enfin, tous les autres carbones de la chaîne carbonée hydroxylée sont impliqués dans des fonctions alcools secondaires et sont donc des carbones asymétriques possédant 4 substituants différents.

Lorsque seule la position du groupement carbonyle diffère entre 2 oses, ces derniers sont **des isomères de position ou de fonction**.

Il est à noter que l'on peut combiner dans la dénomination de l'ose, les 2 critères de classification : ainsi, un cétopentose est un cétoose à 5 carbones, un aldohexose un aldose à 6 carbones...(Bret et Delcamp., 2020)

Cette représentation est formée à partir du D-Glycéraldéhyde, par l'addition successive des atomes de carbones. Triose → Tétrose → Pentose → Hexose...) (Marouf et Tremblin.,2009)

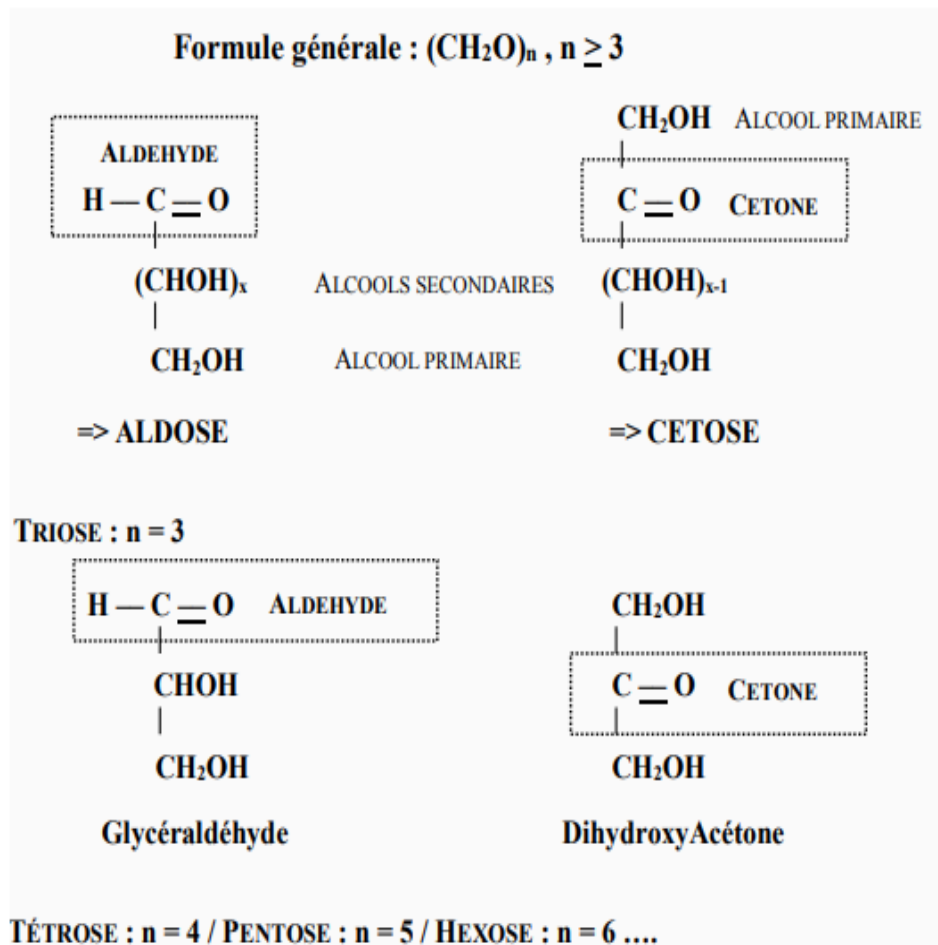


Figure 2: Critères pour classification des oses (Bret et Delcamp.,2020)

1.4.2. Structures des oses

1.4.2.1. La structures linéaire de fisher

Sur la projection de FISCHER, les atomes de carbone d'un ose sont numérotés d'une façon que le carbone le plus oxydé (le carbone qui porte la fonction carbonyle) porte le numéro le plus petit. Cette projection fait clairement apparaître les carbones asymétriques présents dans la structure des oses. Le C* (le carbones asymétrique) se situe dans le plan de la feuille, la chaîne carbonée la plus longue est verticale et les liaisons sont orientées en dessous du plan de la feuille, les autres substituants non carbonés du C* sont placés à l'horizontale et les liaisons sont orientés vers le dessus du plan de la feuille.

Les aldoses issus du **D**-glycéraldéhyde appartiennent donc à la série **D** (ex D-Glucose) et ceux issus du **L**-glycéraldéhyde appartiennent à la série **L**, ex (L-Mannose) (figure 3). Cependant, dans la nature, les oses de la série **D** sont les plus abondants (Bret et Delcamp., 2020)

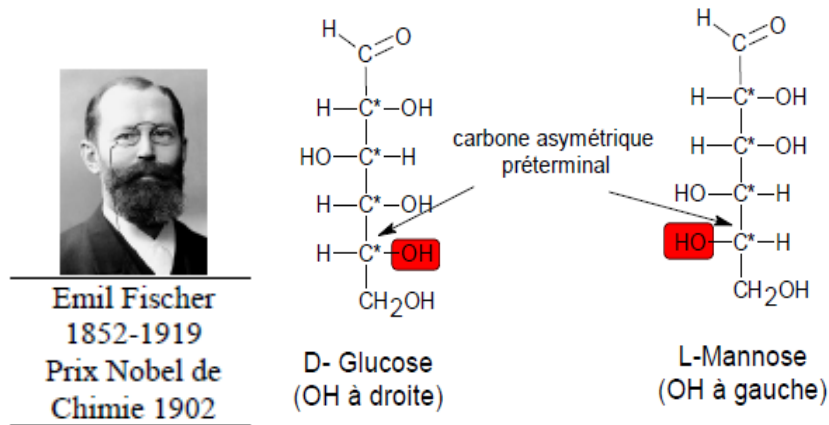


Figure 3: Détermination de la série D ou L d'un ose (Zerriouh.,2019)

1.4.2.1.1. Filiation des oses

La synthèse de Kiliani Fischer (figure4) est une succession de plusieurs réactions chimiques d'addition. Elle consiste à rajouter à la chaîne carbonnée d'un aldose (n carbone) un atome de carbone asymétrique supérieur (n+1). Cette synthèse passe par les étapes suivantes :

-L'aldose à n (carbone) réagit avec l'acide cyanhydrique (HCN) grâce à sa fonction aldéhyde conduisant la formation de deux molécules de cyanhydrine épimères. En présence d'eau, la molécule de cyanhydrine adopte alors une fonction carboxyle et elle se transforme en acide aldonique, l'acide aldonique subit une réduction par le borohydrure de lithium (LiBH₄) qui transforme la fonction carboxyle en une fonction aldéhyde et ainsi, on obtient un aldose à (n+1) carbone (Ousmaal.,2017)

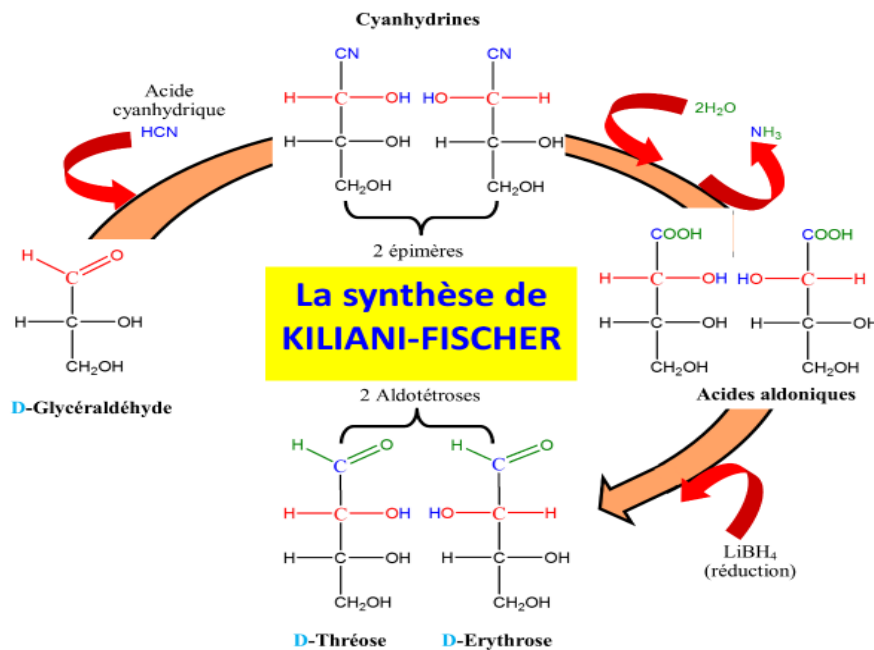


Figure 4: Synthèse de Killiani Fischer(ousmaal.,2017)

La *Figure 5* présente les D-aldoses et les D-cétooses et indique leurs relations stéréochimiques. On passe du D-glycéraldéhyde ou de la dihydroxyacétone aux tétroses puis aux pentoses et enfin aux hexoses en additionnant, à chaque étape, juste en dessous de l'atome de carbone du groupe carbonyle, un atome de carbone tétraédrique porteur d'un groupe hydroxyle et d'un atome d'hydrogène. Ce carbone est donc un nouveau centre de chiralité, avec deux orientations relatives possibles des substituants, ce qui crée un nouveau couple de stéréoisomères. Deux oses qui ne diffèrent que par la configuration d'un seul atome de carbone sont dits épimères. Ainsi, le glucose et le mannose sont des épimères car leurs configurations ne diffèrent qu'au niveau de leur C-2 ; il en est de même pour le glucose et le galactose où seule la configuration au niveau de leur C-4 est inversée. On passe du nom d'un aldose à celui du cétose correspondant en ajoutant les deux lettres ul avant la désinence ose ; ainsi, à l'érythrose correspond l'érythrulose. Dans la *Figure 5*, les noms des oses les plus habituellement rencontrés dans la nature sont encadrés (Nani.,2020). La plupart des oses présents chez les êtres vivants appartiennent à la série D mais quelques uns, tels que l'arabinose, et certains 6-désoxyhexoses constituants des glycoconjugués, tels que le fucose (6-désoxy-L-galactose) et le rhamnose (6-désoxy-L-mannose), appartiennent à la série L .Le glucose lui-même est très répandu. Les autres oses sont habituellement rencontrés comme constituants des oligosides et des polysides. (Weinman et Méhul.,2004)..

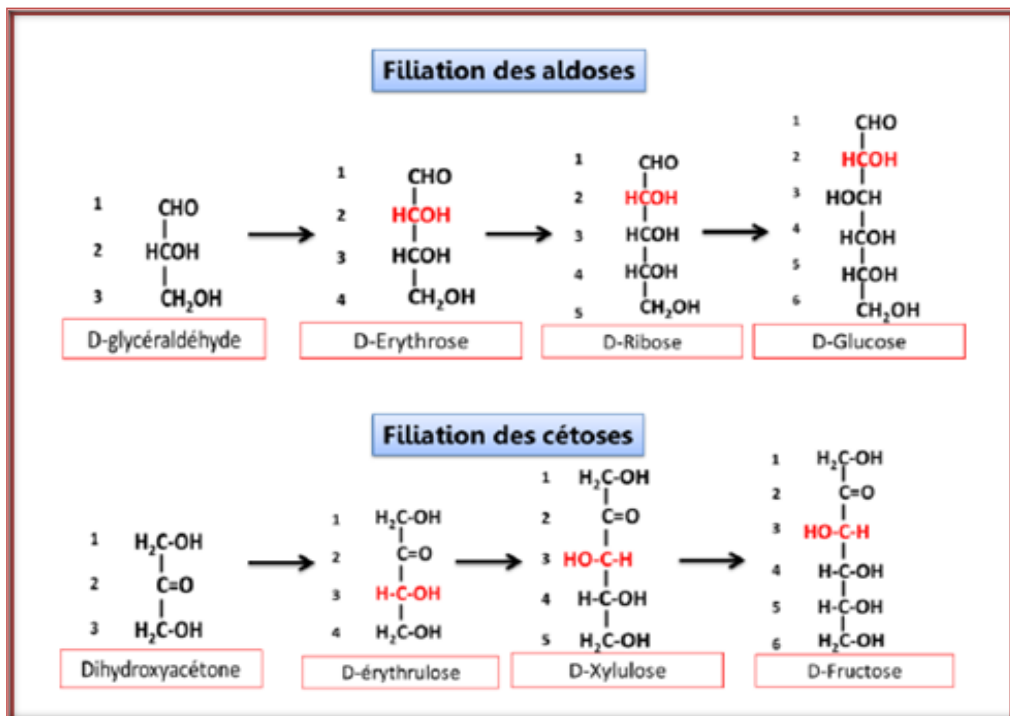


Figure 5: La filiation des oses (Nani.,2020)

I.4.2.1.2. Notion d'isomérisation

Les stéréo-isomères sont des composés ayant la même formule brute mais différent par l'arrangement spatial des groupements OH. D'une façon générale pour n C* on a 2ⁿ stéréoisomères (Bret et Delcamp., 2020)

- Enantiomères Deux isomères qui diffèrent par la configuration absolue de tous leurs carbones asymétriques et sont images l'un de l'autre dans un miroir, on parle de la série D et L (Bret et Delcamp., 2020)
 - Les diastéréo-isomères Ce sont tous les stéréo-isomères qui ne sont pas des énantiomères, c'est-à-dire qui ne sont pas images dans un miroir (au moins 2 carbones asymétriques différent)
 - Epimères Deux épimères sont deux isomères ne différant que par la configuration absolue d'un seul et même C*(Bret et Delcamp., 2020)
 - Les isomères de fonctions ont la même configuration, même nombre d'atomes de C, ils diffèrent par la fonction carbonyle (Sid Ali, 2024)
 - De façon générale, lorsqu'une molécule a plusieurs centres de chiralité, pour x C*, il existe : 2^x stéréo-isomères différents, la moitié en configuration D, l'autre moitié en configuration L.
- ❖ De façon particulier, pour les **aldoses**, le nombre de stéréo-isomères est 2ⁿ⁻². Alors que pour les **cétooses**, le nombre de stéréo-isomères est 2ⁿ⁻³ (n est le nombre de carbone de la chaîne). **Exemple** : pour un **aldo-hexose** (exemple le glucose) où n est égal à 6, le nombre total de stéréo-isomères est égal à 2⁴ = 16 (8 de la série D et 8 de la série L) (Sid Ali.,2024)

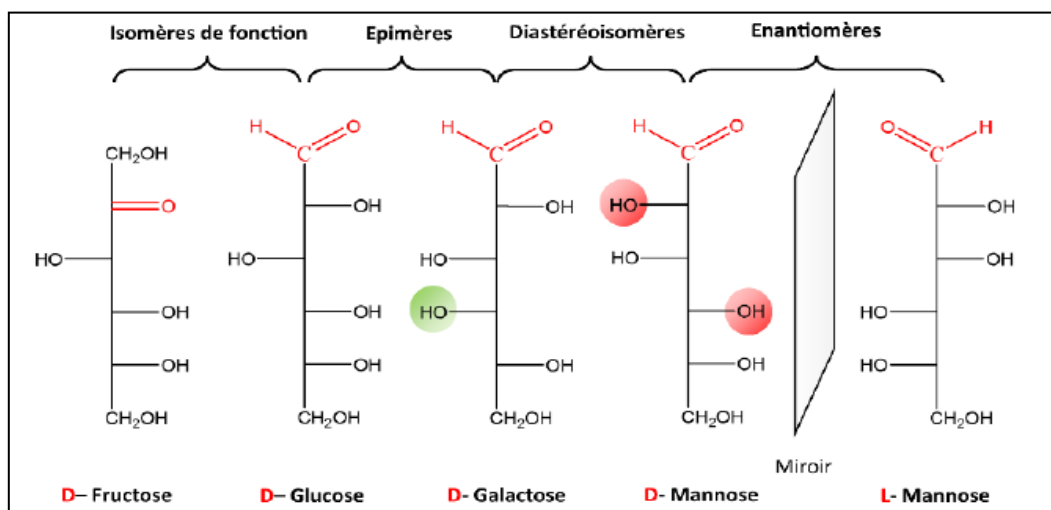


Figure 6: Les différents types d'isomères (Ousmaal.,2017)

I.4.2.2. La structure cyclique de Haworth

Haworth a découvert qu'en solution aqueuse, les oses à cinq atomes de carbone ou plus adoptent préférentiellement une structure cyclique qui résulte d'une hémiacétalisation interne entre le groupe carbonyle aldéhydique ou cétonique et l'un des groupes hydroxyle. L'hétérocycle formé est constitué de cinq ou de six atomes, dont un atome d'oxygène, et, bien qu'il ne contienne pas de doubles liaisons conjuguées, il évoque le furane ou le pyrane, respectivement ; les oses sous forme cyclique sont alors dénommés furanose ou pyranose (Weinman et Méhul.,2004).

Au cours de la cyclisation des oses on obtient deux formes :

- ❖ la forme pyrane . obtenu par formation d'un pont oxydique entre :
le C1 et le C5(aldoses)
le (C2-C6) (cétoses)
- ❖ La forme furane : obtenue par formation d'un pont oxydique entre le
C1-C4(aldoses)
Le (C2-C5) (Cétoses) (Sid Ali.,2024 ; Marouf et Tremblin.,2009 ;Larcher.,2019)

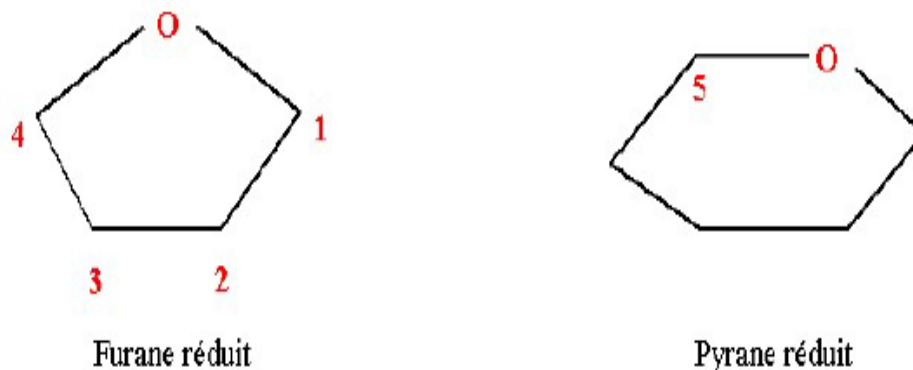


Figure 7: La forme furane et pyranes des oses (Bekkouche.,2020)

La structure cyclique conduit à deux formes isomères, α et β . Pour un D-ose, la forme α est celle où l'hydroxyle anomérique se trouve en dessous du cycle et la forme β est celle où cet hydroxyle se situe au-dessus du plan cyclique (Marouf et Tremblin.,2009 ;Thiry et al.,2014)

-En représentation de Tollens : OH anomérique du même côté que OH de la série = Alpha,
OH anomérique du côté opposé du OH de la série = Beta

-En représentation de Haworth : OH anomérique et CH₂OH en position trans (haut/bas) = alpha,
OH anomérique et CH₂OH en position cis (haut/haut ou bas/bas) = Beta

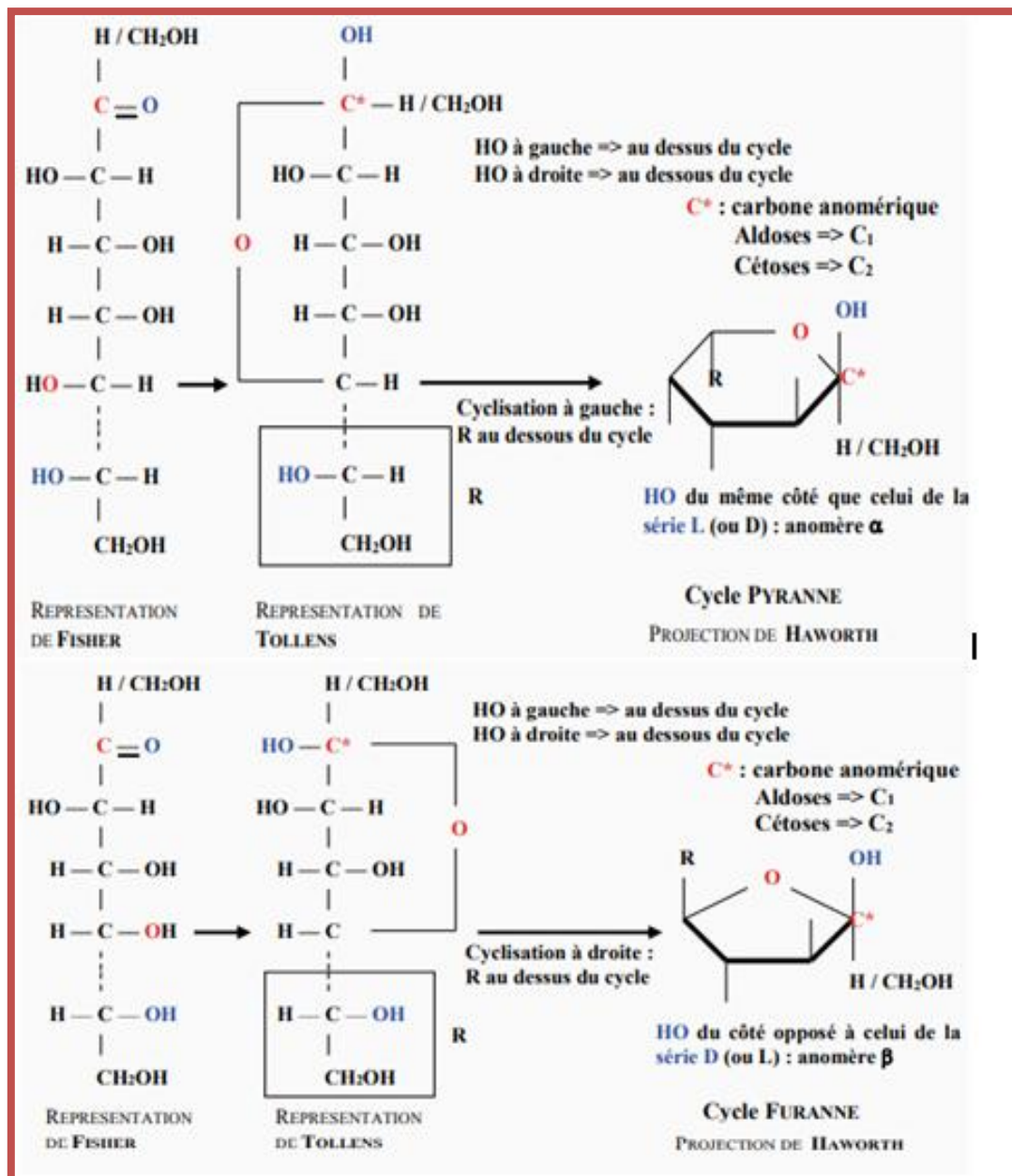


Figure 8: Représentation de Tollens et projection de Haworth (Bret et Delcamp.,2020)

I.4.3. Propriétés physiques des oses

1.4.3.1. Solubilité

Les oses sont de petites molécules, très polarisables en raison de leurs nombreuses fonctions alcooliques (groupements hydroxyle) qui leur confèrent des propriétés polaires capables de multiples liaisons hydrogènes avec l'eau et les biomolécules (Ex les protéines). Les oses sont très hydrosolubles (jusqu'à 3 M, exemple : la solubilité des molécules de glucose (masse molaire=180/L) dans l'eau = 3M $3 \times 180 = 540$ g/l).

Par contre les oses sont insolubles dans l'éther et peu solubles dans le méthanol ou l'éthanol (Ils se cristallisent) (Nachi.,2020)

1.4.3.2. Propriétés optiques ou spectrales

Les oses ne présentent pas d'absorption dans le visible ou l'ultraviolet. Ils absorbent les rayonnements infra rouges (Spectre infrarouge caractéristique). Deux propriétés physiques servent à leur identification le pouvoir rotatoire et le comportement chromatographique (Nachi.,2020 et Larcher.,2019)

1.4.3.3. Pouvoir rotatoire des oses et phénomène de mutarotation

Une molécule est dite douée d'un pouvoir rotatoire est une molécule qui peut dévier la lumière plane polarisée par un angle α , elle est optiquement active.

Si la lumière est tournée d'un angle $+\alpha$ dans le sens des aiguilles d'une montre, la molécule est dite **dextrogyre (+)**, et inversement si la lumière est tournée d'un angle $-\alpha$ dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la molécule est dite **lévogyre (-)**.

Pour mesurer l'angle de rotation α d'une substance, on utilise le polarimètre (Reggami .,2017,2018 et Zeriouh.,2019)

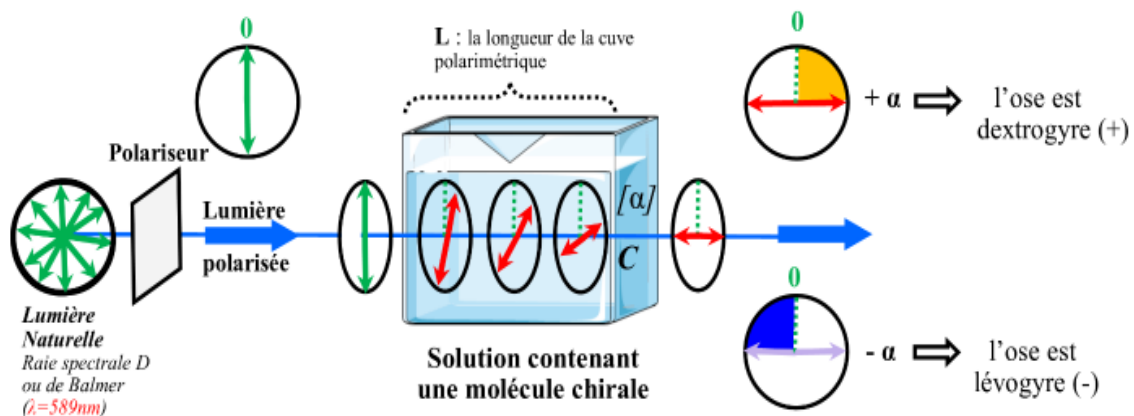


Figure 9: Pouvoir rotatoire des glucides (Ousmaal.,2017)

Le fait qu'une molécule, est dextrogyre (+) ou lévogyre (-), n'a aucune relation avec l'appartenance à la série D ou L. Une molécule de série D, peut-être (+) ou (-), et la même chose pour une molécule de série L.

La propriété de pouvoir rotatoire des oses permet le dosage polarimétrique des holosides en solution pure grâce à la **loi de Biot**. C'est une méthode de dosage très rapide et simple à mettre en oeuvre, cette méthode est très utilisée par exemple dans les industries sucrières. L'angle α est en fonction de la nature de la substance, de sa concentration et de la longueur du trajet optique. Il répond à une loi appelée loi de Biot :

$$[\alpha]_{25^{\circ}\text{C}}^{\text{D}} = \frac{\alpha}{lC}$$

où : [

$[\alpha]_{25^{\circ}\text{C}}^{\text{D}}$: Pouvoir rotatoire spécifique de la substance optiquement active. C'est une **constante** caractéristique de la substance optiquement active et qui dépend de la nature du soluté et celle du solvant, de la température et de la longueur d'onde à laquelle est réalisée la mesure. **D** pour la λ de la raie jaune du sodium à 589.3 nm et **20** pour 20°C.

l : Longueur de tube contenant la solution (dm).

C : Concentration de la substance (g/ml).

NB: le cétriose (dihydroxyacétone) n'a pas de carbone asymétrique et donc aucune activité optique. Il se présente sous une seule forme et il faut passer à un cétréose pour avoir deux formes énantiomères (Reggami ., 2017 ; Zeriouh.,2019)

1.4.3.4. Phénomène de mutarotation

La valeur du pouvoir rotatoire d'un ose (mesure au polarimètre) n'est pas fixée immédiatement ; elle le devient au bout d'un certain temps. Ce phénomène est dit phénomène de **mutarotation**. Lorsqu'on dissout dans de l'eau le glucose, on constate que le pouvoir rotatoire varie dans le temps pour arriver à une valeur finale de + 52 ° 7 . Cette expérience suggère que le D-glucose a un nouveau centre chiral supplémentaire et donc deux formes isométriques, l'anomère α 112° ou β 18,7 ° (Ces 2 anomères diffèrent par la position dans l'espace du OH hémiacétalique) (Nachi.,2020)

1.4.4. Propriétés chimiques des oses

Stabilité en milieu acide concentré et à chaud

formation de dérivés furfural (pentoses) et hydroxyméthyl furfural(hexoses). les dérivés obtenus réagissent à chaud avec les phénols (α -naphthol, orcinol, résorcinol...) pour donner des colorations caractéristiques utilisées pour leur identification et leur dosage. En milieu acide faible les oses sont stables.(TP: test de Molish et de Seliwanof)

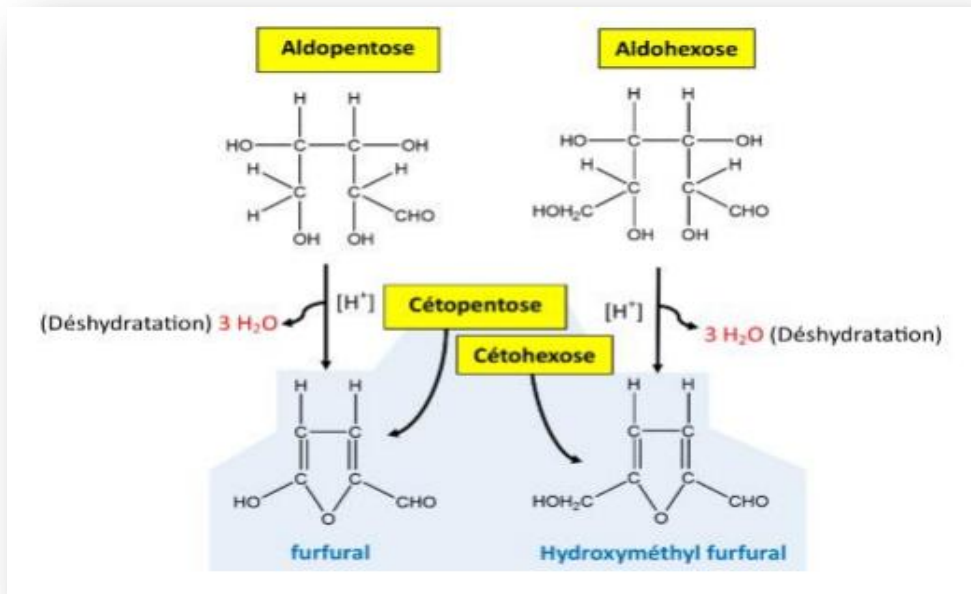


Figure 10: La déshydratation des aldoses et des hexoses (Nachi., 2020)

Stabilité en milieu alcalin et à froid

En milieu alcalin et à froid, les oses subissent une inter-conversion caractérisée par le passage de la fonction aldéhyde à la fonction cétone et inversement, et une épimérisation qui est une inversion de la configuration des substituants d'un seul carbone asymétrique. L'épimérisation est également possible par voie enzymatique grâce à l'utilisation d'une épimérase (Nachi., 2020)

NB: En milieu alcalin et à chaud, on aura une dégradation totale des oses.

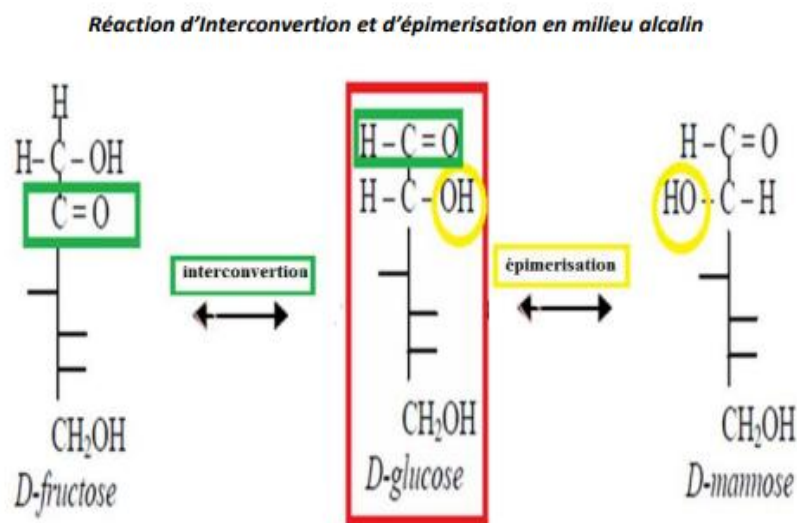


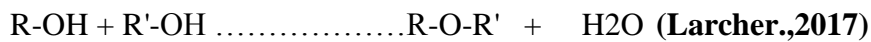
Figure 11: Réaction d'inter conversion et d'épimérisation en milieu alcalin (Nachi., 2020)

I.5. les osides

Les osides sont des molécules qui donnent par hydrolyse deux (disaccharide, diholoside) ou plusieurs molécules d'oses (polysaccharides, polyosides). Ces oses peuvent être identiques ou différents. Selon le mode de liaison des 2 oses le diholoside est non réducteur ou réducteur

I.5.1. Définition de la liaison osidique :

Une liaison glycosidique implique la condensation du groupe hydroxyle porté par l'atome de carbone anomérique avec le groupe hydroxyle d'un alcool ou d'un hémiacétal, formant une liaison *O*-glycosidique, ou avec une amine, formant alors une liaison *N*-glycosidique (Weinman et Mehul.,2009)



Un diholoside, donc une liaison osidique, est caractérisé:

- ✓ par la nature des 2 oses qui le constituent et par leur forme cyclique (pyrane ou furane),
- ✓ par la configuration anomérique de la liaison osidique, α ou β .
- ✓ par les numéros des atomes de C portant les fonctions impliquées dans la liaison.

Génériquement, le nom de l'oside sera :

(α ou β) X...osyl/osido (1 \rightarrow n) Y...oside avec n : numéro du C anomérique. (sucre non réducteur)

(α ou β) X...osyl/osido (1 \rightarrow n) Y...ose avec n : numéro du C anomérique.(sucre réducteur)
(Nani.,2020,Larcher.,2017)

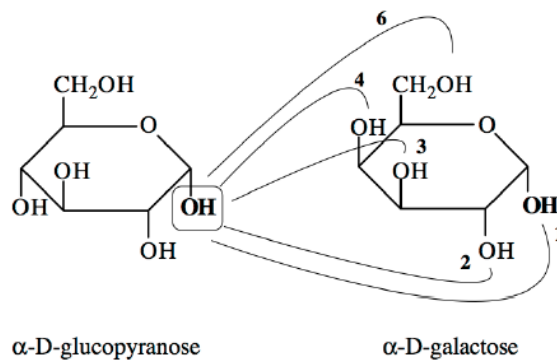


Figure 12:Les différentes liaisons osidiques possibles entre un glucose et un galactose (Larcher., 2017)

I.5.2. Les disaccharides (oligosies)

Diholoside non réducteur : liaison osido-oside

Les oses sont unis les uns aux autres par une liaison *O*-glycosidique formée entre les hydroxyles portés par les deux carbones anomériques ; de tels osides n'ont pas d'extrémité réductrice et sont alors appelés glycosides.

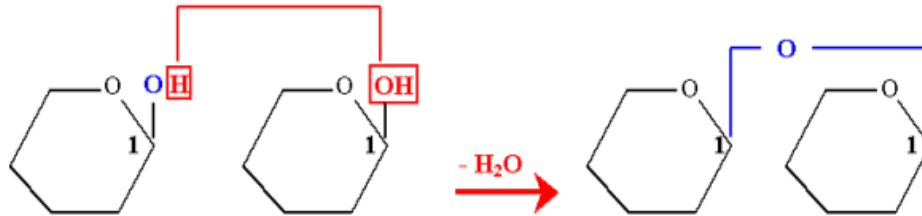


Figure 13: Représentation de l'extrémité non réductrice (Touitou., 2005)

Le Saccharose

De formule $C_{12}H_{22}O_{11}$, de poids moléculaire 342g/mole, très hydrophile, est d'autant plus soluble dans l'eau que la température augmente. Son hydrolyse est catalysée par les acides ou par une des deux osidases : l' α -glucosidase et la β -fructofuranosidase. Cette dernière enzyme, appelée communément invertase, donne un mélange équimolaire des deux oses dont il est constitué : le D-glucose et le D-fructose (fig 14). Son nom scientifique le précise mieux :

α Dglucopyranosyl (1-2) β -D-fructofuranoside (Marouf et Tremblin., 2009)

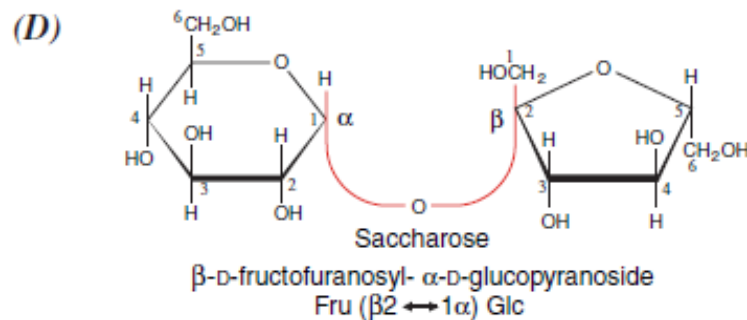


Figure 14: Structure du saccharose (Weinman et Mehul., 2009)

Diholoside réducteur : liaison osido-ose

Dans certains osides, les oses sont unis les uns aux autres par une liaison *O*-glycosidique formée entre l'atome de carbone anomérique de l'un d'eux et l'atome d'oxygène d'un groupe hydroxyle de l'ose adjacent ; de tels osides présentent une extrémité réductrice. Ainsi, dans le maltose, deux molécules de D-glucopyranose sont unies par une liaison écrite (α 1-4) ce qui indique que la configuration du carbone anomérique du premier ose est de type α et que la

liaison osidique unit le carbone C-1 du premier ose au carbone C-4 du second (Weinman et Mehul.,2009)

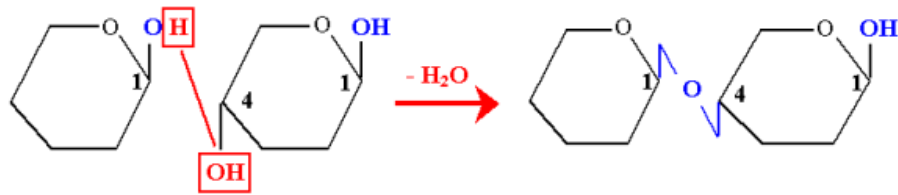


Figure 15: Représentation de l'extrémité réductrice (Touitou.,2005)

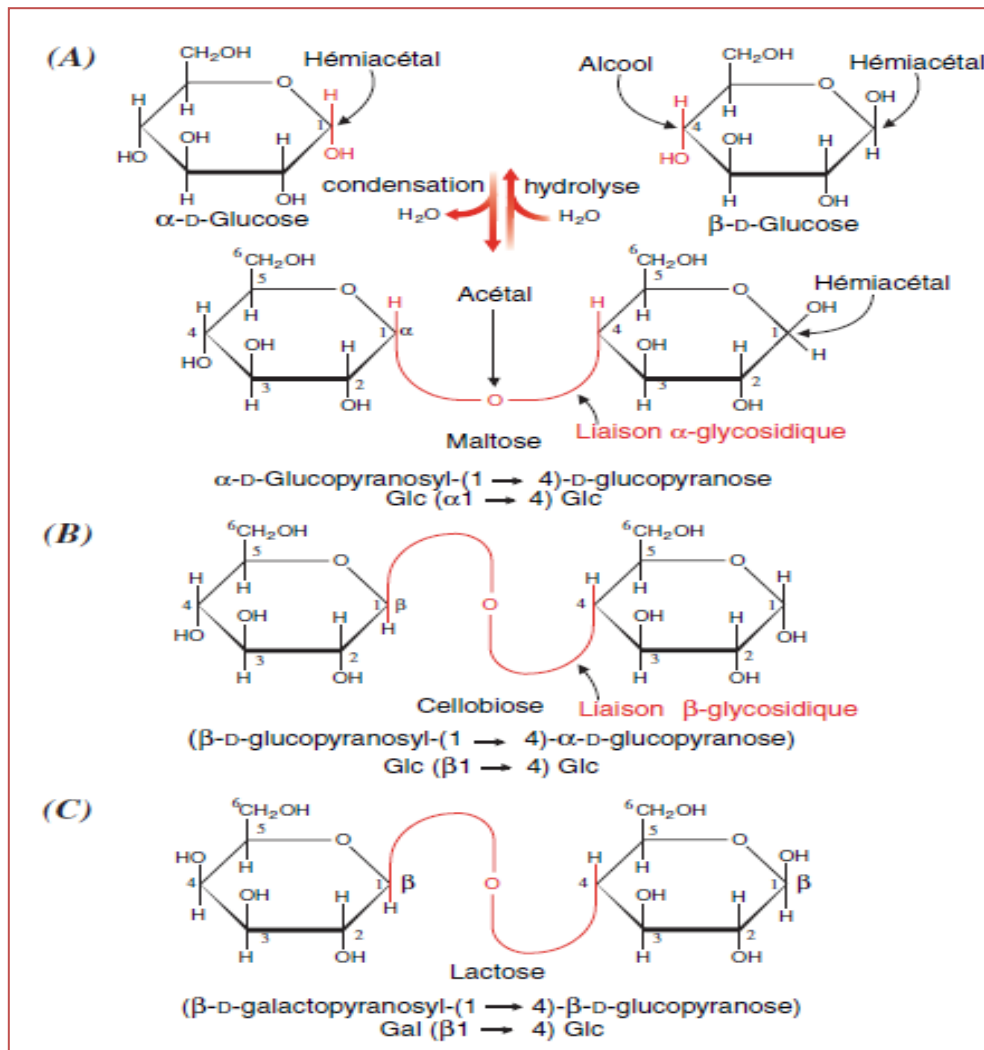


Figure 16: Les principaux disaccharides réducteurs (Weinman et Mehul.,2009)

A. Le Maltose (C₁₂H₂₂O₁₁)

C'est un produit d'hydrolyse obtenu lors de la digestion des polysides (amidon et glycogène) par les amylases. Il est formé par l'union de 2 molécules de glucose unies en α (1-4) C'est un oside réducteur (Figure 16A) Il est hydrolysé en 2 molécules de glucose par une enzyme spécifique, la maltase (α 1-4 glucosidase) (Touitou.,2005)

B. Le Lactose (C₁₂H₂₂O₁₁)

Il est présent dans le lait de tous les mammifères. C'est un diholoside réducteur (Figure 16C) constitué d'une molécule de Gal et d'une molécule de Glc unies par une liaison β 1-4 osidique, hydrolysé par la β galactosidase (Touitou.,2005)

I.5.3. Les polyosides

II.3.1.1. l'amidon, la cellulose, le glycogène

Les plus importants biopolymères polyosidiques qui permettent la mise en réserve d'énergie sont l'amidon chez les végétaux et le glycogène chez les animaux où ils apparaissent, au sein des cellules, sous la forme de gros granules.

L'amidon

Contient deux types de polymères du **D-glucose** : l'amylose et l'amylopectine.

Dans l'**amylose**, de longues chaînes non ramifiées sont constituées de résidus **glucose unis** exclusivement **par des liaisons (α 1-4)** (Figure 17A) comme dans le maltose ; leur masse moléculaire va de quelques milliers à plus d'un million.

L'**amylopectine** est formée de chaînes ramifiées où des résidus glucose sont unis par des **liaisons (α 1-4)**, mais aussi par des **liaisons (α 1-6)** (Figure 17B) qui initient des ramifications tous les 20 à 30 résidus.

L'amidon représente la moitié des glucides apportés par l'alimentation chez l'homme. Sa digestion se fait dans le tube digestif grâce à différents enzymes spécifiques. :

- Les α amylases (α 1-4 glucosidases). Elles agissent en n'importe quel point de la chaîne sur les liaisons α 1-4 pour donner des molécules de maltose et des dextrans limités car leur action s'arrête au voisinage des liaisons α 1-6. Il existe une amylase salivaire, peu active car elle est inactivée par le pH acide de l'estomac et, surtout, une amylase pancréatique très active.
- L'enzyme débranchant ou α 1-6 glucosidase : Il scinde la liaison α 1-6 glucosidique c'est-à-dire les points de branchement. Il est présent dans la bordure en brosse de l'intestin.
- La maltase : Tous les maltoses obtenus précédemment sont hydrolysés en 2 molécules de glucose par la maltase (α 1-4 glucosidase) (Touitou.,2005)

Le glycogène

Comme l'amylopectine, est un polymère de résidus D-glucose avec des liaisons α (1-4) et des liaisons α (1-6) à l'origine de ramifications, mais ces dernières y sont plus nombreuses, une tous les 8 à 12 résidus. Ici aussi, la masse moléculaire des chaînes est très grande. L'iode, réactif très utilisé pour la mise en évidence de l'amidon et du glycogène avec lesquels il

donne une coloration bleu ou rouge violet, respectivement, s'insinue à l'intérieur des hélices (Weinman et Mehul.,2009)

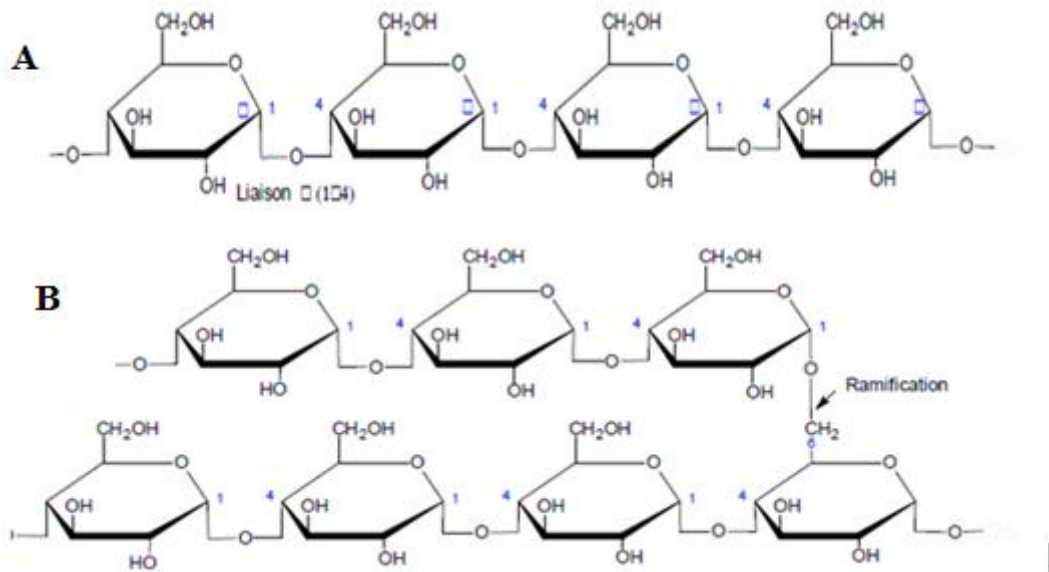


Figure 17:Structure de l'amidon :A. Amylose,B: Amylopectine(Zerriouh.,2019)

La cellulose

Principal biopolymère de structure des végétaux, est l'un des composés organiques les plus abondants de la biosphère ; c'est un polymère non ramifié constitué de résidus de D-glucose unis exclusivement par des liaisons (β 1-4), comme dans le cellobiose (Weinman et Mehul.,2009).

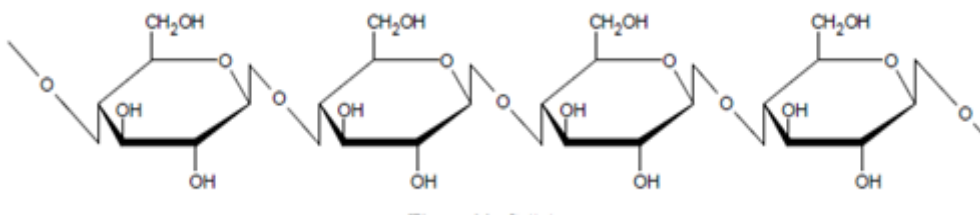


Figure 18:Structure de la cellulose (Zerriouh., 2019)

La chitine

Présente dans l'exosquelette des Crustacés et des Insectes, est un biopolymère non ramifié constitué de résidus *N*-acétylglucosamine unis, eux aussi, exclusivement par des liaisons (β 1-

4) ; elle a donc une structure fibreuse très semblable à celle de la cellulose (**Weinman et Mehul.,2009**)

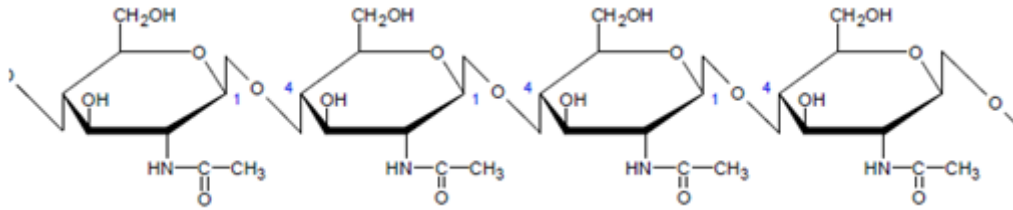


Figure 19: Structure de la chitine (**Zerriouh.,2019**)

I.5.3.Hétérosides

Ils sont formés d'un ose et d'une partie non glucidique (aglycone) liés par liaison covalente. On regroupe sous ce nom des molécules résultant de l'association covalente de glucides avec d'autres types de molécules et on les désigne très souvent sous le terme de **glycoconjugués** (**Paris.,1954**)

➤ **Glycolipides**

Les glycolipides sont des lipides liés à une fraction glucidique (liaison covalente). Certains lipides de membranes des cellules animales ou bactériennes portent des chaînes oligo- ou polyosidiques : ce sont des glycolipides qui constituent une fraction du glycocalyx (**Larcher.,2017**).

➤ **Glycoprotéines**

Les glycoprotéines : protéines portant des chaîne glucidique courte(1 a 20%).Les osides sont fixés dur les protéines par deux types de liaisons formées par condensation :

La liaison N-osidique : qui s'établie entre le dérivé N-acétylgalactosamine et la fonction alcool d'un acide aminé :l'asparagine , On obtient un N-hétéroside (ose-**OH**---**HN**-a.aminé)

La liaisonO-osidique :S'établi entre le dérivé N-acétylgalactosamine et a foction alcool d'un acide aminé : la sérine ou la thréonine.On obtient un O-hétéroside(Ose-**OH**—**HO**-a.aminé)

(**Larcher., 2017**)

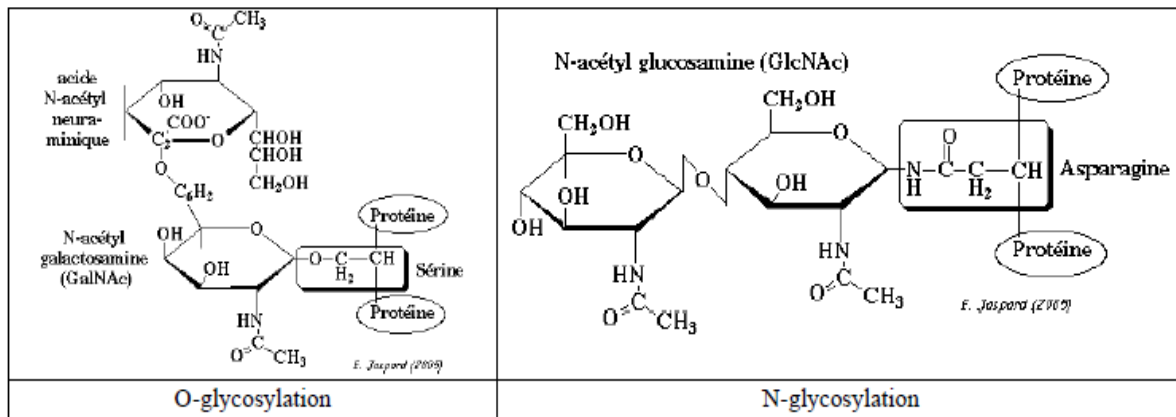


Figure 20: Liaisons présentes dans les glycoprotéines (Larcher.,2017)

I.6. Propriétés fonctionnelles des sucres dans les aliments

De point de vue technologique, l'importance des saccharides est énorme :

- Comme les polysaccharides ont leur fonction de fibres (la cellulose et la pectine) qui donne de la fermeté aux tissus végétaux (fruits), leur dégradation changera la texture des produits.
- L'amidon peut être gélatinisé par la chaleur en présence de l'eau. Il peut être décomposé par voie enzymatique en maltose et en glucose qu'on peut transformer en plusieurs produits.
- Les disaccharides ont des propriétés importantes déterminant la qualité des produits alimentaires. Ils ont un goût sucré. Ce pouvoir édulcorant varie selon les saccharides,
- Les saccharides sont caramélisés en présence de la chaleur et de l'acide. Cette réaction influence la couleur et le goût des aliments.
- Les saccharides peuvent être fermentés par les micro-organismes. La fermentation peut être indésirable dans certains cas, elle est considérée comme une détérioration. D'autres sont désirables et utiles en industrie agro-alimentaire : Fermentation alcoolique (pain, bière, vin), fermentation lactique (yaourt, fromage) dans lesquelles le glucose, le maltose et le lactose sont des ingrédients indispensables (Boeckeln et al.,2003).

II. Les lipides

I.1.Objectifs

- Acquérir des connaissances sur les lipides, les acides gras et les corps gras
- Comprendre le rôle et l'importance des lipides dans l'organisme
- Connaître les caractéristiques physico-chimiques des lipides, des huiles et graisses
- Connaître l'intérêt nutritionnel des acides gras et distinguer entre les acides gras saturés et insaturés.

II.2.Généralités sur le rôle et l'origine des lipides

Les lipides (*lipos*, gras ; *eidos*, apparence) constituent un **groupe de molécules très hétérogènes dans leurs structures et leurs fonctions.**

On les définit sur la base d'une propriété physique commune, leur **comportement hydrophobe** : ils sont peu ou non solubles dans l'eau mais solubles dans les solvants organiques non polaires tels que l'acétone, l'éther, le chloroforme et le benzène.

Dans l'organisme, ces molécules, pour pouvoir circuler dans le sang, sont liées à des transporteurs et forment des **lipoprotéines (Reggami .,2017)**

Ils peuvent être repartis en trois classes avec pour charpente le **glycérol**, la **sphingosine** et l'**isoprène**. L'acetyl-CoA est la molécule à l'origine de leur synthèse à tous (**Meyer-Rogge et Meyer-Rogge., 2012**)

Dans les organismes vivants, les lipides remplissent diverses fonctions :

- ✓ Fourniture d'énergie : la dégradation des lipides dégage de l'énergie, 37,62 J/g de lipide, ce qui fait des lipides (surtout les triglycérides) la principale source d'énergie ;
- ✓ Formation des structures : membranes, vésicules, inclusions cytoplasmiques.
- ✓ Signalisation cellulaire lipidique (notamment par lipoprotéines) : le lipide se fixe sur une protéine cible, laquelle, à son tour, produit des messages chimiques en fonction des propriétés résultant de son interaction avec le lipide.
- ✓ Réserves d'énergie : stockage de l'énergie qui sera utilisée dans le métabolisme lors de sa libération par β -oxydation (dégradation des lipides en acétyl-CoA dans le cycle de Krebs, et contribution à la chaîne respiratoire. (**Elie .,2022**))
- ✓ Précurseurs de certaines biomolécules : hormones, vitamines, prostaglandines (**Meyer-Rogge et Meyer-Rogge., 2012 et Elie 2022**)

II.3. Classification des lipides selon la structure

II.3.1. Les lipides vrais :

II.3.1.1. Les lipides simples

Ils sont constitués de C, H et O, et comprennent :

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

II.3.1.2. Les lipides complexes:

Ils sont formés de C, H et O ainsi que de N, S, P. On y trouve les glycérophospholipides et les sphingolipides et les stérols quand ils sont sulfatés. Il existe des structures plus complexes comme les glycolipides (contenant des sucres) (Zekri., 2021)

II.3.2. Composés à caractère lipidique (lipoides)

Isoprénoïdes :

Dérivés d'unités **isoprène** : on trouve aussi le groupe des composés terpéniques et les dérivés du stérol. Exemple: les dérivés du stérol et les vitamines liposolubles A D E K.

Icosanoïdes :

Des médiateurs dérivés d'un acide gras les prostaglandines (Madoui et Khither .,2020)

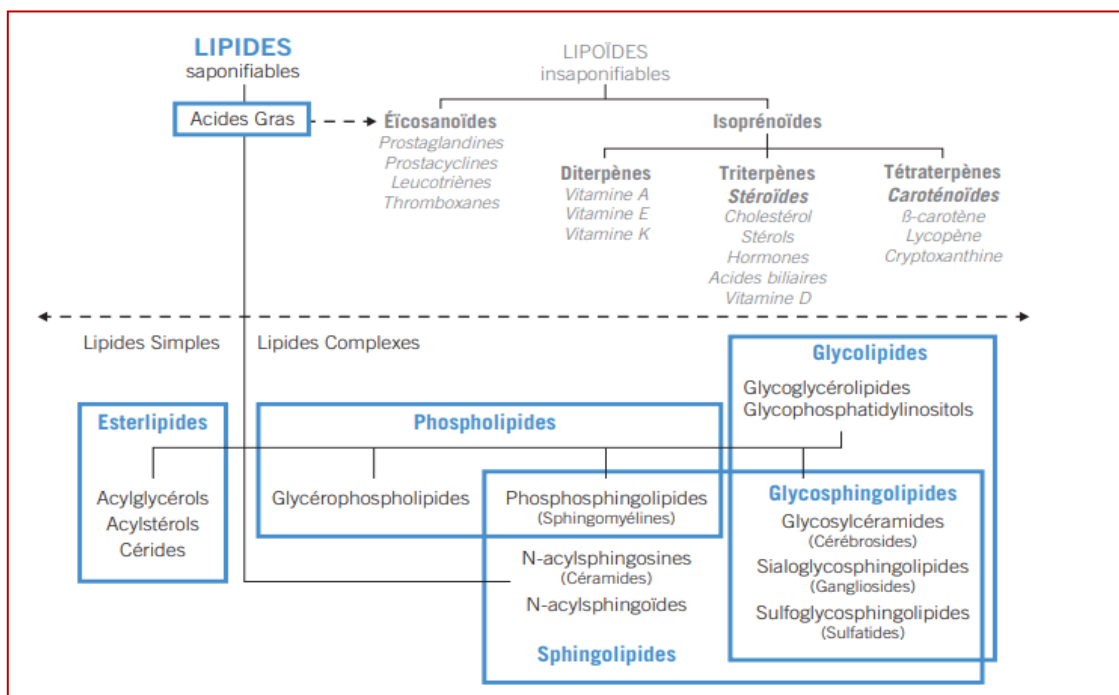


Figure 21: Classification des lipides et des lipoides (Ledoux.,2012)

II.4. Les Acides gras

- Les acides gras, molécules peu abondantes sous forme libre dans les matières grasses fraîches, sont des acides carboxyliques à chaîne aliphatique hydrophobe, **saturés** ou **insaturés** selon qu'ils ne contiennent pas ou contiennent des **doubles liaisons**.
- Ils sont notés $C_n : m$, où n représente le nombre d'atomes de carbone et m est le nombre de doubles liaisons.
- Les acides gras diffèrent donc entre eux par
 - **La longueur de la chaîne carbonée :**
 - **le nombre, la position des insaturations et la structure spatiale** (*cis*, *trans*) des doubles liaisons.
- Parmi les acides gras saturés, ceux en C12, C16 et C18 sont les plus largement distribués, alors que parmi les acides gras insaturés, ceux en C18 pourvus de 1, 2 ou 3 doubles liaisons sont les plus importants au sein du monde végétal et animal terrestre. Les acides gras à 4 ou plus de 4 doubles liaisons et 20 à 24 atomes de carbone sont quant à eux majoritaires dans le monde marin (Cuvelier., 2004)

II.4.1.Acides gras saturés

- Formule brute : $C_nH_{2n}O_2$, donc le nombre d'atomes d'hydrogène est $m = 2n$,
- Formule semi-développé est : $CH_3 - (CH_2)_{n-2} - COOH$ (R est donc $CH_3 - (CH_2)_{n-2}$).
- Il est alors d'usage de noter les acides gras saturés par $(C_n : 0)$ où n est le nombre total de carbone et $x = 0$, le nombre de doubles liaisons carbone-carbone (nul ici).(Elie.,2022)
- Les plus fréquemment rencontrés sont l'*acide palmitique* (C16) et l'*acide stéarique* (C18). En moins grande concentration, on trouve les acides gras ayant 12 et 14 atomes de carbone et de 20 à 24 atomes de carbone (Nani.,2020)

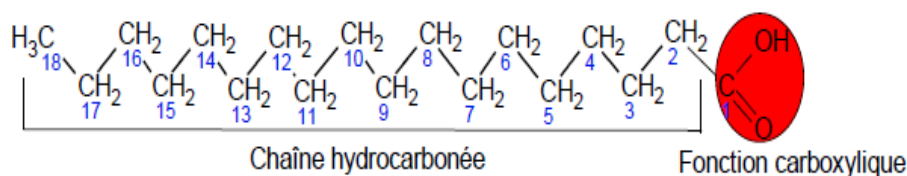


Figure 22:Structure d'un acide gras saturé (C18:0)(Zeriouh.,2019)

- Nomenclature :** Le symbole des acides gras saturés est **$C_n : 0$** (0 indique que la chaîne est saturée) et le nom **courant** (commun) rappelle son origine. Le nom **systématique** de l'acide gras saturé est déterminé de la manière suivante :

Acide n-[nC] anoïque

n: caractère linéaire

[nC]: longueur de la chaîne (nombre de carbones)

ano: la chaîne est saturée

ique: suffixe désignant la fonction acide carboxylique (Madoui et Khither.,2020)

Tableau I: Liste de quelques acides gras saturés

Nom de l'acide gras	Formules	Symbole
Acide butyrique	C ₃ H ₇ COOH	C4:0
Acide caproïque	C ₅ H ₁₁ COOH	C6:0
Acide caprylique	C ₇ H ₁₅ COOH	C8:0
Acide caprique	C ₉ H ₁₉ COOH	C10:0
Acide laurique	C ₁₁ H ₂₃ COOH	C12:0
Acide myristique	C ₁₃ H ₂₇ COOH	C14 :0
Acide palmitique	C ₁₅ H ₃₁ COOH	C16:0

II.4.2. Acides gras insaturés :

-Formule brute : C_nH_{2(n-x)}O₂, donc le nombre d'atomes d'hydrogène est m = 2(n-x), où x est le nombre de doubles liaisons carbone-carbone.

-Lorsque x = 1 (une seule double liaison C=C), l'acide gras insaturé est dit mono-éthylénique ou monoinsaturé.

-Si x > 1, il est dit poly-éthylénique ou polyinsaturé; dans ce cas, sauf pour des végétaux, les doubles liaisons ne sont pas contiguës, mais séparées par des séquences -CH₂. La présence de double liaison C=C entraîne deux isoméries de la molécule : cis et trans (Elie.,2022). Lorsque les groupes fonctionnels de part et d'autre de la chaîne principale sont du même côté, l'isomère est « cis », il est « trans » quand ces groupes fonctionnels ne sont pas du même côté (Elie.,2022).

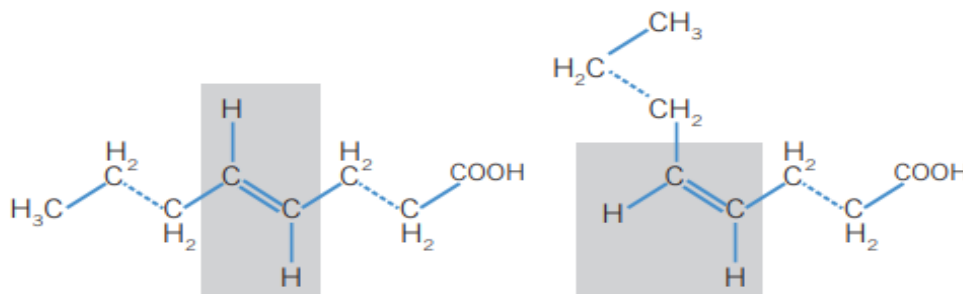


Figure 23: Isométrie géométrique trans (A) et Cis (B) (Ledoux.,2012)

Dans les acides gras insaturés, deux numérotations coexistent, l'une **systématique** et l'autre utilisée en **diététique** qui permet de regrouper les acides gras insaturés en séries.

□ **Numérotation systématique** : la position de la première double liaison s'exprime en partant du carboxyle (1er carbone) et le symbole est delta : Δ (Fig.3). La nomenclature est **Cn : m Δ (p, p',...)**

□ **Cn** : nombre de carbonnes

□ **m Δ** : nombre de doubles liaisons

□ **(p, p',...)** : positions des doubles liaisons en numérotation normale

□ **Numérotation utilisée en diététique** : la position de la double liaison s'exprime en partant du méthyl (1er carbone). Le symbole est de la forme ω n où n est la position de la première double liaison (Fig.24). Il existe 4 séries principales : ω 3(n-3), ω 6(n-6), ω 7(n-7) et ω 9(n-9) (d'autres secondaires comme par exemple ω 4 et ω 5) (Madoui et Khither.,2020)

Acide palmitique	Acide palmitoléique	Acide Linoléique
Nombre d'insaturations ↓ C16:0 ↑ Nombre de carbonnes	Nombre d'insaturations ↓ C16:1 n-7 ↑ ↑ Nombre de carbonnes Position de l'insaturation à compter de l'extrémité méthyle	Nombre d'insaturations ↓ C18:2 n-6 ↑ ↑ Nombre de carbonnes Position de la première insaturation à compter de l'extrémité méthyle
Acide palmitique	Acide palmitoléique	Acide Linoléique
Nombre d'insaturations ↓ C16:0 ↑ Nombre de carbonnes	Nombre d'insaturations ↓ C16:1 Δ9 ↑ ↑ Nombre de carbonnes Position de l'insaturation à compter de l'extrémité carboxyle	Nombre d'insaturations ↓ C18:2 Δ9,12 ↑ ↑ Nombre de carbonnes Position des insaturations à compter de l'extrémité carboxyle

Figure 24: Numérotation systématique et diététique des AG (Mendy.,2016)

Le nom courant (commun) rappelle son origine. Le nom systématique de l'acide gras insaturé est déterminé de la manière suivante : **Cis-x-[nC]-z-énoïque**

x: position de doubles liaisons

[nC]: longueur de la chaîne (nombre de carbonnes)

Z : Nombre de doubles liaisons

éno : la chaîne est insaturée

ique : suffixe désignant la fonction acide carboxylique

Exemples :

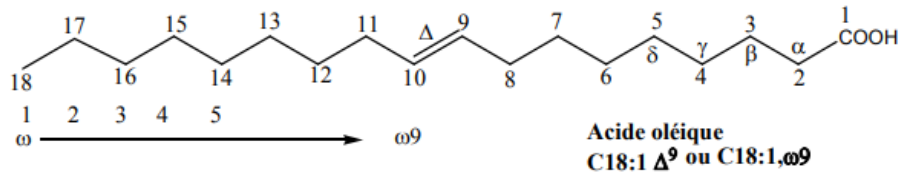
✚ **Acide oléique** : acide gras mono-insaturé,

-formule brute et $C_{18}H_{34}O_2$ et semi-développée $CH_3-(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7-COOH$

-désignation IUPAC (Union Internationale de Chimie Pure et Appliquée) :

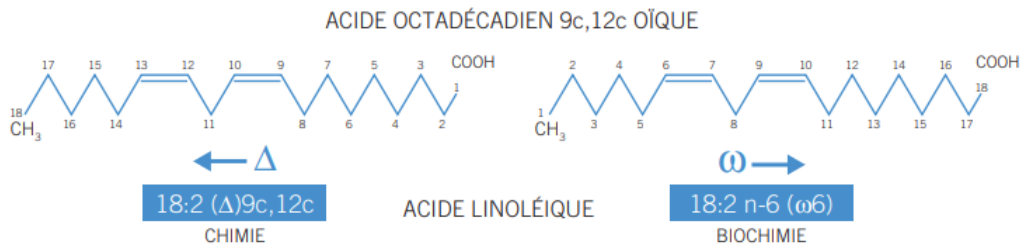
acide cis-9-octadécamonoénoïque,

-désignation biochimique $C_{18:1} \omega-9$ (n = 18 atomes de carbone, 1 seule double liaison située au carbone n°9) (Elie.,2022).



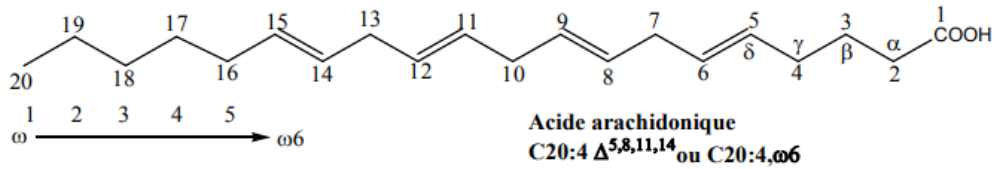
✚ **Acide linoléique**: acide gras polyinsaturé, de la famille oméga-6, formule brute et semi développée $C_{18}H_{32}O_2$ et $H_3C-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$, de désignation IUPAC acide (9Z,12Z)-octadéca-9,12-diénoïque, désignation biochimique $C_{18:2} \omega-6$ (n = 18 atomes de carbone, 2 doubles liaisons, la première étant au carbone n°6)

(Elie.,2022).



L'acide linoléique a un rôle important dans la formation des membranes cellulaires. Il ne peut pas être synthétisé dans l'organisme humain, sa provenance ne peut qu'être d'origine alimentaire (c'est donc un acide gras essentiel). On le trouve dans l'huile de pépin de raisin, l'huile de carthame (plante oléagineuse), l'huile de colza, l'huile de maïs... (Elie.,2022).

✚ **Acide arachidonique** : acide gras polyinsaturé, de la famille $\omega-6$, formule brute $C_{20}H_{32}O_2$. Désignation IUPAC : acide(5Z,8Z,11Z,14Z)-eicosa-5,8,11,14-tétraénoïque ; désignation biochimique $C_{20:4} \omega-6$ (n = 20 atomes de carbone, 4 doubles liaisons, la première étant au carbone n°6)(Elie.,2022).



Une de ses fonctions importantes est d'être le précurseur des eicosanoïdes, qui interviennent directement dans la production de certaines hormones dites lipophiles, c'est-à-dire pouvant traverser les membranes plasmiques des cellules : prostaglandines, thromboxanes, etc. participent aux réponses inflammatoires et aux contractions des muscles lisses ; les eicosanoïdes des séries oméga-3 et 6 interviennent ont une action dans les maladies cardiovasculaires et le diabète. On trouve l'acide arachidonique dans les huiles de tournesol et de maïs (Elie., 2022).

II.5. Propriétés des acides gras

II.5.1. Propriétés physiques :

II.5.1.1. Solubilité

Elles sont essentiellement déterminées par la longueur et les degrés d'insaturation de la chaîne carbonée (zekri., 2021)

- 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 (Touitou.,2005)

II.5.1.2. Le point de fusion

- augmente avec le nombre de C.
- diminue quand le nombre de doubles liaisons augmente.

Ils sont liquides à 20° C si n < 10 C

solides si n = 10 C. (Touitou.,2005)

-Qu'ils soient saturés ou non, **les AG n'absorbent la lumière**, ni dans le visible, ni dans l'UV a 280nm car les doubles liaisons ne sont **pas conjuguées** (Zekri.,2021)

II.5.2. Propriétés chimiques

Elles dépendent de la présence du groupement -COOH, de la présence éventuelle de double liaison, la présence éventuelle d'autres radicaux. La chaîne hydrocarbonée ne présente pas de propriété chimique particulière (Zekri .,2021)

II.5.2.1. Réactions d'addition (due aux doubles liaisons)

Hydrogénation

... CH₂-CH=CH-CH₂ ... + H₂ ... -CH₂-CH₂-CH₂-CH₂-...

Application: procédé utilisé pour fabriquer de la margarine à partir d'huile notamment. La margarine résiste mieux à l'oxydation que les huiles.

Halogénéation

Détermination de l'indice d'iode (ID). On détermine le nombre de doubles liaisons dans un AG.

Par définition **l'indice d'iode** est: Nombre de g d'iode que peuvent fixer 100g de matières grasses $R-CH=CH-R'-COOH + I_2 \rightarrow R-CHI-CHI-R'-COOH$ (**Touitou.,2005**)

II.5.2.2. Réactions dues à la fonction carboxylique

Formation de sels de sodium ou potassium(Savon)

Les AG traités par un hydroxyde métallique alcalin (NaOH, KOH) donnent un sel alcalin d'AG (sel solide avec NaOH, liquide avec KOH) ou savon. Les savons sont solubles dans l'eau et possèdent des propriétés moussantes, mouillantes et émulsifiantes. Un savon = R – COOX (X= métal alcalin). Dans l'eau le savon s'ionise : $R - COOX \rightarrow R - CO\hat{O} + X$

L'anion R COO⁻ est un dipôle : COO⁻ = pole hydrophile R = pole hydrophobe = chaîne aliphatique Carbonée, lipophile (**Bourmita .,2021**) Ces molécules appelées amphiphiles ou amphipathiques, sont tensioactives : elles abaissent la tension superficielle de l'eau d'où leurs propriétés (**Zekri.,2021 ; Touitou.,2005**).

L'existence de ces deux pôles au sein de la même molécule fait que l'orientation du savon dépendra de la nature du solvant (**Bourmita .,2021**)

NB : **Indice de saponification** : c'est le nombre de mg de KOH nécessaires à la saponification de 1 g de graisse. Ce nombre est inversement proportionnel au PM de la graisse (**Bourmita .,2021**).

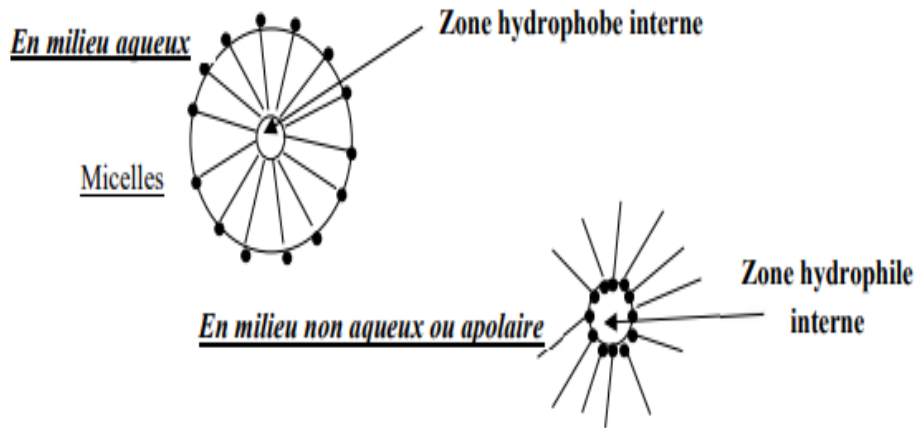


Figure 25: Représentation du comportement biochimiques des lipides selon la polarité du milieu (Bourmita.,2021)

Formation d'esters Avec les alcools

Les acides gras donnent des esters. Le méthanol CH₃-OH donne des esters méthyliques, plus volatiles que les acides gras qui leur ont donné naissance. Les esters méthyliques volatiles sont séparés et identifiés par chromatographie en phase gazeuse (comme pour les acides gras) (Bourmita .,2021)

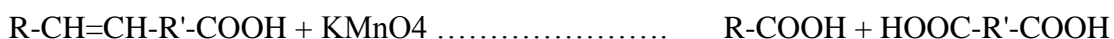
II.5.2.3.Oxydation des doubles liaisons

L'oxydation par l'oxygène de l'air

Elle conduit au rancissement des graisses. L'oxydation rompt la double liaison, et le processus aboutit à un aldéhyde, responsable de ces odeurs. Plus le nombre de doubles liaisons est élevé (x grand), plus l'acide gras insaturé est fragile et subit d'autant plus facilement le rancissement. C'est pourquoi il faut éviter l'usage d'huiles polyinsaturées pour les fritures alimentaires (Elie.,2022)

L'oxydation par KMnO₄ en milieu alcalin

Provoque la coupure de l'acide gras au niveau de la double liaison ce qui donne deux acides carboxyliques.



Il y a formation d'un acide et d'un diacide pour chaque double liaison. Cette réaction, suivit de l'analyse des produits formés, permet de déterminer la position de la double liaison dans la molécule (Touitou., 2005)

II.6.Les lipides simples ou ternaires

Les lipides simples sont divisés habituellement en : Glycérides,Cérides, Stérides.

II.6.1. Acylglycérols (Glycérine)

Les **glycérines** (ou **acylglycérols**) sont des **esters de glycérine et d'acide(s) gras**. Chacune des trois fonctions hydroxyle (—OH) du glycérine peut former une liaison ester avec le carboxyle (—COOH) d'un acide gras (R-COOH où R désigne la chaîne hydrocarbonée). Le glycérine peut donc, par estérification avec des acides gras, donner des monoesters (**monoglycérines** ou **monoacylglycérols**), des diesters (**diglycérines** ou **diacylglycérols**), et des triesters (triglycérines ou triacylglycérols) (Nani.,2020)

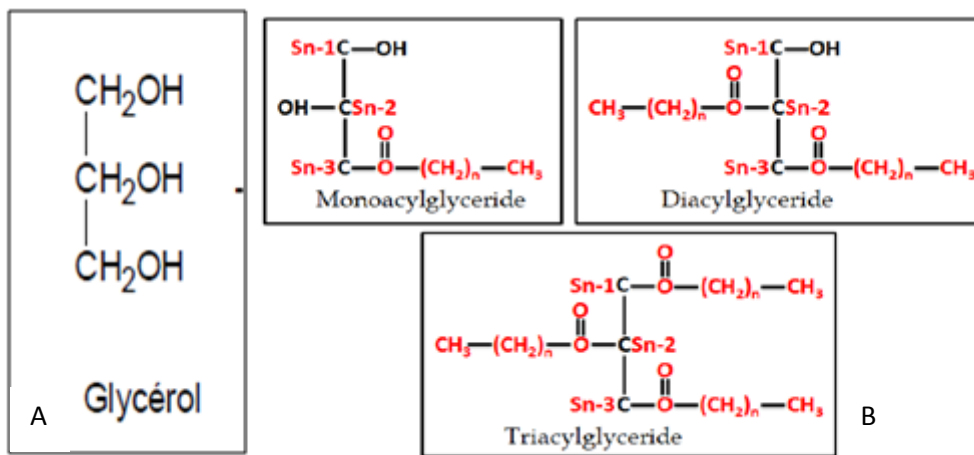


Figure 26:A) Structure du glycérine, B (monoacylglycérine, diacylglycérine et triacylglycérine) (Valenzuela,R.,et Valenzuela,A.(2013)

Le glycérine est un triol : il porte trois fonctions hydroxyle (—OH) dont deux fonctions alcool primaires en positions α (ou C1) et α' (ou C3) et une fonction alcool secondaire en position β (ou C2) (Nani., 2020)

Monoacylglycérols

Ce sont des mono-esters de glycérine avec deux isomères selon la position de l'acide gras estérifié R1 sur le C1 ou R2 en position sur C2. Les monoacylglycérols sont des intermédiaires dans la dégradation par lipolyse des triacyl- et diacyl-glycérols. (Reggami.,2017)

Diacylglycérols

Les diacylglycérols sont des diesters du glycérine avec des acides gras en position C1 et C2 ou en position 1 et 3. L'acide gras en position 2 est très souvent insaturé. Les diacylglycérols sont formés lors de la digestion des triacylglycérols par les lipases. Il se forme des 1,2 et des 2,3-diacylglycérols qui s'isomérisent en 1,3-diacylglycérols. Dans la cellule les

diacylglycérols peuvent être produits à partir des phospholipides principalement les phosphatidyl-inositides de la membrane par action de la phospholipase C, le diacylglycérol libéré participe à la transmission des signaux cellulaires en activant la protéine kinase C (Reggami.,2017)

Les triglycérides

(appelés aussi les triacylglycérols) sont des esters de glycérol et de trois acides gras (Figure 6), ce sont des lipides de réserve d'énergie (les huiles et les graisses), leur caractère hydrophobe leur permet de se regrouper sous forme de gouttelettes lipidiques dans le cytoplasme des cellules (Zerriouh.,2021))

II.6.1.1.Nomenclature des acylglycérols

1. Selon la nature des AGs qui estérifient les OH :

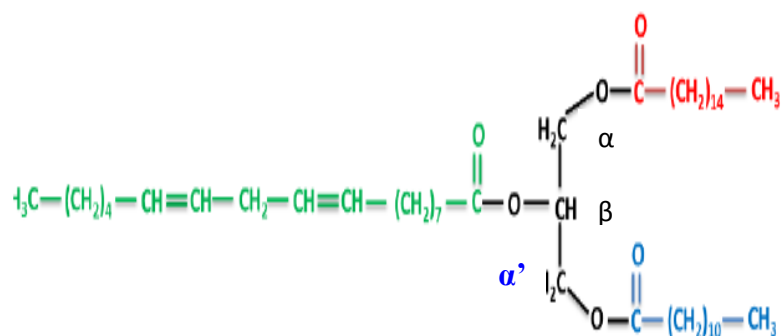
- acylglycérols homogènes ;
- acylglycérols mixtes (hétérogènes).

2. le nombre et la position des estérifications :

- α ou β monoacylglycérol ;
- (α, α') ou (α, β) diacylglycérol ;
- (α, β, α') triacylglycérol

Ils sont dénommés d'après les acides gras qui les constituent ;

Si un triglycéride porte 3 acides gras identiques, il est appelé un triglycéride homogène par exemple, tripalmitine, tristéarine ou trioléine (figure...), Si un triglycéride porte 2 ou 3 acides gras différents, il est appelé **un triglycéride hétérogène**.



1-palmityl-2-linoléyl-3-lauryl sn glycérol.

α -palmityl- β -linoléyl- α' -lauryl sn glycerol (Nani., 2020)

La nature et la position de chaque acide gras sont indiquées, par exemple 1-stéaryl, 2-linoléyl, 3-palmityl glycérol. Les graisses extraites des milieux biologiques contiennent habituellement

un mélange complexe de triacylglycérols présentant fréquemment un acide gras insaturé au niveau du C-2 du glycérol. Les triacylglycérols sont des molécules apolaires, hydrophobes, de densité inférieure à celle de l'eau (Nani.,2020)

Pour localiser la position des acides gras on numérote les atomes de carbone : en utilisant la projection de Fischer, si le groupe alcool secondaire est orienté à gauche du carbone C2(β), le carbone au-dessus est appelé C1(α) et l'autre C3(α'). La position de l'acide gras est indiquée par le préfixe *sn* (*stereospecifically numbered*) ou usuellement par le numéro du carbone (Reggami.,2017).

II.6.2. Les Cérides (les cires biologiques)

Ce sont des esters formés par l'association d'acide gras à longue chaîne (C14 à C36, saturé ou insaturé), et d'alcool à longue chaîne (C16 à C30), (Figure27) (Zerriouh., 2021). Ce sont des composés neutres, complètement insolubles dans l'eau, car totalement apolaires. Les alcools gras ont pour formules semi-développées CH₃-(CH₂)_n-CH₂-OH.

Les cérides sont à l'état solide à température ambiante, leur point de fusion étant élevé (entre 60 et 100°C). Les fonctions biologiques des cérides sont principalement dues à leur propriété hydrophobe, qui se traduit par l'imperméabilisation de la peau des mammifères, ou des cires. Exemples (figure 9) : cires des abeilles (palmitate de triacontanol), cire ou blanc de cachalot ou de baleine (palmitate de cétyle), cires de la cuticule des végétaux, subérine du liège (Elie.,2022)

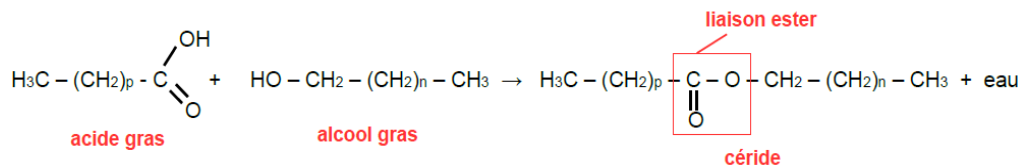


Figure 27: Formation d'un céride (Elie.,2022)

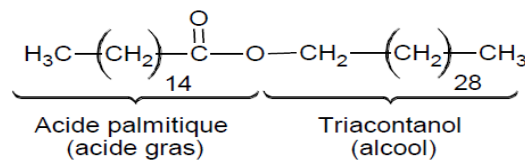


Figure 28: Palmitate de triacontanol Principal composant de la cire d'abeille

II.6.3. Les stérides

Ils résultent de l'estérification d'acides gras par des **stérols** (alcool polycyclique. Ces alcools dérivent du noyau stéroïde, produit de la condensation de 4 cycles dont l'hydroxyle est une fonction alcool secondaire toujours à la même position (C3). Le plus représentatif est le

cholestérol (Madoui et Khither.,2020). Le cholestérol appartient à la famille des **stéroïdes alcools** ou **stérols** et ne se rencontrent que dans le monde animal. Physiologiquement, la principale source de cholestérol (figure 29) est d'**origine endogène**. La **biosynthèse se fait essentiellement au niveau du foie (50 %)** mais aussi dans de nombreux tissus comme l'intestin, le tissu nerveux, la peau, la paroi artérielle.

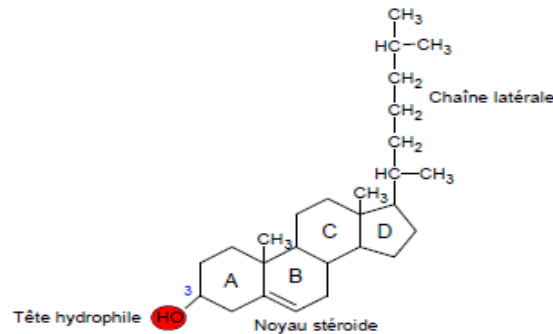


Figure 29:Cholestérol en projection plane (Zerriouh.,2017)

II.7.Les lipides complexes

II.7.1. Les glycérophospholipides

Les glycérophospholipides ou phospholipides sont des dérivés de l'acide phosphatidique. Les 2 premiers atomes de carbone du glycérol portent, par liaison ester, les chaînes aliphatiques d'acides gras, tandis que le troisième carbone est estérifié à un groupement phosphoryle relié lui même par une autre liaison ester à un alcool, qui peut être du glycérol, de l'inositol, de l'éthanol amine ou ses dérivés choline et sérine. Le carbone 1 du glycérol porte un acide gras saturé à 16 ou 18 atomes de carbone, tandis que le carbone 2 est lié à un acide gras insaturé de 16 ou 18 atomes de carbone.

Les lécithines et les céphalines sont deux groupes de Phospholipides ; leur groupement phosphoryle est relié pour le premier à la choline (lécithine) et pour le second à l'éthanolamine (céphaline) ou à la sérine (Cuvelier.,2004)

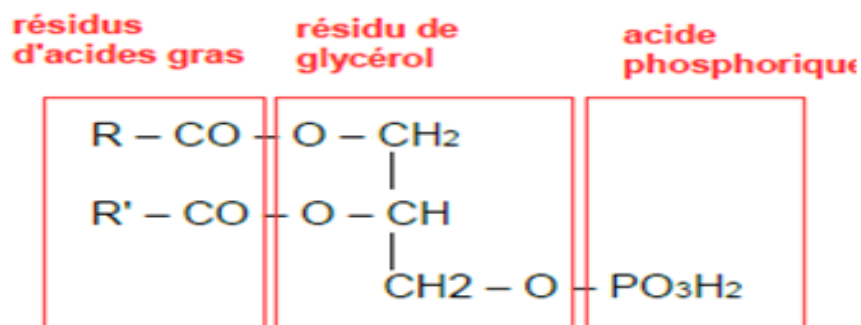


Figure 30:structure d'un phospholipide (Valenzuela, R., et Valenzuela, A., 2013).

Les phospholipides constituent la structure de base des membranes biologiques. La molécule d'alcool ainsi que le groupement phosphoryle du troisième carbone étant fortement polaires, les phospholipides ont une structure caractérisée par une tête polaire et une queue hydrophobe, qui détermine l'organisation en double couche des phospholipides au sein des membranes (Cuvelier.,2004)

Phosphatidylsérine : phospholipide le plus présent dans les neurones ; son insuffisance peut conduire à des déficiences cognitives, dépression (Elie., 2022)

La phosphatidyléthanolamine. Elle est présente dans la substance blanche du cerveau, dont la fonction est d'assurer la propagation des informations dans le système nerveux par la conduction rapide du signal électrique (Elie.,2022)

La phosphatidylcholine est une importante substance de la bile (sels biliaries), produite par le foie, dont une fonction est de contribuer à la digestion des graisses, et d'empêcher leur agglutination (Elie.,2022)

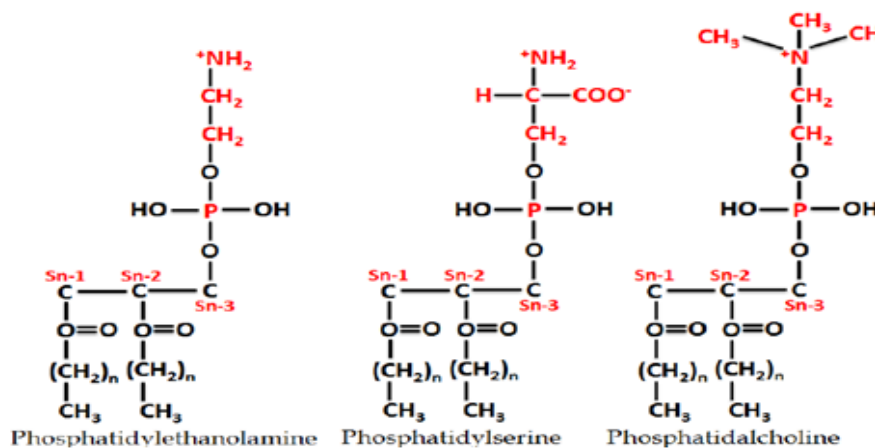


Figure 31: Exemples de phospholipides (Valenzuela, R., et Valenzuela, A., 2013).

II.7.1.1. Propriétés des glycérophospholipides

- Ce sont des molécules **amphipathiques** (amphiphiles) car elles présentent 2 pôles : L'un hydrophobe dû aux AG et l'autre hydrophile dû à l'ester phosphorique.
- Ce sont des molécules **amphotères** car elles possèdent à la fois une fonction acide apportée par H_3PO_4 et une fonction basique apportée par l'AA alcool (sérine, thréonine) ou par la choline et l'éthanolamine.

L'**hydrolyse enzymatique** (Figure 32) est réalisée par les phospholipases spécifiques des différentes liaisons esters, il existe 4 phospholipases spécifiques (Fig.8):

PLA1 pour la liaison ester sur le carbone 1

II.8.2. Propriétés technologiques des lipides :

Les propriétés technofonctionnelles sont les caractéristiques des ingrédients qui gouvernent le comportement d'un produit alimentaire pendant son procédé de fabrication, son conditionnement et sa mise en œuvre par le consommateur, tel que les propriétés physico-chimiques qui influencent la structure, l'aspect, la texture, la viscosité, la perception en bouche ou la rétention d'arôme du produit alimentaire (Ex :Point de fusion, qui dépend de la composition en acide gras saturé ou insaturé, leur capacité à former des structures (comme les membranes ou les liposomes) grâce à leurs propriétés amphipathiques (Danthine., 2010)

III. Les protides

III.1. Objectifs de l'enseignement

- Acquérir des connaissances sur les protéines, et les acides aminés
- Comprendre le rôle et l'importance des protéines et des acides aminés dans l'organisme
- Connaître leurs caractéristiques physico-chimiques
- Connaître leur intérêt nutritionnel et fonctionnel.

III.2. Généralités sur la synthèse et le rôle des protéines

L'étude des protéines est l'une des principales branches de la biochimie, et il n'y a pas de distinction claire entre la chimie organique des protéines et leur biochimie.

Dans ce chapitre, nous commençons l'étude des protéines en apprenant sur leurs constituants, les acides aminés.

Nous discutons également de la façon dont les monomères d'acides aminés sont liés dans le polymère protéique, et comment les propriétés d'une protéine dépendent de celles de ses acides aminés constitutifs.

Les protéines sont les principaux **polymères** structurels et fonctionnels dans les systèmes vivants. Ils ont un large éventail d'activités, y compris la catalyse des réactions métaboliques et le transport des vitamines, minéraux, oxygène et carburants.

Certaines protéines font la structure des tissus, tandis que d'autres fonctionnent dans la transmission nerveuse, la contraction musculaire et la motilité cellulaire, et d'autres encore dans la coagulation sanguine et les défenses immunologiques, ainsi que comme hormones et molécules régulatrices (Taniguchi., 2010)

Les protéines sont synthétisées sous la forme d'une séquence **d'acides aminés** liés ensemble dans une structure polyamide linéaire (**polypeptide**), mais elles prennent des formes tridimensionnelles complexes pour accomplir leur fonction.

Il y a environ 300 acides aminés présents dans divers systèmes animaux, végétaux et microbiens, mais seulement **20 acides aminés sont codés par l'ADN** pour apparaître dans les protéines.

De nombreuses protéines contiennent également des acides aminés modifiés et des composants accessoires, appelés groupes prosthétiques (Taniguchi.,2010)

Les propriétés physiques et chimiques d'une protéine sont déterminées par ses acides aminés constitutifs. Les sous-unités individuelles d'acides aminés sont reliées par des liaisons amide appelées liaisons peptidiques (wade.,2010)

III.3. Les acides aminés

Acide α -aminé : molécule possédant un groupement amine et un groupement carboxyle portés par le même atome de carbone, noté $C\alpha$ (figure 1), et unité monomérique des protéines. Les acides aminés diffèrent les uns des autres par la nature de leur chaîne latérale R.

Bien qu'il en existe un très grand nombre, on se concentre sur les 20 acides aminés majoritairement utilisés par le corps humain (Leconte, 2020).

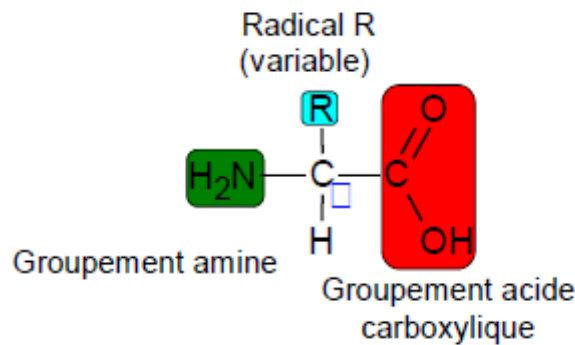


Figure 34: Structure des acides aminés (Zerriouh., 2020)

Tous les 20 α -aminoacides, **sauf la glycine**, possèdent un atome de **carbone asymétrique** (un carbone lié à quatre groupements chimiques différents), de ce fait chaque α -aminoacide, existe sous deux arrangements spatiaux différents images l'un de l'autre dans un miroir, ils forment ainsi un couple d'énantiomères **D** et **L** (Figure 7).

Toute molécule chirale, est optiquement active, et peut dévier le plan d'une lumière polarisée (Zerriouh., 2020.).

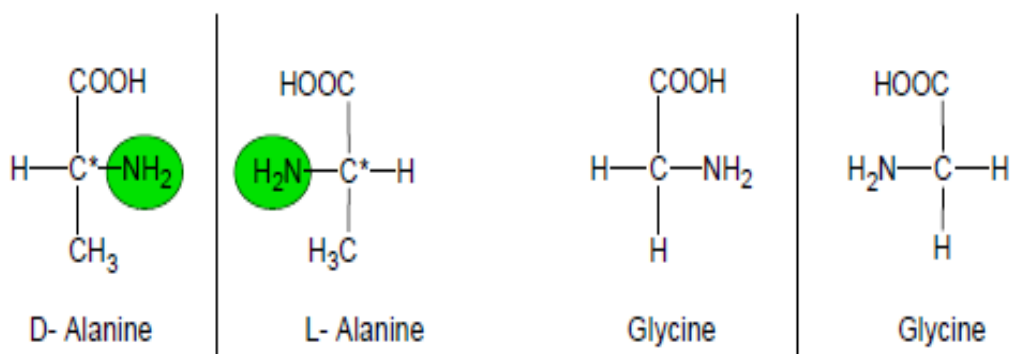


Figure 35: Structure de l'alanine et de la glycine (Zerriouh., 2020)

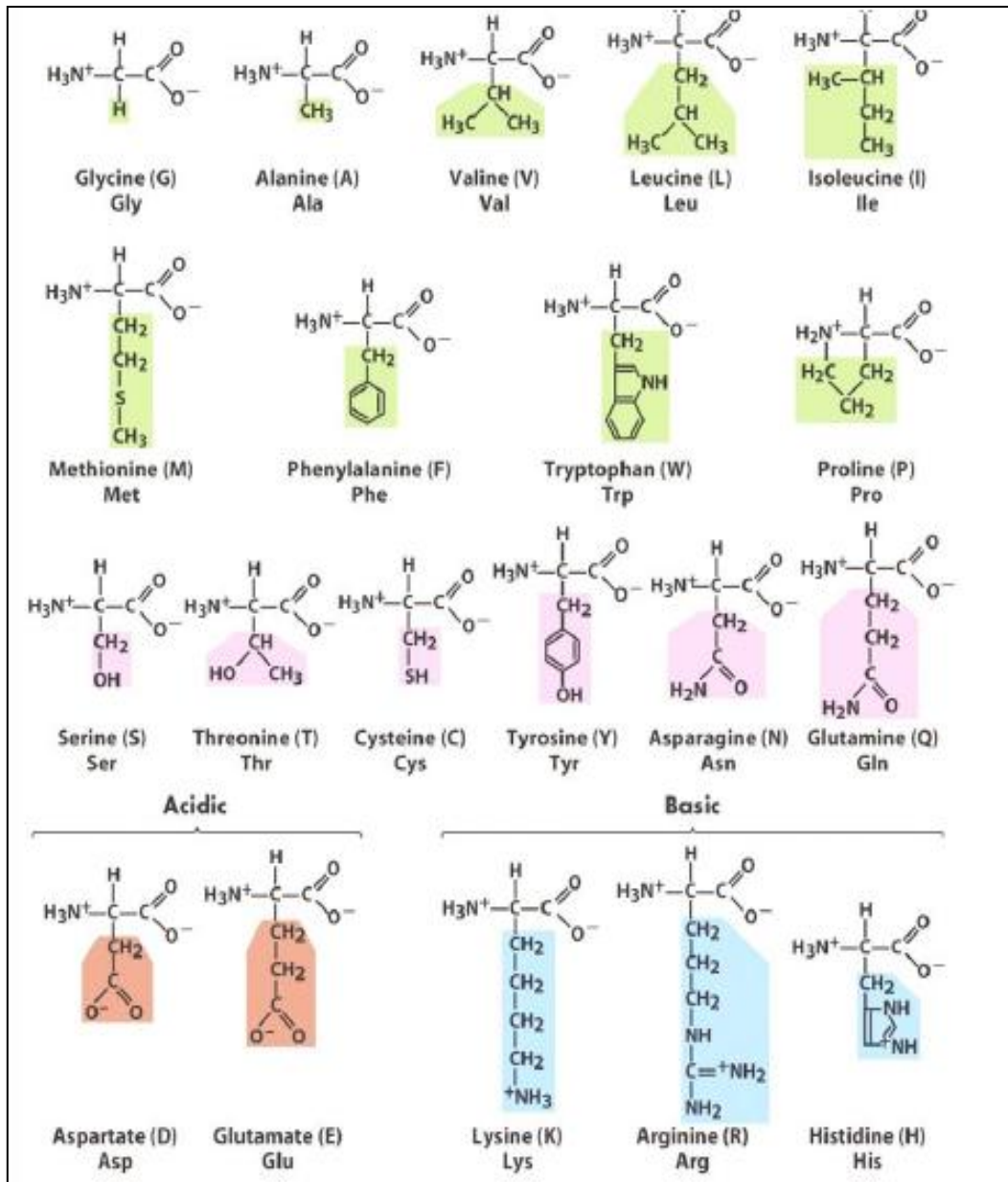


Figure 36: Liste des 20 acides aminés naturels (Bellil, I, 2020)

III.3.1. Classification des acides aminés selon le type de radical R

a) Les acides aminés à chaîne aliphatique : Glycine Alanine Valine Leucine Isoleucine: Les chaînes aliphatiques plus grandes sont hydrophobes et ont tendance à s'agglomérer. La structure tridimensionnelle des protéines hydrosolubles est stabilisée par le groupement des chaînes latérales hydrophobes.

b) Les acides aminés à chaîne latérale aromatique : Phénylalanine Tyrosine Tryptophane : Ces trois acides aminés sont très hydrophobes.

c) **les acides aminés soufrés** : Cystéine Méthionine:Les chaînes latérales contenant du soufre sont hydrophobes. Le groupe sulfhydryle de la cystéine est très réactif et joue un rôle spécial dans l'architecture de certaines protéines en formant des liaisons disulfures.

d) **Les acides aminés hydroxylés** : Sérine Thréonine:Ces acides aminés sont hydrophiles.

e) **Les acides aminés basiques** : Lysine Arginine Histidine:La lysine et l'arginine sont chargées positivement à PH neutre. L'histidine est rencontrée dans le site actif des enzymes ou son noyau imidazole peut osciller entre 2 états afin de catalyser la formation ou la rupture de liaison.

f) **Les acides aminés dicarboxyliques et leurs amides** : Aspartate Glutamate Asparagine Glutamine

g) **Acide iminé** : La proline et hydroxyproline (HYP): Elle a une fonction amine secondaire. Elle est souvent rencontrée dans les coudes des chaînes protéiques reployées (Cuq.,20..)

III.3.2.Classification selon l'essentialité

Les aminés essentiels

Ce sont des acides aminés qui ne sont pas produits par le corps et doivent être obtenus à travers la nourriture. Ils sont également connus sous le nom d'acides aminés essentiels. La carence en acides aminés essentiels peut induire une variété de troubles, y compris la dégradation neurologique, la suppression du développement mental normal et même la mort chez les jeunes animaux. Huit acides aminés sont très importants pour les humains. E.g. Valine, Leucine, Isoleucine, Thréonine, Méthionine, Phénylalanine, Tryptophane, et Lysine. Une quantité adéquate d'acides aminés essentiels est nécessaire pour maintenir le bon équilibre en azote (Kamble et al.,2021).

Acides aminés semi-essentiels

Le corps produit certains de ces acides aminés, mais pas à un taux qui est suffisant pour répondre aux demandes du corps. par exemple : Arginine et Histidine (Kamble et al.,2021)

III.3.3. Propriétés physiques des acides aminés

Stéréo-isomérisation :

Tous les acides aminés standards (mis à part le glycolle) ont un carbone asymétrique (C α). Cela amène une isomérisation optique permettant de définir la série de l'acide aminé. Tous les acides aminés entrant dans la composition des protéines sont de la série L (Hamma.,2024)

Solubilité :

A l'état solide les acides aminés forment des cristaux. Ils sont très solubles en milieu aqueux, formant une solution incolore. A pH physiologique, ils sont ionisés.

Spectre d'absorption :

Les acides aminés ont une absorption significative pour les rayonnements UV inférieurs à 230 nm. Les acides aminés aromatiques (phénylalanine, tyrosine, tryptophane) présentent de plus un pic d'absorption particulier pour les longueurs d'onde comprises entre 250 et 290nm. La propriété d'absorption à 280 nm permet leur détection et le dosage des protéines par spectrophotométrie (Hamma.,2024)

III .3.4. Propriétés ioniques chimiques des acides aminés

Les acides aminés possèdent au moins deux groupements ionisables, le groupement acide carboxylique et le groupement aminé primaire : ils sont amphotères et existent sous différentes formes ionisées selon le pH. Le groupe carboxyle perd un proton, donnant un ion carboxylate (-COOH \leftrightarrow -COO $^-$ + H $^+$) et le groupe amino est protoné en un ion ammonium(-NH $_2$ + H $^+$ \leftrightarrow -NH $_3^+$). Cette structure est appelée un ion dipolaire ou un zwitterion (allemand pour « ion dipolaire ») (Hamma.,2024 et Wade.,2010)

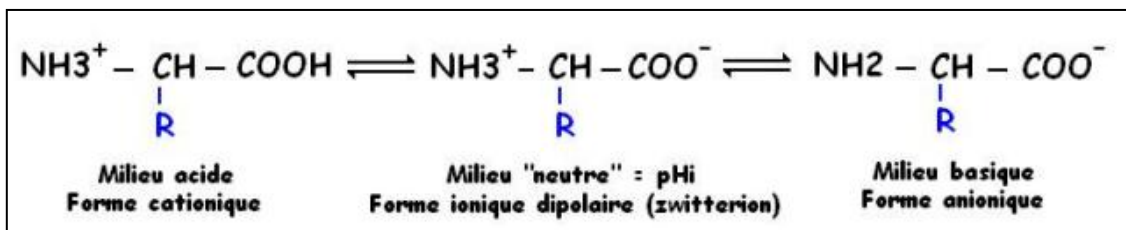


Figure 37: Ionisation des acides aminés (Hamma.,2024)

- Lorsque le radical R n'est pas ionisable, le pH où l'acide aminé est amphotère qui correspond au pHi ou pH iso-électrique ou pH iso-ionique se calcule par la formule :

$$\text{pHi} = 1/2 (\text{pK}_1 + \text{pK}_2)$$

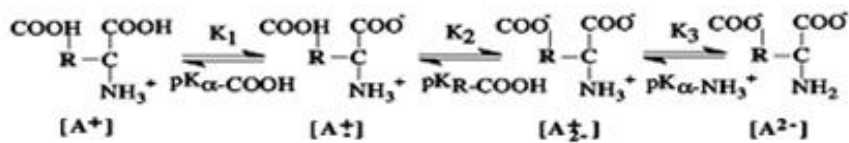
-pk1 correspond au pH de la demi-dissociation de la fonction carboxylique.

- Plus pk1 est faible plus la fonction est acide.

- Plus pk2 est élevée plus la fonction a un comportement basique élevé.

Le point isoélectrique pHi d'une molécule (acide aminé ou protéine) est défini comme étant le pH pour lequel la charge globale de la molécule est nulle, celle-ci étant donc électriquement neutre (forme zwitterion). Il ne faut pas en déduire qu'à ce pH la molécule ne possède aucun groupement chargé (ce qui est impossible pour une protéine, ou même un simple acide aminé), mais simplement que la somme des charges d'un signe compense exactement celle des charges de l'autre signe. Nous allons voir dans ce qui suit comment déterminer la valeur du pHi. L'acide aminé est toujours majoritairement sous sa forme amphotère à plus au moins deux unités autour de son pHi. A un pH supérieur au pHi, les acides aminés forment des anions ; au-dessous de ce pH, ils fixent des protons et existent à l'état de cations. Un acide aminé est le moins soluble à son point isoélectrique (Wade.,2010)

Aminoacides à chaîne latérale comportant une fonction acide



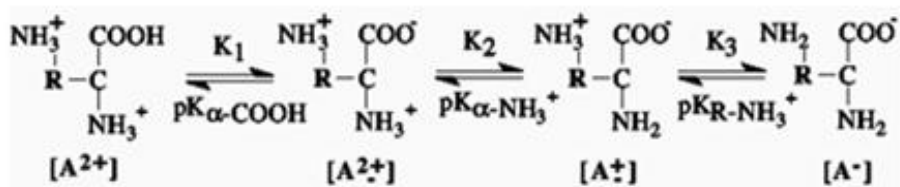
$$\text{pHi} = (\text{pK1} + \text{pK2})/2$$

ou

$$\text{pHi} = (\text{pKa} + \text{pKr})/2 :$$

Aminoacides à chaîne latérale comportant une fonction base

$$\text{pK1} = 2,2. \quad \text{pK2} = 9. \quad \text{pK3} = 10,5.$$



$$\text{pHi} = (\text{pK2} + \text{pK3})/2 = 9,7.$$

$$\text{pHi} = (\text{pKb} + \text{pKr})/2 = 9,7.$$

III.4.Des acides aminés aux peptides :

Les acides aminés se combinent entre eux pour former des molécules plus complexes par des liaisons peptidiques :

III.4.1.Liaison peptidique

Une liaison peptidique est une liaison covalente qui s'établit entre la **fonction carboxyle** portée par le **carbone α** d'un acide aminé et la **fonction amine** portée par le **carbone α** de l'acide aminé suivant dans la chaîne peptidique (figure 38)

- **Les Peptide** : amide dérivé d'un ou plus d'acides carboxyliques par condensation d'un acide carboxylique et d'une amine.
- **Les oligopeptides** : qui sont formés par l'union de deux à quelques α -aminoacides, comme les dipeptides (2 α -aminoacides), les tripeptides (3 α - aminoacides), les tetrapeptides (4 α - aminoacides) les pentapeptides (5 α - aminoacides).
- **Les polypeptides** : qui sont formés par l'union de plusieurs α -aminoacides, et ont un poids moléculaire inférieur à 10 000.
- **Les protéines** : qui sont formées par l'union de plusieurs α -aminoacides, avec un poids moléculaires supérieur à 10 000 (Leconte., 2020)

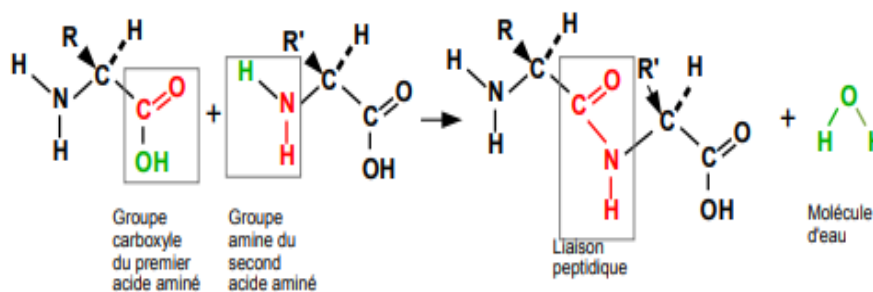


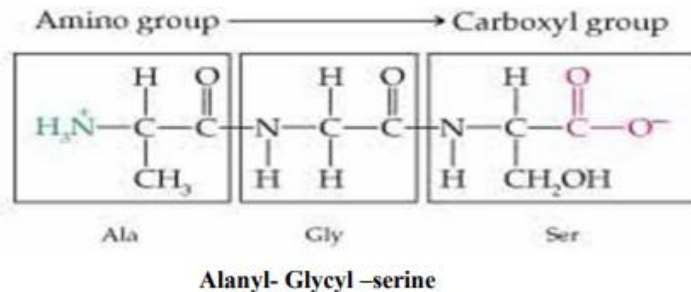
Figure 38:La liaison peptidique (Elie.,2022)

III.4.2.Mode de représentation d'une séquence peptidique :

L'enchainement d'acides aminés doit être représenté avec les règles d'écriture suivante :

- Écriture de gauche à droite dans le sens N-terminale vers la C-terminale.
- Numérotation dans le même sens (N-terminale vers la C-terminale).
- Écriture des liaisons peptidiques orientées dans le sens CO-NH.
- Tous acide aminé constitutif de la chaîne peptidique est appelé résidu.
- Un acide aminé engagé dans une liaison peptidique porte son nom au quel on additionne du suffixe yl : exemple : Lys : lysyl, Ala : alanyl, Sauf pour le dernier qui garde son nom complet, sans suffixe.

– Chaque acide aminé pourra être représenté par son abréviation à 3 lettres ou 1 lettre. Exemple : il s'agit d'un tripeptide (3 acides aminés dans ordre suivant : Alanine-Glycine-serine) (Feraga.,2021)



III.5.Les Protéine

Polypeptides naturels ou synthétiques ayant des masses moléculaires supérieures à 10 000 Da ou possédant plus de 50 acides aminés (limite non stricte). Les liaisons peptidiques entre les résidus d'acides aminés d'une protéine déterminent sa structure (Leconte.,2020)

III.5.1.Types de structure des protéines

Il existe 4 types de structure, par niveau de complexité croissante

Structure primaire

Séquence d'acides aminés de la chaîne polypeptidique, indépendamment de son arrangement spatial (mis à part la configuration absolue des carbones α). Les protéines et peptides ont une direction (dénie arbitrairement) de l'extrémité N-terminale à l'extrémité C-terminale. Dans le vivant, le mécanisme consistant à l'assemblage des acides aminés en protéines est appelé traduction(Leconte.,2020)

Structure secondaire

Elle est due à la présence de liaisons hydrogène entre le groupe amine -NH et le groupe carboxyle -C=O, conférant à la protéine une configuration spatiale. Il existe 2 configurations spatiales possibles : (Elie., 2022)

- **L'hélice alpha** (figure 2) : enroulement de la chaîne de polypeptides autour d'un même axe. Les acides aminés constitutifs sont nécessairement de même configuration L ou D, car si un acide aminé de configuration D (resp. L) intervient dans une chaîne d'acides aminés L (resp. D), celle-ci s'arrête (Elie., 2022)

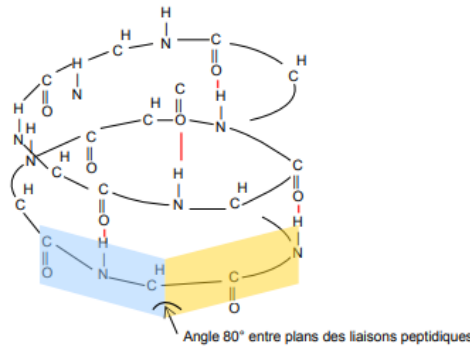


Figure 39: Configuration en hélice alpha (Elie.,2022)

Les liaisons hydrogène (en rouge) entre l'oxygène du groupement C=O et l'hydrogène du groupement NH imposent la forme hélicoïdale à la protéine (Elie.,2022)

■ **Conformation bêta**, ou état étiré ou structure en feuillet plissé (figure 3) : chaîne de polypeptides en zigzag (exemple (Elie.,2022))

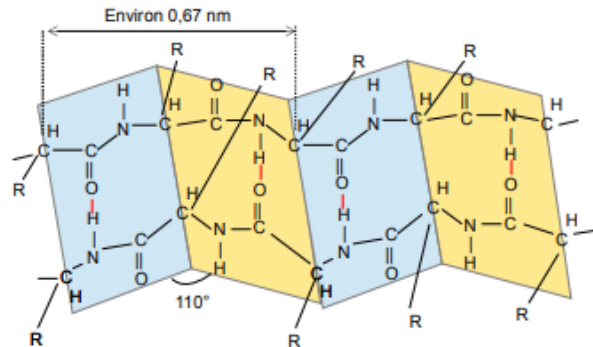


Figure 40: A) Conformation β (Elie., 2022)

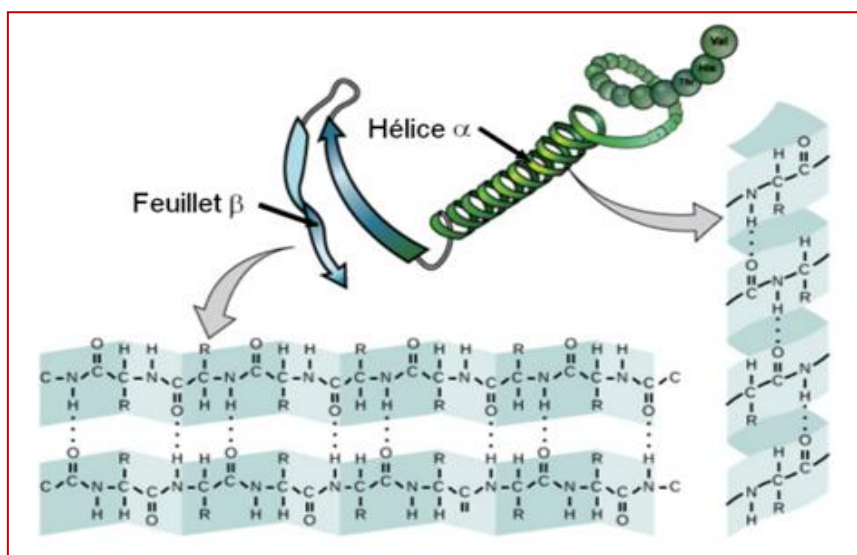


Figure 41: Conformation α et β (Poirier.,2019)

Structure tertiaire

Repliement de la chaîne de polypeptides sur elle-même par les liaisons disulfure, ionique et hydrogène présentes dans la structure secondaire. La protéine a alors la forme tridimensionnelle d'un peloton. Elle contient des groupements polaires hydrophiles qui ont donc tendance à s'unir à l'eau par liaisons hydrogène ; ils sont donc situés à la périphérie de la pelote. Les protéines de structure tertiaire ont une action très importante dans les systèmes vivants, exemples : les enzymes, la myoglobine présente dans les muscles des mammifères (fixe l'oxygène par son groupement ferroporphirine), etc. (Elie., 2022)

Stabilisation par des :

- liaisons électrostatiques (salines) stabilisent ces structures en surface
- interactions hydrophobes relient les résidus à l'intérieur
- Liaisons covalentes (ponts disulfures) entre résidus SH (résidu de Cys)
- Liaisons hydrogène : ici pas entre les liaisons peptidiques (comme dans la structure secondaire) mais entre radicaux (ou chaînes latérales)

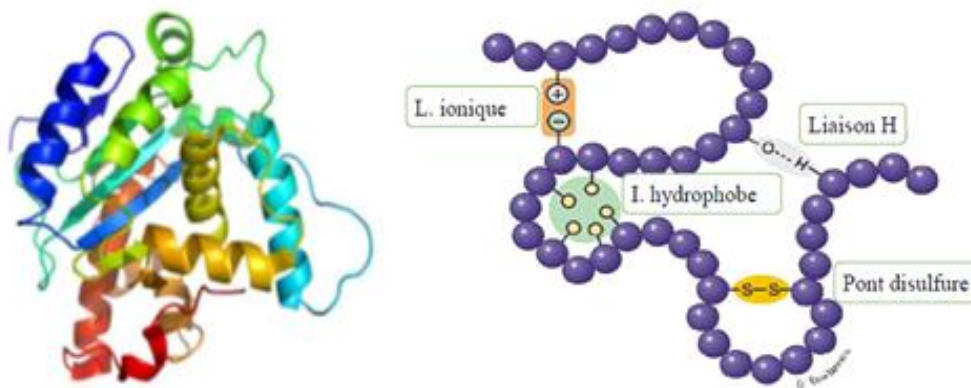


Figure 42: A) structure tertiaire (Bellil,2020),B Les liaisons intervenants dans la structure tertiaire(Carré.,2023)

Structure quaternaire

Assemblage de plusieurs chaînes tertiaires de polypeptides, associées entre elles par des liaisons ioniques, hydrogène... Exemple : hémoglobine ; elle est formée de 4 protéines à structure tertiaire.

Attention : toutes les protéines n'ont pas forcément de structure quaternaire. Les protéines résultent de l'association de plusieurs sous-unités (oligomères) par des liaisons faibles entre les sous-unités (souvent hydrophobe ou ionique). Les sous-unités peuvent être identiques (homo) ou différentes (hétéro).. Plusieurs sous-unités assemblées forment des oligomères ou multimères qui peuvent avoir une nouvelle activité. La structure quaternaire est celle

retrouvée dans le corps , aussi appelé état « natif ») SAUF si la protéine est un seul monomère, ainsi c'est la structure tertiaire qui est l'état natif (car pas de liaisons entre sous-unités). Ex : L'albumine est un monomère, elle n'a pas de structure quaternaire.

La structure des protéines peuvent être modifiées ou rompues (dénaturation) par l'action de certains agents (chaleur, pH, Pression, rayonnement ionisant) affectant les liaisons non covalentes (les liaisons covalentes demeurant intactes à l'intérieur des structures primaires constitutives). Les liaisons qui stabilisent la structure quaternaire sont les mêmes que celles de la structure tertiaire : covalentes (pont disulfure), non covalentes (liaisons hydrogènes), liaisons ioniques (interactions hydrophobes) (Carré., 2023)

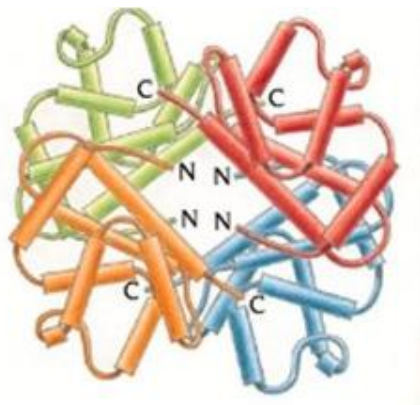


Figure 43: Structure quaternaire d'une protéine (Bellil., 2020)

La structure quaternaire donne naissance à plusieurs types de protéines :

Protéine fibreuse (scléroprotéines)--liaison covalente structure simple et répétitive (aspect allongé) , rôle surtout structural

Protéines globulaires (sphéroprotéines)--liaison de faible énergie structure complexe, rôle surtout de reconnaissance et de régulation

III.5.2. Protéines de nos aliments et propriétés fonctionnelles

III.5.2.1. Protéines laitières

Les protéines de lait co-existent dans un mélange complexe, dans des proportions relatives qui varient selon les espèces. Selon leur structure supérieure, on distingue la fraction micellaire (constituée de caséine), et la fraction soluble (protéines de lactosérum).

Les propriétés fonctionnelles des protéines du lait sont liées à différentes propriétés d'interaction : protéines/eau (mouillabilité, gonflement, solubilité, etc.), protéine/protéine (production de gels, coagulation), protéine/surface (propriétés émulsifiante, moussante). Par exemple, la caséine micellaire présente l'aptitude à former un gel par acidification lactique

(gel lactique) ou par coagulation enzymatique (gel présure). La texture d'un produit laitier, tel que le yoghurt, est dépendante des mécanismes moléculaires de gélification. Une émulsion ou une mousse est stabilisée par des protéines, lorsque celles-ci se retrouvent à la surface de gouttelettes d'huile (émulsion) ou bulles de gaz (mousse). Les propriétés d'adsorption des protéines à la surface des gouttelettes d'huile ou des bulles de gaz favorisant la formation de films protégeant les émulsions et les mousses contre les mécanismes de déstabilisation par coalescence

Tableau II: Applications fonctionnelles des protéines du lait

<u>Caseines</u>	<u>Caseinates</u>	<u>protéines sérique</u>	<u>poudre du lait</u>
Produits céréalier Boulangerie (farine) <u>Lacto-remplaceur</u> Industrie Pizza Plats cuisinés Fromage fondu	Crèmes glacées et desserts Produits de boulangerie <u>Lacto-remplceurs</u> Charcuterie soupes Sauces Enrichissement des produits laitiers(yaourt) <u>Bases fromagères</u> crèmes fouettées Petits déjeuner instantanés (Cafés <u>Creme</u>)	<u>Crèmes et desserts glacées</u> Confiseries et viennoiserie <u>Lacto-remplaceurs</u> charcuteries Soupes Sauces Enrichissement des yaourts et des céréales des petits déjeuner	produits de boulangerie Laits condensés Chocolaterie <u>Lacto-remplaceurs</u> Charcuterie soupes sauce enrichissement de yaourts et autres produits laitiers

III.5.2.2.Composition protéique de l'œuf de poule :

L'œuf de poule constitue un aliment riche en protéines et il est admis que ces protéines sont de très bonne valeur nutritionnelle bien que peu de données récentes soient disponibles à ce sujet. Leur composition en acides aminés ne comporte aucun facteur limitant. Il faut toutefois signaler que, contrairement au jaune, les protéines du blanc d'œuf sont très mal digérées par l'homme à l'état cru en raison de la présence de nombreux facteurs antinutritionnels (inhibiteurs des protéases pancréatiques : ovomucoïde et ovoinhibiteur notamment). Le blanc d'œuf peut être considéré comme une solution aqueuse de protéines. Ces protéines présentent par ailleurs des activités biologiques nombreuses et variées.

Industrie des ovo-produits : Sont appelés ovo-produits « les produits qui ont été obtenus à partir de l'œuf, de ses différents composants ou de leurs mélanges, après élimination de la coquille et des membranes, et qui sont destinés à la consommation humaine ; ils peuvent être partiellement complétés par d'autres denrées alimentaires ou additifs ; ils peuvent être soit liquides, soit concentrés, séchés, cristallisés, congelés, surgelés ou coagulés » (Arrêté du 15

avril 1992, 1992) . L'industrie des ovo-produits est relativement récente ; les équipements et les procédés actuels sont utilisés depuis les années 70 (Dumas et al.,2007)

Tableau III: Propriétés techno-fonctionnelle de l'œuf et applications alimentaires

	Entier	Blanc	Jaune
Biscuiterie Pâtisserie Flan	Colorant liant coagulant Moussant	Moussant	Émulsifiant Colorant
Confiserie	/	Anticristallisant Moussant	/
Crème glacée	liant	/	Emulsifiant
Charcuterie plats préparés	liant Emulsifiant	Gélifiant	/
pâtes alimentaires	Colorant liant Elasticité	/	/
mayonnaise Sauce	/	/	Emulsifiant Viscosité
Toute industrie	Valeur nutritionnelle et aromatique		

III.5.2.2. Protéines végétales

Les protéines végétales alimentaires proviennent majoritairement des graines et sont présentes en quantité importante dans les produits céréaliers, les produits issus du soja (tonyu, tofu), les produits à base de légumineuses et les matières protéiques végétales (gluten de blé, farines, concentrés et isolats de soja, pois ou lupin) (Dumas.,2007). Les protéines de légumineuses sont riches en acides aminés essentiels, particulièrement en lysine. Cependant elles sont relativement pauvres en acides aminés soufrés comme la méthionine et la cystéine, mais également en tryptophane. Les protéines des céréales sont pauvres en lysine mais l'association des 2 rééquilibre cette déficience (Botella.,2021)

Les albumines sont des protéines qui servent de réserve d'azote et de carbone ou ont des rôles physiologiques dans la graine : enzymes, inhibiteurs d'enzymes (ex : inhibiteurs de la trypsine et de la chymotrypsine dans le pois), solubles dans l'eau pure.

Les globulines sont des protéines qui ont une structure compacte qui peut les rendre peu accessible aux enzymes. Solubles dans l'eau salée .

Les prolamines sont les protéines de réserve majoritaires des céréales de type blé, maïs et orge ; on distingue **les gliadines** et **gluténines** (Dumas *et al.*, 2007) Elles sont riches en acides aminés proline et glutamine. La possibilité de fabriquer des pâtes à partir du blé est due à la présence majoritaire de prolamines et glutélines insolubles dans l'eau. **les prolamines préférant un mélange eau/alcool(Poirier.,2019)**

Les gliadines sont des protéines monomériques pouvant se lier par des liaisons non covalentes. Caractérisées par leur faibles solubilité et propriétés d'association et d'agrégation ; elles sont assez facilement dégradées par les enzymes digestives. Les gliadines sont généralement extraites à partir de gluten ou de farine. Parce que les gliadines de blé sont pauvres en acides aminés pouvant s'ioniser avec le pH (seulement une dizaine par protéine), elles sont insolubles dans l'eau pure. Les gliadines ont des propriétés moussantes et émulsifiantes. Les gliadines abaissent la tension de surface avec le temps jusqu'à des valeurs plus basses. Concernant les propriétés moussantes des gliadines, il a été montré récemment que des nanoparticules de gliadines (GNP) peuvent stabiliser l'interface air/eau et produire des mousses .Les gliadines seules ne sont pas connues pour gélifier néanmoins elles impactent les propriétés viscoélastiques du gluten. (Poirier., 2019)

Les gluténines sont des protéines polymériques pouvant former des ponts disulfures intermoléculaires (Dumas *et al.*, 2007).Elles sont solubles dans l'eau acide ou basique (Poirier.,2019)

Tableau V : Propriétés fonctionnelles des protéines végétales (Dumas *et al.*, 2007).

Interactions	Propriétés	Application
protéine / eau	hydratation gonflement solubilité viscosité	Boissons
protéine / protéine	pouvoir épaississant pouvoir gélifiant aptitude à former une pâte	Sauces Desserts gélifiés Produits de cuisson
protéine / lipide	rétenion des graisses	Plats cuisinés Produits carnés
eau / protéine / huile	propriétés émulsifiantes	Emulsions/sauces
eau / protéine / air	propriétés moussantes	Mousses/ Desserts /Pâtisserie

1. Alais, C., Linden, G., & Miclo, L. (2008). Biochimie alimentaire (pp. 260-p). Dunod.
2. Bekkouche L.(2017/2018) .Biochimie des Aliments et Regulation. Université Ahmed Benbella ,Oran.
3. Bellil.I,(2020/2021).Structure et fonction des proteines. Universite des freres Mentouri Constantine
4. Boeckel, T. P. V., Hounhouigan, J. D., & Nout, R. (2003). Les aliments: transformation, conservation et qualité. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation.
5. Botella.c.(2021). Les protéines végétales : intérêts et limites thèse présentée pour l'obtention du titre de Docteur en pharmacie diplôme d'état.Université Grenoble Alpes.
6. Bourimat.Y.(2021).Biochimie structurale des lipides : Cours, travaux pratiques, Exercices et OCM Les lipides .Ecole supérieure d'agronomie de Mostaganem
7. Bret, L., & Delcamp, C. (2020). Biochimie structurale: cours, fiches et QCM
8. Carré.J.L.,(2023).Les peptides et protéines
9. Christina Van Tellingen, M. D. (2003). from a Phenomenological Point of View Christina van Tellingen MD.
10. Cuvelier, C. (2004). Acides gras: nomenclature et sources alimentaires. In Annales de Médecine Vétérinaire.
11. Dumas, C., Saul, C., & Bender, O. (2007). Apport en protéines: consommation, qualité, besoins et recommandations. Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA), 461.
12. Élie,F(2022). Protéines et acides aminés, © site <http://fred.elie.free.fr> , décembre 2022
13. Elie,F.(2004).Les lipides. octobre 2004, - <http://fred.elie.free.fr> - page 1/7
14. Élie,F (2022).Notions sur les glucides, © site <http://fred.elie.free.fr>
15. Etournaud.F (2007). Chimie des denrées alimentaires/Lipides.
16. FAO.(2008). Graisses et acides gras dans la nutrition humaine. Rapport d'une consultation d'experts 10 – 14 novembre 2008 Genève Etude FAO: Alimentation et Nutrition.
17. Feraga.E.(2021/2022).Biochimie : Les peptides. Université de Constantine 3. Algérie
18. Gajera, H. P., Patel, S. V., & Golakiya, B. A. (2008). Fundamentals Of Biochemistry Textbook Student Edition. IBDC Publishers.
19. Hamma.S.A (2024/2025). Structures et propriétés physico-chimiques des acides aminés. Université Salah Boubnider Constantine 3

20. Kamble, C., Chavan, R., & Kamble, V. (2021). A Review on Amino Acids. *Research & Reviews: A Journal of Drug Design & Discovery*. 8 (3): 19–27p. A Review on Amino Acids Kamble et al. *STM Journals*, 2.
21. Labbani (2020-2021). *Biochimie végétale / Chp 2: Lipides végétaux*. Université de Constantine.
22. Larcher C.(2017). *Cours biochimie :Les osides BTS_ABMI 2017-2018*
23. Larcher C.(2019). *Cours biochimie :Les oses BTS_ABMI 2019-2020*
24. Leconte.M.(2020). *Structure des protéines*. ENS de Lyon.
25. Ledoux.M.(2012). *Principaux constituants des lipides structure, Classification, et Nomenclature Chimiques*. - Anses Direction de l'Évaluation des Risques Observatoire de la Qualité Nutritionnelle des Aliments.
26. Madoui et Khither. (2020/2021). *Chapitre III Les lipides*. Université Ferhat Abbas Sétif
27. Marouf, A., & Tremblin, G. (2009). *Abrégé de biochimie appliquée* (p. 450). EDP sciences
28. Mendy, F. (2016). *Un regard passionné sur les lipides et les matières grasses*. EDP SCIENCES.
29. Meyer-Rogge, S., & Meyer-Rogge, K. (2012). *Biochimie métabolique*.
30. Nachi M.(2020/2021). *Glucides : Propriétés physico-chimiques des oses*. Université Oran1 Ahmed ben Bella
31. Nani A.(2020/2021). *Biochimie Structurale &Enzymologie*. Université Ahmed Draïa, Adrar.
32. Ousmaal M.E.F.(2017/2018). *Cours de Biochimie : les glucides* .université Youcef enkhedda ; Alger1
33. Paris, R. (1954). Les hétérosides. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 101(7-9), 457-475.
34. Poirier.A.(2019). *Propriétés fonctionnelles de protéines végétales, en volume et aux interfaces fluides*. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'universite de montpellier en physique .
35. Réggami Y.(2017/2018). *Biochimie Alimentaire*.Université Mohamed Boudiaf-M'sila
36. Sid Ali L.(2024). *Biochimie Structurale* , Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
37. Taniguchi, N. (2010). *Amino acids and proteins*. *Medical Biochemistry*, Ed, 3, 5-21.
38. Thiry, M., Racano, S., & Rigo, P. (2014). *Biologie cellulaire. Exercices et méthodes*. Dunod, Paris, France

39. Touitou Y.(2005-2006). Biochimie :structure des glucides et lipides. Université Pierre et Marie Curie.
40. Valenzuela, R., & Valenzuela, A. (2013). Overview about lipid structure. Lipid metabolism, 1, 3-20
41. Wade, L. G. (2010). Amino acids, peptides, and proteins. Organic chemistry, 1153-1199.
42. Voet, D., & Voet, J. G. (2016). *Biochimie*. De Boeck Supérieur.
43. Weinman,S et Pierre Méhul , P. (2004). Toute la biochimie. Edition DUNOD Paris.
44. Zekri.S. (2021) . Caractères généraux des lipides Université de Constantine Université 3
45. Zerriouh. M.(2019/2020).Cours de Biochimie, Université Belhadj Bouchaib Ain Témouchent,