



Frédéric Elie on
ResearchGate

Hydrolyse du sucre

Frédéric Elie

octobre 2004, octobre 2009

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

Abstract : La liaison glycosidique des sucres peut être hydrolysée par l'action d'un acide. Un exemple d'une telle réaction est présentée dans cet article, moyennant l'action de l'acide sulfurique sur le saccharose. De façon générale, en présence d'une solution acide même faible l'hydrolyse du saccharose conduit au sucre inverti constitué d'un mélange de D-glucose et de D-fructose. Cette réaction, dite inversion du saccharose, peut aussi être obtenue par l'enzyme invertase. Mais avec de l'acide sulfurique concentré et chaud (huile de vitriol), ou sous haute température avec cet acide dilué (cas de la présente expérience), le saccharose subit aussi une déshydratation dont le résidu est du carbone.

SOMMAIRE

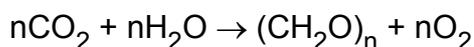
- 1 - Glucides ou saccharides
 - 2 - Saccharose (sucre courant)
 - 3 - Quelques mots sur l'obtention du sucre à partir de la canne à sucre ou de la betterave
- Bibliographie

1 - Glucides ou saccharides

Les glucides sont des composés moléculaires de formule brute $C_n(H_2O)_m$. On les appelait aussi hydrates de carbone parce que l'action de la chaleur conduit à la séparation des fonctions oxygénées -OH et =O des atomes de carbone, avec production d'eau et de carbone.

La chimie des glucides a été étudiée initialement par E. Fischer qui a établi les formules en projection des différents sucres. Il existe aussi les projections de Haworth.

Certains sucres sont principalement obtenus par photosynthèse des végétaux à partir de l'eau et du dioxyde de carbone de l'atmosphère:



Il existe trois groupes de glucides, nomenclaturés selon le nombre d'atomes de carbone et le groupe carbonyle (aldéhyde, cétone) ou alcool qu'ils contiennent:

- Les **monosaccharides**: glucides ne pouvant pas être hydrolysés. Seul l'acide métapériodique

décompose les monosaccharides par oxydation complète. Suivant le nombre de carbones ils se répartissent en trioses (3 carbones), tétroses (4 carbones), pentoses (5 carbones), hexoses (6 carbones), etc. Exemple: l'aldose (ou D-érythrose), le D-glucose (ou dextrose), le D-fructose (ou levulose)...

- Les **oligosaccharides**: composés de 2 à 8 monosaccharides en lesquels ils peuvent être décomposés par hydrolyse (exemple: le maltose est un disaccharide constitué de deux aldoses, le saccharose est un disaccharide constitué d'une molécule de monosaccharide D-glucose et d'une molécule de monosaccharide D-fructose). Les composés monosaccharides sont reliés par liaison glycosidique (voir plus loin).

- Les **polysaccharides**: composés de plus de 8 monosaccharides. Exemple: l'amidon, le glycogène et la cellulose sont des polysaccharides composés de 100 à 3000 monosaccharides.

Les glucides existent sous forme linéaire ou sous forme cyclique.

Suivant la position des groupements hydroxyles -OH par rapport à la chaîne carbonée du monosaccharide de base, divers isomères sont créés: par convention on place les fonctions aldéhyde CHO ou cétone CH₂OH en haut de la formule semi-développée du monosaccharide; si le groupement hydroxyle -OH lié au carbone de référence est à droite on a un isomère D, s'il est à gauche on a un isomère L (**projection de Fischer**).

On appelle **carbone anomère** celui qui porte le groupe carbonyle -C=O, lequel conduit à la formation du cycle par ouverture de la double liaison. Le plan moyen de la molécule est orienté de telle façon que le carbone anomère soit sur la droite et l'oxygène issu du groupe carbonyle en haut à droite. Avec cette convention, lorsque le groupe hydroxyle est placé au-dessous du plan moyen, on a un isomère α , et lorsqu'il est situé au-dessus l'isomère est noté β . Ceci posé, les isomères α et β d'une même molécule de glucide ont des propriétés physiques et optiques différentes: ainsi pour le D-glucose on a:

- α -D-glucose: température de fusion 146°C et pouvoir rotatoire +112°
- β -D-glucose: température de fusion 150°C et pouvoir rotatoire +18,7°

NB: Pour des substances qui modifient la polarisation d'une onde lumineuse, on appelle pouvoir rotatoire spécifique, la quantité ρ , mesurée en °/dm/g.ml, dans une solution donnée, définie par la **loi de Biot**:

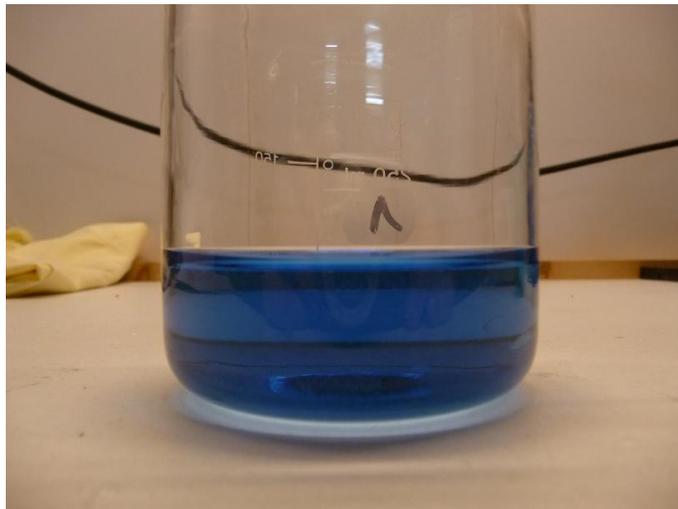
$$\rho(\lambda, T) = \pm \alpha / LC$$

où λ longueur d'onde considérée (généralement celle de la raie D du sodium 589,3 nm), T température de la solution, α angle de rotation de la lumière polarisée en degrés, L longueur en dm du trajet lumineux dans la solution, C concentration de la substance étudiée en grammes par ml de solvant. Les valeurs généralement données sont C = 1g/ml, L = 1 dm et T = 20°C et l'eau comme solvant. Ainsi, par exemple on a 138° pour maltose. Si la polarisation se fait à droite la substance est dextrogyre D et ρ est compté positivement, si elle est à gauche la substance est lévogyre L.

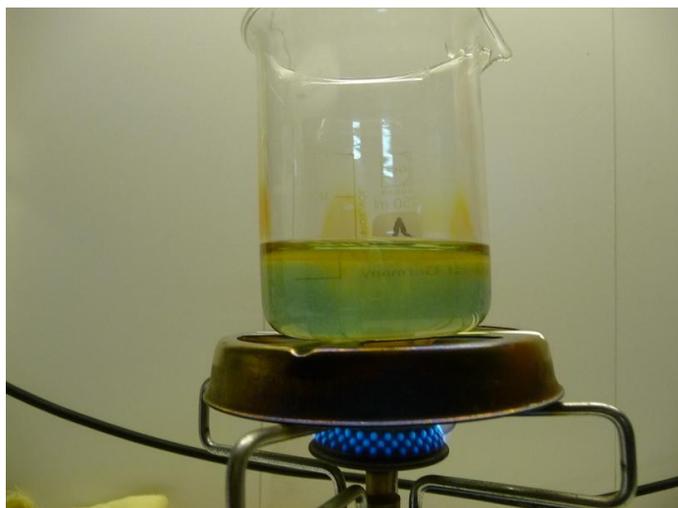
Remarque: Les monosaccharides peuvent être caractérisés par le α -naphtol que l'on mélange avec une solution de monosaccharide: la réaction de ce mélange avec l'acide sulfurique concentré produit une couche violette au fond du récipient. Dans le cas particulier du glucose, qui est un monosaccharide, la caractérisation est très facile: à la solution de glucose on ajoute de la soude NaOH, puis quelques gouttes de sulfate de cuivre CuSO₄ en solution; le chauffage modéré de l'ensemble donne une couleur orange du mélange: voir photos ci-après.



On ajoute de la soude au sirop de glucose



Au mélange précédent on ajoute quelques gouttes de sulfate de cuivre



Puis on chauffe légèrement l'ensemble...



... après quelques secondes de chauffage on obtient une belle couleur orangée

2 - Saccharose (sucre courant)

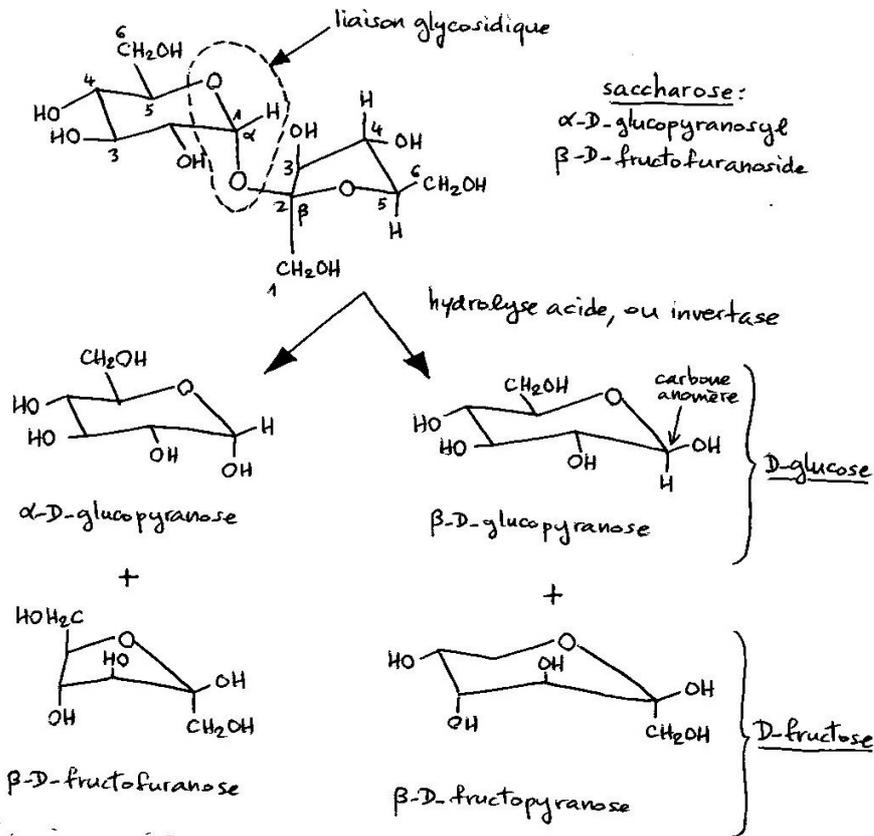
Le saccharose, de formule brute $C_{12}H_{22}O_{11}$, est un oligosaccharide constitué de deux monosaccharides: une molécule de D-glucose (α -D-glucopyranosyl), et une molécule de D-fructose (β -D-fructofuranoside). Il est non réducteur parce que l'oxygène lié au carbone anomère possède une fonction hydroxyle -OH libre. Il s'ensuit que le saccharose ne réagit ni à la **liqueur de Fehling**, ni au **réactif de Tollens**.

Remarque: la liqueur de Fehling est un mélange de solution de sulfate de cuivre additionnée d'acide sulfurique, et de solution de soude additionnée de tartrate double de sodium et de potassium (sel de Seignette). La substance étudiée, analysée à l'aide de la liqueur de Fehling, donne un précipité rouge brique si elle est réductrice. Le réactif de Tollens est une solution de nitrate d'argent ammoniacal. En présence d'un composé réducteur il y a dépôt d'argent métal sur la paroi du récipient.

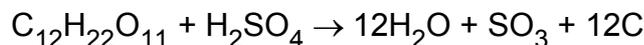
L'hydrolyse, réalisée par un acide dilué ou par l'invertase, aboutit à la décomposition du saccharose en:

- D-glucose: mélange des anomères α et β du D-glucopyranose, qui se transforment mutuellement l'un en l'autre par une réaction équilibrée
- D-fructose: β -D-fructofuranose, dont une partie se transforme en son isomère β -D-fructopyranose plus stable

Le mélange obtenu par cette hydrolyse est le **sucre inverti**, et la réaction s'appelle aussi **inversion du saccharose**. Le D-glucose s'appelle aussi dextrose parce qu'il est dextrogyre (pouvoir rotatoire: $+52,5^\circ$), et le D-fructose est aussi appelé lévulose parce qu'il est lévogyre (pouvoir rotatoire: $-92,4^\circ$). Le mélange issu de l'inversion a un pouvoir rotatoire moyen de -20° donc est lévogyre. Le saccharose initial avait un pouvoir rotatoire de $+66^\circ$: l'inversion l'a donc fait passer de l'état dextrogyre à l'état lévogyre.



En outre, si l'acide est fort, on obtient la **déshydratation du saccharose**; c'est le cas avec l'acide sulfurique concentré et chaud (il se présente sous forme d'un liquide transparent et visqueux appelé **huile de vitriol**):



qui produit du carbone (le sucre caramélise), de l'eau et du trioxyde de soufre (forte odeur). La réaction est très exothermique.

Si on ne dispose pas d'huile de vitriol mais de l'acide sulfurique dilué (à 32% comme dans le commerce), on peut quand même mettre en évidence la déshydratation de la manière suivante (objet de notre expérience):

- Première phase: préparer une éprouvette témoin dans laquelle on mélange du sucre blanc en poudre avec de l'eau, et faire chauffer jusqu'à ébullition. On s'aperçoit que le mélange ne noircit pas: il n'y a pas libération de carbone (photo 1).
- Deuxième phase: préparer une seconde éprouvette dans laquelle on mélange du sucre blanc en poudre (même quantité que précédemment) avec de l'acide sulfurique dilué à 32% (même volume que l'eau de la phase 1), et faire chauffer. On constate que, même avant ébullition, le mélange noircit: du carbone est libéré par déshydratation (photo 2).



photo 1

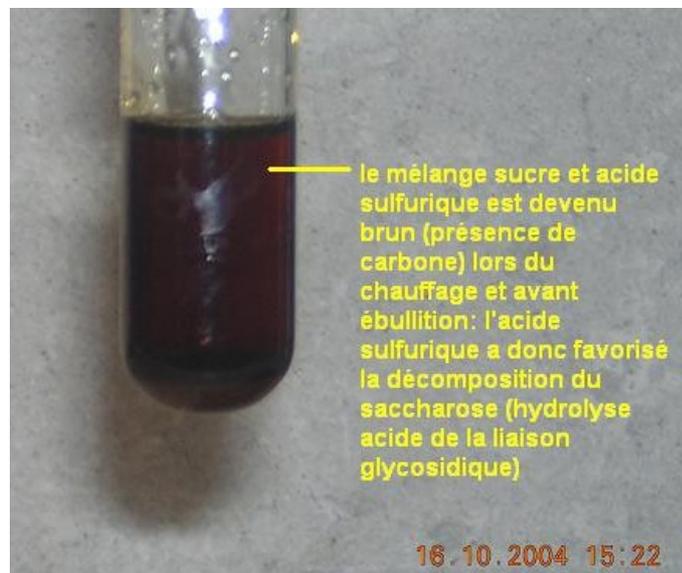


photo 2

Cette petite expérience illustre bien que l'addition d'acide sulfurique même diluée, en présence de chaleur, a aussi provoqué la déshydratation du saccharose, lequel était déjà en partie inverti du fait de la présence de l'acide sulfurique.

3 - Quelques mots sur l'obtention du sucre à partir de la canne à sucre ou de la betterave

Jusqu'au XVIII^{ème} siècle et depuis l'Antiquité, le sucre était exclusivement obtenu à partir de la canne à sucre alors appelée roseau à miel. Le sucre a été introduit en Europe seulement au XII^{ème} siècle à l'occasion des croisades, et fut considéré comme un produit de luxe jusqu'à la découverte de son extraction à partir de la betterave. Cette dernière fut utilisée pour la première fois par A. S. Markgraf en 1747 et en 1802 la première usine d'exploitation de la betterave pour le sucre fut installée en Silésie. Mais ce sucre n'avait pas le même aspect aussi blanc que celui provenant de la canne à sucre. Il a fallu attendre 1812 pour que le français Benjamin Delessert mette au point la technique de raffinage du sucre de betterave capable de lui donner la même pureté et blancheur que celui de la canne à sucre, ce qui lui valut d'être récompensé par Napoléon.

Extraction du saccharose à partir de la canne à sucre:

La canne à sucre (*saccharum officinarum*) est séparée de ses feuilles puis écrasée entre des rouleaux. Les résidus fibreux de ces opérations servent au chauffage du dispositif ou pour la fabrication de papiers ou cartons. Le jus est ensuite clarifié par la chaux, chauffage et décantation. Le sucre cristallisé blanc est obtenu par blanchiment.

Extraction du saccharose à partir de la betterave sucrière (*beta vulgaris*):

- Récolte: les betteraves contiennent environ 20% de sucre; elles doivent être rapidement traitées après leur récolte sinon elles consomment leur sucre. Aussi les sucreries doivent-elles être à proximité des lieux de récolte.
- Lavage et découpage: les betteraves sont lavées dans un courant d'eau inverse et débarrassées de leur tare (pierres, terre, feuilles). Puis leurs racines, qui contiennent le sucre, sont coupées en morceaux appelés cossettes.
- Diffusion: le jus brut est obtenu des cossettes par passage d'un contre-courant d'eau à 70 ou 80°C (généralement additionnée d'agent anti-mousse et antibactérien). En effet, l'eau chaude a pour effet de coaguler les protéines du protoplasme des cellules, formant ainsi des pores, ce qui permet au sucre de diffuser à l'extérieur des cellules à travers les pores. Le jus contient à ce stade environ 15% de saccharose. Le résidu, appelé pulpes, contient 0,3% de saccharose et sert à l'alimentation des animaux.
- Épuration: les jus sont épurés par double carbonatation. Pour cela on réalise un préchaulage du jus par un lait de chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ à 70°C pour coaguler les colloïdes et précipiter les acides. Le précipité, ou floculat, est surmonté d'un liquide clarifié. Le floculat est dispersé dans un précipité de carbonate de calcium CaCO_3 issu du jus lors du préchaulage. Puis on procède au chaulage: addition de chaux CaO à 85°C. Le jus ainsi chaulé subit un barbotage de CO_2 (première carbonatation) conduisant à un précipité de carbonate de calcium. Le jus trouble est décanté et filtré. Par une seconde carbonatation on élimine la chaux puis on filtre. Le jus obtenu est clair et purifié, de couleur miel. Il est décoloré par traitement au dioxyde de soufre SO_2 .
- Évaporation: on augmente la concentration en saccharose du jus par évaporation (épaississement). La concentration est mesurée en **Brix**:

$$1 \text{ }^\circ\text{Brix} = 1\text{g de saccharose}/100 \text{ g de solution}$$

l'évaporation permet de passer de 15 à 70 Brix. A ce stade le sucre craint la chaleur (caramélisation) et il ne faut pas dépasser 80°C.

- Cristallisation: le sirop épuré est sursaturé dans les chaudières à vide et se cristallise ("masse cuite"). Puis il est centrifugé à 1500 tours/mn pour séparer le sirop impur des cristaux blancs. Il est ensuite lavé par jets de vapeur, et essoré en plusieurs étapes, et les égouttures sont recueillies à chaque fois. Selon le rang de l'étape où le sucre est recueilli on parle de sucre de premier (très pur et blanc), de deuxième (plus coloré et moins pur) ou de troisième jet (brun et chargé d'impuretés). Au terme du troisième jet, l'égoutture, très colorée, s'appelle la mélasse (chargée à 50% de saccharose).

Bibliographie

Hans Breuer: *Atlas de la chimie* - Librairie générale française, 2000

Robert Perrin, Jean-Pierre Scharff: *Chimie industrielle* - Masson, Paris, 1997

Maurice Javillier, Jean Lavollay: *La chimie des êtres vivants* - PUF, Paris, 1970