

Impact de l'ajout de sucres au brassage : aspects physicochimiques et sensoriels au niveau de la flaveur de la bière

Ing. L. RAPPE
Dr ir V. JERKOVIC
ISICHt - Mons

L'étude menée ici tentera de mettre en évidence l'impact de différents sucres ajoutés lors du brassage. Les bières ont été brassées avec un système automatique, dans lequel, l'empâtage, la filtration et la cuisson du moût se font dans la même cuve. Les bières subissent par la suite des tests sensoriels, faisant appel à un panel de sujets naïfs, visant à évaluer s'il existe une différence de flaveur entre les brassages. Les résultats de ces tests, seront mis en lien avec une analyse, faite par HPLC-RI, des sucres résiduels dans les bières finies.

Mots clefs : bière, brassage, sucre, test sensoriel, HPLC, EBC, ITT

The goal of this thesis is to evaluate the impact of various sugars addition during brewing. First, the beers are brewed with an automatic mash tun, wherein mashing, filtration and boiling are made in the same tank. Then, sensory tests take place, using a panel of naive subjects to show if there is a difference of flavor between the brewing. The results of these tests are related with HPLC-RI analysis of residuals sugars in finished beers.

Keywords: beer, brewing, sugar, sensory test, HPLC, EBC, ITT

1. Introduction

Une bière, selon la méthode de brassage utilisée, peut avoir différents goûts. Les grands ingrédients de base choisis ; l'eau, le malt, le houblon, les levures, jouent, suivant leur type et leur concentration, également un grand rôle au niveau de la perception gustative. D'autres ingrédients comme des épices, sucres, ..., peuvent également avoir un impact.

Ce travail, effectué au CERISIC, a été réalisé en collaboration avec la brasserie Saint-Feuillien.

A côté de l'étude de l'influence de l'ajout des sucres au brassage, nous étudierons la teneur en ces mêmes sucres résiduels avant et après fermentation. Une analyse de la coloration et du pouvoir réducteur des bières se fera également, en utilisant un spectrophotomètre UV-visible.

2. Partie bibliographique

2.1 La bière, son procédé de fabrication

Concassage/hydratation

Il s'agit de l'étape qui vise à broyer le malt. Le concassage est généralement grossier, on estime qu'un grain doit être écrasé en 4 à 5 morceaux [1].

Empâtage / Brassage / Filtration

L'empâtage est le mélange intime de la mouture avec de l'eau chaude pour obtenir la maïsche (eau + malt) à 50°C. Le brassage est fait à des températures précisément contrôlées pour permettre le travail d'enzymes déterminées. L'agitation stoppée, un gâteau de drêches (écorces, morceaux) se constitue. Un soutirage lent pour éviter le colmatage est effectué. Après soutirage, les drêches sont rincées pour récupérer l'extrait résiduel [1], [3].

Ébullition

Le rôle de l'ébullition sur la qualité du produit fini est multiple entre autre ; formation de la mousse, destruction d'une partie des bactéries potentielles, apport de l'amertume via l'ajout de houblon, coloration du moût par les réactions de Maillard, évaporation de diméthyle sulfure, précipitation des protéines responsables du trouble [1], [3].

Décantation, refroidissement et aération du moût.

Lorsque l'ébullition est terminée, le houblon et les flocons de protéines coagulées vont pouvoir être décantés. Afin d'accélérer et améliorer ce processus, un effet

Whirlpool peut être généré. Le moût est ensuite refroidi, bien souvent par un échangeur de chaleur, jusqu'aux environs de 20°C, oxygéné par de l'air si possible stérile et ensuite amené dans la cuve de fermentation [1], [3].

Fermentation

Au contact du moût les levures vont pouvoir se multiplier très rapidement, notamment grâce à l'oxygène ajouté au refroidissement. Les sucres sont fermentés et la température est contrôlée afin de garder un rythme optimal de fermentation. Le moût se charge en alcool, et une fois la fermentation terminée, la bière sera refroidie pour permettre une clarification en faisant sédimenter les levures [2], [3].

La garde

La garde permet à la bière de subir de très subtiles modifications, comme par exemple l'affinement de l'amertume, la stabilisation de la mousse, la clarification par le froid (température proche de zéro degré) [1].

Mise en bouteille et refermentation

Les bouteilles ou fût nettoyés et désinfectés vont pouvoir accueillir la bière qui est maintenant prête à se saturer en CO₂ grâce à la deuxième fermentation ou par ajout direct de CO₂ [1].

2.2 Évaluation sensorielle

Généralité

L'évaluation sensorielle est une science qui compte un ensemble de méthodes permettant de caractériser les produits avec les sens de l'Homme (vue, ouïe, odorat, goût, toucher).

Il est possible de distinguer deux perspectives de l'évaluation sensorielle. Nous avons d'abord l'analyse sensorielle qui cherche à déterminer les propriétés organoleptiques des aliments. Deux grandes catégories d'épreuves existent :

- Les épreuves discriminatives qui ont pour objectif de déterminer si deux ou plusieurs produits sont ou pas différents.
- Les épreuves descriptives qui ont pour objectif de mettre en avant les ressemblances et différences entre produit.

Le deuxième aspect de l'analyse sensorielle est l'évaluation hédonique qui est l'étude des préférences ou aversions entraînées par ces propriétés organoleptiques. Nous observons donc que l'analyse sensorielle s'intéresse au produit en tant que tel, tandis que l'évaluation hédonique s'intéresse à la façon dont un produit sera accepté par un groupe cible de consommateurs.

Les deux perspectives qui viennent d'être vues (analyse sensorielle et évaluation hédonique) sont complémentaires et celles-ci sont regroupées sous la dénomination d'évaluation sensorielle ou de métrologie sensorielle [7] [8].

Caractéristiques sensorielles d'une bière

Quatre composantes sont principalement discernables (les arômes, l'amertume, l'acidité, la saveur sucrée) avec en plus l'alcool qui est considéré comme un exhausteur de goût. L'acidité sera la plus faible possible car elle ne s'accorde pas avec l'amertume. Cette amertume donne au produit fini un certain profil aromatique et une persistance en bouche.

Les sucres résiduels présents dans la bière la rendent « moelleuse », « visqueuse » voire « lourde ». Cette caractéristique est principalement due à la nature et à la teneur en dextrines résiduelles. La saveur sucrée dépend de la nature des dextrines formées durant l'empâtage. Le pouvoir sucrant sera d'autant plus fort que la taille des dextrines sera faible.

D'autres arômes peuvent être apportés par le malt utilisé, la levure utilisée et également les arômes se trouvant dans l'éventuel sucre ajouté [1].

2.3 Les glucides

Les glucides, dénommés de manière impropre « sucre », sont une vaste famille biochimique complexe qu'il n'est pas facile de cerner avec précision. Cette famille, qui occupe une part importante dans notre alimentation, représente la principale source d'hydrates de carbones au niveau ration alimentaire [4].

Réactions de brunissement non enzymatiques.

Caramélisation

La caramélisation est une réaction qui, lorsque l'on chauffe des sucres en l'absence de protéines ou d'acides aminés, amène une couleur brune. Ce phénomène démarre lorsque, en présence d'un catalyseur acide, le sucre a atteint son point de fusion. Les réactions qui se passent sont complexes, et selon la méthode utilisée, on aura formation de différents composés aromatiques. L'un des premiers intermédiaires important formé lors de la réaction de caramélisation est l'hydroxy-méthyl furfural, molécule présentant des propriétés antioxydantes [11].

Réactions de Maillard

Il s'agit d'une combinaison entre un sucre réducteur (possédant une fonction carbonyle libre) et une protéine, un peptide ou un acide aminé (fonction amine libre). Ces réactions aboutissent à la formation :

- De pigments bruns (les mélanoidines)
- De composés volatils avec des propriétés aromatiques faisant suite à des traitements thermiques à températures élevées.

- De substances très réactives (réductones, hydroxyméthyl-furfural) qui par leurs pouvoirs réducteurs ont des propriétés antioxydantes.

Les réactions de Maillard sont fréquentes en technologie alimentaire de même qu'en cuisine. Elles peuvent être recherchées pour leurs avantages sensoriels ou être combattues par les altérations qu'elles entraînent [4].

Utilisation par les levures.

La fermentation alcoolique implique le transport de substrat à l'intérieur de la cellule et les voies métaboliques qui y sont impliquées [9]. Les sources de carbone les plus couramment utilisées sont les hydrates de carbone, dont certains mono-, di- et trisaccharides [5]. Il existe deux types de sucres disponibles pour la levure ; les sucres directement fermentescibles qui se trouvent déjà présents dans le milieu ou qui sont apportés, et les sucres issus de l'hydrolyse de l'amidon [6].

Saccharomyces cerevisiae peut fermenter les sucres suivants : les monosaccharides ; glucose, fructose et galactose, les disaccharides ; saccharose, maltose et le trisaccharide ; maltotriose [10].

Saccharomyces cerevisiae utilise préférentiellement les monosaccharides (sucre simple en C5 ou C6) comme le glucose, fructose. Ceux-ci sont donc fermentés très rapidement, tandis que le maltotriose est fermenté lentement et parfois de façon incomplète avec des traces pouvant rester dans la bière. Le maltotriose est utilisé en dernier après toute assimilation du maltose. L'assimilation complète du glucose est suivie par l'absorption de maltose, le principal sucre du moût. Les dextrines et β -glucanes, dérivés de la dégradation partielle de malt, ne sont quant à eux pas fermentescibles [10].

Les disaccharides devront subir une modification afin d'être assimilables. Au niveau de l'espace périplasmique (entre la paroi et la membrane cytoplasmique), le saccharose sera, en même temps que la consommation du glucose et du fructose, transformé en glucose et en fructose grâce à une invertase présente dans la levure. Cette étape permettra d'augmenter la concentration en glucose et fructose. Le maltose (disaccharide formé de deux glucoses) rentre dans la levure grâce à une maltoperméase et est scindé en glucose par une enzyme intracellulaire, la maltase [6].

3. Résultats et discussion

Dans cette étude, les brassins effectués ont été analysés à différentes périodes. Les bières sont brassées avec une cuve de brassage automatique Brauwmeister de 200 litres, dans laquelle, l'empâtage, la filtration et la cuisson du moût se réalisent dans la même cuve.

3.1 Analyses quantitatives des différents brassins

Test de couleur (norme EBC)

Numéro brassin	Type de sucre ajouté	Levure	EBC
0	sans sucre	Fermentis S-33	3,5
1	Inverti de betterave	Fermentis S-33	9
2	Candi foncé	Fermentis S-33	8
3	Sucre brûlé	Fermentis S-33	72
4	Inverti de canne	Fermentis S-33	5
5	Cassonade blonde	Fermentis S-33	6
6	Candi foncé	Fermentis T-58	7

Tableau 1 : Caractéristiques des bières produites.

Le tableau n°1 nous donne les résultats des analyses de couleur des bières pour chaque brassin. La figure n°1, permet de projeter les différentes bières sur l'échelle EBC.

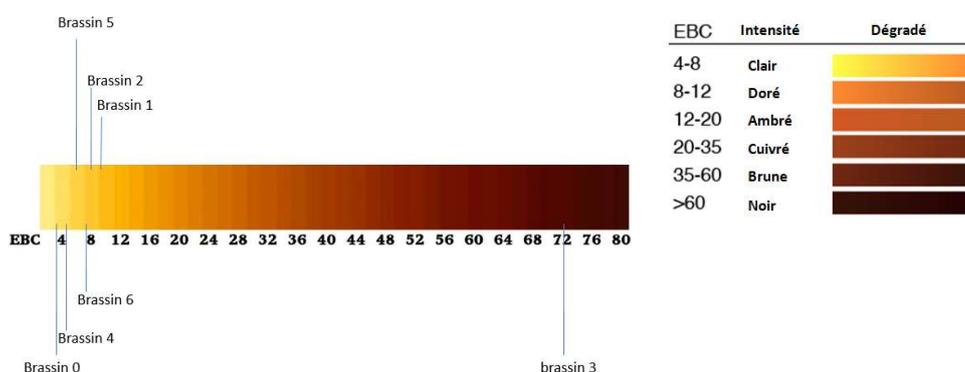


Figure 1 : Positionnement des bières sur l'échelle EBC.

Après que les échantillons soient passés au spectrophotomètre, nous pouvons, en comparant les résultats obtenus avec une échelle EBC (figure n°1), observer que les bières 0, 4, 5 et 6 restent dans une gamme de couleur assez claire. Le brassin 3 est dans l'intensité "noir" et les brassins 1 et 2 sont proches du doré.

La figure n° 2 montre les différents brassins mis dans des verres.



Brassin n° :	5	4	0	6	2	1	3
EBC :	6	5	3.5	7	8	9	72

Figure 2 : Couleurs des différentes bières mises dans des verres

En comparant la couleur finale des bières (figure 2) avec celle des sucres initiaux (figure 3), nous pouvons conclure à un lien entre celles-ci. Seul le brassin 1 fait exception. L'inverti de betterave (sucre du brassin 1), bien que de composition similaire à celle du sucre inverti de canne (brassin 4) semble avoir subi de fortes réactions de brunissement non enzymatique.



Sucre :	Inverti b.	Inverti c.	Cassonade	Candi foncé	Brûlé
----------------	-------------------	-------------------	------------------	--------------------	--------------

Figure 3 : Sucres utilisés pour dans différents brassins

Indication time test (ITT)

La mesure de l'ITT se réalise en mesurant au fur et à mesure la décoloration du réactif de Tillmans (le 2-6 dichlorophénol indophénol) par spectrophotométrie. La décoloration se fait grâce aux molécules anti-oxydantes se trouvant dans les brassins. Cette mesure de temps permet de mesurer le pouvoir réducteur d'une bière, nous montrant ainsi sa résistance à l'oxydation.

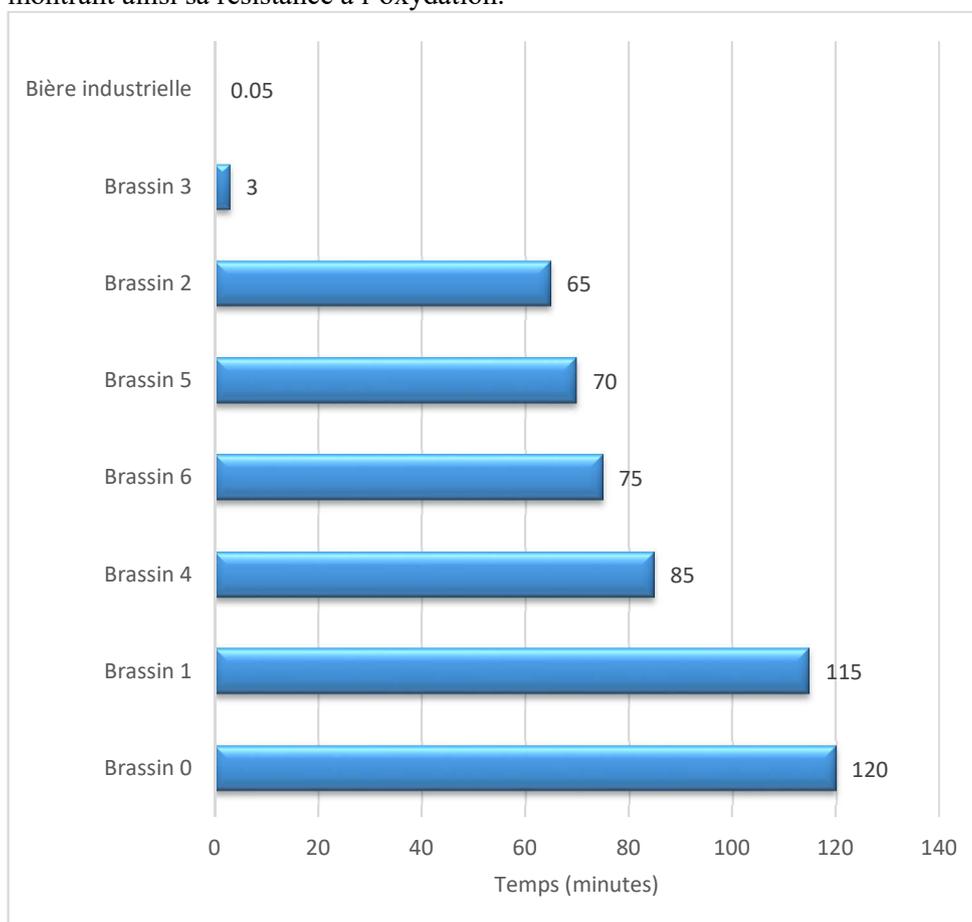


Figure 4 : Mesure de l'ITT. Brassin 0 : sans sucre ajouté. Brassin 1 : inverti de betterave. Brassin 2 : candi foncé. Brassin 3 : sucre brûlé. Brassin 4 : inverti de canne. Brassin 5 : cassonade blonde. Brassin 6 : candi foncé/levure Fermentis T-58.

La figure n°4 nous montre l'ITT correspondant à chaque brassin, et pour une bière de type industriel.

Nous pouvons voir qu'il existe bien une différence entre le brassin 0, 1 et les autres brassins.

De plus, il y a une très grande différence entre une bière faite en industrie (ITT de 4 secondes) et une bière faite en laboratoire. À plusieurs moments de leurs formations, les bières ont été exposées à l'oxygène provoquant au fur et à mesure une diminution du pouvoir antioxydant de ces dernières. Les moments les plus critiques sont, sans doute, la mise en garde et la mise en bouteille.

Malgré cela, le brassin n°3, ayant reçu le sucre brûlé, a gardé une bonne résistance à l'oxydation. Cette résistance est probablement due à la formation en grande quantité de l'hydroxy-méthyl furfural lors de la formation du sucre brûlé, qui a un pouvoir antioxydant important. Le sucre inverti de betterave ajouté au brassin 1, ne possédait pas de composés antioxydants. Bien que la figure n°5 montre que le brassin n°1 a bien subi des réactions de brunissement, l'ITT ne semble pas confirmer la présence de composés antioxydants dans ce dernier.

De manière générale, un lien entre la résistance à l'oxydation, et le sucre de base qui apporte avec lui des composés antioxydants est observé. Il serait, dès lors, intéressant d'analyser la composition antioxydantes des sucres.

Analyse des sucres par HPLC

Résultats des sucres se trouvant dans le brassin avant fermentation

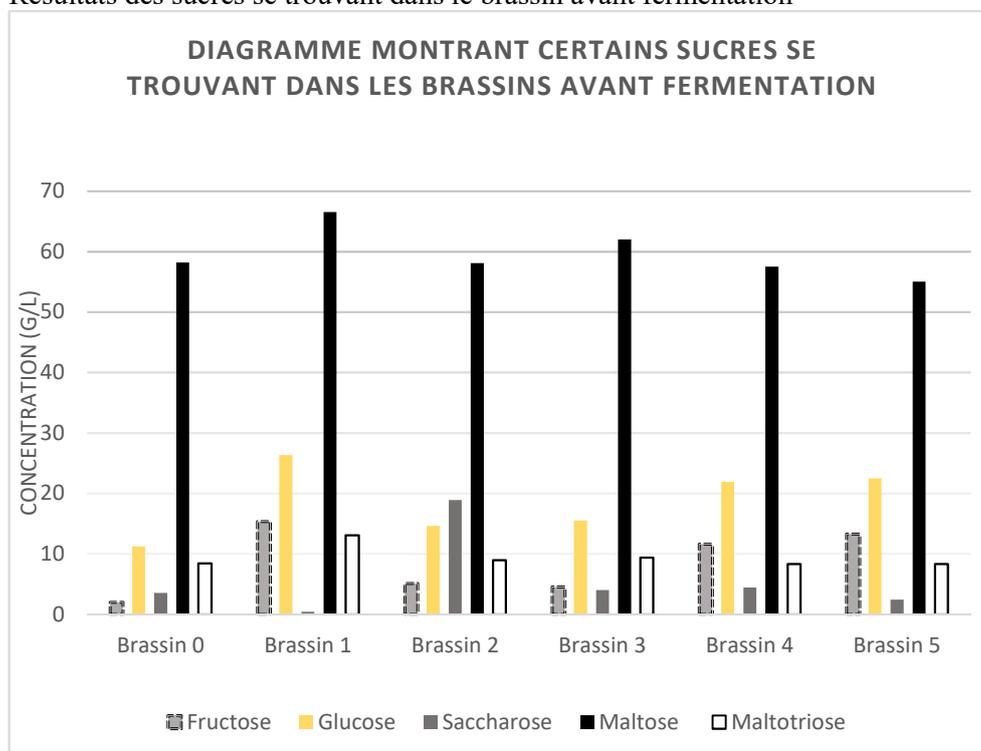


Figure 5 : Diagramme montrant certains sucres se trouvant dans les brassins avant fermentation

La figure n°5, montre une différence entre les brassins avec sucres et le brassin sans sucre. La variation en maltotriose et maltose entre les brassins est due à la quantité de malt ajouté (celle-ci pouvant un peu varier). Le brassin sans sucre ajouté peut être pris comme « blanc » afin de voir ce que chaque sucre amène.

Le brassin n°1 a bien une augmentation en glucose et fructose. La teneur en maltotriose indique que ce brassin a dû recevoir un peu plus de malt que les autres. Le fait qu'il ne reste presque plus du tout de saccharose peut s'expliquer par la prise d'échantillon qui a été faite juste après avoir introduit les levures. L'échantillon a été placé à moins 20°C, formant de nombreux cristaux, et tuant ainsi les levures. Une fois l'échantillon dégelé, les invertases contenues dans les levures ont pu se libérer et transformer le saccharose en glucose et fructose.

Le brassin n°2 présente une augmentation du saccharose qui le compose en grande partie, ainsi qu'une légère augmentation du glucose et du fructose.

Le brassin n°3 montre seulement une petite augmentation de glucose et fructose. Celle-ci peut s'expliquer par un dosage plus élevé de malt au brassage (voir le maltose), mais il semblerait également que ce sucre brûlé, contienne un petit pourcentage de glucose et de fructose dans sa composition.

Le brassin n°4 montre, comme le brassin n°1, une grande teneur en glucose et fructose. Cette augmentation est bien en lien avec la composition du sucre.

Le brassin n°5 utilisant un sucre composé de saccharose, ne présente pas le profil attendu. Nous aurions effectivement dû voir une grande concentration de saccharose. Au vu de la variation du glucose et du fructose, une hydrolyse a dû avoir lieu. Cette hydrolyse peut également s'expliquer par le fait que l'échantillon ait été prélevé après l'ajout des levures.

Suivant le type de sucre, la concentration varie en glucose, fructose et saccharose. Mis à part pour le brassin n°5, les profils semblent cohérents. Cette cassonade blonde a bien été vérifiée par HPLC-RI, et est composée essentiellement de saccharose. Ce résultat appuie l'idée que le saccharose a bien été hydrolysé, lors du dégel, par les invertases des levures.

Résultats des sucres résiduels après fermentation

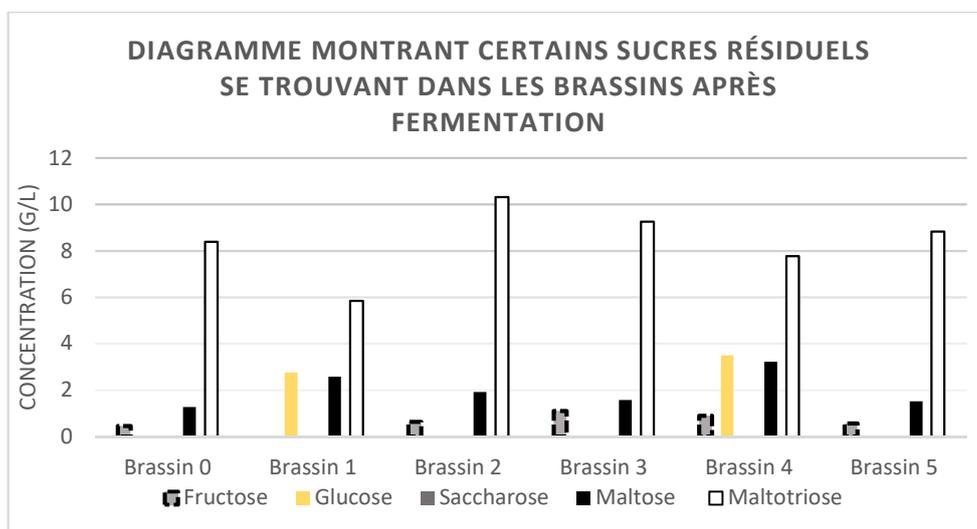


Figure 6 : Diagramme montrant certains sucres résiduels se trouvant dans les brassins après fermentation.

Les profils des brassins après fermentation (figure n°6) indiquent que tous les types de sucres ont été fermentés.

Nous voyons ici qu'il reste des sucres résiduels après fermentation. Contrairement à ce que nous avons pu voir dans la partie bibliographique (3.2. Utilisation des sucres par les levures), des sucres fermentescibles sont présents après les 7 jours de fermentation. Toutefois, nos tests ont été réalisés dans des conditions différentes de celles de la littérature. Bien qu'il reste des sucres fermentescibles, ceux-ci le sont en très petite quantité.

Cette partie théorique nous expliquait également que le maltotriose pouvait être fermenter de manière incomplète. Nos résultats (figure n°6) restent dans cette idée. Concernant la disparition totale du saccharose, comme vu dans la partie bibliographique, ce sucre est très rapidement hydrolysé par les invertases des levures pour donner du glucose et du fructose. Il est donc normal de ne plus voir de trace de ce dernier.

Résultats des sucres résiduels en bouteille

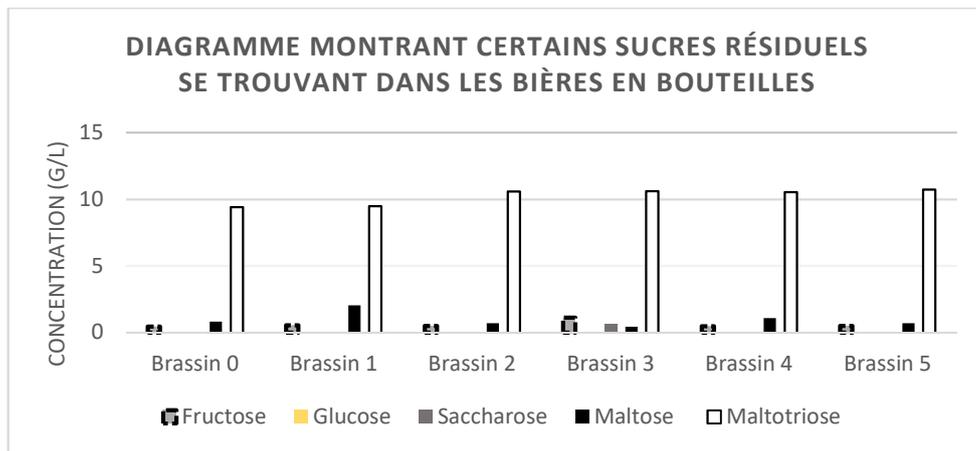


Figure 7 : Diagramme montrant certains sucres résiduels se trouvant dans les bières en bouteilles.

Nous observons sur la figure n°7, que le principal sucre résiduel est le maltotriose. Comme attendu (3.2. Utilisation des sucres par les levures), le maltotriose est fermenté de manière incomplète. Il y a toujours un peu de maltose et fructose dans tous les brassins.

Tous les profils de sucres restent néanmoins très proches les uns des autres.

Résultats des sucres résiduels des brassins avec levures différentes

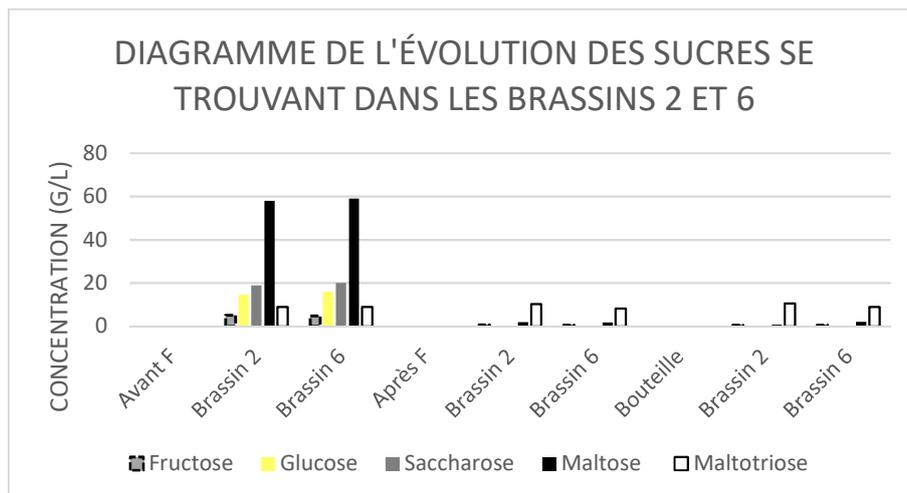


Figure 8 : Diagramme montrant l'évolution de certains sucres résiduels se trouvant dans les brassins 2 et 6.

La figure n°8 montre de gauche vers la droite, les sucres résiduels avant fermentation, après fermentation, et en bouteille. Il s'agit de deux brassins utilisant le même sucre (candi foncé) ayant chacun une levure différente.

Nous observons ici qu'à chaque fois, les profils de sucres sont très similaires. Nous en concluons que les levures T58 et S33, toutes les deux *Saccharomyces cerevisiae*, fermentent les sucres de la même façon.

3.2 Analyses qualitatives des différents brassins

Epreuves	Bières de bases utilisées pour le test	Type de sucres comparés	Résultats
I	Sans sucre	Inverti de b.	Bières différenciées
		Candi foncé	Bières différenciées
		Brûlé	Bières différenciées
		Inverti de c.	Bières différenciées
		Cassonade blonde	Bières différenciées
II	Sucre inverti de b.	Candi foncé	Bières non-différenciées
		Brûlé	Bières différenciées
		Inverti de c.	Bières différenciées
		Cassonade blonde	Bières différenciées
III	Sucre candi foncé	Candi foncé 1 ^{ère} et 2 ^{ème} fermentation	Bières non-différenciées
	Sucre brûlé	Brûlé 1 ^{ère} et 2 ^{ème} fermentation	Bières non-différenciées
	Inverti de c.	Inverti de c. 1 ^{ère} et 2 ^{ème} fermentation	Bières non-différenciées
	Cassonade blonde	Cassonade blonde 1 ^{ère} et 2 ^{ème} fermentation	Bières non-différenciées
IV	Sucre candi foncé	Candi foncé avec levure ≠ (T58)	Bières non-différenciées

Tableau 2 : Résultats des tests sensoriels.

L'épreuve I permet de différencier la bière sans sucre ajouté de toutes les autres bières. Lorsqu'on regarde le profil des sucres résiduels des bières en bouteilles, on ne voit pourtant pas de très grande variation entre eux. Les arômes apportés par les réactions de brunissement sont probablement à l'origine de celles-ci.

La bière contenant le sucre inverti de betterave (épreuve **II**) a également été différenciée de tous les autres brassins, sauf de celui contenant le sucre candi foncé. Pourtant le sucre candi foncé est quasiment identique (au niveau du profil de sucre) au brassin n°5 qui lui a bien été différencié de ce brassin n°1. A nouveau, les réactions secondaires sont à incriminer.

Un autre résultat intéressant, est la comparaison entre la brassin n°1 et le brassin n°4. Ces deux sucres, inverti de betterave et de canne, possèdent initialement la même composition chimique. Pourtant ces deux bières ont pu être différenciées. Ceci provient de ce que le sucre apporte avec lui, des réactions de Maillard très présentes dans le brassin n°1 (voir figure n°5), ou de l'addition de ces deux phénomènes.

L'épreuve **IV** nous renseigne sur le fait que les bières contenant le sucre candi mais deux types de levures différentes n'ont pas pu être différenciées.

Ces résultats montrent bien qu'il n'y a pas de corrélation entre le goût et les sucres résiduels fermentescibles. Du moins pas pour des profils de sucres si semblables. Nous sommes ici avec des concentrations variant de 1 à 2 g/L entre les brassins.

Quant à l'épreuve **III**, les bières qui ont seulement eu un sucre différent lors de la deuxième fermentation n'ont pas été distinguées. L'impact gustatif qu'apporte l'ajout de 3g de sucre, une fois inverti et une fois identique à celui de première fermentation, n'a pu être mis en évidence.

4. Conclusion et perspectives

L'analyse qualitative a permis de confirmer que le sucre ajouté lors du brassage entraîne bien un impact au niveau gustatif. Non seulement en comparant des bières avec sucre à d'autres sans sucre ajouté, mais également entre bières avec différents sucres. Il a également été trouvé, que les bières ayant reçu le sucre inverti de betterave et le sucre inverti de canne (sucres possédant la même composition chimique), ont été différenciées.

L'analyse qualitative comparée aux profils de sucres obtenus par HPLC-RI, nous montre que la variation au niveau du goût n'est pas due aux sucres résiduels analysés. Les profils de sucres en bouteilles sont effectivement très semblables. La conclusion de ce résultat est que la différence de goût ne vient pas des sucres résiduels mais sûrement des arômes apportés par les sucres et éventuellement des réactions de brunissement non enzymatique se produisant lors de l'ébullition.

Les analyses quantitatives mettent en évidence l'impact non négligeable des sucres sur la couleur du produit fini. Cette coloration vient de la couleur que le sucre apporte avec lui ainsi que des réactions de Maillard plus ou moins fortes suivant le sucre ajouté. Concernant la résistance à l'oxydation, un sucre, le sucre brûlé, s'est

particulièrement démarqué des autres sucres par la résistance à l'oxydation qu'il apporte à la bière.

Les deux levures utilisées n'ont montré aucune différence significative lors des analyses qualitatives et quantitatives.

En conclusion ; les analyses sensorielles couplées aux analyses de l'HPLC-RI, montrent que les sucres résiduels analysés, n'apportent pas d'influence au niveau du goût de la bière. Néanmoins, que cela soit par la couleur ou par une meilleure résistance à l'oxydation, les sucres qui ont été utilisés pour le brassage, apportent quelque chose à la bière. Les analyses sensorielles ont très clairement permis de montrer qu'une différence de goût peut exister suivant les sucres utilisés.

Au vu de ces résultats, de nouvelles questions attendent des réponses. Il serait intéressant de trouver le type d'arôme se trouvant dans les sucres initiaux, les bières finies, et de pouvoir en tirer les conclusions par rapport aux résultats des tests sensoriels. L'analyse des profils aromatiques pourrait par exemple se faire par chromatographie gazeuse.

L'utilisation pour les tests sensoriels d'un échantillon de sujet plus large, en terme d'âge, de sexe, voire d'experts, serait également intéressant. D'autres sucres, levures peuvent être testés afin de mieux comprendre l'impact qu'ils amènent sur la flaveur de la bière.

5. Sources

- [1] Faiveley M. *Fabrication des bières*. Technique de l'ingénieur. 2010.
- [2] Revy R. *Levures biologiques alimentaires et poudres levantes*. Technique de l'ingénieur. 2005.
- [3] Hardwick W. *Handbook of Brewing*. CRC Press, 1994.
- [4] Boutonnier L. *Glucides et alimentation : aspects physicochimiques*. Technique de l'ingénieur. 2014.
- [5] Graeme M. Walker. *Yest physiology and biotechnology*. Wiley. Chichester (Angleterre). 1998.
- [6] Revy R. *Levures biologiques alimentaires et poudres levantes*. Techniques de l'ingénieur. 2005.
- [7] Depledt F. *Évaluation sensorielle – Manuel méthodologique* (3e éd.). Lavoisier. Paris. 2009.
- [8] Depledt F, Sauvageot F. *Evaluation sensorielles des produits alimentaires*. Technique de l'ingénieur. 2002.
- [9] Lonvaud-Funel A, Renauf V, Strehaiano P. *Microbiologie du vin : bases fondamentales et applications*. Paris. Lavoisier, 2010.
- [10] Briggs E, Boulton A, Peter A. *Brewing Science and practice*. CRC Press. 2000.
- [11] Bauer J, Badoud R, Lölliger J. *Sciences et technologie des aliments : principes de chimie*, 2010.