FOOD UPCYCLING : BREAD-BEER LOOP

INTERVENANTS :

Le lycée des métiers Heinlex de Saint-Nazaire :

- Etudiants (8 scolaires et 4 apprentis) de première année de BTS Pilotage de Procédés
- Professeur référent : Mme Mauguet- Ferreira Marie-Céline (Professeur PLP en Génie chimique, Docteur en Génie Chimique-Génie des Procédés)
- Professeur associé : Mr Ferreira Carlos (Professeur PLP en Math/Sciences, Docteur en Science des Matériaux)

Mme Sybille AILLET, Responsable de la brasserie artisanale VESTIBULE à Mesquer (44)

- Personne ressource sur le procédé de fabrication de bière

Mr Emeric Bossis, responsable de la start up RE BON (start up antigaspillage alimentaire) à Moutoux (39)

- Personne ressource sur le procédé de fabrication de la farine de drêche

Concours C Genial

SOMMAIRE

Résumé p 3
Remerciements p 3
Introduction p 4
Problématique p 5
Présentation de l'équipe p 5
Organisation du projet p 6
Objectifs du projet en lien avec les savoirs de compétences du référentiel p 6
Démarche expérimentale : p 7
- Recherches bibliographiques p 8
  - Pasteur et la fermentation alcoolique p 8
  - Hydrolyse de l'amidon p 9
  - Les matières premières p 10
    - Le pain rassis p 11
    - Le malt p 11
    - Le houblon p 11
  - Le co-produit : les drêches p 13
- Mise au point des procédés p 13
  - Fabrication de la bière p 13
  - Fabrication de la farine de drêche p 20
  - Quantification énergétique du procédé p 23

Conclusion p 25
Matériel acheté avec la subvention C'Génial

Concours C Genial

RESUME

L'un des enjeux actuels de l'industrie agro-alimentaire réside dans la production responsable. Elle tend ainsi à minimiser les consommations d'énergie et d'eau mais également les quantités de produits non transformés en optimisant les procédés de fabrication. Notre projet BREAD BEER LOOP s'inscrit totalement dans cette démarche de revalorisation de produits et co-produits alimentaires appelée « Food upcycling ». Son objectif principal se fonde sur la mise au point et l'optimisation d'un procédé « zéro déchet » de fabrication de bière en utilisant du pain rassis comme une des matières premières. Le principal co-produit formé (la drêche) est récupéré et transformé en farine pour pouvoir être réutilisé en pâtisserie. En réduisant le gaspillage et en préservant les ressources, ce projet nous permet de proposer une idée originale contribuant, à notre échelle, à la préservation de la planète et s'inscrit dans la démarche de développement durable et de chimie verte engagée au Lycée Heinlex.

REMERCIEMENTS :

Nous voudrions remercier le comité du Concours C'Génial de nous avoir alloué une subvention qui nous a permis d'acheter le kit brasserie pour mettre en place nos différentes expériences. Nous remercions également nos deux partenaires industriels pour nous avoir guidé dans ce projet.

Concours C'Genial

Lien vidéo Youtube :
https://youtu.be/JRV9vwugW6Q

I-INTRODUCTION

Etudiants en première année de BTS Pilotage de procédés, notre spécialité est le génie chimique/génie des procédés qui se fonde sur la transformation de la matière et de l'énergie. Notre diplôme nous forme en partie à la compréhension, à la mise en oeuvre de procédés de fabrication ainsi qu'à leur optimisation en terme d'amélioration continue.

Sensibilisés à leurs impacts sur l'environnement et sur la santé humaine, nous avons voulu participé au concours C'Génial en proposant un procédé de fabrication alliant la revalorisation de produits alimentaires déclassés pour l'alimentation humaine, le « zero déchet » et une faible consommation en énergie.

Nous sommes des jeunes de 18 ans, engagés et soucieux de trouver des solutions pour protéger notre planète. C'est pourquoi nous avons mené avant toute chose, une réflexion sur les « déchets » qui existaient au sein de notre établissement. Ceux issus de la restauration scolaire (huile de friture et pain non consommé) nous ont semblé interessants comme point de départ dans notre réflexion.

Comme certains d'entre nous avaient pour objectif de devenir brasseur après leur formation, l'idée de mettre au point un procédé de fabrication de bière en utilisant comme matière première une partie de ce pain perdu, nous a semblé une bonne idée. Après quelques recherches initiales sur internet, nous avons observé que le principal co-produit de ce procédé (la drêche) était la plupart du temps donné à des agriculteurs pour l'alimentation animale.

-« Et si nous en refaisions de la farine pour faire des gâteaux ou du pain ? » ont proposé les filles (gourmandes !). L'idée était bonne et nous l'avons gardée car elle initiait une boucle vertueuse . Le projet BREAD BEER LOOP était né et nous a ouvert au monde du Food Upcycling que nous ne connaissions pas.

Concours C'Genial

II-PROBLEMATIQUE

Comment lutter contre le gaspillage alimentaire en revalorisant des déchets alimentaires en tant que matière première dans un procédé de fabrication « zero déchet » ?

Le projet est innovant car il met le génie des procédés au service d'une cause sociétale, en luttant contre le gapillage alimentaire et en préservant les ressources. Son axe principal est la revalorisation de produits alimentaires déclassés et des co-produits issus du procédé pour une nouvelle utilisation dans l'alimentation humaine. Dans notre cas, le projet s'est traduit par l'utilisation de pain rassis comme matière première dans un procédé de fabrication de bière et la récupération du sous-produit (moût épuisé) pour le transformer en farine alimentaire réutilisable en panification ou pâtisserie.

III- PRESENTATION DE L'EQUIPE

en bas de gauche à droite : Raphaël, Maël (apprenti), Kylian, Evan, Alexandre (apprenti), Mathis (apprenti), Noah

Beaucoup d'activités ont été menées par l'ensemble du groupe mais pour structurer le projet et le faire avancer, l'équipe s'est scindée en 3 sous-groupes.

- Zoé, Agate, Lou-Ann, Andreia se sont focalisées sur la problématique des drèches,
- Raphaël, Maël (apprenti), Kylian et Evan ont travaillé sur la mise au point et l'amélioration du procédé de fabrication de bière
- Alexandre (apprenti), Mathis (apprenti) et Noah ont pris en charge la mise au point des différentes analyses et ont assuré la communication du projet.

IV- ORGANISATION DU PROJET :

Lieu :laboratoire du lycée Heinlex et salle dédiée avec accès permanent à des ordinateurs.
Durée :3h/semaine + co-enseignement (quelques séances)
Planification :

- Recherche d'un projet de développement durable (2 semaines).
- Travail sur la découverte de PASTEUR (Production d'affiche)+ Recueil de pain
- Travail sur la fermentation/les micro-organismes et les macromolécules (co-enseignement) (TP/TD)
- Recherche sur le procédé de fabrication de la bière et transformation des drêches + contact avec la brasserie Vestibule
- Réalisation du procédé au laboratoire avec un kit brasserie + mise au point de différents tests contôle qualité
- Mise au point et essai du procédé à partir du pain
- Récupération des drêches et mise au point du procédés de séchage + Test sur la farine + contact avec Re-Bon
- Réalisation de sablés

V- OBJECTIFS DU PROJET EN LIEN AVEC LES SAVOIRS ET COMPETENCES DU REFERENTIEL

✓ SAVOIRS

-Pasteur et la fermentation alcoolique
-Fermentation / Levures/ Hydrolyse
-Etude d'un procede typique de fabrication de la biere
-Mise au point du nouveau procede avec ajout de pain -mise au point d'un procede de broyage des drêches
-Caracterisation de la biere et de la farine (tests)
- Quantification energetique
- Developpement durable et chimie verte

✓ COMPETENCES DEVELOPPEES

-Travail en groupe
- Rédaction de protocoles
-Développement de l'esprit critique par rapport aux moyens employés ou aux solutions envisagées

Concours C Genial

- Gestion de production et gestion de projet

-Prise en compte de l'aspect développement durable et chimie verte dans l'élaboration des procédés

-Edition d'affiches étapes par étape et exposition au sein du lycée

-Rédaction d'un rapport et réalisation d'une vidéo présentant le projet

-Présentation du travail devant un jury

VI- DEMARCHE EXPERIMENTALE

1- RECHERCHEs BIBLIOGRAPHIQUEs

Ces recherches bibliographiques nous ont permis de comprendre les différentes étapes du procédé de fabrication de la bière. Elles nous ont également éclairés sur les choix à faire en terme de conditions opératoires, matériels, analyses afin de mettre au point notre protocole. Ces remarques sont écrites en violet.

1-1 PASTEUR ET LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

Pour présenter notre travail sur cette partie nous insérons l'affiche réalisée en bilan de cette séquence

Concours C Genial

AXE 1 : HISTOIRE DES SCIENCES ET TECHNIQUES

LOUIS PASTEUR ET LA FERMENTATION

CHIMISTE VISIONNAIRE DU 19e SIECLE

Louis Pasteur découvre que la **fermentation** ne peut avoir lieu qu'en **présence de micro-organismes**, qui dégradent le sucre pour pouvoir produire l'énergie nécessaire à leur multiplication.

LES MICRO-ORGANISMES

Les micro-organismes sont **des êtres vivants très petits**, qu'on observe au microscope.

Il existe **3 familles**:

Les bactéries

Les levures

Les moisissures

LA FERMENTATION ALCOOLIQUE

La **fermentation alcoolique** est réalisée par des levures. Pour vivre, elles **transforment le sucre en énergie et en déchets** (CO_2 et alcool).

Sucre $\xrightarrow{\text{levures}}$ Alcool + Gaz carbonique + Energie

$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{levures}} 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$ + Energie

BICENTENAIRE LOUIS PASTEUR 1822-2022
WWW.TERREDELOUISPASTEUR.FR

Un grand merci à tous ceux qui nous ont aidé et encouragé dans notre projet.

18TSPP

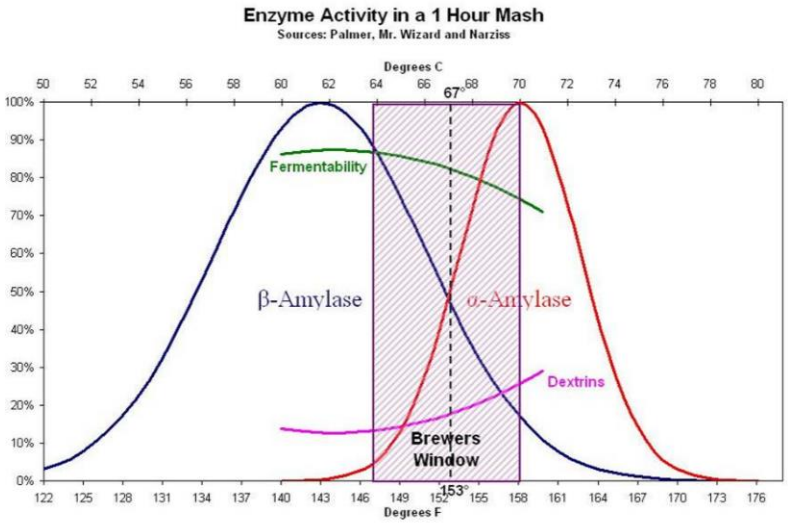
1-2 L' HYDROLYSE DE L'AMIDON

L'amidon est une macromolécule, polymère de glucose, utilisée comme molécule de réserve chez les végétaux. Il permet, après hydrolyse, l'approvisionnement des cellules en glucose. Cette hydrolyse est progressive et libère des molécules de plus en plus courtes pour aboutir à du maltose et un peu de glucose qui font partie des sucre fermentiscibles.

Cette hydrolyse se fait au moyen d'enzymes appelées les amylases (béta et alpha), qui catalysent la réaction. Elle consiste à la coupure d'une laison covalente par l'action d'une molécule d'eau.

La beta amylase décompose l'amidon en brisant la chaîne moléculaire et les dextrines par leurs extrémités, créant ainsi du dextrose et du maltose, des sucres fermentescibles. L'alpha amylase décompose les chaînes d'amidon par le centre, la beta amylase ne pouvant s'attaquer qu'à leurs extrémités.

L' activité des amylases dépend du PH et de la température commes le montre le graphique et le tableau ci-dessous.



	pH optimale	Température optimale	Température d'inactivation
A amylase	5,3 – 5,8	70° – 75°	75° – 80°
B amylase	5,2 – 5,6	63° – 65°	68° – 70°
Protéinase	5,4	45° - 50°	/

A/ LE PAIN RASSIS

Le pain est un aliment composé de farine de blé tendre panifiable, d'eau, de sel (Chlorure de sodium), de levures et éventuellement de levain (bactéries lactiques). La farine de blé tendre est un féculent contenant une grande quantité d'amidon (56 % en masse sèche relative), mais également une grande quantité de protéines (8 % le gluten essentiellement). Lors de sa cuisson à 250 °C se forme une croûte d'autant plus colorée et aromatique que l'atmosphère est humide dans le four en fin de cuisson. A la différence de la mie dont la composition est quasi identique à celle de la pâte crue, la croûte contient de nouvelles substances très complexes qui résultent de la condensation chimique à haute température entre les groupements hydroxyle (OH) et surtout aldéhyde des sucres (simples comme le maltose, et composé comme les dérivés de l'amidon) et les groupement aminés des protéines (gluten). Ces réactions dites de Maillard forment des composés qui sont malheureusement toxiques pour les microorganismes telle que la levure permettant la fermentation.

D'après nos recherches bibliographiques, des brasseurs produisent déjà de la bière à partir de pain. Notre objectif au départ était d'utiliser la pain comme unique matière première à la fabrication de la bière. Mais nous avons vite abandonné cette idée. Non seulement le pain blanc que nous récupérons possède une croute qui perturbe la fermentation comme indiqué ci-dessus, mais contrairement au malt, il ne possède pas d'amylases, nécessaires au brassage. Dans toutes les recherches que nous avons faites, la proportion maximum pain/malt est de 30 %, nous avons donc décidé d'utiliser cette proportion dans la mise au point de notre procédé.

B/ LE MALT

Le malt est une céréale germée et séchée lors du maltage, elle contient en moyenne 70 à 80% d'amidon. De l'orge est généralement utilisé pour le maltage mais il est tout à fait possible de malter d'autres céréales. L'amidon constitue les réserves énergétiques des grains d'orge.

Le maltage peut être résumé en trois étapes : le trempage, la germination et le touraillage.

Le grain est mis à tremper : son taux d'humidité augmente et il est prêt pour la germination. La germination provoque des changements dans la biochimie du grain, modifiant sa structure et sa composition. C'est lors de cette étape que sont créés les enzymes qui permettront de dégrader l'amidon lors du brassage. Le but du touraillage est de sécher le grain germé en le chauffant : la germination est stoppée, la couleur est les arômes du malt se développent.

Concours C Genial

Il existe différentes variétés de malt qui vont du malt pale (séché à faible température) jusqu'au malt torréfié (séché à très haute température). Le malt utilisé en grande proportion reste toujours le malt pale car son activité enzymatique est plus importante. Cette activité est essentielle dans la fabrication de la bière car elle permet de dégrader l'amidon en sucres de plus petite taille qui seront transformés par la suite lors de la fermentation en alcool et gaz carbonique. Le malt torréfié permet le développement des saveurs.

Dans la mise au point de notre procédé de fabrication de bière à partir de pain, nous avons choisi de remplacer la malt brun à hauteur de 30 % par du pain rassis, tout en gardant la quantité de malt pale afin de s'assurer d'une quantité suffisante d'amylase lors du brassage.

C/ LE HOUBLON

C'est une liane aromatique appartenant à la famille des Cannabinacées, tout comme le chanvre. C'est une plante grimpante à croissance rapide qui peut atteindre une hauteur de 10 m pendant sa première année de vie. Connue pour ses propriétés antiseptiques et soporifiques, ces fleurs sont également très prisées par les brasseurs de bière. Le rôle du houblon dans le brassage intervient au niveau de l'aromatisation. Le houblon pourrait être comparé au poivre ou aux épices en cuisine. Quelques grammes de houblon ont une forte influence sur le goût de la bière. Il permet de donner une amertume à la bière. En isomérisant les acides alpha qu'il contient, le houblon apporte une amertume qui permet de balancer la sucrosité des céréales.
Il offre également ses parfums à la bière. A la façon d'un thé ou d'un café, le houblon infusé libère sa lupuline, une poudre jaune pleine d'huiles à l'origine de saveurs allant de la pèche, le fruit de la passion, le litchi à la menthe, le pamplemousse, la paille, le citron ou la noix de coco.

Mais si le houblon s'est imposé dans la bière, c'est grâce à ses propriétés antiseptiques. En effet, la bière était autrefois aromatisée avec plein de plantes différentes : la lavande, la bruyère,le romarin... Finalement, c'est le houblon qui est devenu le meilleur ami du malt car il protège la bière des infections.

Concours C Genial

1-4 LE CO-PRODUIT DU PROCEDE DE FABRICATION: LES DRÊCHES

Les drêches sont le co-produit principal dans la fabrication de bière. Elles sont récupérées après l'étape de brassage et correspondent généralement au malt de céréales épuisé en sucre. Dans notre cas, ces drêches sont un mélange de malt d'orge, de blé et de pain.

Les drêches ont une réelle valeur nutritionnelle pour l'alimentation humaine : Elles sont riches en minéraux (calcium, zinc, magnésium, fer et phosphore), en fibres (30%) en protéines (20%) et sont pauvres en sucres.

La drêche peut également servir a nourri le bétail. Pour les brasseries en milieu urbain qui se font de plus en plus nombreuses, cette option n'est plus aussi réaliste à cause du manque de proximité des zones agricoles. C'est pourquoi, la drêche finit souvent dans les sites d'enfouissement. Or, sa décomposition entraîne la formation de gaz comme le méthane, un puissant gaz à effet de serre. En récupérant la drêche, on évite de faire du gaspillage alimentaire et on réduit la production de gaz à effet de serre.

Cependant, la drêche est un produit très sensible au développement de moisissures car elle contient 80% d'humidité. Elle doit donc être récupérée immédiatement et séchée.

Nos recherches nous ont amenés à répertorier différentes températures de séchage. Certains les sèchent à 150°C, 100°C, 80°C……C'est notre échange avec l'entreprise Re-Bond, qui nous a éclairé en nous faisant part d'un problème de santé humaine : le teneur en acrylamide de notre farine de drêche, ce qui nous a aiguillé sur la température à choisir pour faire sécher nos drêches.

L'acrylamide est une substance qui se forme au moment de la cuisson (ou séchage) à haute température (> 100°C) de certains aliments riches en asparagine (un acide aminé) et en sucres réducteurs (glucose, amidon), tels que les céréales, le pain, les pommes de terre et le café. Cette molécule est reconnue comme cancérogène et neurotoxique pour l'Homme. Elle fait ainsi partie de ce que l'on appelle les produits néoformés, absents de l'aliment initial, mais qui se forment au cours de sa préparation. Le pain et le malt torréfié sont des produits reconnus pour leur présence en acrylamide. Etant donné qu'ils sont présents dans nos drêches, nous avons choisi d'utiliser un procédé de séchage avec une température inférieure à 100°C pour ne pas en créer d'autres durant cette étape.

Concours C Genial

2- MISE AU POINT DU PROCEDE

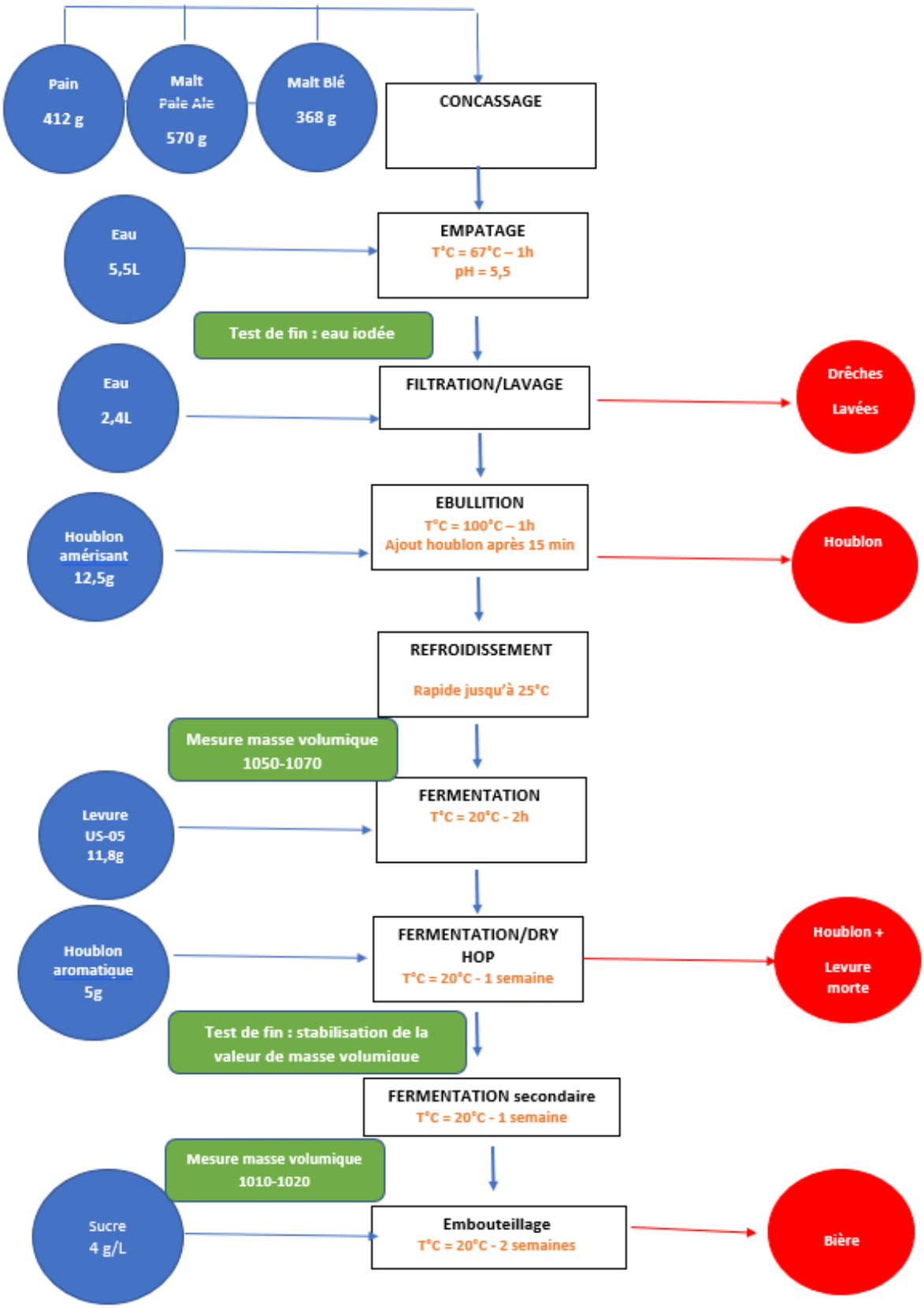
2.1 FABRICATION DE LA BIERE :

Les principales étapes de fabrication de la bière sont résumées dans le tableau suivant. Nous nous sommes appuyés sur l'expérience de la brasserie Vestibule pour les comprendre et les maîtriser ainsi que sur l'expérience de trois d'entre-nous (Raphael, Kyllian et Mael) qui travaillent ou ont travaillé dans ce milieu.

Stade de fabrication	Produit initial	Matériel	Fonctions et transformation	Produit final
Brassage	Malt d'orge 70% + Pain 30%	Concasseur	Concassage du malt et du pain	Farine de malt et de pain
	Eau + Malt	Cuve de brassage	Extraction et saccharification de l'amidon en sucre fermentescible (brassage)	Moût primaire
	Moût primaire	Passoir	Filtration pour séparer le moût, des drêches	Drêches épuisées + Moût
	Moût + houblon	Cuve de brassage	Cuisson du moût et extraction des principe amers du houblon (ébullition)	Moût houblonné
	Moût houblonné	Echangeur a plaque	Refroidissement rapide du moût pour éviter le développement microbiens responsable des faux goûts	Moût refroidi
Fermentation	Moût + Levure active	Fermenteur	Fermentation primaire (la levure transforme le sucre en alcool + gaz carbonique)	Bière fermentée
Garde	Bière fermentée	Fermenteur	Fermentation secondaire (Dépôt de levure et saturation en gaz carbonique	Bière saturée et trouble
Filtration	Bière saturée	Filtre	Séparation des levure (Clarification)	Bière limpide et brillante
Mise en bouteille	Bière filtrée + sucre	Bouteilles + Bouchons	Mise en bouteille et fermeture des	Bière en bouteille

Le schéma de principe suivant représente le procédé que nous avons mis au point et suivi durant tout ce projet en présentant les conditions opératoires (en orange) et les tests effectués pour

chaque étape (en vert). Les masses des matières engagées, les conditions opératoires choisies et les tests effectués sont expliqués ensuite, afin de justifier notre démarche.



Préparation des matières premières.

Pour calculer les différentes quantités de matières premières et d'eau à mettre en oeuvre, nous nous sommes appuyés sur une démarche de calcul proposée sur internet par différents brasseurs et confirmée par la brasserie vestibule.

- **Calcul de la quantité de malt et de pain à mettre en œuvre :**

$$masse_{malt} = \frac{volume\ bière\ souhaité\ \times degré\ d'alcool\ envisagé}{20}$$

Avec :

Masse de malt en kg

Volume de bière souhaité en L

degré d'alcool en ° d'alcool

Dans notre cas, nous choisissons de fabriquer 5 l de bière à 5.5% d'alcool

$$masse_{totale\ malt} = \frac{5 \times 5.5}{20} = 1{,}375\ Kg$$

On considérant que le pain est du malt. 30% de cette masse totale doit être du pain.

$$masse_{pain} = 1{,}375\ \times 0{,}3 = 0{,}412\ Kg$$

$$masse_{malt} = 1{,}375\ - 0{,}412\ = 0{,}963\ Kg$$

Nous avons décidé de répartir cette masse totale de malt à 60% en malt blond qui possède les amylases et les 40% en malt foncé qui participe au goût de la bière.

Le concassage

Le concassage consiste à fractionner l'écorce du malt de céréale afin de rendre accessible l'amidon lors de l'empatage .

Zoé concasse le malt grâce à un moulin à céréale en fonte étamée. La finesse de la farine est ajustée en serrant ou desserrant la vis de réglage. Le malt concassé est récupéré dans un plateau en inox placé en dessous.

L'empatage (1ere étape du brassage)

Durant cette étape, l'amidon est solubilisé et hydrolysé par l'action symultanée des l'alpha et des beta amylases, présentes dans le malt. Le palier de saccharification où se forment les sucres fermentescibles par hydrolyse enzymatique de l'amidon est atteint pour une gamme de température compris entre 64 et 70°C (cf grahisme p 9). La plupart des brasseurs se positionnent à 67°C où les deux enzymes travaillent à 50% d'efficacité. Nous avons respecté cette température dans notre procédé.

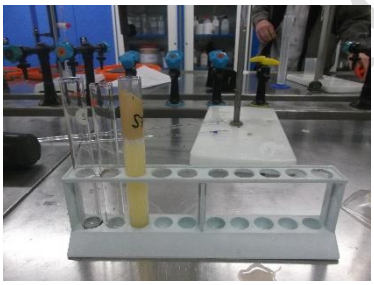
Lors de cette étape nous devons également calculer la quantité d'eau à introduire pour réaliser la solubilisation de l'amidon.

$$masse_{eau\ empatage} = masse\ totale_{malt+pain} \times 4 = 1{,}375 \times 4 = 5{,}5\ Kg\ (= 5{,}5L)$$

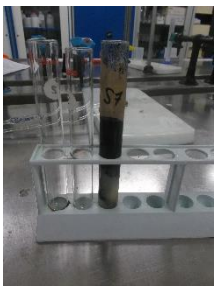
La durée de 1h d'empatage est une durée moyenne à respecter. La brasserie Vestibule nous a conseillé de réaliser le test à l'eau iodée au bout d'une heure, afin de vérifier que tout l'amidon a été transformé sous l'action des enzymes (test présenté ci-dessous). Si le test est concluant, nous passons à l'étape suivante. Si ce n'est pas le cas, nous prologeons cette étape et réitérons un test 15 minutes après.

Test de fin d'empatage

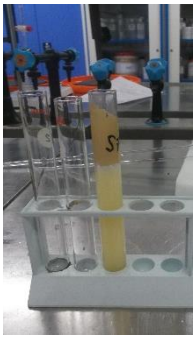
Après une heure d'empatage, un échantillon de moût est prélevé, refroidi à température ambiante et quelques gouttes d'eau iodée sont ajoutées dedans. En présence d'amidon, une couleur bleue apparaît.



+ eau iodée



La couleur bleue montre la présence d'amidon, l'étape doit être poursuivie



La couleur reste jaune, tout l'amidon a été transformé en sucres fermentiscibles

cours C Genial

<u>La filtration /lavage</u> (2eme étape du brassage):

Cette étape permet de séparer la solution « sucrée » (le moût), des drêches (malt et pain épuisés en amidon). Le lavage des drêches avec de l'eau permet de récupérer un maximum de sucres fermenticibles. A cette étape, les drêches sont immédiatement récupérées pour être transformées, et éviter un éventuel développement bactérien.

Pour réaliser cette étape nous devons calculer la quantité d'eau nécessaire au lavage des drêches.

$$masse_{eau\ lavage} = (\text{quantité de bière voulue } \times 1{,}25) - \left(masse_{eau\ empatage} \times 0{,}7\right)$$
$$= (5 \times 1{,}25) - (5{,}5 \times 0{,}7) = 2{,}4\ Kg$$

<u>L'ebullition (3eme étape du brassage</u>)

Le moût est porté à une température de 100°C durant 1h et est houblonné, afin d'aseptiser la biere et de créer un équilibre entre la saveur sucrée de moût et l'amertume du houblon. Le houblon sera filtré à la fin de cette étape.

D'après les coneils de la brasserie Vestibule, pour 20 litre de bière , il faut entre 50 et 100g de houblon amer et 20 g de houblon aromatique.
Nous avons choisi de moyenner la valeur de houblon amer soit 75g/20 litres.
Dans notre cas, la masse de houblon amérisant sera de 12,5g et 5 g de houblon aormatique.

<u>Le refroidissement.</u>

Le môut doit être refroidi avant d'y ajouter les levures reponsables de la fermentation, car elles sont actives entre 15 et 24°C selon les caractéristiques données par le fournisseurs. Elles n'ont pas besoin d'être préalablement activées.
Ce refroidissement doit être très rapide. En effet, si nous laissons le moût se refroidir naturellement à l'air ambiant, des bactéries responsables des faux gôuts auraient le temps de se développer entre 63° et 20°C. Pour éviter cela, nous faisons passer le môut dans un échangeur à plaques. En une dizaine de minutes, il est à la bonne température (20°C).

Concours C Genial

- L'empatage et l'ébullition sont réalisés dans une cuve de brassage électrique qui permet de régler la puissance de chauffe pour ajuster les températures à 67°C et à 100°C.

- Le refroidissement s'effectue en branchant un échangeur à plaques en sortie de la cuve. Le moût refroidi est récupéré dans un bidon alimentaire.

La masse volumique du moût refroidi est mesurée à cette étape, à l'aide de la prise d'un échantillon et d'un densimètre. Cette mesure nous permet d'en déduire la densité et d'estimer le % d'alcool final de la bière à partir de la transformation de l'équation suivante.

Densité initiale moût = (°P/ (258,6 – 0,880 x °P) + 1

Avec

°P : degré Plato qui représente le pourcentage de sucres dans le moût (1° P = 1 g de sucre dans 100g de moût)

Dans notre cas, la masse volumique mesurée est de 1046, soit une densité de 1.046.

°P = 11,43°

Il est alors facile de déterminer le taux d'alcool final à partir de l'échelle Plato, car 1% d'alcool vol. est obtenu à partir de 2°Plato. Il faut cependant rajouter environ 0,5% d'alcool vol. si on tient compte de l'alcool qui sera produit lors de la refermentation en bouteille.

$$\%_{alcool} = \frac{°P}{2} + 0{,}5 = 6{,}21\%$$

Remarque : nous avions choisi de réaliser une bière à 5,5% d'alcool. D'après la mesure de la masse volumique, il semblerait qu'elle soit légèrement plus alcoolisée. Nous sommes en train

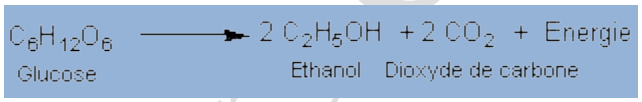
de mettre au point un protocole pour permettre la dérermination du degré d'alcool par chromatographie en phase gazeuse. Nous auront donc un résultat très précis de notre degré d'alcool en fin de production avant embouteillage.

<u>La fermentation/Dry Hop :</u>

La fermentation nécessite l'adjonction dans de levure au môut, qui transforme le glucose en alcool et en gaz carbonique. Nous avons sélectionnée une levure sèche, la safale US-05 de fermentis qui est active entre 15 et 24°C. Après 2 heures de fermentation, est ajouté un sac rempli de houblon dans le fermenteur. Ce houblon va diffuser durant toute la fermentation et donner le goût de la bière.

La fermentation a lieu durant plusieurs jours à 20°C, mais l'essentiel de la fermentation se fait durant les 48 premières heures. Lorsque la levure a épuisé le glucose (maltose et sucres simples) elle commence à sédimenter dans le fond du fermenteur.

Dans l'unité de fermentation que nous avons pu acheter avec la subvention C'Génial, la présence d'un bulleur nous permet de visualiser le début et la fin de la fermentation grâce au dégagement de CO_2 qui se produit lors de la réaction de fermentation :



La proportion de levure à ajouter à notre moût est indiqué sur la description de la levure.

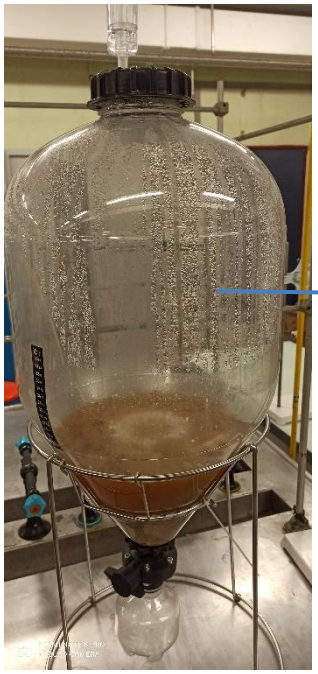
Nous pensions déterminer la fin de la fermentation par observation de l'arrêt du dégagement de CO_2 au sein de notre fermenteur mais la brasserie vestibule nous a conseillé de réaliser le suivi de la masse volumique du moût jour après jour nous permet de contrôler la fermentation. Lorsque cette valeur est stable, la fermentation primaire est finie.

Le suivi de cette mesure nous permet également durant l'étape de fermentation de savoir quand la fermentation est considérée comme finie. La masse volumique est comprise avant fermentation aux alentours de 1045 et elle se stabilise lors de la fermentation aux alentours de 1015.

<u>La fermentation secondaire :</u>

Durant cette étape le hounlon est séparer de la bière, et la fermentation se continue durant une semaine. Les levures mortes décantes au font du fermenteur et sont éliminées au fur et à mesure par soutirage. La masse volumique de la bière est prise avant embouteillage pour évaluer une le % d'alcool réel.

Concours C'Genial



Toutes les étapes de fermentation se font dans un fermenteur conique en PET qui nous peremet de voir ce qui se passe dans la cuve de fermentation.
La levure peut être facilement enlevée grâce au ballon de collecte située au fond du fermenteur. Le processus de clarafication peut ainsi commencer Rapidement sans qu'il soit nécessaire de transvaser la bière dans une autre cuve . Cela réduit la contamination.

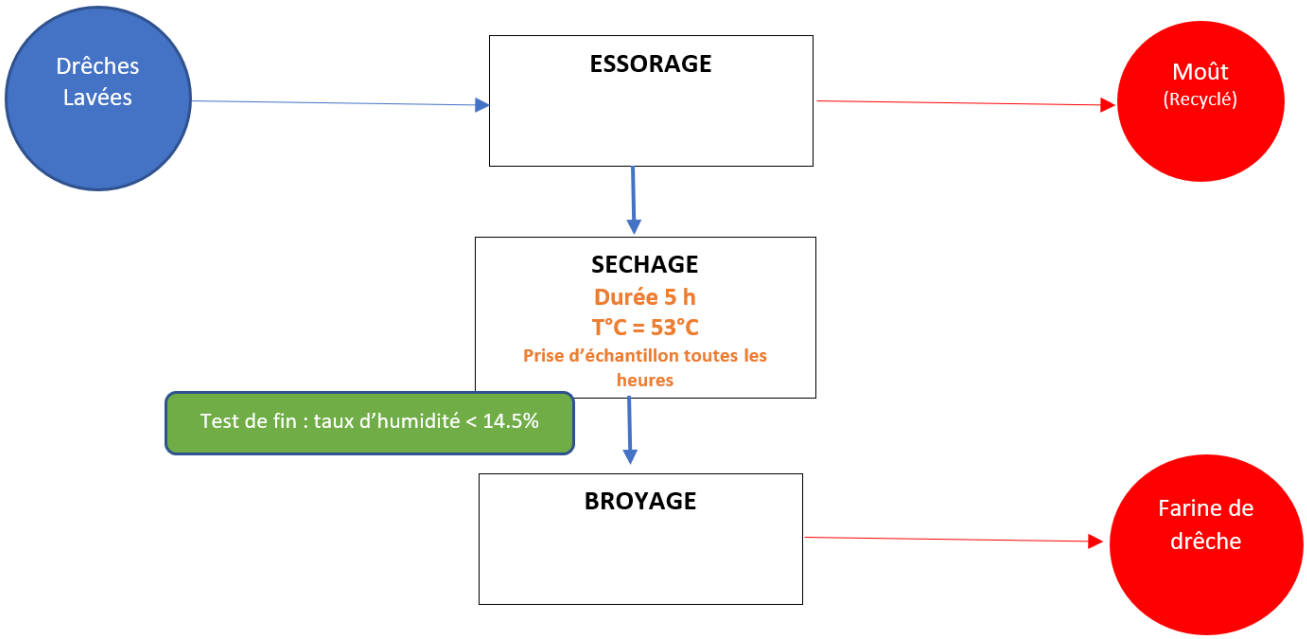
L'embouteillage/Garde: Juste avant l'embouteillage, du sucre est rajouté à la bière (4g par litre de bière) pour relancer une refermentation grâce aux dernières levures vivantes. Ca permettra la production de bulles de CO_2 dans la bière embouteillée avant consommation.

2.2 FABRICATION DE LA FARINE DE DRÊCHE :

Pour élaborer notre farine de drêches, nous nous sommes inspirés de ce que nous avons trouvé sur internet et de nos observations lors de la mise en œuvre du procédé de fabrication de bière :

Les différentes étapes sont présentées dans le schéma de principe ci-dessous.

Concours C Ge



Les drêches humides sont un produit très sensible à la prolifération microbienne. Nous en avons fait l'expérience. Comme le montre la photo suivante qui représente des drêches humides laissées dans un seau pendant 24h, on peut observer des moisissures en surface.

Les drêches que nous récupérons sont très humides (taux d'humidité mesuré = 80%). Nous avons donc pensé à les essorer en les pressant dans un tissu filtrant de qualité alimentaire (étamine), le jus récupéré est réintoduit au niveau de l'ébullition.

Le taux d'humidité des drêches préssées est alors aux alentours de 50%

Nous les disposons alors en fines épaisseurs sur des plateaux d' un sécheur alimentaire que nous avons acheté. Celui-ci peut monter jusqu'à 70°C dans sa fiche technique, mais en mesurant

la température sur les différents étages de celui-ci, nous obtenons en moyenne une température de 53°C.

Photo de notre sécheur d'aliments avec ses 5 plateaux indépendants.

Séchées durant 5 heures à une température de 53°C, les drêches présentent un taux d'humidité en dessous des 5% permettant leur conservation et empêchant la prolifération de microorganismes et des mycotoxines de stockage. Dans la littérature, le taux d'humidité minimal est 15% pour éviter une contamination. Nous sommes donc bien en dessous. La nécessité de sécher 5 h, n'est peut-êter pas nécessaire. Ce paramètre doit être ajuster lors de la prochaine expérience.

Nous sommes équipés d'une thermobalance qui nous donne en quelques minutes le taux d'humidité de notre échantillon. Nous pouvons ainsi suivre l'évolution de notre étape de séchage

Nous ne pouvons pas sécher l'ensemble des drêches en une seule fois, en raison de la capacité de notre sécheur. Les drêches éssorées et non séchées sont immédiatement congélées pour être transformées plus tard.

Cours C Genial

Les photos suivantes vous présentent l'état des drêches séchées avant et après broyage.

Avant broyage

Après broyage

Nous avons contacter un laboratoire (meunerie Paulic) qui fait des prestations de service dans l'analyse des farines. Nous attendons leur retour afin de savoir s'il serait possible de faire des analyses pour caractériser nos farines (gluten, elasticité , minéralité..) afin de connaître son « potentiel » en panification.

En ce qui nous conerne, nous avons utilisé nos drêches pour fabriquer des sablés aux pépites de chocolat. (150g de farine de drêche pour 230 g de farine de blé). Le résultat est très bon. La drêche ramène un petit goût de noisette et leur texture ressemble des des gateaux « petit déjeuner » vendus dans le commerce.

Sablés à la farine de drêches et aux pépites de chocolats noir. Fabriqués le 20/03/2023

2.3 QUANTIFICATION DE LA CONSOMMATION ENERGETIQUE DE NOTRE PROCEDE.

Consommation électrique du brassage (empatage et ébullition) = 2,4 kWh

Consommation électrique du séchage : 1,750 kWh

Consommation totale : 4,15kWh

Si on ramène cette consommation électrique à la quantité de bière fabriquée (5 L) : 0,83 kW/L

Le prix de l'électricité en France au 20 mars 2023 est de 0.2062€ / kWh TTC au tarif reglementé
Le coût énergétique revient donc à 0,171 Eur /Litre de bière

- Coût de production (coût énergie + prix des matières premières utilisées) pour réaliser 5 L avant embouteillage

« Matières » engagées	Coût
Pain	0 Eur
Malt	3,1 Eur
Eau	0,0187 Eur
Levure	3,20 Eur
Houblon	0,98 Eur
Electricité	0.855 Eur
TOTAL	**8,154 Eur**

- Coût de production d'1 litre de bière avant embouteillage = 8,16/5 = 1,63 Eur

Si on reporte cette consommation énergétique au coût de production avant embouteillage, elle représente :

(0,171× 100)/1,63 = 10,5 % du coût de production.

Dans une démarche de dévelopement durable plus poussée, cette consommation énergétique pourrait être améliorée en optimisant le séchage des drêches. L'appareil utilisé est un sécheur alimentaire bas de gamme qui n'est pas forcément très performant. Le pressage des drêches pourrait être également repensé pour extraire encore plus de moût et le temps de séchage optimisé pour atteindre un taux d'humidité inférieur à 15%.

On peut cependant remarqué, que la revalorisation du pain dans ce procédé permet de faire un gain de 0,25 Eur /litre de bière produit. Cette démarche de Food upcycling est donc non

Concours C Genial

seulement avantageuse pour la préservation de la planète mais également avantageuse commercialement puisqu'elle baisse le coût de production.

VII CONCLUSION

Ce projet n'est pas complètement aboutit à l'heure actuelle mais il est bien avancé.

Nous avons réussi à mettre au point un procédé de fabrication de bière en revalorisant du pain rassis par son utilisation comme matière première lors du brassage.

Nous avons également mis au point un procédé qui permet la transformation de la drêche (co-produit principal) en farine que nous avons réutilisé en pâtisserie.

Ce procédé n'est cependant pas « zéro déchets » comme nous l'avions immaginé au début. Il faudrait s'interesser à la récupération et au traitement des eaux de lavage de la cuve et du fermenteur, pour réellement faire le tour complet du projet. L'autre déchet (houblon et levure morte) peuvent partir au compostage.

Il faudrait également optimiser l'étape de séchage, pour qu'elle soit plus rapide, plus efficace et donc moins gourmande en énergie.

Ce projet a été retenu et sera présenté à la finale régionale « faîtes de la science » à Angers le 12 Avril. Nous avons également prévu en fin d'année une exposition au sein du lycée pour le présenter aux professeurs et lycéens et les sensibiliser au Food Upcycling.

La mise au point du protocole à partir de recherches bibiographiques et avec l'aide de nos deux partenaires nous a permis d'acquérir des connaissances d'une façon différente des TP habituels. Nous avons dû travailler en équipe, analyser nos résultats et chercher des solutions.

Nous voulions vous présenter un projet original mettant le génie des procédés au service d'une cause sociétale, par la revalorisation du pain rassis comme matière première d'un procédé. Nous espérons avoir relevé le défi !

MATERIEL ACHETE avec la subvention C'Génial

Kit de brassage

- Cuve de brassage en inox électrique de 30 l avec thermostat et robinet
- Sachets pour bouillir le houblon
- Seau de brassage avec barboteur et robinet
- Échangeur à plaques soudé avec 2 x 1 m tuyau en silicone et 2 x 1,5 m tuyau en pvc 10/15 renforcé
- Thermomètre de brassage
- Agitateur
- Densimètre et éprouvette
- Tige remplissage

Concours C'Genial