ACCUEIL

Frédéric Elie on ResearchGate

Notions sur les glucides

Frédéric Élie

Copyright France.com

La reproduction des articles, images ou graphiques de ce site, pour usage collectif, y compris dans le cadre des études scolaires et supérieures, est INTERDITE. Seuls sont autorisés les extraits, pour exemple ou illustration, à la seule condition de mentionner clairement l'auteur et la référence de l'article.

« Si vous de dites rien à votre brouillon, votre brouillon ne vous dira rien ! »
Jacques Breuneval, mathématicien, professeur à l'université Aix-Marseille I, 1980

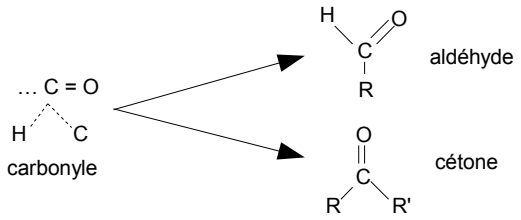
Abstract : Selon la définition de l'IUPAC les glucides regroupent les composés organiques qui contiennent une fonction carbonyle et au moins deux fonctions hydroxyle. Dans le domaine du vivant, les glucides ont un rôle fondamental dans le transfert et le stockage de l'énergie. Cet article présente quelques notions sur les glucides : leur définition, leur nomenclature, leurs principaux modes de réactions chimiques, et donne quelques exemples pour chacun des grands groupes de glucides : monosaccharides, disaccharides, polysaccharides, hétérosides.

SOMMAIRE
1 – Définition et nomenclature
2 - Réactions chimiques liées aux différentes fonctions présentes dans les glucides
3 - Groupes principaux de glucides
4 - Exemples de monosaccharides, oligosaccharides, polysaccharides
4-1 – Monosaccharides
4-2 – Disaccharides
4-3 – Polysaccharides
4-4 - Hétérosides
Références

1 – Définition et nomenclature

Les glucides sont des molécules constituées d'atomes de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, de formule brute $C_n(H_2O)_p$, où n ≥ 3 (n étant le nombre d'atomes de carbone). Ils sont porteurs :

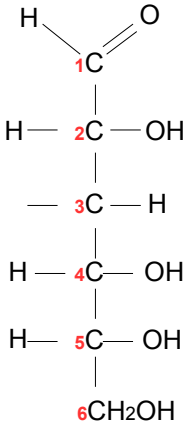
- de groupements ***hydroxyle*** -OH,
- et d'un groupement ***carbonyle***, de deux types : ***aldéhyde*** -CHO ou ***cétone*** -C=O :



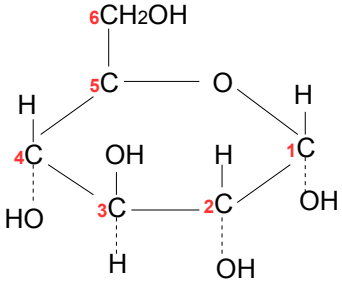
où R et R' sont des chaînes carbonées.

Nomenclature des glucides :
En représentation bidimensionnelle (projection de Fischer), on représente le glucide comme suit :
► On place en haut la fonction aldéhyde ou cétone
► Énantiomères (isomères optiques) D ou L : isomère D -C-OH , isomère L OH-C- où C est le carbone le plus éloigné de la fonction carbonyle.
► Le carbone le plus oxydé (i.e. portant la fonction aldéhyde) est noté carbone n°1 ; la numérotation de la chaîne carbonée commence par le carbone C n°1.

En représentation perspective de Haworth, et pour n > 4, la structure du glucide est cyclique. Compte tenu de la règle de numérotation, on a donc, par exemple pour le glucose, les deux représentations (figure 1) :



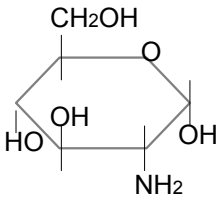
Représentation linéaire de Fischer



Représentation cyclique de Haworth

figure 1 : représentations du D-Glucose : n = 6 ; les numéros en rouge repèrent les atomes de carbone en commençant par celui de la fonction aldéhyde -COH, le carbone n°6 est celui de la fonction alcool primaire (ou hydroxyle) CH_2OH ; dans la représentation cyclique, les atomes de carbone forment un hexagone, les liaisons en trait plein sont au-dessus du plan hexagonal, celles en pointillés sont en-dessous du plan hexagonal

► ***Sucres aminés*** : Ils sont formés à partir de saccharides dont la fonction hydroxyle -OH est remplacée par le groupement amine $-NH_2$. Exemple de la D-Glucosamine ([1]) :

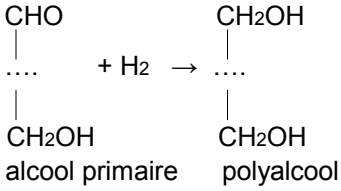


Les sucres aminés sont présents dans la chitine ([2]), le lait maternel, l'humeur vitrée de l'œil...

2 - Réactions chimiques liées aux différentes fonctions présentes dans les glucides

► La fonction aldéhyde -CHO favorise les réactions suivantes :

● Réduction :



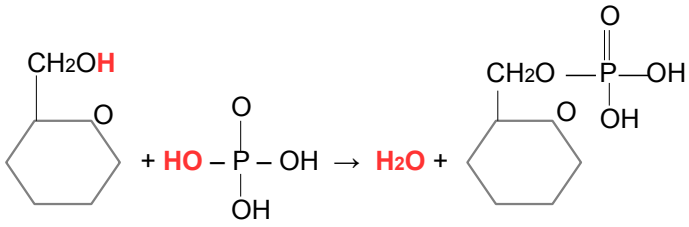
● Oxydation (par exemple, par un acide) : la fonction -CHO est oxydée en -COOH, et si l'oxydant est fort, la fonction alcool primaire CH_2OH est aussi oxydée en -COOH.

► La fonction alcool CH_2OH favorise l'estérification :

par exemple le glucose et l'acide phosphorique donnent de l'eau et le glucose 6 phosphate qui est un ester :

1 Les atomes C et H seuls ne sont pas représentés (selon la convention en usage).

2 La chitine est un polysaccharide aminé de formule brute $(C_8H_{13}NO_5)_N$, on la trouve dans les champignons macroscopiques, les lichens, levures, dans l'exosquelette des insectes, la carapace des crustacés...



D-glucose acide phosphorique eau D-glucose-6-phosphate

3 - Groupes principaux de glucides

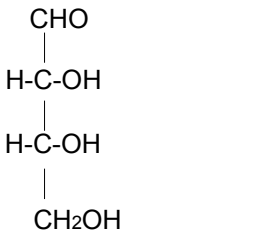
► ***Monosaccharides*** (ou ***Oses***) : ce sont des glucides non hydrolysables, formés d'une chaîne carbonée non ramifiée.
Selon le groupement carbonyle qu'ils portent, ils sont classés en deux familles : ***aldoses*** (si groupement aldéhyde), ***cétoses*** (si groupement cétone) (figure 2).

figure 2 : formes aldose et cétose des monosaccharides : elles diffèrent par leur terminaison hémiacétalique, l'une portant la fonction aldéhyde, l'autre la fonction cétone

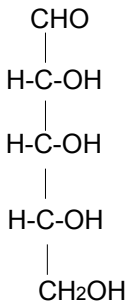
Aldose le plus simple : glycéraldéhyde HOC-CHOH-CH_2OH
cétose le plus simple : dihydroxyacétone HOH_2C-CO-CH_2OH
Les monosaccharides sont aussi classés en familles selon le nombre d'atomes de carbone n qu'ils contiennent :

- n = 3 : trioses
- n = 4 : tétroses
- n = 5 : pentoses
- n = 6 : hexoses, etc.

Exemples : Le D-glucose est un hexose, comme vu précédemment. Ci-après (figure 3) exemples d'un tétrose et d'un pentose. Une liste de monosaccharides, classés par n croissant, est au point 4.



Exemple de tétrose : D-érythrose
(c'est un aldose, par sa fonction -CHO)



Exemple de pentose : D-Ribose (c'est un aldose)

figure 3 : exemples de tétrose et pentose

Certains saccharides sont synthétisés par ***photosynthèse*** dans les plantes, à partir du gaz carbonique et de l'eau, en fournissant de l'oxygène ; exemple du glucose :

$$\text{énergie électromagnétique} + 6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

Voir par exemple références [3], [4] sur le rôle et les effets du glucose dans l'organisme, et la sensibilité à l'insuline.

► ***Oligosaccharides*** : ils sont constitués de 2 à 10 unités de monosaccharides reliées par liaison glycosidique ; ils sont hydrolysables en ces constituants. Les oligosaccharides formés de 2 unités sont les

plus répandus : ce sont des ***disaccharides***.
La ***liaison glycosidique*** est une liaison covalente obtenue par réaction de condensation (c'est-à-dire par formation d'eau H_2O) entre :

- la fonction hydroxyle -OH portée par le carbone anomérique de la fonction hémiacétalique (il s'agit du carbone n°1 pour un aldose, ou du carbone n°2 pour un cétose, cf. figure 2),
- et l'hydrogène d'une autre molécule.

S'agissant de deux monosaccharides, cette liaison résulte donc de l'élimination de H_2O entre le groupement hydroxyle de l'un et la fonction hémiacétal de l'autre, ou entre les fonctions hémiacétal des deux. L'inverse de cette réaction est une hydrolyse du disaccharide.
Il y a deux configurations de liaison glycosidique selon l'orientation (ou stéréochimie) du groupement hydroxyle porté par le carbone anomérique : si ce groupement -OH est orienté vers le haut dans la représentation de Haworth, le monosaccharide est un β-ose, s'il est orienté vers le bas c'est un α-ose. La liaison glycosidique est dite « alpha » si les deux glucides ont même stéréochimie (les deux sont des β-oses, ou bien les deux sont des α-oses), et elle est dite « bêta » si les deux glucides n'ont pas la même stéréochimie. Exemples de désignation « alpha » ou « bêta » de liaison glycosidique dans les disaccharides obtenus à partir de deux monosaccharides (tableau 1) :

monosaccharides		disaccharide	liaison glycosidique
α-D-glucose	β-D-glucose	β-maltose	β
α-D-glucose	α-D-glucose	α-maltose	α
β-D-glucose	β-D-glucose	β-cellobiose	α
β-D-galactose	α-D-glucose	α-lactose	β
α-D-glucose	β-D-fructose	saccharose	β

Tableau 1 : configurations de la liaison glycosidique de quelques disaccharides

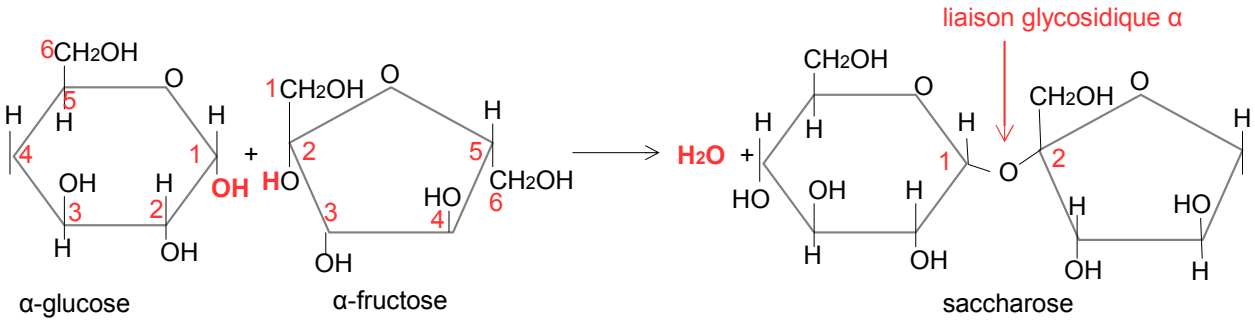


figure 4 : formation du saccharose (disaccharide) avec le glucose et le fructose (monosaccharides)

Une liste de disaccharides, avec indication des monosaccharides à partir desquels ils sont formés, est présentée au point 4 ci-après.

Comme trisaccharide, il y a par exemple le raffinose ; son rôle contre le stress oxydatif et la protection des plantes est présenté en références [5], [6], [7], [8], [9].

Propriétés des oligosaccharides :

- solubles dans l'eau,
- incolores, inodores, goût sucré,
- structures cristallines
- propriétés et réactivité proches de celles des monosaccharides

Principales sources : présents chez les animaux et les végétaux (betterave à sucre, canne à sucre...) sous forme libre ou liée.

Remarques :

- Pyranoses : ce sont des oligosaccharides cycliques à 6 côtés. Exemple : β-D-glucose, encore appelé β-D-glucopyranose.
- Furanoses : oligosaccharides à 5 côtés.

Voir par exemple référence [2].

► ***Polysaccharides*** : Glucides constitués de plus de 8 unités constitutives (100 à 3000 monosaccharides).

Exemples : amidon, cellulose... Les unités sont reliées par une liaison glycosidique. Les polysaccharides sont en majorité des structures linéaires (non cycliques).
Deux sortes de polysaccharides :

- Polysaccharides homogènes : leurs unités monosaccharides sont identiques. Exemples : cellulose, amidon, glycogène...
- Polysaccharides hétérogènes : leurs unités monosaccharides sont différentes.

Principales sources : domaines animal et végétal. Ce sont principalement des éléments de structure (par exemple, cellulose pour les plantes), et de réserve d'énergie (par exemple, amidon pour les plantes et glycogène pour les animaux).
Exemples de polysaccharides : voir point 4 ci-après.

► ***Hétérosides*** : Ce sont des glucides obtenus par l'association d'un glucide et d'un élément non glucidique (aglycone ou génine) reliés par une liaison glycosidique. Ils sont hydrolysés en donnant cet élément non glucidique et la totalité ou une partie des unités monosaccharides :

hétéroside → élément non glucidique + N unités monosaccharides

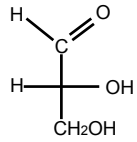
La structure aglycone peut être porteuse d'une fonction alcool, phénolique, soufrée ou azotée (amine...).
Exemples d'hétérosides : voir point 4 ci-après.

4 - Exemples de monosaccharides, oligosaccharides, polysaccharides

4-1 – Monosaccharides

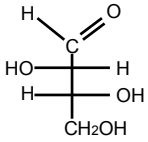
► Aldoses :

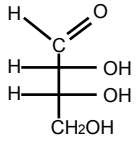
- n = 3 (trioses) :



D-glycéraldéhyde : aldose le plus simple

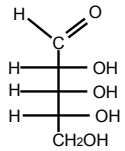
- n = 4 (tétroses) :

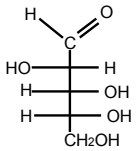


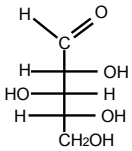
D-thréose,


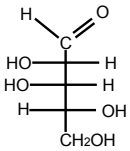
D-érythrose

- n = 5 (pentoses) :



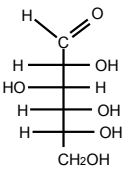
D-ribose,


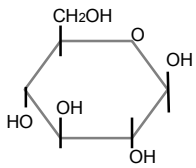
D-arabinose,


D-xylose,


D-lyxose

- n = 6 (hexoses) :



D-glucose ou dextrose, en perspective de Haworth :


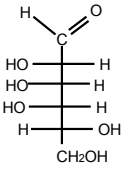
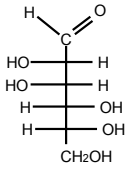
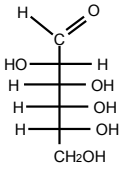
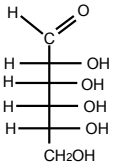
Le dextrose est un sucre libre dans les fruits sucrés, le miel, le sang (moins de 0,1%) ; on le trouve dans l'urine des diabétiques (jusqu'à 10% de glucose). Il est directement assimilable par l'organisme. Par sa fonction aldéhyde, comme tout aldose, sa combustion donne :

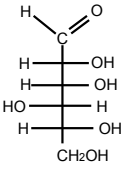
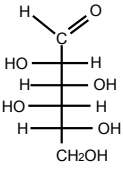
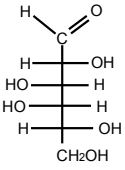
glucose → CO_2 + H_2O + énergie

La fermentation alcoolique (ou oxydation partielle) transforme le glucose en éthanol (par exemple l'éthanol provient du glucose du raisin, par la levure de bière en atmosphère sans oxygène) ; l'oxydation du glucose donne l'acide saccharique. Par sa fonction alcool primaire CH_2OH, l'oxydation du glucose donne l'acide D-glucuronique. Par sa fonction hydroxyle -OH, l'estérification du glucose avec, par exemple, l'acide phosphorique H_3PO_4 donne l'ester phosphorique D-glucose-6-phosphate ; l'addition du glucose et d'un alcool

donne un hétéroside (voir point 4-4), par exemple :

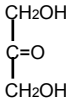
méthanol CH_3OH + glucose → eau + D-méthyl-glucose.


D-talose,

D-mannose,

D-altrose,

D-allose

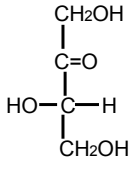

D-gulose,

D-idose,

D-galactose

► Cétoses :

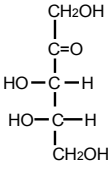
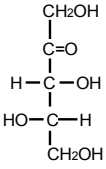
● n = 3 (trioses) :


Dihydroxyacétone : cétose le plus simple

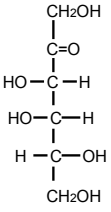
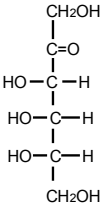
● n = 4 (tétroses) :

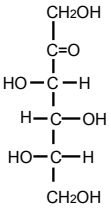

L-érythrose

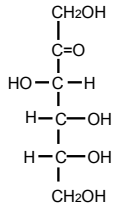
● n = 5 (pentoses) :


L-arabocétose,

L-xylocétose

● n = 6 (hexoses) :


D-tagatose,

D-psicose,


L-sorbose : il n'existe pas sous forme libre dans la nature. C'est un intermédiaire dans la synthèse de la vitamine C,

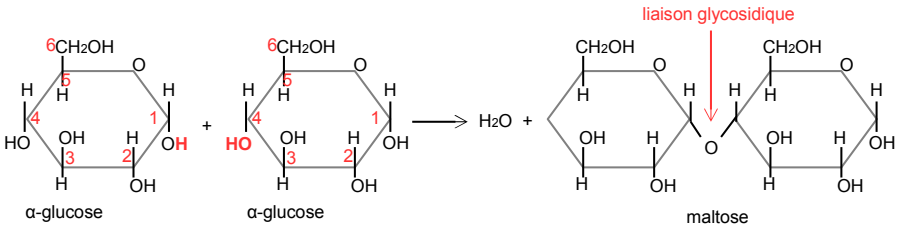


D-fructose (ou lévulose) : présent avec le glucose dans les fruits sucrés et le miel. C'est le seul sucre dans les tomates mûres.

Exemple de l'hexose dans l'insulinosensibilité de l'organisme : réf. [11], [12], [13], [14].
Le métabolisme qui fait intervenir le pentose phosphate (ou voie PPP) a un rôle très important dans l'organisme ; voir par exemple références [15], [16], [17].

4-2 – Disaccharides

Quelques exemples :
► Maltose (voir aussi tableau 1) :



- monosaccharides constitutifs : D-glucose et D-glucose, qui donnent le maltose par réaction de condensation :
- liaison α-glycosidique
- propriété chimique : réducteur
- fournit du glucose par hydrolyse
- les enzymes amylases présents dans la salive et le pancréas décomposent l'amidon (polysaccharide) en maltose

► Saccharose (voir aussi tableau 1 et figure 4) :
- monosaccharides constitutifs : D-glucose et D-fructose
- propriété chimique : non réducteur
- fournit le glucose et le fructose par hydrolyse réalisée par l'enzyme invertase
- exemple de source : miel (contient 75% de D-glucose et au maximum 5% de D-fructose et saccharose), betterave à sucre (15% maximum de saccharose), canne à sucre

► Cellobiose :
- monosaccharides constitutifs : deux D-glucose sous forme pyranosique
- liaison β-glycosidique
- propriété chimique : réducteur
- le cellobiose est le constituant de base de la cellulose (voir point 4-1)
- le cellobiose est un isomère du maltose

► Lactose (voir aussi tableau 1) :
- monosaccharides constitutifs : D-glucose, D-galactose, tous deux sous forme pyranosique
- liaison glycosidique
- propriété chimique : réducteur
- à l'état naturel, sous forme de cristaux
- exemple de source : lait (environ 5% de lactose)

Exemple du lactulose : voir référence [10].

4-3 – Polysaccharides

Quelques exemples :
► ***Amidon*** :
- constitué de quelques centaines à plusieurs milliers d'unités glucose, reliées entre elles par des liaisons α-glycosidiques entre le carbone anomère d'un glucose et le groupement hydroxyle -OH du glucose voisin

● L'amidon amylopectine représente 80% des amidons : il est insoluble dans l'eau, structure très ramifiée

● L'amidon amylose représente 20% des amidons : il est soluble dans l'eau, formé d'environ 200 unités de D-glucose

● L'amidon est totalement hydrolysé en D-glucose, et partiellement en maltose

● Principale source : dans les plantes vertes où il est formé par photosynthèse à partir du CO_2 et l'eau. Pour certaines plantes, il est stocké dans des petits grains insolubles dans l'eau (riz, maïs, pomme de terre, céréales...).

● C'est la principale source de glucides pour l'alimentation humaine. Lors de sa digestion chez l'homme, l'amidon est hydrolysé par l'enzyme amylase en maltose.

● L'amidon est facilement hydraté, par suite de ses nombreux groupements hydroxyle qui s'unissent aisément aux molécules d'eau H_2O

► ***Glycogène*** :

● constitué d'un nombre très élevé d'unités glucose, bien plus grand et plus ramifié que pour l'amylopectine. Masse molaire relative environ $M = 14.10^6$.

● Stocké dans le foie et les muscles des mammifères où il constitue une réserve de glucose. A l'inverse, quand il y a trop de glucose dans l'organisme, celui-ci est transformé en glycogène par le foie (rôle glycogénique du foie, ou glycogenèse, découvert par Claude Bernard). La glycogenèse permet de réguler la glycémie.

► ***Cellulose*** :

● constituée d'un très grand nombre d'unités cellobiose (voir point 4-2 ci-dessus) reliées par des liaisons β-glycosidiques.

● Degré de polymérisation DP : c'est le nombre d'unités constitutives et répétitives de la macromolécule ; pour le polysaccharide, DP est donc le nombre d'unités monosaccharides. Selon la plante dans laquelle elle se trouve, la cellulose n'a pas le même DP. Par exemple :

- dans le coton brut : DP = 14000
- dans le lin : DP = 8000
- dans un conifère : DP = 2500

● la cellulose de faible DP est dissoute dans une lessive de soude concentrée à 10%

● la cellulose est très hygroscopique (capacité à gonfler dans l'eau), par exemple :

- coton : 18%
- soie : 86%
- viscose : 74%

● température de décomposition de la cellulose : 180°C

● température d'inflammation de la cellulose : 290°C

● la cellulose ne peut pas être hydrolysée par l'amylase, à cause des liaisons glycosidiques : elle ne peut donc pas entrer dans l'alimentation humaine. Mais les ruminants peuvent décomposer la cellulose en glucose par les enzymes cellulases.

● Principales sources de cellulose : parois des cellules des plantes supérieures, algues vertes, champignons. Quelques exemples de quantité de cellulose en % de masse sèche :

- fibres de coton : 95%
- bois de pin : 44%
- bois de bouleau : 40%
- paille : 40 à 50%
- feuilles : 10 à 20%

4-4 - Hétérosides

Les hétérosides sont des polysaccharides complexes, résultant de l'association d'un glucide et d'une structure non glucidique, appelée génine ou aglycone, par une liaison glycosidique. Ce sont des réducteurs. On distingue quatre sortes d'hétérosides selon l'atome de l'aglycone impliqué dans la liaison glycosidique :

● ***S-hétérosides*** (ou hétérosides soufrés, ou glucosinolates) : le groupement réducteur du glucide est lié au groupement thiol de l'aglycone. Un thiol (ou thioalcool) est, par définition, un composé organique formé d'un radical R et de la fonction sulfhydryle -SH : R-SH. Un composé thiol est souvent porteur d'une odeur caractéristique, généralement désagréable (œuf pourri...) : par exemple le 2-furylméthanethiol C_5H_5OSH est à l'origine de l'odeur du café, l'éthanethiol C_2H_5SH est utilisé dans le gaz naturel (qui est inodore) pour déceler des fuites... Le sinigroside (ou sinigrine) est un S-hétéroside $C_{10}H_{16}KNO_9S_2$ que l'on trouve dans les plantes de la famille Brassicacées, telles le brocoli, le chou de Bruxelles, les graines de moutarde noire ; il est dégradé en huile de moutarde par l'enzyme myrosinase.

● ***N-hétérosides*** : le groupement réducteur est lié au groupement aminé de l'aglycone : l'atome de

celui-ci qui intervient dans la liaison glycosidique est l'azote N. Exemple : nucléosides, qui comprennent entre autres l'adénosine, la cytosine, la guanosine, l'inosine, la thymidine, l'uridine, qui interviennent dans la formation des acides nucléiques ADN et ARN, via la formation de nucléotides résultant de l'action des enzymes transférases (ou kinases) sur ces nucléosides.

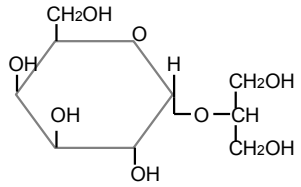
● ***C-hétérosides*** : le groupement réducteur est lié à l'aglycone par un atome carbone C. Exemples : anthracénosides (présents dans les aloès, les rhubarbes, les sénés, la bourdaine, le cascara, le nerprun, aux effets laxatifs), flavonoïdes (constitutifs des tanins dans les plantes), l'aloïne (ou barbaloïne) présent dans les aloès...

● ***O-hétérosides*** : le groupement réducteur est lié à l'oxygène O au niveau d'une fonction alcool (exemples : les hétérosides cardiotoniques, saponosides) ou d'une fonction phénol ([3]) (exemples : certains anthracénosides, flavonoïdes) ; les hétérosides dits cyanogènes ou cyanogénétiques sont des toxines végétales (phytotoxines).
Les hétérosides sont solubles dans l'eau, même si leur aglycone ne l'est pas. Ils sont hydrolysés partiellement par les enzymes, et totalement par les acides, en donnant les glucides et les aglycones.

Quelques exemples :

► ***Floridoside*** :

● c'est un O-hétéroside d'alcool simple, de formule brute $C_9H_{18}O_8$, présent dans les algues rouges autres que les Céramiales.



Floridoside

● Il est obtenu à partir de la photosynthèse. A son tour, le floridoside incorpore, par photosynthèse, le carbone qui servira à la synthèse d'autres composés : amidon, polysaccharides sulfatés... dans l'algue.

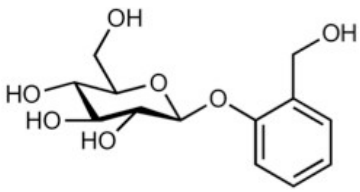
● Il permet le transfert des ions en-dehors du cytoplasme des cellules de l'algue en réponse à un stress dû à l'osmose due à la concentration de sel dans l'eau : il a ainsi un rôle osmoprotecteur de la plante.

● Il a un rôle déterminant dans la formation des fibres des parois de la plante.

● En thérapie, il a des effets anti-inflammatoires, et contribue à la régulation des hormones et des gènes qui interviennent dans l'ostéogenèse.

► ***Salicoside*** (anciennement salicine) :

● c'est un O-hétéroside de phénol simple :



● présent dans l'écorce de plusieurs espèces de saules (Salicacées) ;

● lorsqu'il est ingéré dans l'organisme humain, il est hydrolysé dans l'intestin en donnant l'alcool salicylique ; celui-ci s'oxyde ensuite an acide salicylique, qui a des effets antalgiques et anti-inflammatoires.

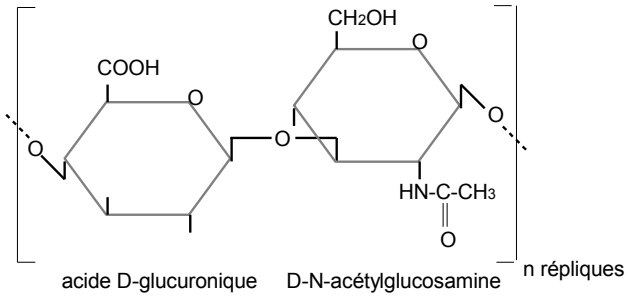
► ***Acide hyaluronique*** :

● c'est un O-hétéroside, constitué d'une chaîne linéaire formée par la répétition d'une unité disaccharide, celle-ci est l'association de l'acide D-glucuronique ([4]) et du D-N-acétylglucosamine ([5]), et de formule brute $C_{14}H_{21}NO_{11}$.

3 Un groupement phénol est formé d'un composé aromatique (c'est-à-dire cyclique carboné plan, comme le benzène) associé à une ou plusieurs fonctions hydroxyle -OH. Les phénols jouent un rôle important dans les défenses contre les microbes et les champignons chez les plantes ; mais ils sont hautement toxiques pour l'homme.

4 Acide glucuronique : acide issu de l'oxydation du D-glucose sur son carbone n°6.

5 D-N-acétylglucosamine : monosaccharide similaire au glucose, mais où la fonction alcool liée au carbone n°2 a été remplacée par un groupement N-acétyl (NH)-(C=O)-(CH_3).



Unité répétitive de l'acide hyaluronique

● c'est l'un des constituants de la matrice extracellulaire : tissus conjonctifs, cartilages de articulations, liquide synovial, humeur vitrée de l'œil...

● indications thérapeutiques : soins et/ou reconstitution des tissus conjonctifs de l'œil après interventions pour glaucome, cataracte, cornée... ; soulagement de l'arthrose du genou (lubrification de l'articulation) ; traitement de soutien de certaines affections buccales (aphtes...), reflux gastro-œsophagiens ;

● contre-indications et effets secondaires : après injection dans le genou, risques de gonflement, épanchements ; contre-indiqué en cas de grossesse, maladie auto-immune, herpès, états infectieux ou inflammatoires.

► ***glycoprotéines*** :

● hétéroprotéines formées d'une chaîne de polypeptide (voir A2 ci-après) associée par liaison covalente à une chaîne de glucides linéaire ou ramifiée ;

● les glycoprotéines comme les sélectines et intégrines sont présentes dans les membranes des cellules , et dans les liquides biologiques. Leur fonction biologique est assurée surtout par la structure peptidique (transport, activités enzymatiques, immunoglobulines, stimulation cellulaire...). La structure glucidique intervient parfois dans les échanges et reconnaissances entre composants des cellules.

● Ces propriétés biologiques sont utilisées pour des soins cosmétiques destinés à ralentir le vieillissement.

● Les glycoprotéines interviennent aussi dans le processus de fécondation, lors de l'union du spermatozoïde à l'ovocyte.

► ***glycolipides*** :

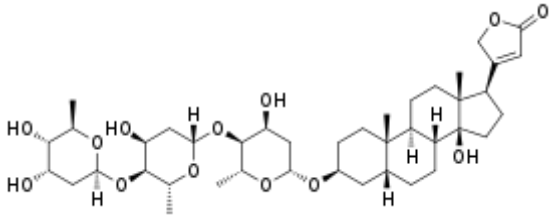
● composés formés d'un monosaccharide (un hexose) ou d'un oligosaccharide associés à une structure lipidique résultant de l'estérification ou de l'amidification ([6]) d'un acide gras ; cette association est une liaison du glucide à la fonction hydroxyle appartenant à la structure lipidique.

● Ils sont présents sur les faces externes des membranes cellulaires. Certains types de glycolipides (les glycéroglycolipides) existent chez les végétaux, les autres glycolipides (les glycosphingolipides) existent dans les membranes des cellules animales.

● Chez les animaux supérieurs, les glycolipides (cérébrosides et gangliosides) interviennent dans la transmission nerveuse, l'immunité dans les tissus, la reconnaissance moléculaire inter-cellulaire.

► ***Digitoxosides*** (ou digitoxines, ou digitalines) :

● hétérosides formés par l'association de certains glucides et de certains aglycones, de formule brute $C_{41}H_{64}O_{13}$, à effets cardiotoniques (donc toxiques).



structure de la digitoxine (source : Wikipedia)

● Son hydrolyse donne comme oses : le galactose, le xylose, le digitoxose... et comme aglycones : digitogénine, digitoxigénine... :

hétéroside :	*digitonine* →	ose :	*glucose* + *galactose*	aglycone :	*digitogénine*
	digitaline →		3 *digitoxoses*		*digitoxine*
	digoxine →		3 *digitoxoses*		*dogoxigénine*

6 L'amidification est l'association d'une molécule à un amide. Un amide est un composé organique qui possède un atome d'azote lié à son groupe carbonyle (réf. [1]).

–

● Les cardiotoniques ont trois effets principaux : ralentissement du rythme cardiaque, amplification de la contraction ventriculaire, régularisation du rythme cardiaque. Ils agissent aussi sur le débit rénal, peut entraîner un excès de potassium dans le sang (hyperkaliémie).

● Source : digitale pourpre, digitale laineuse (famille des Scrofulariacées).

Références

[1] Gérard Dupuis : *Amides et composés apparentés*. Cours de Chimie Organique, Lycée Faidherbe de Lille, décembre 2010. URL : https://faidherbe.org/site/cours/dupuis/amides.htm

[2] Agnan Marie Michel Combo, Mario Aguedo, Michel Paquot : *Les oligosaccharides pectiques : production et applications possibles*. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 2011 15(1), 153-164, http://hdl.handle.net/2268/145902

[3] C. Peiró, T. Romacho, V. Azcutia, L. Villalobos, E. Fernández, J. P. Bolaños, S. Moncada and C. F. Sánchez-Ferrer : *Inflammation, glucose, and vascular cell damage: the role of the pentose phosphate pathway*. Cardiovascular Diabetology, DOI 10.1186/s12933-016-0397-2, BioMed Central, 1er juin 2016

[4] Mohr, A.E.; Minicucci, O.; Long, D., Jr.; Miller, V.J.; Keller, A.; Sheridan, C.; O'brien, G.;Ward, E.; Schuler, B.; Connelly, S.; et al. *Resistant Starch Combined with Whey Protein Increases Postprandial Metabolism and Lowers Glucose and Insulin Responses in Healthy Adult Men*. Foods 2021, 10, 537. https://doi.org/10.3390/foods10030537

[5] A. Egert et al : *Abiotic stress-induced accumulation of raffinose in Arabidopsis leaves is mediated by a single raffinose synthase*. BMC Plant Biology 2013,13:218, http://www.biomedcentral.com/1471-2229/13/218

[6] Minhas V, Harvey RM, McAllister LJ, Seemann T, Syme AE, Baines SL, Paton JC, Trappetti C. 2019. *Capacity to utilize raffinose dictates pneumococcal disease phenotype*. mBio 10:e02596-18. https://doi.org/10.1128/mBio.02596-18.

[7] Tao Li et al : *Raffinose synthase enhances drought tolerance through raffinose synthesis or galactinol hydrolysis in maize and Arabidopsis plants*. J. Biol. Chem. (2020) 295(23) 8064–8077, The American Society for Biochemistry and Molecular Biology, Inc.

[8] Ayako Nishizawa, Yukinori Yabuta, and Shigeru Shigeoka : *Galactinol and Raffinose Constitute a Novel Function to Protect Plants from Oxidative Damage*. Plant Physiology, July 2008, Vol. 147, pp. 1251–1263, www.plantphysiol.org © 2008 American Society of Plant Biologists

[9] Han-Shin Kim, Eunji Cha, YunHye Kim, Young Ho Jeon, Betty H. Olson, Youngjoo Byun & Hee-Deung Park : *Raffinose, a plant galactoside, inhibits Pseudomonas aeruginosa biofilm formation via binding to LecA and decreasing cellular cyclic diguanylate levels*. Nature Scientific Reports | 6:25318 | 2016 DOI: 10.1038/srep25318, www.nature.com/scientificreports

[10] Myron M. Levine and Richard B. Hornick : *Lactulose Therapy in Shigella Carrier State and Acute Dysentery*. Antimicrobial Agents And Chemotherapy, Nov. 1975, P. 581-584, Vol. 8, No. 5 Copyright © 1975 American Society for Microbiology, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC429425/

[11] Nadai, C., Crosato, G., Giacomini, A., Corich, V. : *Different Gene Expression Patterns of Hexose Transporter Genes Modulate Fermentation Performance of Four Saccharomyces cerevisiae Strains*. Fermentation 2021, 7, 164. https://doi.org/10.3390/fermentation7030164

[12] JP. Bastard, C. Jardel, M. Guerre-Millo, B. Hainque : *Les transporteurs d'hexoses chez l'homme: leur rôle dans l'insulinosensibilité des tissus périphériques*. La Revue de Médecine Interne, Volume 19, Issue 2, February 1998, Pages 108-118, https://doi.org/10.1016/S0248-8663(97)83420-0

[13] Andrei R. Manolescu, Kate Witkowska, Adam Kinnaird, Tara Cessford, and Chris Cheeseman : *Facilitated Hexose Transporters: New Perspectives on Form and Function*. PHYSIOLOGY 22: 234–240, 2007; 10.1152/physiol.00011.2007

[14] Chris I. Cheeseman : *Intestinal hexose absorption: transcellular or paracellular fluxes*. Journal of Physiology (2002), 544.2, p. 336, DOI: 10.1113/jphysiol.2002.029850 © The Physiological Society 2002 www.jphysiol.org

[15] Anna Stincone et al : *The return of metabolism: biochemistry and physiology of the pentose phosphate pathway*. Biol Rev Camb Philos Soc. 2015 August ; 90(3): 927–963. doi:10.1111/brv.12140. Consultable sur Researchgate https://www.researchgate.net/publication/265912314

[16] Aude Sadet : *Études de cinétiques enzymatiques par polarisation dynamique nucléaire avec dissolution (D-DNP) : application à l'étape oxydative de la voie des pentoses phosphates (PPP)*. Thèse de doctorat, Chimie analytique. Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2017. Français. NNT : 2017PA066217. Tel-01893014

[17] KEGG PATHWAY Database, Wiring diagrams of molecular interactions, reactions and relations : https://www.genome.jp/kegg/pathway.html, map00030 : pentose phosphate pathway, © Kanehisa Laboratories, 09/09/2020