

Chapitre1: Biomolécules

Les organismes vivants sont constitués essentiellement de macromolécules formées de longues chaînes d'atomes qui adoptent, en se repliant, une structure spatiale bien définie. La fonction biologique de chaque macromolécule est étroitement liée à sa structure, d'où l'intérêt de déterminer celle-ci. Depuis les années 50, l'importance des relations structure-fonction a largement encouragé le développement des méthodes de détermination de structures moléculaires. [1]

Les biomolécules, « *bios* » signifiant vie en grec, comprennent les acides aminés, les lipides, les acides nucléiques, les protéines, et les glucides. [2]

1-Les acides aminés :

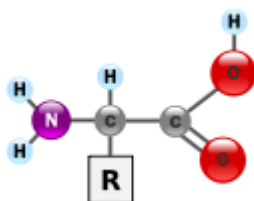
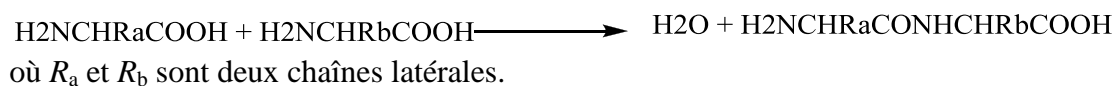


Figure1 : Structure générique des acides α -aminés

Les acides aminés (ou aminoacides) sont une classe de composés chimiques possédant deux groupes fonctionnels : à la fois un groupe carboxyle $-\text{COOH}$ et un groupe amine $-\text{NH}_2$. Parmi ceux-ci, les acides α -aminés se définissent par le fait que leur groupe *amine* est lié à l'atome de carbone adjacent au groupe *acide carboxylique* (le carbone α), ce qui leur confère la structure générique $\text{H}_2\text{N}-\text{CHR}-\text{COOH}$, où R représente la *chaîne latérale*, qui identifie l'acide α -aminé. [3]

Les acides α -aminés jouent un rôle fondamental en biochimie comme constituants élémentaires des protéines : ils se polymérisent en formant des liaisons peptidiques qui aboutissent à de longues chaînes macromoléculaires appelées *peptides* :



Il n'existe que 20 acides différents présents naturellement chez les êtres vivants.

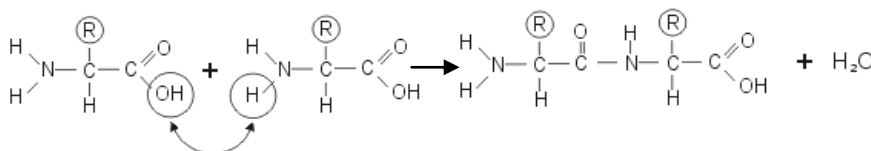
Chapitre1: Biomolécules

2-Les lipides :



Figure 2: lipide

Les acides aminés peuvent se lier les uns aux autres par une liaison peptidique qui se fait entre le groupement acide d'un acide aminé et le groupement amine de l'autre. Au cours de la réaction, une molécule d'eau est éliminée ; il s'agit donc d'une réaction de condensation. [4]



Les lipides sont une classe hétérogène de molécules qui ont en commun les caractéristiques suivantes :

- ❖ ce sont des substances d'origine biologique
- ❖ elles sont très peu solubles dans l'eau mais solubles dans des solvants organiques comme l'éther, le chloroforme, le méthanol, l'hexane...
- Les lipides ont un rôle essentiel comme constituant des membranes biologiques (cholestérol, phospholipides, glycophospholipides).
- Ils constituent la structure de certaines hormones (hormones stéroïdes) et de Certaines vitamines.
- Ils servent aussi de réserve énergétique sous forme de triglycérides.
- Dans les adipocytes les lipides permettent aussi une protection thermique et mécanique. [5]

Parmi les lipides on trouve principalement : [6]

- les glycérides et notamment les triglycérides qui sont des molécules formées à partir d'une molécule de glycérol liée à trois molécules d'acides gras par des liaisons esters.

Chapitre1: Biomolécules

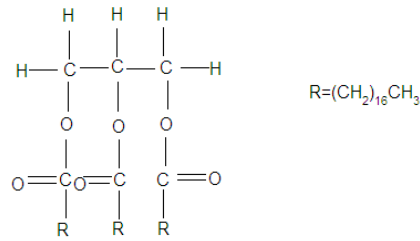


Figure2:Triglyceride

- Ces acides gras peuvent être saturés (pas de double liaison dans la chaîne carbonée), monoinsaturés (une double liaison) ou polyinsaturés (plusieurs doubles liaisons).
- Le cholestérol et ses dérivés les stéroïdes sont :

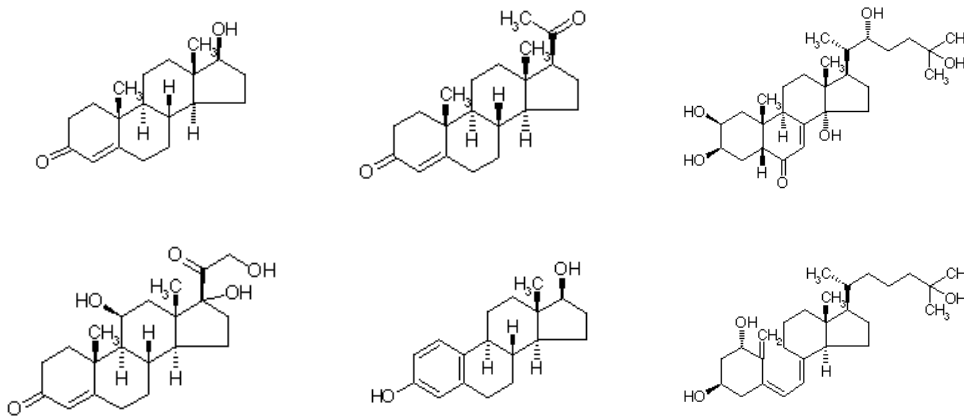
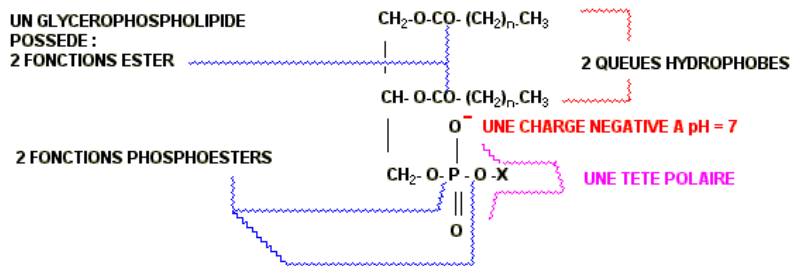


Figure3 : Le cholestérol et ses dérivés les stéroïdes

- Les lipides peuvent être liés par liaison covalente à d'autres molécules. Ex: Glycérophospholipides.



- Les lipides sont insolubles dans l'eau.

Chapitre1: Biomolécules

3-Les acides nucléiques :

Les **acides nucléiques** sont des macromolécules, relativement complexes. Ils entrent dans la famille des biomolécules puisqu'ils sont d'une très grande importance dans le règne de la vie.

Les *acides nucléiques* sont des polymères dont l'unité de base, ou monomère, est le nucléotide. Ces nucléotides sont reliés par des liaisons phosphodiester. [7]

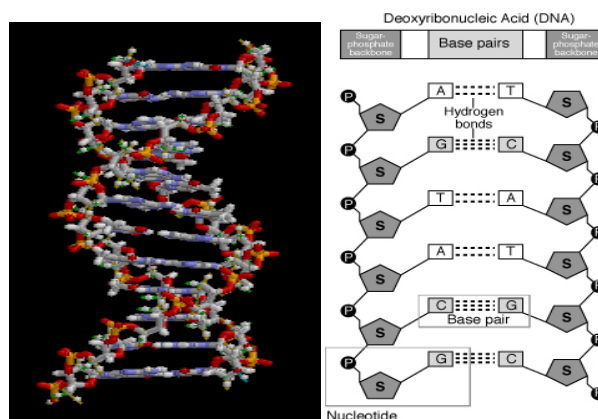


Figure 4: acide désoxyribonucléique (ADN)

3.1 Types d'acide nucléique :

Il existe deux types d'acides nucléiques : l'acide désoxyribonucléique (ADN) et l'acide ribonucléique (ARN). L'ADN contient l'information génétique. L'ARN est la copie de l'ADN (souvent en un seul brin alors que l'ADN est une double hélice = deux brins). [8]

3.2 Différence entre l'ADN et l'ARN :

L'ADN est le support de l'information génétique, il contient le génome, tout ce qui est nécessaire à la formation des protéines, mais ne peut sortir du noyau.

L'ARN joue plusieurs rôles: il peut être le messager qui copie l'information génétique de l'ADN, il peut aussi jouer un rôle catalytique, ce qui est lié à sa capacité à former de structures complexes. Il est exporté du noyau par les pores nucléaires pour fournir l'information et permettre la synthèse des protéines par les ribosomes.

On trouve des acides nucléiques (ADN et ARN) dans les cellules de chaque organisme. Toute cellule eucaryote ou procaryote, soit les cellules animales, les cellules végétales, les bactéries, les mycètes (ou champignons) et même les mitochondries et les chloroplastes contiennent les deux types d'acide nucléique. Toutefois, les virus peuvent contenir de l'ADN ou de l'ARN, mais jamais les deux en même temps.

Chapitre 1: Biomolécules

Chez les eucaryotes, l'ADN se trouve dans le noyau cellulaire, dans la matrice des mitochondries et dans le stroma des plastes. [9]

4-Les protéines :

Les protéines furent découvertes par le chimiste néerlandais **Gerhard Mulder** (1802-1880). Le terme *protéine* vient du grec ancien *prôtos* qui signifie *premier, essentiel*. Ceci fait probablement référence au fait que les protéines sont indispensables à la vie et qu'elles constituent souvent la part majoritaire ($\approx 60\%$) du poids sec des cellules. Les protéines adoptent en effet de multiples formes et assurent de multiples fonctions. Mais ceci ne fut découvert que bien plus tard, au cours du XX^e siècle. [10]

Une **protéine** est une macromolécule biologique composée d'une ou plusieurs chaînes d'acides aminés liées entre elles par des liaisons peptidiques (chaîne polypeptidique). En général, on parle de protéine lorsque la chaîne contient un grand nombre d'acides aminés, et de peptide pour des assemblages de petite taille.

L'ordre dans lequel les acides aminés s'enchaînent est codé par le génome et constitue la structure primaire de la protéine. La protéine se replie sur elle-même pour former des structures secondaires, dont les plus importantes sont l'hélice alpha et le feuillet bêta, ce qui permet de créer des liaisons hydrogènes entre les atomes des carbones et d'azote des deux liaisons peptidiques voisines. Puis, les différentes structures secondaires sont agencées les unes par rapport aux autres pour former la structure tertiaire, souvent renforcée par des ponts disulfure. Les forces qui gouvernent ce repliement sont les forces physiques classiques. Dans le cas des protéines formées par l'agencement de plusieurs chaînes, la structure quaternaire décrit la position relative des sous-unités les unes par rapport aux autres.

Le repliement des protéines fait l'objet de recherches intenses dans le domaine de la biologie structurale, alliant les techniques de la biophysique moléculaire et principalement de la cellulaire. Les protéines sont les éléments essentiels de la vie de la cellule : elles peuvent jouer un rôle structural (comme l'actine), un rôle dans la mobilité (comme la myosine), un rôle catalytique (les enzymes), un rôle de régulation de la compaction de l'ADN (les histones) ou d'expression des gènes (les facteurs de transcription), etc. En fait, l'immense majorité des fonctions cellulaires sont assurées par des protéines. Les protéines sont des éléments essentiels à la croissance et à la réparation tissulaire, au bon fonctionnement des cellules vivantes et à leur structure. Les hormones, comme l'insuline qui contrôle la glycémie sanguine, les enzymes

Chapitre1: Biomolécules

comme l'amylase, les lipases et les protéases, sont essentielles à la digestion des aliments ; les anticorps permettent de combattre les infections ; les protéines musculaires interviennent dans la contraction musculaire, etc. Les protéines sont donc bel et bien essentielles à la vie ! [11]

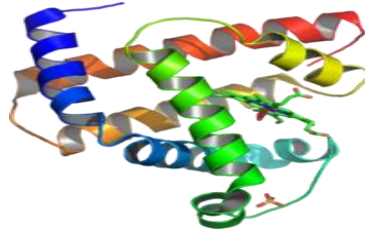


Figure 5: Représentation schématique de la myoglobine

Les protéines sont des objets moléculaires dont la description précise introduit la notion de structures (de manière plus ou moins hiérarchique).

La fonction des protéines est conférée par leur structure tridimensionnelle, c'est-à-dire la manière dont les acides aminés sont agencés les uns par rapport aux autres dans l'espace. C'est la raison pour laquelle les méthodes de détermination des structures tridimensionnelles ainsi que les mesures de la dynamique des protéines sont importantes et constituent un champ de recherche très actif. En plus de ces méthodes expérimentales, de nombreuses études portent sur des méthodes informatiques de prédiction de la structure 3D à partir de la séquence [12]. Les protéines remplissent des fonctions très diverses au sein de la cellule et de l'organisme :

-Les *protéines des structures*, qui permettent à la cellule de maintenir son organisation dans l'espace.

-Les *protéines de transport*, qui assurent le transfert des différentes molécules dans et en dehors des cellules.

-Les *protéines régulatrices*, qui modulent l'activité d'autres protéines.

-Les *protéines de signalisation*, qui captent les signaux extérieurs, et assurent leur transmission dans la cellule ou l'organisme.

-Les *protéines motrices*, permettant aux cellules ou organismes ou à certains éléments (cils) de se mouvoir ou se déformer. [13]

Chapitre 1: Biomolécules

5-Les glucides:

Les glucides constituent la majorité des sources de calorie pour la consommation humaine. Ils sont également utilisés comme matière première ou additifs pour la fabrication de plusieurs produits alimentaires ou autres. Leur utilisation comme additifs dans les produits alimentaires est due essentiellement à la propriété stabilisante, épaississante et gélifiante de certains glucides [14]. Les glucides sont des composés organiques naturels ou artificiels constitués principalement de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Ils sont également appelés " *Hydrate de carbone* " à cause de leur formule brute : $C_n(H_2O)_n$. La littérature anglo-saxonne utilise le terme de " *Carbohydrates* " Certains glucides, solubles dans l'eau possèdent un goût sucré et sont appelés *sucres*. Cependant, il faut noter qu'ils existent des substances qui ont un pouvoir sucrant, parfois plus élevé que celui des glucides sucrés, mais ce ne sont pas des glucides. Ces substances sont appelées *édulcorants*. [15]

Les **glucides** constituent le groupe des composés organiques les plus abondants dans la nature. Synthétisés essentiellement par les végétaux, ils constituent pour les organismes hétérotrophes, une source énergétique de premier ordre. Les glucides sont aussi appelés sucres. Leur nom se termine en général par le suffixe "ose" (ex: Saccharose qui est le sucre de table, glucose, maltose, lactose, cellulose, ...). Pour certains sucres on fait précéder leur nom d'une lettre majuscule D ou L (ex: D-glucose). [16]

D (dextrogyre) : Une molécule **dextrogyre** (« qui tourne à droite », du latin *dexter* droite) a la propriété de faire dévier le plan de polarisation de la lumière polarisée vers la droite d'un observateur qui reçoit la lumière [17]. (Plus précisément, l'observateur en question voit le plan tourner dans le sens des aiguilles d'une montre [18].) Une molécule dextrogyre est l'un des deux énantiomères d'une même molécule.

L (lévogyre) : une molécule **lévogyre** (« qui tourne à gauche », du latin *laevus*, gauche) a la propriété de faire dévier le plan de polarisation de la lumière polarisée vers la gauche d'un observateur qui reçoit la lumière [19]. (Plus précisément, l'observateur en question voit le plan tourner dans le sens contraire à celui des aiguilles d'une montre [20].)

Chapitre 1: Biomolécules

Au niveau de l'agencement moléculaire, cette polarisation de la lumière permet de distinguer les molécules chirales (qui peuvent avoir deux agencements distincts et symétriquement opposables en miroir). On parle alors d'énantiomères d'une molécule, qui peuvent être lévogyre ou dextrogyre.

Par convention, une molécule lévogyre est notée (-), et une molécule dextrogyre est notée (+). Cette nomenclature est différente de la nomenclature L/D, qui ne s'applique qu'à certaines biomolécules (typiquement acides aminés et sucres). Ainsi, si tous les acides aminés naturels sont L, tous ne sont pas lévogyres [21].

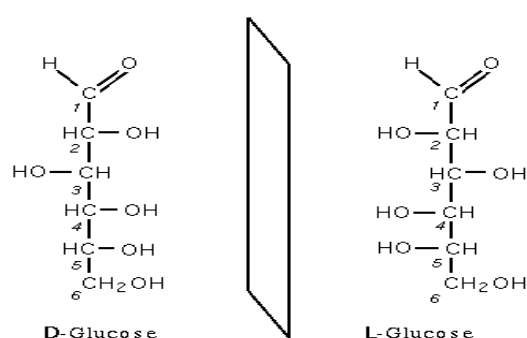


Figure 6 : L, D-glucose

Pour représenter les formes cycliques d'un ose, on utilise la projection de Haworth. Dans cette représentation, le cycle est dessiné en perspective. Pour passer de la projection de Fischer à la projection de Haworth, pour les sucres de la série D, on utilise les règles suivantes :

- l'oxygène est placé dans le cycle, en haut à droite
- la fonction alcool primaire est située au-dessus du cycle en haut à gauche
- les OH des fonctions alcool secondaires placés à droite dans la projection de Fischer sont placés en bas du plan dans celle de Haworth
- les OH des fonctions alcool secondaires placés à gauche dans la projection de Fischer sont placés en haut du plan dans celle de Haworth.
- On numérote les carbones à partir du carbone situé à droite de l'oxygène.
- Le carbone 1 de l'anomère alpha porte le OH en dessous du plan. Le carbone 1 de l'anomère bêta porte le OH au-dessus du plan.

Le cycle qui se forme peut être à 6 chaînons (5 carbones + 1 oxygène) on parlera donc de glucopyrannose, on peut aussi avoir un cycle à 5 chaînons (4 carbones + 1 oxygène), on parlera alors de glucofurannose.

Chapitre 1: Biomolécules

La cyclisation provient de la réaction chimique entre la fonction aldéhyde (pour l'aldose) ou la fonction cétone (pour la cétose) et une des fonctions alcool du sucre. La fonction alcool portée par le carbone 5 est la plus souvent engagée dans la réaction.

Cette réaction s'appelle une hémia-cétalisation (pour l'aldose) ou une hémicétalisation (pour la cétose).

Dans le cas d'un ose, la réaction se produit de façon intramoléculaire. Elle conduit à la formation d'un cycle. La conséquence importante est l'apparition d'un nouveau centre chiral au niveau du carbone 1. [22]

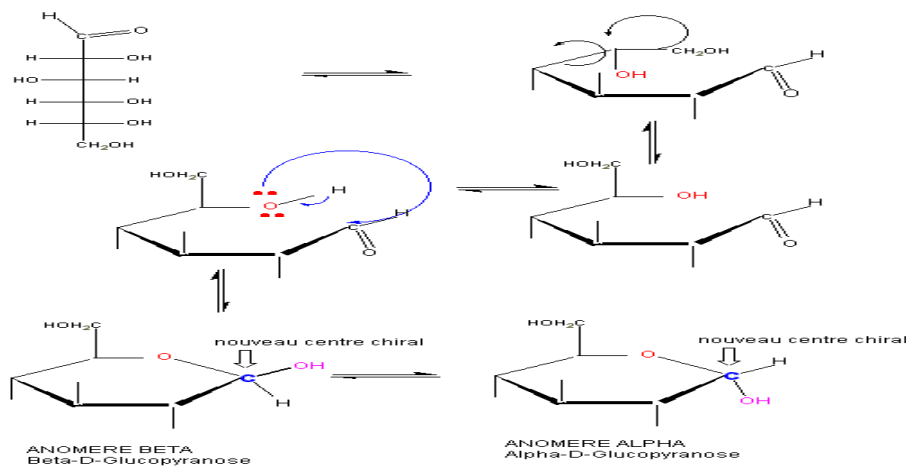


Figure 7: cyclisation de D-glucose

<p>Dans la représentation de Haworth, la position ici marquée est celle qui détermine la configuration D ou L d'un glucide.</p>	<p>Dans la représentation de Haworth, la position ici marquée est la position anomérique. Elle permet de donner la forme α ou β d'un glucide.</p>

5.1 Relations structure-fonction : [23]

L'énorme potentiel biologique codé par les glucides résulte de leurs capacités à créer des structures de grandes complexités, incluant des points de ramification, à partir des simples monomères (Laine). Cette caractéristique des glucides est unique parmi tous les polymères biologiques. Par exemple, deux acides aminés différents peuvent se lier seulement de deux façons différentes. Par contre, un simple

Chapitre1: Biomolécules

monosaccharide comme le glucose peut se lier par son carbone anomère (de façon α ou β) avec les cinq hydroxyles d'un deuxième glucose, donnant naissance à onze isomères structuraux différents. On peut donc comprendre que le nombre de variations structurales assurées par un tel type de molécules est énorme. La structure des glycannes (oligosaccharides, glycoconjugués, polysaccharides) dépend donc fortement de leur composition et de plus, la présence des liaisons glycosuriques introduisent une flexibilité structurale et conformationnelle considérable. La conséquence directe de cette variabilité structurale est une grande diversité dans le rôle et dans la localisation des glucides dans les organismes vivants, tels que représentés dans les points suivants.

- Renforcement structural (polysaccharides)
- Accumulation d'énergie (polysaccharides)
- Reconnaissance moléculaire (oligosaccharides/glycoconjugués)
- Croissance et développement (oligosaccharides/glycoconjugués)
- Défense (oligosaccharides/glycoconjugués)
- Ancrage (ancres GPI)
- Ciblage (oligosaccharides/glycoconjugués)

5.2 Classification des glucides :

Les glucides sont classés en deux grandes catégories : **oses** et **osides**. [24]

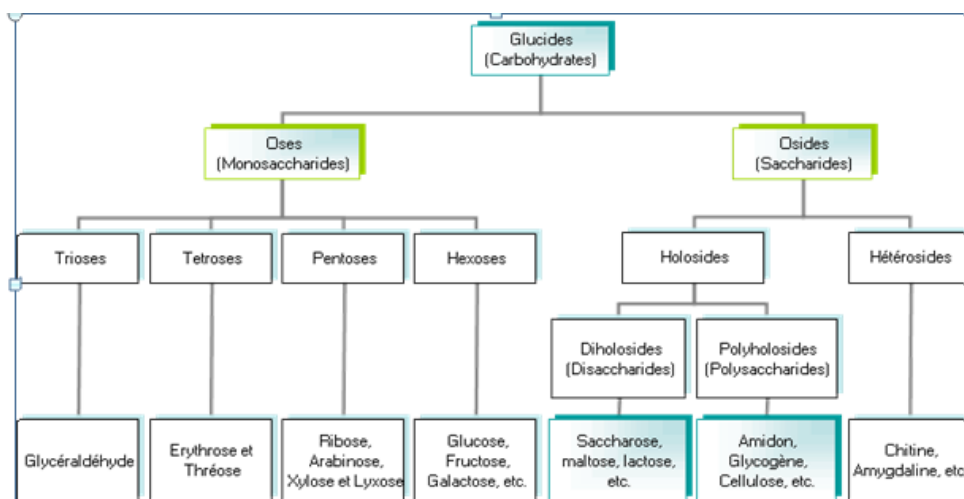


Figure8 : Classification des glucides

Chapitre1: Biomolécules

5.2 .1 Les oses (monosaccharides) :

Les **oses**, ou **monosaccharides**, sont les plus simples des *glucides*. Ce sont des *polyalcools* portant une fonction *aldéhyde* ou *cétone* voisine d'une fonction alcool, non hydrolysables et doués d'un pouvoir réducteur. Ils ont pour formule brute : $C_n(H_2O)_n$.

Un aldose est un sucre qui possède un groupe aldéhyde porté par le carbone 1, une fonction alcool primaire et de un à quatre fonctions alcool secondaire. On désigne la famille à laquelle appartient un ose à partir du nombre de carbone de la molécule : Un triose (aldotriose) à 3 atomes de carbone, un tétrorse (aldotétrorse) à 4 atomes de carbone, un pentose (aldopentose) à 5 atomes de carbone, et un hexose (aldohexose) à 6 atomes de carbone.

Une cétose possède un groupe carbonyle sur le carbone-2. Bien qu'à chaque aldose on puisse associer une cétose ayant le même nombre d'atomes de carbone, on trouve dans la nature un nombre restreint de cétoses. La plus courante est une cétohexose : le fructose qui est un sucre présent dans les fruits, il existe aussi une cétopentose intéressante : le ribulose dont les dérivés phosphorylés sont très importants dans le métabolisme. [25]

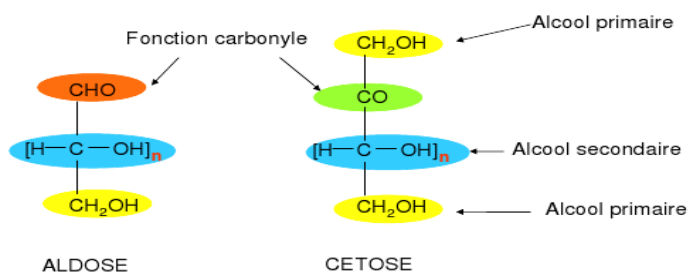


Figure 9 : aldose, cétose

Pour passer d'un ose à son homologue supérieur, on construit un diagramme de filiation des oses qui part de l'ose le plus simple : le glycéraldéhyde et qui, par addition d'un carbone à la chaîne, permet de passer à l'homologue supérieur.

L'addition d'une fonction -CHOH- se fait en dessous de la fonction aldéhyde et de manière successive pour passer d'un homologue au suivant.

Chapitre1: Biomolécules

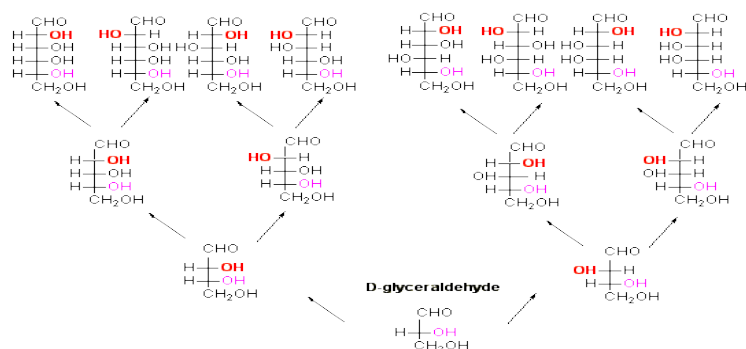


Figure 10: La filiation des oses

La plupart des monosaccharides que l'on retrouve chez les êtres vivants sont des *pentoses* ($C_5H_{10}O_5$) ou des *hexoses* ($C_6H_{12}O_6$). [26]

5.2.2 Les osides :

Les osides sont les polymères d'oses, La classification des osides est basée sur deux éléments essentiels : la présence ou non d'un groupement aglycone de nature *non glucidique* et le nombre de molécules d'oses constituant l'*oside*[27]. En fonction de la présence ou non d'un groupement aglycone, on distingue les holosides et les hétérosides.

a) Les holosides : sont des *osides* qui par *hydrolyse* ne libèrent que des *oses*.

En fonction du nombre de molécules d'oses (poids moléculaire), on divise les *holosides* en oligoholosides et polyholosides. Les premiers comportent 2, 3 ou 4 oses par molécule ; les seconds en contiennent beaucoup plus. Cependant, notons que certains auteurs considèrent comme faisant partie des *oligoholosides* les *holosides* ayant jusqu'à 10 molécules d'oses par molécule d'*oside*. La figure N°8, ci-dessous mentionnée, classe les holosides en diholosides (disaccharides) et polyholosides (polysaccharides). Cette classification est souvent utilisée en littérature. [28]

Les plus connues des oligoholosides sont les *diholosides* dont le *saccharose*, le *lactose* et le *maltose* en font partie. En revanche, l'*amidon*, la *cellulose* et le *glycogène* sont des polyholosides.

Chapitre1: Biomolécules

a.1) Le diholoside : ou disaccharide, est un glucide formé de l'union de deux *oses* (deux *monosaccharides*), généralement des *hexoses*, par une liaison dite osidique (appelée également liaison glucosidique).

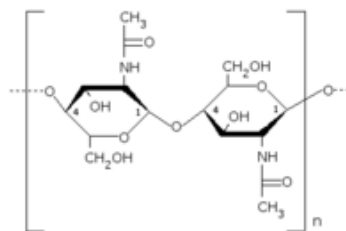
Les diholosides, ou disaccharides, sont classés en diholosides réducteurs et non réducteurs. Cette propriété est due à la présence ou non d'une fonction réductrice libre sur le diholoside. Le *maltose* et le *lactose*, par exemple, sont des *diholosides réducteurs*, alors que le *saccharose* est un *diholoside non réducteur*.

a.2) Les polyholosides : ou polysaccharides sont des *polymères* (grosse molécule formée de l'union de nombreuses petites molécules semblables) à poids moléculaire plus ou moins élevé et dont l'hydrolyse libère uniquement des *oses* et des *dérivés simples d'oses*. Les polyholosides diffèrent entre eux par la *nature des oses et leurs dérivés* entrant dans leur constitution, leur *poids moléculaire*, la *façon dont les oses sont reliés entre eux* et l'*architecture globale de la chaîne* ; ce qui explique la grande diversité des polyholosides naturels. La plupart des polysaccharides sont des *polymères de glucose*. Les trois polysaccharides les plus connus sont : [29]

- **L'amidon**
- **Le glycogène**
- **La cellulose**

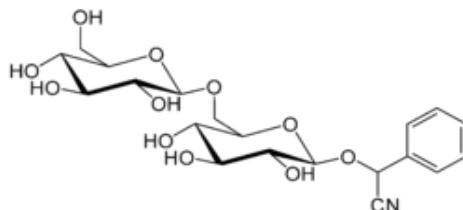
b) Les hétérosides : ce sont les *osides* qui libèrent par hydrolyse des *oses* et un ou plusieurs *groupements aglycones*. La chitine, l'amygdaline et les acides nucléiques sont des exemples des hétérosides.

b.1) La chitine : est un polymère semblable à la cellulose sauf qu'elle est formée de glucoses aminés (c'est un glucose lié à un groupement amine NH_2). La chitine est généralement durcie et rigidifiée par des dépôts de carbonates de calcium (CaCO_3). La chitine forme l'exosquelette (la carapace) des Arthropodes (araignées, insectes, crustacés).

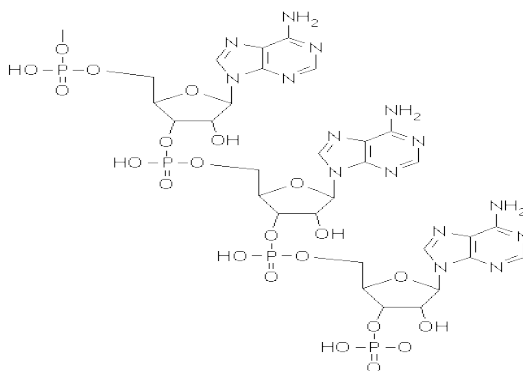


Chapitre1: Biomolécules

b.2) L'amygdaline : résulte de la combinaison du *gentiobiose* et du *mandélonitrile* (cyanhydrine du benzaldéhyde). On le trouve dans les amandes amères et les noyaux de cerise. Son hydrolyse libère de l'acide cyanhydrique, d'où l'amertume de ces amandes et leur toxicité.



b.3) Les acides nucléiques : sont des combinaisons de *ribose*, d'*acide phosphorique* (sous forme de phosphates) et de *bases aminées* (dites puriques ou pyrimidiques). Les monomères sont les nucléotides, qui se combinent pour former l'ARN et l'ADN. Un des nucléotides sert également de réserve d'énergie : l'ATP ou adénine-ribose-triphosphate. [30]



Chapitre1: Biomolécules

Référence :

[1] D. Sabourault & A. M. Bourdeaux, **BIOCHIMIE**, vol. II : **LES GLUCIDES, LES LIPIDES, LES METABOLISMES INTERMEDIAIRES**, Bréal, Montreuil, **1979**

[2] Lubert Stryer, Jeremy Mark Berg, John L. Tymoczko (trad. Serge Weinman), Biochimie, Flammarion, « Médecine-Sciences », Paris, 5^e éd. (ISBN 978-2-257-17116-0) , **2003**.

[3] U. Meierhenrich, *Amino acids and the asymmetry of life: Caught in the act of formation*, Springer Verlag, coll. « Advances in astrobiology and biogeophysics », 241 p.article,**2008**

[4]. V. Rodnina, M. Beringer et W. Wintermeyer, « *How ribosomes make peptide bonds* », dans Trends Biochem. Sci., vol. 32, n° 1, janvier , p. 20-21,**2007**.

[5] D. Freifelder. In Masson, editor, Biologie Moléculaire. **1990**

[6] Glossary of names of organic compounds and reactive intermediates based on structure [archive], International Union of Pure and Applied Chemistry, Organic Division - Commission on Nomenclature of Organic Chemistry, and Commission on Physical Organic Chemistry, **1994**

[7] H. G. Gassen. Prog. Nucleic Acid Res. Mol. Biol., 24 :57–58, **1980**.

[8] Michel Morange, Histoire de la biologie moléculaire, Éditions La Découverte, **2003**.

[9] R. Langridge et P.J. Gomas, « *The Structure of RNA. Reovirus RNA and transfer RNA have similar three-dimensional structures, which differ from DNA.* », dans Science, vol. 141, n° 4, p. 694-698 [lien PMID [archive], **1963**.

[10] Christophe Ronsin, L'histoire de la biologie moléculaire (Pionniers & héros), De Boeck Université, **2005**

[11] (Carl-Ivar Brändén, John Tooze (trad. Bernard Lubochinsky, préf. Joël Janin), Introduction à la structure des protéines, De Boeck Université, Bruxelles, **1996**

Chapitre1: Biomolécules

[12] Lubert Stryer, Jeremy Mark Berg, John L. Tymoczko (trad. Serge Weinman), Biochimie, Flammarion, « Médecine-Sciences », Paris, , 5^e éd. (ISBN 978-2-257-17116-0). **2003**.

[13] Laurence Zipursky et James Darnell (trad. Pierre L. Masson et Chrystelle Sanlaville), Biologie moléculaire de la cellule [« Molecular Cell Biology »], **2005**

[14] Chandrasekaran, R. Molecular architecture of polysaccharide helices in oriented fibers. Adv. Carbohydr. Chem. Biochem., 52, 311-439, **1997**.

[15] P. Giraudet, D. Bouige & D. Coulon, **METABOLISME DES GLUCIDES**, éd. Marketing, **1975**.

[16] N. Sharon, « Les Glucides », in *Pour la science*, n° 39, **1981**

[17] chirale. José-Philippe Pérez, Optique, 7^e éd., Paris, Dunod, p. 500, **2004**.

[18] article : Rotation du plan de polarisation par le quartz LEYBOLD Fiches d'expériences de physique P5.4.3.1, **2003**

[19] José-Philippe Pérez, Optique, 7^e éd., Paris, Dunod, p. 500, **2004**.

[20] Article Amino Acids Stereoisomers (amn) (gg3, mh5, sy2, vv2, zu4) Duane W. Sears Revised: June 05, **2004**

[21] Carver, J.P. Oligosaccharides: How flexible molecules can act as signals. Pure Appl.Chem., 65, 763-770, **1993**.

[22] Furstner, A., and Muller, T. Metathesis route to resin glycosides: formal total synthesis of tricolorin A. J. Org. Chem., 63, 424-425, **1998**.

[23] H, lis, N. Sharon, .Protein glycosylation. Structural and function aspect. Glycobiology, 3, 97-130. **1993**

Chapitre 1: Biomolécules

- [24] Bah, M., and Pereda-Miranda, R. Spectrometry and high resolution NMR investigation of tricolorin A-E, individual oligosaccharides from the resins of *Ipomoea tricolor* (Convolvulaceae). *Tetrahedron*, 52, 13063, **1996**.
- [25] Ashwell, G., and Morell, A.G. The role of surface carbohydrates in the hepatic recognition and transport of circulating glycoproteins. *Adv. Enzymol.*, 41, 99, **1974**.
- [26] **Bennett J, Trought MCT, Jarvis P** The importance of over-wintering carbohydrates on inflorescence development and yield potential. *Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker* **456**, 70, **2002**.
- [27] Bewley, C.A. Solution structure of cyanovirin-N: Man1-2Man complex: Structural basis for high-affinity carbohydrate-mediated binding to gp120. *Structure*, 9, 931, **2001**.
- [28] J. Gelas dir., *XI^{es} Journées de la chimie et de la biochimie des glucides*, École nationale supérieure de chimie, Clermont-Ferrand, **1986**
- [29] J. Gelas dir., *XI^{es} Journées de la chimie et de la biochimie des glucides*, École nationale supérieure de chimie, Clermont-Ferrand, **1986**
- [30] Wayne M Becker, Lewis J. Kleinsmith et Jeff Hardin, *The World of the Cell 5th edition*, Benjamin Cummings, San Francisco, **2003**