

RAPPELS DE CHIMIE DES SUCRES

1. GENERALITES

Les sucres ou saccharides sont les biomolécules les plus abondantes sur la planète. Ils sont importants dans bon nombre de rôles biologiques. Ce sont les constituants majoritaires de l'alimentation. Les sucres insolubles servent également de matériel structural dans la paroi cellulaire des végétaux et des bactéries ainsi que dans les tissus conjonctifs et membranes cellulaires des animaux. Les polymères de sucres servent également à lubrifier les articulations du squelette, ont une fonction de reconnaissance cellulaire, de sites antigéniques, etc. Il existe donc une multitude de types de sucres différents, rendant cette famille de molécules très complexe. Les fonctions ou applications de chacune sont intimement liées à leurs structure et conformation. L'objectif de ce chapitre sera donc de présenter les bases élémentaires de la chimie des glucides.

On englobe dans le terme « glucide » les sucres réducteurs ou les composées donnant par hydrolyse un ou plusieurs sucres réducteurs (voir point 2.b). Ils sont produits dans les plantes par photosynthèse à partir d'eau et du CO₂ de l'air. Ils jouent un rôle important dans le métabolisme animal. Le glucide le plus abondant dans la nature est le glucose qui par polymérisation peut donner la cellulose, l'amidon ou le glycogène.

Les glucides sont des HYDROXYALDÉHYDES et des HYDROXYCÉTONES. Ils sont subdivisés principalement en OSES et OSIDES (Figure 2).

Les OSES, encore appelés monosaccharides ou sucres simples sont les plus simples des glucides. Ils sont REDUCTEURS. Les sucres simples sont des chaînes carbonées de trois à huit carbones. Ce sont des « dérivés » d'une chaîne droite de polyhydroxy-alcool. Deux classes existent : dans la première, un alcool primaire terminal est oxydé en un aldéhyde pour donner un membre de la série des ALDOSES, tandis que dans la seconde, un alcool non-terminal secondaire est oxydé pour donner un membre de la famille des CETOSES (Figure 1).

Le glycérol est considéré comme le « parent » de tous les sucres. Chaque série peut s'agrandir par l'addition consécutive de fonctions CHOH (Figure 1).

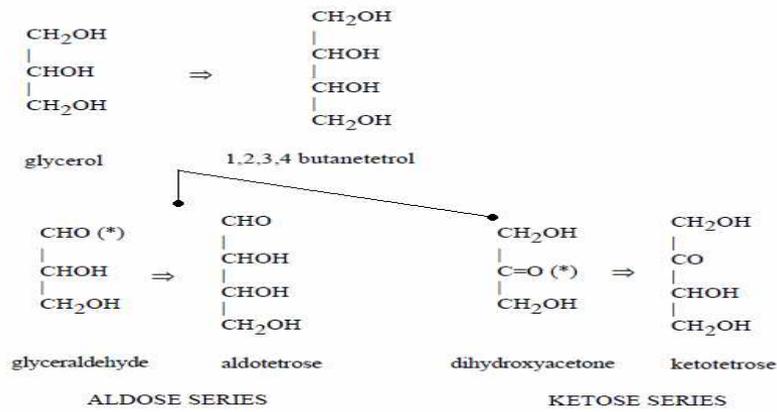


Figure 1 : la distinction entre aldose et cétose.

Les OSIDES résultent de la condensation, avec élimination d'eau, des molécules d'oses et, éventuellement, de substances non glucidiques également. Ils se subdivisent en HOLOSIDES et HETEROSIDES.

Les HOLOSIDES sont formés par la réunion de motifs exclusivement glucidiques et, par hydrolyse, ne fournissent donc que des molécules d'oses. Les holosides comportant un nombre restreint d'oses (jusqu'à dix molécules) sont appelés des OLIGOHOLOSIDES ; au-delà de dix molécules d'oses, ce sont des POLYHOLOSIDES (polysaccharides). Le DEGRÉ DE POLYMÉRISATION (DP) permet de caractériser le nombre d'oses associés dans l'holoside. L'amidon et la cellulose, par exemple, sont des polyholosides possédant un DP pouvant aller jusque 3000 unités. Ce sont de véritables « hauts polymères » naturels.

Les HETEROSIDES libèrent par hydrolyse des oses et d'autres molécules non glucidiques appelées généralement AGLYCONES. On distingue encore les O-hétérosides et les N-hétérosides suivant que l'aglycone est lié à un ose par une liaison oxygénée ou azotée. Parmi les aglycones, on retrouve les acides nucléiques dans lesquels la partie glucidique correspond au D-ribose ou au désoxy-2-ribose et l'aglycone à diverses bases azotées du groupe de la pyrimidine et de la purine ;

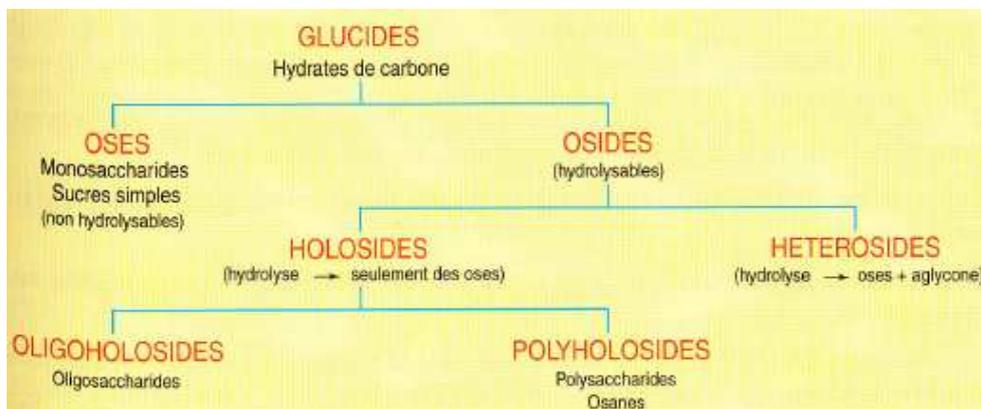


Figure 2 : La classification des glucides.

changement de position d'un ou plusieurs substituants – cela génèrera des molécules différentes appelées **DIASTÉRÉOISOMÈRES**. Lorsque toutes les liaisons des carbones asymétriques subissent la même rotation, cela génère deux molécules qui existent sous deux formes appelées isomères optiques ou **ENANTIOMÈRES**. Chaque énantiomère peut être considéré comme l'image spéculaire (dans un miroir) de l'autre. Le D- et L-glucose sont des énantiomères (Figure 5).

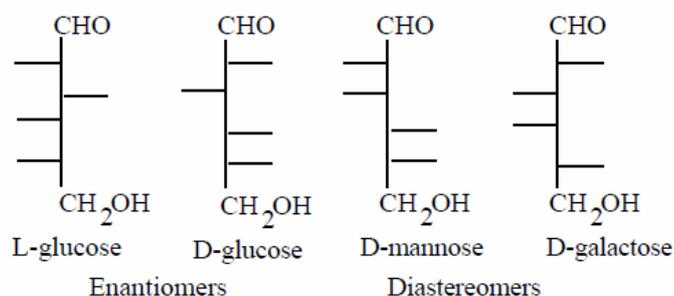


Figure 5 : représentation de Fisher de diastéréoisomères, d'énantiomères et d'épimères.

Les familles D/L dépendent uniquement de la configuration du carbone chiral le plus éloigné de la fonction aldéhydique, c'est à dire le dernier carbone asymétrique en partant du haut de la projection de Fisher.

Cette nomination D/L provient de l'observation du glycéraldéhyde, dont seule la forme dextrogyre (D) existe dans la nature. Celle-ci possède sur sa projection de Fisher, la fonction OH en située à la droite du carbone asymétrique. Par convention, il en ira de même pour les sucres : lorsque la fonction OH du dernier carbone asymétrique sera située à droite sur la représentation de Fisher, le sucre appartiendra à la série D. Les sucres de la série L, non naturelle, porteront cette fonction à gauche de la représentation de Fisher.

Mis à part le cas particulier du glycéraldéhyde, l'appartenance à la série D ou L n'implique pas un signe déterminé pour le pouvoir rotatoire (voir chimie organique). Un mélange contenant 50% de chaque énantiomère est appelé **RACÉMIQUE**. Son activité optique est nulle.

Le nombre d'isomères d'un sucre simple peut être estimé. En réalité, n centres chiraux génèrent 2^n stéréoisomères par le changement de position d'un substituant sur le carbone chiral : à savoir 2^{n-1} diastéréoisomères dédoublables chacun en deux énantiomères. Il y a par conséquent 16 isomères pour l'aldohexose donné en exemple. Bien que ces seize isomères aient été préparés par synthèse chimique, ils n'existent pas tous dans la nature. Ainsi par exemple on ne connaît que trois aldohexoses naturels : le glucose, le mannose et le galactose (essentiellement des isomères D-). Parmi ces trois isomères, le glucose est de loin le plus abondant soit sous forme libre soit sous forme polymérisée.

Lorsque deux sucres ne diffèrent que par la position d'un hydroxyle situé sur un carbone asymétrique, ils sont appelés EPIMÈRES (Figure 5). C'est le cas par exemple, pour le D-glucose et le D-mannose. Par contre, le D-mannose et le D-galactose sont donc des épimères du D-glucose mais ne le sont pas, pour autant, entre eux.

Les sucres de la série des cétooses possèdent un centre chiral de moins que les aldoses (C=O non-terminal). Ils ont donc la moitié du nombre des isomères structuraux pour la même longueur de chaîne.

Les DEOXYALDOSES sont des aldoses dans lesquels un ou plusieurs groupes alcool sont remplacés par des atomes d'hydrogène, aussi bien sur les carbones chiraux que sur les autres.

b. STRUCTURE CYCLIQUE DES OSES (HÉMIACÉTALIQUE)

Les sucres à chaîne ouverte (forme aldéhydrique ou cétonique) n'existent qu'en solution où ils constituent des formes de transition (souvent moins de 0,1%), en équilibre avec des formes cycliques. Ces formes cycliques sont les formes habituelles des glucides.

Un HÉMIACÉTAL résulte de l'addition d'une molécule d'un alcool sur une fonction aldéhyde ou une cétone (Figure 6).

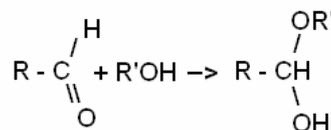


Figure 6 : réaction de formation d'un hémiacétal

Si, comme dans le cas des oses, un groupe carbonyle et un groupe hydroxyle sont présents sur la même molécule, la formation d'un hémiacétal conduit alors à une structure cyclique. La fermeture du cycle se produit lors de l'attaque d'un -OH secondaire (assimilé à un anion nucléophile) sur le carbone C=O déficient en électron. Cette attaque peut avoir lieu de chacun des cotés du CHO planaire de sorte que le groupe OH créé en C1 puisse être orienté dans 2 directions.

Par exemple, le glucose de structure linéaire n'existe qu'à l'état de trace. Il se présente préférentiellement sous forme cyclique suite à une hémiacétalisation entre la fonction alcool secondaire située sur le carbone 5 et la fonction aldéhydrique. La cyclisation introduit un nouveau carbone asymétrique en position 1. Le carbone est dit ANOMÉRIQUE. Il y a donc deux stéréoisomères de cette forme cyclique, différant uniquement par la configuration de ce carbone. On les désigne par α et β et on les appelle formes ANOMÈRE (Figure 7).

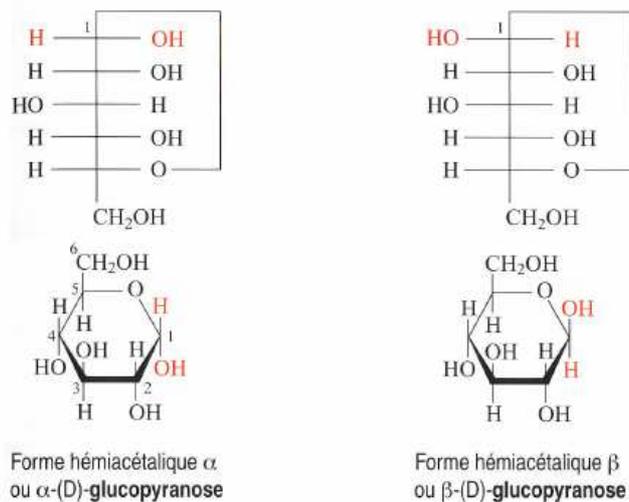
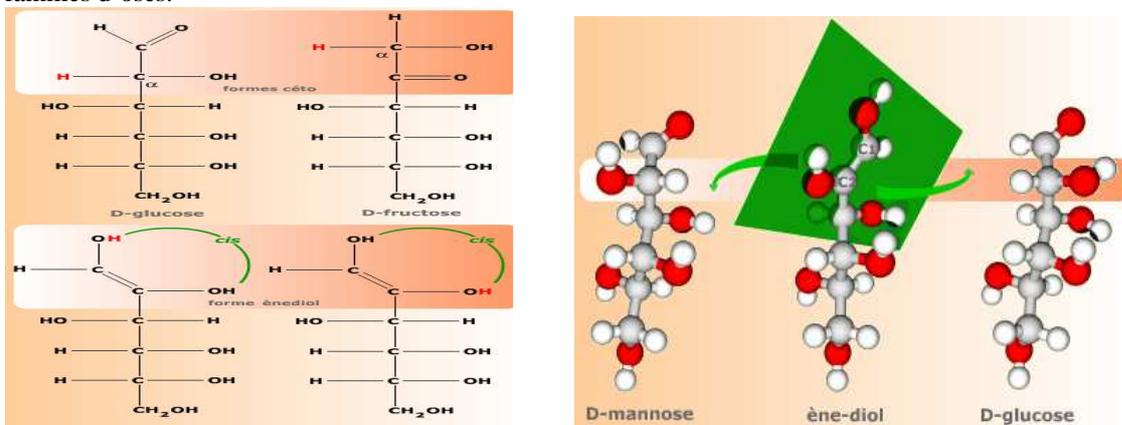


Figure 7 : Représentation des anomères de glucose selon les projections de Fisher et d’Haworth.

Les aldoses répondent positivement aux tests d’oxydation caractéristiques de la présence de la fonction aldéhyde comme la liqueur de Fehling ou le nitrate d’argent ammoniacal. On parle alors de SUCRES RÉDUCTEURS. L’extrémité réductrice (portant la fonction aldéhydique) d’un aldose est donc synonyme de carbone anomérique. En théorie les cétooses ne sont pas sensibles à l’oxydation¹.

A peu d’exceptions, le cycle se compose de 5 atomes (forme FURANOSIQUE) ou 6 atomes (forme PYRANOSIQUE), qui est la forme la plus stable. Généralement l’attaque se

¹ En théorie seulement car dans les conditions expérimentales d’oxydation, les cétooses deviennent réactifs. En réalité, ces conditions favorisent l’apparition d’une isomérisation entre aldoses et cétooses appelée tautomérie. La tautomérie est une transposition spontanée et réversible d’une molécule en un isomère de constitution. Les aldoses aussi bien que les cétooses sont considérés comme des formes céto, du fait de la présence d’un carbonyle. L’isomérisation réversible aldose ↔ cétoose passe par une forme transitoire cis-énediol commune aux deux familles d’oses.



Le cis-énediol est aussi l’intermédiaire commun aux aldoses épimères en C2. A la formation d’un aldose, l’ouverture de la double liaison C1=C2 peut donner aussi bien C2 en configuration *R* que *S*, et donc un glucose qu’un mannose. Ces isomérisations constituent la transformation de Lobry De Bruyn – Van Eckenstein, catalysée par les bases. En milieu alcalin et à chaud, cette transformation explique, par exemple, la réduction de la liqueur de Fehling par une solution de fructose (cétoose non réducteur), via la transformation de ce dernier en glucose et mannose réducteurs.

produit sur le OH situé en C5, générant un pyranose. Les attaques sur le C4, bien moins communes, produisent un furanose (Figure 8).

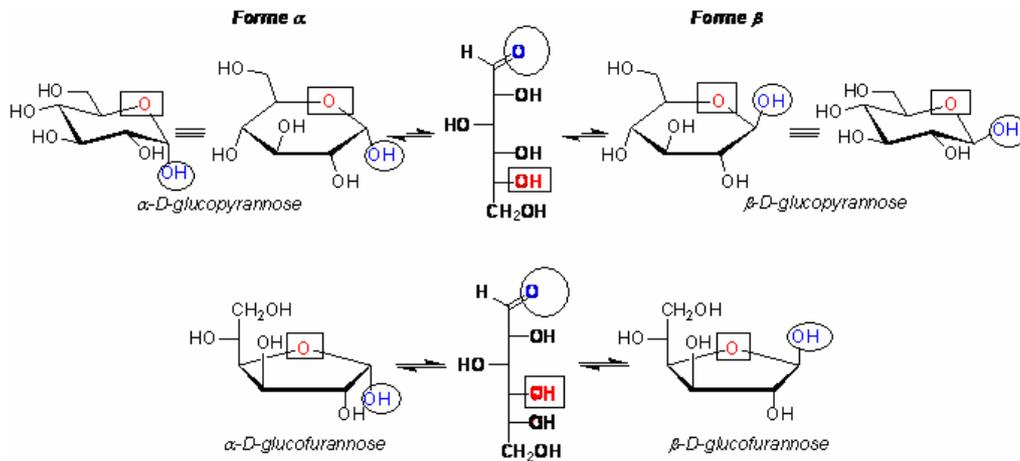


Figure 8 : les différents anomères du glucopyranose et de glucofuranose.

Pour ces deux formes cycliques, la représentation de Fisher est souvent abandonnée au profit d'une représentation plus proche de la réalité (représentation de Haworth) : le cycle est supposé plan, les deux liaisons d'un carbone (une équatoriale et une axiale) sont représentées par un trait vertical, les atomes placés au sommet de ces traits sont au-dessus du plan du cycle, les autres en dessous (Figure 8).

La configuration d'un atome asymétrique est fixée. Toutefois, la structure spatiale d'une molécule peut varier après la rotation des carbones ou de leurs substituants autour de l'axe des liaisons simples. On appelle ces différentes structures isomères de CONFORMATION. On distingue les configurations « chaise » et « bateau ». La conformation la plus stable est du type « chaise ». Ceci permet de justifier que la forme β est plus stable que la forme α , car, dans ce cas, tous les substituants y sont en position équatoriale (Figure 9).

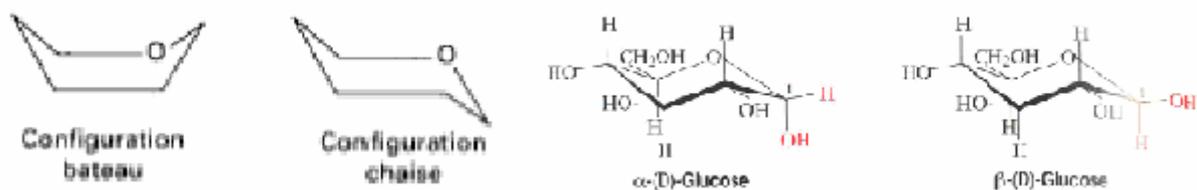


Figure 9 : conformations des hexoses (à gauche). anomères du glucose en conformation chaise (à droite).

Le fructose possède également une forme cyclique à cinq atomes (fructofuranose) et a six atomes (fructopyranose) qui peuvent exister sous deux formes anomères α et β . Les représentations de Haworth du β -(D)-fructopyranose et du β -(D)-fructofuranose sont données à la Figure 10, ci-dessous.

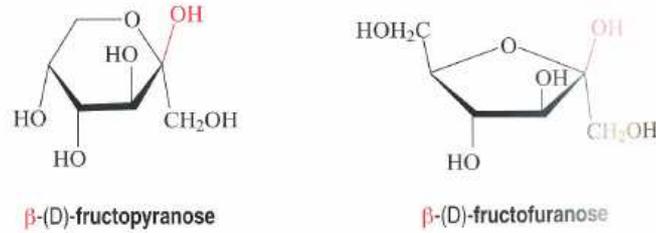


Figure 10 : le fructofuranose et le fructopyranose.

c. La mutarotation

Les deux glucopyranoses α et β peuvent être isolés purs à l'état cristallisé, et leurs pouvoirs rotatoires spécifiques sont différents :

- α -(D)-Glucose $[\alpha] = + 113^\circ$
- β -(D)-Glucose $[\alpha] = + 19^\circ$

Lorsque l'on met en solution l'un et l'autre de ces anomères, on constate une évolution dans le temps du pouvoir rotatoire de la solution qui, dans les deux cas, se stabilise après quelques heures à la valeur de $+ 52^\circ$.

Ce phénomène appelé MUTAROTATION, résulte de l'existence de l'équilibre tautomère entre les formes cyclique et ouverte, par suite duquel les deux anomères α et β se trouvent, en définitive, en équilibre réciproque par l'intermédiaire de la forme ouverte (Figure 11).

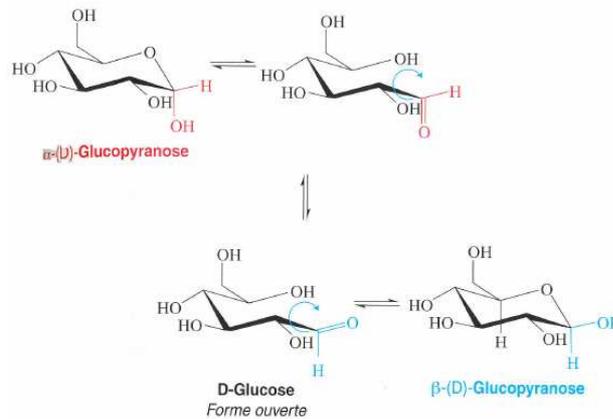


Figure 11 : illustration du phénomène de mutarotation

Le pouvoir rotatoire final de la solution, $+ 52^\circ$, est celui du mélange en équilibre des deux anomères, contenant environ 65% de forme β (la plus stable) et 35% de forme α , plus une très faible quantité de forme ouverte. Toutefois, cet équilibre ne s'établit qu'en solution, en présence des ions H^+ ou OH^- de l'eau qui exercent un rôle catalytique.

3. LES OSIDES

Certains oses existent à l'état libre dans la nature (glucose, fructose) mais beaucoup plus fréquemment les structures glucidiques correspondantes se trouvent associées dans les produits naturels, soit entre elles (holosides), soit avec des substances diverses de nature non glucidique (hétérosides).

Selon que la partie glucidique principale corresponde au glucose, au fructose, au galactose, etc., on appelle les osides « glucosides », « fructoside », « galactoside », etc.

Bien que le terme « glycoside » soit synonyme de « hétéroside », on emploie couramment l'expression LIAISON GLYCOSIDIQUE pour désigner la jonction entre deux motifs dans un oside, qu'il s'agisse d'un holoside ou d'un hétéroside.

Les sucres peuvent donc s'unir entre eux par un lien osidique (ou glycosidique), constitué par l'élimination d'une molécule d'eau entre les deux sucres impliqués dans la liaison (OH d'un ose et H de l'autre). Lorsque la jonction entre deux motifs met en cause le carbone 1 (carbone anomère) il peut exister une variété α et une variété β de l'oside (Figure 12).

Un exemple commun est la réaction entre le OH présent sur le C1 d'un monosaccharide et le H de la même fonction présente sur le C4 d'un second, pour donner une liaison glycosidique 1 \rightarrow 4. Comme celle-ci implique un C1, elle peut exister sous des formes α et β et générer un glycoside α (1 \rightarrow 4) ou β (1 \rightarrow 4).

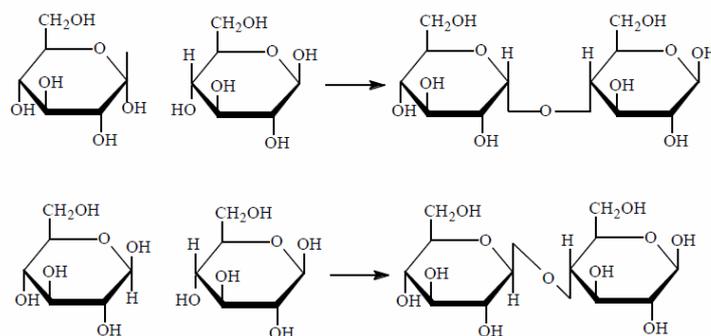


Figure 12 : le maltose (en haut) lié en α (1 \rightarrow 4) et le cellobiose (en bas) lié en β (1 \rightarrow 4).

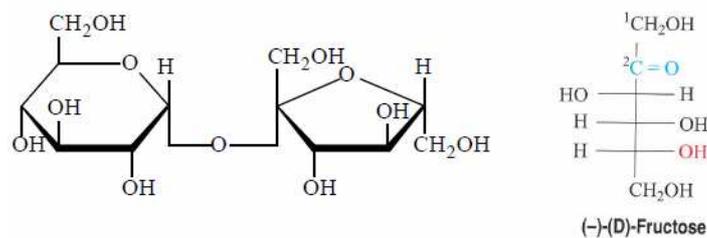
Le dimère de glucose lié en α (1 \rightarrow 4) est un disaccharide appelé maltose. C'est un intermédiaire que l'on obtient lors de l'hydrolyse d'amidon. Il possède un carbone anomère libre (à l'extrême droite sur la figure), de sorte qu'il peut exister une forme α et une forme β du maltose, qui diffèrent par la configuration, comme pour le glucose lui-même. Pour la

même raison, il peut également exister une forme ouverte (aldéhyde) de ce cycle, de sorte que le maltose est réducteur.

Le nom complet du dimère est le α -D-(glucopyranosyl) (1 \rightarrow 4)-X-D-glucopyranose. Le X signifiant ici que le second sucre peut exister sous la forme anomérique α ou β (celle représentée sur la figure).

Le dimère de glucose lié en β (1 \rightarrow 4) est appelé cellobiose. C'est un intermédiaire dans la dégradation de cellulose. Il présente les mêmes caractéristiques chimiques que le maltose.

Le saccharose est constitué d'un glucose sous la forme glucopyranose et d'un fructose sous la forme fructofuranose. Le pont glycosidique, établi par un atome d'oxygène, unit les deux carbones anomères par la liaison α du glucose et β du fructose. Il s'agit donc d'un α -D-glucopyranose (1 \rightarrow 2)- β -D fructofuranose.



Le saccharose n'est pas réducteur, précisément parce que les deux carbones anomères sont engagés dans la liaison glycosidique et que toute forme ouverte aldéhydique ou cétonique est de ce fait impossible.

Le lactose se trouve, à la teneur de 5% environ dans le lait. C'est un diholoside réducteur (donc un des cycles doit avoir son carbone anomère libre), dont l'hydrolyse fournit une molécule de glucose et une molécule de galactose.

4. LES POLYSACCHARIDES

a. LES LIAISONS

Les polysaccharides sont obtenus par condensation de oses, réalisée par des liaisons glycosidiques.

Comme nous l'avons vu, cette liaison entre les oses est acétalique. Elle résulte de l'élimination d'une molécule d'eau entre deux hydroxyles soit de nature alcoolique, soit de nature aldéhydique, soit de nature cétonique. Si deux oses se lient entre eux par leurs groupes réducteurs, le composé obtenu sera non réducteur ; c'est le cas du saccharose formé de glucose et de fructose. Au contraire si la fonction réductrice d'un ose se lie à un hydroxyle alcoolique d'un autre ose, ce dernier donne au produit formé son pouvoir réducteur. Comme il y a, par ose, un groupe réducteur et plusieurs fonctions alcooliques, il en résulte que le polysaccharide obtenu par condensation sera, soit linéaire si une seule fonction alcoolique est impliquée par ose, soit branché si plusieurs fonctions alcooliques d'un même ose sont engagées dans des liaisons. Dans ces deux cas, on pourra toujours définir un sens dans le polymère qui ira par convention de la gauche (du ou des oses terminaux non réducteurs) à la droite (à l'extrémité réductrice) ; la liaison glycosidique est représentée par une flèche partant du groupe réducteur considéré. L'exception à ces règles concerne les oligosaccharides cycliques comme les cyclodextrines.

Une conséquence importante de ce caractère monofonctionnel des polysaccharides est que des réticulations entre chaînes sont impossibles par des liaisons glycosidiques. Les associations entre ces polymères dans des structures d'ordre supérieur devront donc faire intervenir d'autres types de liaisons.

b. LES DIFFÉRENTS ARRANGEMENTS DES OSES

Les polyholosides (ou polysaccharides) sont des substances de masse moléculaire très élevée, résultant de la condensation d'un grand nombre de molécules d'oses. Les plus communs correspondent à la condensation d'hexoses, et sont des hexosanes, mais il existe des composés analogues provenant de la condensation de pentoses (xylose par exemple), qui sont des pentosanes. Les liaisons le plus souvent rencontrées entre oses constitutifs des polysaccharides sont de type 1→4 surtout mais aussi 1→3 et quelquefois 1→6. Les modes d'arrangement des oses peuvent donner naissance à des polymères de différents types :

- des homopolymères : $-(A-A)_n$; l'amylose et la cellulose sont deux exemples classiques d'homopolymères de D-glucose liés respectivement en α et β (1 \rightarrow 4)
- des hétéropolymères statiques $-A-B-B-A-A-B-$, comme des glucomannanes
- des hétéropolymères alternatifs $-A-B-A-B-$, comme les carraghénanes
- des hétéropolymères groupés $A-A-A-B-B-B-A-A$

Un polysaccharide peut comporter dans une même molécule une succession de ces différentes séquences comme c'est le cas pour les alginates.

De plus, des polysaccharides peuvent être linéaires ou substitués : les galactomannanes sont composés d'une chaîne linéaire de mannose portant des ramifications d'une unité de galactose alors que le xanthane présente des ramifications de trois oses portées par une chaîne de glucose.

Il existe également des polysaccharides ramifiés, par exemple l'amylopectine ou la gomme arabique.

c. QUELQUES EXEMPLES

- *LA CELLULOSE*

La cellulose est un homopolymère de résidus glucopyranose liés entre eux par des liaisons glycosidiques en $\beta(1-4)$ et formant des chaînes linéaires de plusieurs milliers de résidus stabilisés par des liaisons hydrogènes internes. Le motif principal, répété n fois, correspond à la structure du β -cellobiose. On note des amas de 40 à 60 chaînes qui sont alignées en parallèles et réunies par des liaisons hydrogènes stabilisant ainsi la structure sous forme de microfibrilles élémentaires. Ces microfibrilles sont rassemblées au sein de fibres de diamètre d'environ 0.5 μm qui présentent une structure partiellement cristalline. Cette cristallinité explique la grande résistance physique et chimique de la cellulose. Une zone est fort cristalline lorsque les chaînes sont orientées dans la même direction en un arrangement parallèle et amorphe, lorsque l'orientation des chaînes de glucanes est plus lâche et aléatoire. Un autre paramètre sert à caractériser les celluloses d'origines différentes, il s'agit du degré de polymérisation (DP) représentant le nombre d'unités glucose liées dans chaque molécule.

Le degré de polymérisation est une caractéristique essentielle de la cellulose car il influence tant les propriétés physiques que mécaniques. La détermination du degré de polymérisation de la cellulose peut-être réalisée après la mise en solution de celle-ci et mesure de la viscosité. Le solvant choisi doit éviter toute dépolymérisation lors de la mise en solution. En réalité, les variations de viscosité sont étudiées en fonction de la concentration en

cellulose, puis la viscosité est extrapolée pour la concentration nulle de manière à éliminer les interactions entre molécules. On obtient ainsi ce qu'on appelle la viscosité intrinsèque :

$$\eta = K M^a,$$

avec η étant la viscosité intrinsèque, M la masse moléculaire, K et a des coefficients dépendant de la nature du solvant.

- **LES HÉMICELLULOSES**

L'hémicellulose est une des composantes du bois que l'on retrouve notamment dans le bois c'est-à-dire dans les troncs et les branches d'arbres, les planches... C'est le deuxième composant d'une paroi pectocellulosique chez les végétaux, après la cellulose. Elle a un rôle de pontage entre les fibres de celluloses, mais aussi avec d'autres composés matriciels.

L'hémicellulose est faite de monomères glucidiques. Par rapport à la cellulose, l'hémicellulose ne contient pas que des glucoses anhydres. Par exemple, en plus du glucose, les monomères de l'hémicellulose peuvent être du xylose, du mannose, du galactose, du rhamnose, ou de l'arabinose. L'hémicellulose est faite majoritairement de D-pentoses, parfois de petites quantités d'oses levogyres (L). Le Xylose est toujours l'ose le plus représenté mais les acides mannuronique et galacturonique sont aussi souvent présents.

Les hémicelluloses incluent les polysides suivant : xylane, glucuronoxylane, arabinoxylane, glucomannane, et xyloglucane

- **L'AMIDON**

L'amidon est stocké notamment dans les graines et les racines des plantes, et constitue une réserve, source potentielle de glucose. En général l'amidon est formé de deux constituants : l'amylose (environ 20 %) et l'amylopectine (environ 80%).

L'amylose, comme la cellulose, est constitué d'unités de glucopyranose mais la jonction entre les cycles est de type α (1 \rightarrow 4), de sorte que le motif principal est celui du maltose, et non plus celui du cellobiose. L'hydrolyse de l'amylose fournit, du reste, du maltose qui, à son tour peut s'hydrolyser en glucose. La masse moléculaire de l'amylose est beaucoup plus faible que celle de la cellulose (environ 200 cycles de glucose) et il est soluble dans l'eau. On parle d'amidon soluble.

L'amylopectine donne également, par hydrolyse, du maltose puis du glucose. La constitution des chaînes est donc analogue à celle de l'amylose, mais la structure d'ensemble de la molécule est beaucoup plus complexe : plusieurs centaines de chaînes, comportant

chacune 20 à 25 unités de glucose, sont réunies selon un schéma ramifié, par des liaisons glycosidiques de type 1→6, à une chaîne principale enroulée en hélice.

- *LES PECTINES*

Les substances pectiques sont les principaux polysaccharides de structure présents dans la lamelle moyenne et dans la paroi des cellules des fruits et des légumes. Elles jouent donc un rôle important dans les propriétés physicochimiques de la paroi cellulaire, notamment dans la cohésion et la texture des tissus et dans la rétention d'eau.

Le squelette principal des pectines peut-être divisé en deux entités structurales, les zones lisses ou homogalacturonanes et les zones hérissées dont le squelette est composé de rhamnogalacturonanes.

La colonne vertébrale des pectines (zone lisse) est constituée uniquement d'acides D-galacturoniques liés en α -1,4 formant des homogalacturonanes longs parfois de plus de 200 résidus et qui présentent une structure hélicoïdale. Les résidus d'acides galacturoniques peuvent être estérifiés soit par du méthanol au niveau des fonctions carboxyliques soit par de l'acide acétique sur la (les) fonction(s) alcool en O-3 ou O-2.

Les zones hérissées sont constituées de rhamnogalacturonanes où alternent les résidus rhamnose et galacturonates sur une longueur minimale de 20 unités. Alors que les acides galacturoniques dans ces zones hérissées sont également estérifiés et peuvent porter un résidu xylose en O-3, les rhamnose sont substitués en O-4 (30 à 50%) par des polymères d'oses neutres (arabinose, galactose principalement) qui forment des chaînes latérales. Ces arabinanes et galactanes sont de faible poids moléculaire mais sont également peu solubles et ont tendance à précipiter.