



Haute Ecole Lucia de Brouckère
Catégorie technique long
Institut Meurice
Institut Supérieur Industriel
Anderlecht

Aptitude des orges brassicoles wallonnes au maltage et au brassage pour leur valorisation en circuit court

Mémoire présenté par Corto DE SMEDT en vue de l'obtention du diplôme de
Master en sciences de l'ingénieur industriel
Section biochimie, Industries biochimiques et brassicole

Directeur interne : PIETERCELIE Anne (Institut Meurice)
Directeur externe : GODIN Bruno (CRA-W)

Septembre 2018



Haute Ecole Lucia de Brouckère
Catégorie technique long
Institut Meurice
Institut Supérieur Industriel
Anderlecht

Aptitude des orges brassicoles wallonnes au maltage et au brassage pour leur valorisation en circuit court

Mémoire présenté par Corto DE SMEDT en vue de l'obtention du diplôme de
Master en sciences de l'ingénieur industriel
Section biochimie, Industries biochimiques et brassicole

Directeur interne : PIETERCELIE Anne (Institut Meurice)
Directeur externe : GODIN Bruno (CRA-W)

Septembre 2018

Remerciements

Je tiens particulièrement à remercier Bruno Godin sans qui ce travail n'aurait pas pu être réalisé. Je le remercie pour ses conseils et son encadrement tout au long de ce travail ainsi que pour sa disponibilité et ses commentaires lors de la rédaction de cet écrit.

Je tiens également à remercier Anne Pietercelie pour ses nombreux conseils ainsi que l'ensemble du service de brasserie de l'Institut Meurice pour leur accueil, leur soutien et leur bonne humeur.

Merci à Sébastien Gofflot de m'avoir accueilli dans son service ainsi qu'à l'ensemble des personnes du CRA-W qui m'ont accordé du temps pour partager leur expertise et m'aider à réaliser les différentes analyses dans le cadre de ce travail.

Je souhaite également remercier Pierre-David Poskin, malterie *Boortmalt*, et Kevine Landuyt, *Malterie du Château*, pour leur accueil dans leur malterie respective.

Merci à Manon pour son soutien et sa patience lors des longues heures de rédaction de ce travail, merci à Etienne et Martine pour la relecture et merci aux Demeurés de m'avoir accueilli dans leur superbe colocation à Gembloux.

Pour finir, ce travail clôturant de belles années d'études remplies de rencontres, d'apprentissages et, il est vrai, de nombreuses guindailles, je remercie l'ensemble des personnes qui ont permis de rendre ces années inoubliables. Merci à mes parents, principaux sponsors de ces belles années.

Résumé

Afin de conserver son savoir-faire, la culture de la bière en Belgique est depuis 2016 inscrite sur la liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO. Malgré cette reconnaissance, nos bières sont-elles encore réellement belges ? En effet, malgré des productions de malts de plus en plus importantes, la production d'orges à vocation brassicole tend elle à diminuer fortement en Belgique au cours du temps.

Les bières spéciales artisanales ayant de plus en plus de succès chez nous, un intérêt grandissant pour les circuit-courts et les productions locales est observé. Le développement d'une filière wallonne d'orge brassicole est donc en train de susciter un nouvel intérêt pour beaucoup d'acteurs de la filière brassicole.

Ce Travail de Fin d'Etude entre directement dans le développement de cette filière « orge brassicole ». L'objectif est d'offrir une base de données expérimentales permettant de cerner au mieux les variétés d'orge et les conditions de culture les plus adaptées à notre territoire. Les résultats obtenus sont discutés et comparés aux critères utilisés dans l'industrie brassicole afin d'évaluer la qualité des malts obtenus dans le contexte d'une valorisation locale de l'orge.

Nous verrons qu'il est tout à fait envisageable de développer une filière d'orge brassicole en circuit-court sur notre territoire vu la bonne aptitude à une valorisation brassicole des orges analysées. Cependant, celle-ci ne sera possible que lorsque que l'ensemble des acteurs de la filière, de l'agriculteur au consommateur, sera totalement investi dans ce projet, ce qui semble être de plus en plus la tendance en Wallonie.

Abstract

In order to preserve its know-how, the belgian beer culture joined in 2016 the UNESCO representative list of the intangible cultural heritage of humanity. Despite this recognition, our beers are they still really Belgian? Indeed, despite the increasing production of malts, malting barley production decreases over time.

As special craft beers are becoming more and more popular in Belgium, a growing interest in local productions is observed. Therefore, the development of a malting barley sector is generating a new interest for many people in the brewing industry.

This thesis goes directly into the development of this "malting barley" sector. The objective is to offer an experimental database which will allow a better identification of the barley varieties and growing conditions that are best suited to our territory. The results obtained are discussed and compared to the criteria used in the brewing industry to evaluate the quality of malts produced in the context of a local culture of barley.

We will see that it is conceivable from an analytical point of view to develop a local malting barley sector in our territory. However, this will only be possible if all the actors in the sector, from the farmer to the consumer, are fully invested in this project, which seems to be more and more the tendency in Wallonia.

Table des matières

1. Introduction 1

1.1.	Etat des lieux de la filière « orge brassicole »	2
1.2.	L'orge brassicole	5
1.2.1.	Composition de l'orge	7
1.3.	Le maltage	7
1.3.1.	La trempe	8
1.3.2.	La germination	9
1.3.3.	Le touraillage	11
1.3.4.	Micro-malterie	13
1.4.	Nettoyage, triage et stockage de l'orge brassicole	14
1.4.1.	Nettoyage	14
1.4.2.	Triage	18
1.4.3.	Stockage	23

2. Objectifs du travail 29

3. Matériels et méthodes 30

3.1.	Orge	30
3.1.1.	Conditionnement	30
3.1.2.	Humidité	30
3.1.3.	Temps de chute d'Hagberg	31
3.1.4.	RVA (« Rapid Visco Analyser »)	31
3.1.5.	Energie et pouvoir germinatifs	32
3.1.6.	Poids de 1000 grains	32
3.1.7.	Calibrage	33
3.1.8.	Teneur en protéines totales	33
3.1.9.	Composition chimique de l'orge	34
3.2.	Micro-maltage de laboratoire	34
3.2.1.	Trempe	34
3.2.2.	Germination	34
3.2.3.	Touraillage	35
3.3.	Malt	35
3.3.1.	Malt de référence	35
3.3.2.	Humidité	35
3.3.3.	Poids de 1000 grains	35
3.3.4.	Teneur en protéines totales	35
3.3.5.	Friabilité	35
3.3.6.	Brassins conventionnels	36
3.3.7.	RVA (« Rapid Visco Analyser »)	38
3.4.	Traitements des données et statistiques	38
3.5.	Valeurs de référence	39

4. Résultats et discussions

40

4.1.	Orge	41
4.1.1.	Humidité	41
4.1.2.	RVA sur orge – Hagberg	42
4.1.3.	Energie et pouvoir germinatifs	45
4.1.4.	Poids de 1000 grains	46
4.1.5.	Calibrage	47
4.1.6.	Teneur en protéines totales	49
4.1.7.	Composition chimique de l'orge	51
4.1.8.	Discussion générale	52
4.2.	Malt	55
4.2.1.	Humidité	55
4.2.2.	Friabilité	56
4.2.3.	Extrait et rendement des malts	57
4.2.4.	pH	59
4.2.5.	Couleur	60
4.2.6.	Viscosité	61
4.2.7.	Protéines solubles	62
4.2.8.	Profil en sucre	63
4.2.9.	Azote α -aminé	64
4.2.10.	Polyphénols	65
4.2.11.	RVA sur malt	66
4.2.12.	Discussion générale	67

5. Conclusions et perspectives

71

6. Bibliographie

75

7. Annexes

77

1. Introduction

L'univers brassicole fait depuis longtemps partie intégrante de la culture belge. Afin de préserver son savoir-faire, la culture de la bière en Belgique est d'ailleurs inscrite sur la liste représentative du patrimoine culturel immatériel de l'humanité de l'UNESCO depuis 2016. En 2017, la Belgique comptait 261 brasseries sur son territoire générant respectivement 5 814 et 49 000 emplois directs et indirects (Brasseurs Belges, 2017). Malgré une consommation annuelle en nette baisse ces dernières années (Figure 1.1), la proportion de micro-brasseries ne cesse d'augmenter, le consommateur étant de plus en plus demandeur de bières artisanales et locales.

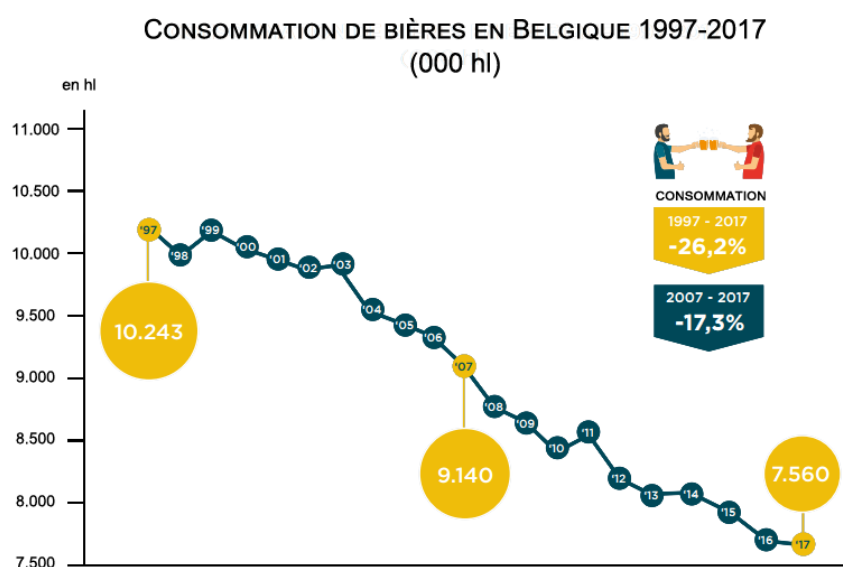


Figure 1.1 : Consommation de bières en Belgique entre 1996 et 2017
(Brasseurs Belges – Rapport annuel 2017)

Les chiffres présentés dans le graphe ci-dessus prennent en compte la consommation de l'ensemble des bières, à la fois celles à fermentation basse, type pils, et celles à fermentation haute. La Fédération Belge des Distributeurs en Boissons (FeBeD) annonce quant à elle une augmentation de 4,9% de vente de bières spéciales fortes entre 2016 et 2017, ce qui montre une nouvelle fois l'intérêt porté par le consommateur à ce type de bière.

Malgré la reconnaissance du savoir-faire brassicole belge par l'UNESCO et le succès des brasseries artisanales, les bières produites sur notre territoire sont-elles encore réellement belges ? Il est tout à fait pertinent de se poser la question, l'orge et le houblon utilisés en Belgique étant de moins en moins produits localement et subissant une importation importante pour satisfaire la demande des malteurs et des brasseurs.

L'objectif de ce chapitre d'introduction est multiple :

- Faire un état des lieux de la filière « orge brassicole » en Belgique.
- Présenter le grain d'orge et sa composition.
- Présenter les différentes étapes du maltage ainsi que les spécificités d'un maltage artisanal.
- Présenter la chaîne de nettoyage, triage et stockage de l'orge brassicole, point clé de la filière.

1.1. Etat des lieux de la filière « orge brassicole »

La quantité de malt d'orge produite sur notre territoire place la Belgique au 4^{ème} rang mondial des pays producteurs de malt. Pourtant la quantité d'orge brassicole produite en Belgique ne cesse de diminuer au cours du temps (Figure 1.2). Le tableau 1 présente les chiffres de production de malts et d'orges en Belgique pour l'année 2015. Ces données montrent que la majorité de l'orge brassicole produite en Belgique l'est en Wallonie mais surtout qu'il existe un fossé énorme entre la production d'orge et la demande des malteries.

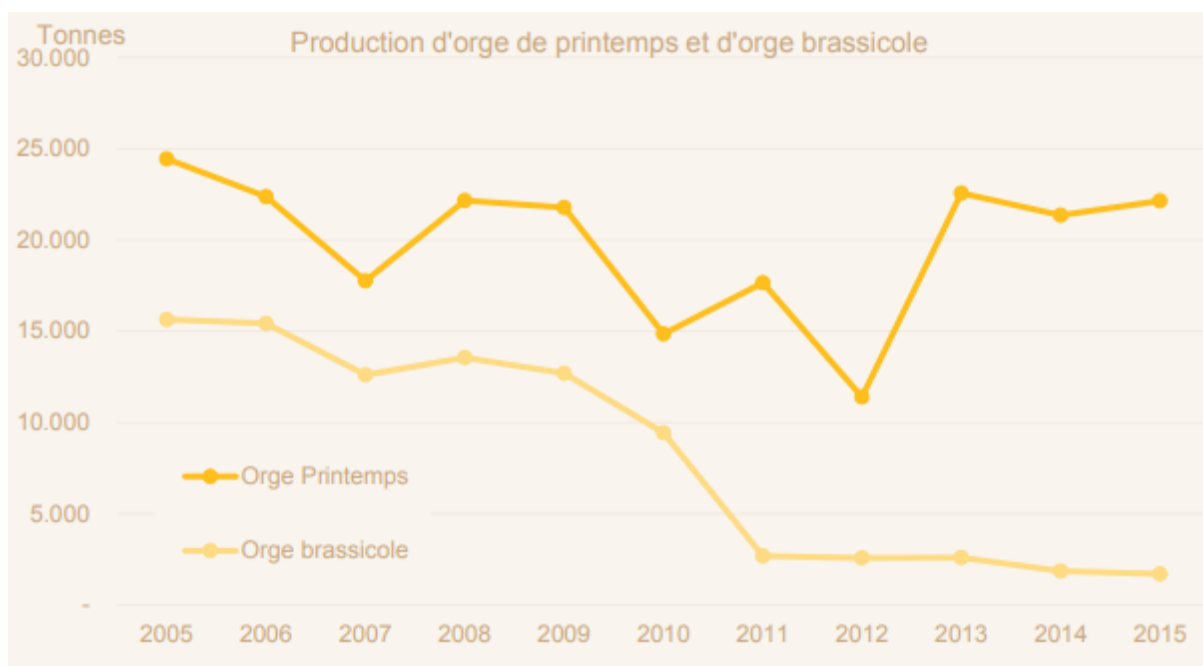


Figure 1.2 : Evolution de la production d'orge de printemps et brassicole en Belgique 2005-2015
(Stabel – INS)

Tableau 1 : Chiffres-clés de la filière orge brassicole en 2015 - estimations du Collège des producteurs (SoCoPro, 2017)

<u>Production de malt (2015)</u>		
Coefficient de transformation orge-malt : 1.23		
		Quantité d'orge brassicole nécessaire
Production de malt belge	806 000 T	991 380 T
Exportation de malt	724 962 T	891 703 T
Importation de malt	169 599 T	208 607 T
Auto-consommation de malt	250 637 T	308 284 T
<u>Production d'orge (2015)</u>		
	Belgique	Wallonie
Production d'orge	434 142 T	292 483 T
Production d'orge brassicole	1 704 T	1 635 T

De nombreux facteurs peuvent expliquer pourquoi les agriculteurs se sont peu à peu éloignés de la culture d'orge brassicole pour favoriser celle de l'orge fourragère:

- En 2017, on estimait que la tonne d'orge brassicole coûtait 160€ contre 140€ pour le fourrager. Malgré ce prix légèrement plus élevé, les rendements à l'hectare sont nettement plus faibles : 6,5 T/ha contre 9 T/ha. Un agriculteur cultivant de l'orge brassicole aura donc un chiffre d'affaire de 1040 €/ha contre un chiffre d'affaire de 1300 €/ha dans le cas du fourrager. (SoCoPro, 2017)
- L'orge brassicole doit répondre à toute une série de critères pour être intégrée dans le circuit de la malterie. En plus de rendre la culture plus contraignante, ces critères peuvent parfois ne pas être satisfaits (notamment à cause des conditions climatiques). On estime alors qu'un agriculteur a 25% de chance que son orge soit déclassée (1 année sur 4).
- Dans le format des malteries actuelles, il faudrait au minimum 100 tonnes d'orge pour former un lot de maltage ce qui est bien trop important dans l'optique d'un maltage artisanal.
- La France et l'Allemagne produisent de grandes quantités d'orge brassicole de qualité, ce qui rend la concurrence très difficile pour les producteurs wallons.
- Le contexte agronomique en Belgique n'est pas propice à la culture de l'orge brassicole. Les champs sont plus petits et il n'existe plus de réelle filière structurée.

On constate depuis quelques années un regain d'intérêt de la part des brasseries, des consommateurs et des politiques pour la production locale d'orge brassicole. Déjà en 2005, une étude montrait que 82% des brasseurs interrogés étaient intéressés à l'idée d'utiliser du malt issu d'orges cultivées sur le territoire belge (Monfort, 2004 a). Dans cette optique, un plan stratégique de développement est lancé pour 2017-2027 piloté par le Collège des producteurs, l'Apaq-w, TerraBrew et le SPW. L'objectif de ce plan stratégique est d'atteindre quelques 3.000 ha pour une production de 15.000 à 20.000 tonnes d'orge.

Ce plan stratégique s'axe sur différentes garanties accordées aux agriculteurs et stockeurs (TerraBrew, 2016) :

- Garantie dans le temps d'un prix équitable pour un produit dont les contraintes de production sont importantes.
- Contourner l'aspect "spéculation" sur le prix.
- Assurance d'une rentabilité suffisante qui encourage les agriculteurs à produire de l'orge brassicole en Belgique.
- Rémunérer son savoir-faire pour les contraintes (variété, traçabilité, qualité)
- Travailler en symbiose avec des partenaires fiables de proximité.
- Ne pas subir d'astreintes financières en cas d'impossibilité de livraison pour des raisons non contrôlables (climatiques).

Il est important de savoir que le prix du malt d'orge représente moins de 2% du prix de la bière (SoCoPro, 2017), une rémunération plus juste des producteurs n'impactera donc pratiquement pas le prix du produit fini payé par le consommateur.

Le plan d'action mis en place pour relancer la culture de l'orge brassicole en Belgique pour fournir du malt en filière courte aux brasseurs belges, s'articule autour de huit grandes actions (SoCoPro, 2017):

1. Rendre disponible plus de données pour piloter le développement de la filière.
2. Démarrer le développement au travers d'un noyau pilote d'acteurs de la filière intéressés par le local et le prix juste.
3. Assurer la disponibilité d'un encadrement technique des producteurs.
4. Assurer la disponibilité de services neutres de « facilitation filière ».
5. Donner une reconnaissance officielle aux filières qui le demandent (Local, QD, Prix juste).
6. Canaliser la demande au travers de promotions ciblées.
7. Soutenir la croissance de l'offre au travers d'un groupement de producteurs et de capacités de stockage.
8. Soutenir l'adéquation de la qualité de l'offre avec les attentes de l'industrie.

Il est donc important de mettre autour de la table l'ensemble des intervenants de la filière. Entrant directement dans ce projet, l'objectif de ce travail sera d'évaluer les aptitudes au maltage et au brassage d'orges brassicoles cultivées sur le territoire wallon.

1.2. L'orge brassicole

L'orge (*Hordeum Vulgare*) est, après l'eau, la matière première la plus utilisée dans le processus de brassage. Elle apporte, entre autre, l'amidon nécessaire à la production de bière. L'usage de l'orge en brasserie est préféré à celui d'autres céréales pour les différents points suivants (Pietercelie, 2017):

- Facilité de culture
- Présence d'enveloppes favorisant la filtration du moût
- Possède un ratio C/N de 5/1 équivalent au ratio naturel des organismes vivants (→ levures)
- Présence d'enzymes hydrolytiques
- Empesage de l'amidon entre 52 et 59 °C
- Bon rendement agricole
- Bon rendement au maltage et au brassage

La culture de l'orge se décline en 2 catégories, les orges d'hiver semées mi-septembre et les orges de printemps semées entre mars et avril. Les orges d'hiver sont des variétés à 2 ou 6 rangs alors que les orges de printemps sont exclusivement des variétés à 2 rangs (Kunze, 2014).

Les variétés d'orge à 2 rangs ont quatre de leurs 6 épillets stériles, laissant plus d'espace aux deux derniers pour se développer et produire des grains de plus gros calibre. Ayant un endosperme plus grand, et donc une proportion d'amidon plus importante, les orges 2 rangs seront préférées dans l'industrie brassicole. Cependant, une orge 6 rangs, ayant un rendement à l'hectare plus important, pourra également intéresser le brasseur en raison de son prix attractif.

La différence entre les orges 2 et 6 rangs est présentée sur la figure 1.3 ci-dessous :

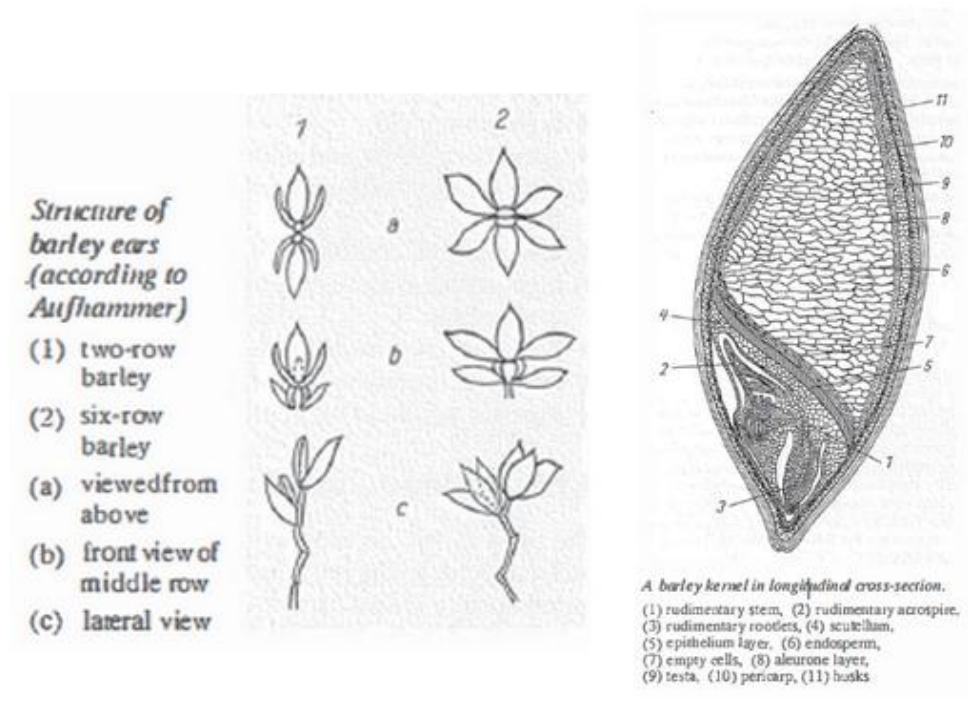


Figure 1.3 : Gauche : Différence entre orge 2 et 6 rangs / Droite: Coupe longitudinale du grain d'orge (Kunze, 2014)

La figure 1.3 présente également la coupe longitudinale d'un grain d'orge dont l'intérieur contient trois grandes parties : l'embryon, l'endosperme et la couverture du grain.

L'embryon est le siège des activités vitales du grain et contient les parties de la future plante. Celui-ci est séparé de l'endosperme par l'épithélium et le scutellum. L'endosperme est constitué d'une accumulation de granules d'amidon qui fournira l'énergie nécessaire à la germination du grain. Ces cellules d'endosperme sont séparées par des parois composées de β -glucanes et d'arabinoxylanes qui devront être désagrégées lors de la germination. L'endosperme est entouré d'une couche d'aleurone, paroi riche en protéines qui sera le point de départ le plus important de la production d'enzymes lors du maltage. Enfin, le grain est protégé par différentes couches dont le pericarpe-testa. (Kunze, 2014)

1.2.1. Composition de l'orge

La composition du grain d'orge est décrite dans le tableau 2 ci-dessous :

Tableau 2 : Composition du grain d'orge (Pietercelie, 2017)

Paramètres	%
Humidité	12-16
Amidon :	54-65
Amylose 20-25 %	
Amylopectine 75-80 %	
Protéines :	9-14
Albumine, leucosine 4-20 %	
Globuline, édestine 10-30 %	
Prolamine, hordéine 15-40 %	
Glutéline 15-30 %	
Matières grasses	2-3
Fibres brutes	4-5
Matière minérale	2-3
Hemicelluloses (dont β -glucanes et arabinoxylnes)	8-10

1.3. Le maltage

Bien que l'orge soit la céréale la plus adaptée à la production de bière, le grain ne peut pas être utilisé tel quel par le brasseur et devra tout d'abord passer par une malterie afin d'y être malté. Le maltage apporte à l'orge une série de transformations nécessaires au bon déroulement du brassage (Pietercelie, 2017):

- **Transformations morphologiques** : développement de l'embryon et des radicelles.
- **Formations des enzymes hydrolytiques** : enzymes servant à la dépolymérisation des réserves endospermiques (amidon, β -glucanes, arabinoxylnes, hordéine).
- **Modification de l'endosperme** : désagrégation des parois cellulaires, protéolyse, amylolyse.

Le maltage se déroule en trois grandes étapes : la trempe, la germination et le touraillage.

1.3.1. La trempe

L'objectif de la trempe est de passer le grain d'un taux d'humidité d'environ 12% au stockage à environ 45%. L'orge est trempée dans une eau comprise entre 12 et 14°C, celle-ci pénétrera dans le grain au niveau du germe avant de se diffuser vers l'endosperme. Au fur et à mesure de la trempe, la respiration des grains augmente induisant une hausse du taux de CO₂. Il est donc nécessaire d'alterner les phases de trempe avec des phases d'aération. Ces phases d'aération permettent plusieurs choses : apporter de l'oxygène tout en évacuant le CO₂ pour éviter l'asphyxie du grain, mélanger le grain pour le rendre la trempe homogène, laver les grains, évacuer les micro-organismes et diminuer la température qui augmente naturellement avec la respiration des grains d'orge (Lewis and Young, 2001). De manière générale, les orges 2 rangs de printemps subiront deux phases de trempe/aération contre 3 pour les orges 6 rangs d'hiver. La majorité du temps, la trempe se déroule dans une cuve cylindro-conique (Figure 1.4.).

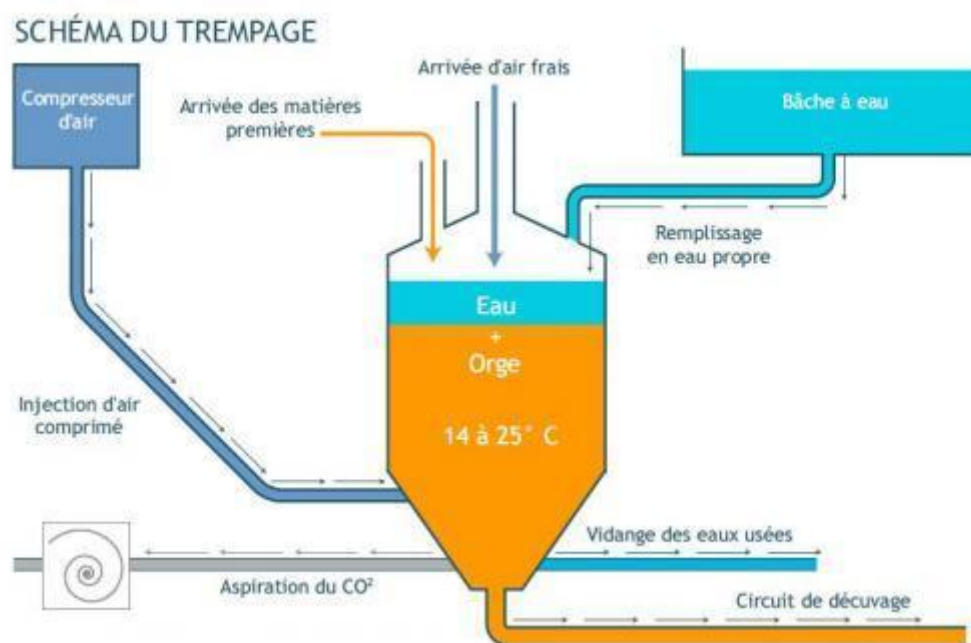


Figure 1.4 : Cuve de trempage cylindro-conique (<http://tpelabiere.e-monsite.com/pages/i-la-fabrication/a-le-maltage.html>)

L'augmentation du taux d'humidité du grain lors de la trempe permet de lancer la phase de germination de l'orge.

1.3.2. La germination

L'objectif de la germination est le développement de la future plante. Pour ce faire, l'embryon puise dans les réserves d'amidon de l'endosperme jusqu'à ce que la photosynthèse soit possible. L'endosperme n'est cependant pas si facilement accessible en raison des différentes parois présentes au sein du grain. C'est pourquoi une série d'enzymes va être synthétisée afin de les désagréger.

L'eau absorbée lors de la trempe permet la libération d'un facteur de croissance : l'acide gibbérellique (Figure 1.5). Celui-ci, synthétisé au niveau de l'embryon, traverse le *scutellum* pour passer dans l'endosperme et diffuser jusqu'aux cellules aleurones initiant la synthèse des différentes enzymes hydrolytiques.

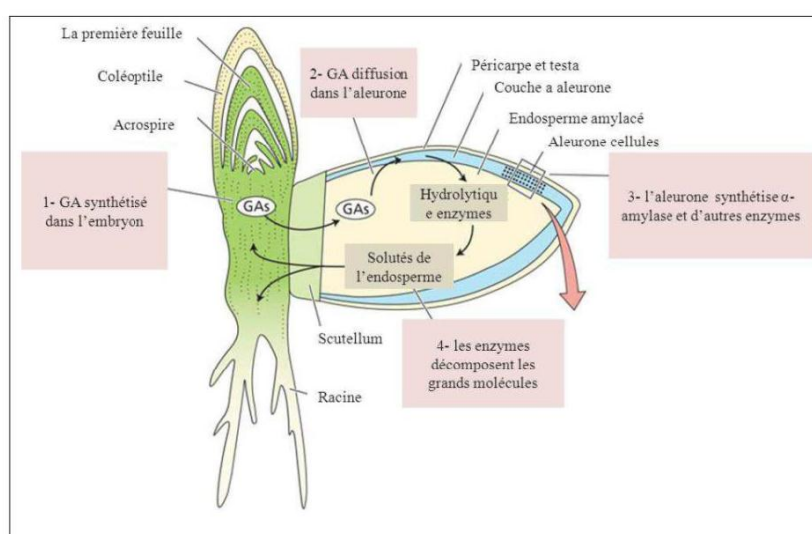


Figure 1.5 : Biochimie de la germination du grain d'orge (Ajib, 2013)

On estime que l'ensemble des enzymes est synthétisé après 3 jours de germination. Le tableau 3 reprend les principales enzymes synthétisées lors de la germination, l'effet de l'acide gibbérellique sur leur synthèse ainsi que la composante de l'endosperme qu'elles hydrolysent (Pietercelie, 2017) :

Tableau 3 : Effet de l'acide gibbérellique sur les enzymes lors de la germination (Pietercelie, 2017)

Enzymes	Agit sur :	Effet AG
α -amylase et limite dextrinase	Amidon	De novo
β -amylase	Amidon	Indirect
Endo-peptidase (carboxy)	Protéine	De novo
Isocitrate lyase et malate synthase (glyoxysomes)	Métabolisme lipidique	De novo
Endoxylanase et endo- β -glucanase	Arabinoxylanes et β -glucanes	Activation (\uparrow synthèse et sécrétion)
Phosphatase et phytase	Transport des minéraux	Activation (\uparrow sécrétion)
Ribonucléase	Dégradation de l'ARN	Stimulation (nM)

En plus de cette liste, les enzymes lipases, nécessaires à la récupération des réserves lipidiques de l'embryon lors des deux premiers jours de germination, et la LOX (lipoxygénase) sont également produites. Ces deux enzymes sont utiles au développement du grain mais leurs activités sont à surveiller. Elles peuvent en effet oxyder les lipides et, *in fine*, produire du trans-2-nonenal, amenant un goût désagréable de carton à la bière. Il sera donc important de limiter leurs activités lors des futures étapes de maltage et de brassage, notamment en minimisant les échanges avec l'oxygène.

Parallèlement à ces modifications, les radicules commencent à se développer pour atteindre environ 1,5 fois la longueur du grain en fin de germination. La plumule, elle, grandira le long de la face dorsale, entre l'enveloppe externe et le péricarpe. Ces changements ainsi que l'évolution de la dégradation de l'endosperme sont des indicateurs permettant au malteur d'adapter son programme de germination et de savoir à quel moment passer à l'étape suivante.

D'un point de vue pratique, la germination dure entre 4 et 6 jours. Durant cette période, les grains sont aérés par de l'air humide à 13-15°C et sont régulièrement arrosés et retournés afin d'obtenir un lot homogène, de maintenir la température et le taux d'humidité constants, d'avoir un apport d'oxygène et d'évacuer le CO₂ produit lors de la respiration (Figure 1.6).

SCHÉMA DU GERMOIR

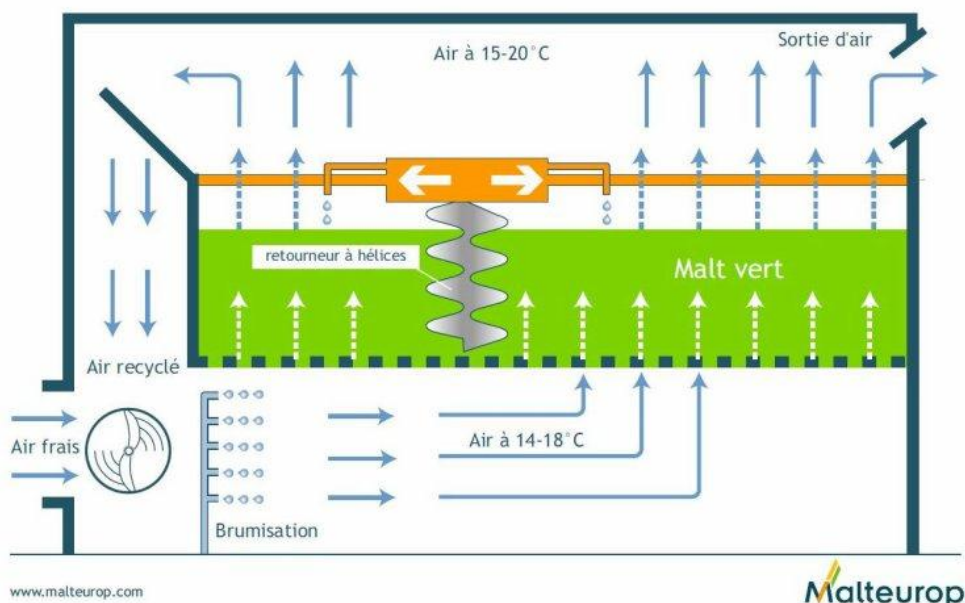


Figure 1.6 : Gerموir : case Saladin (Malteurop)

Une fois l'étape de germination du maltage terminée, le produit obtenu dans le cas de la production de malt pâle est appelé malt vert.

1.3.3. Le touraillage

Les objectifs du touraillage sont :

- Arrêt des activités enzymatiques
- Séchage du grain jusqu'à une humidité de 3 à 5%
- Stabilisation du malt
- Réaction de coloration (réaction de Maillard et de Strecker)

Le touraillage se fait en deux phases. Une phase de séchage stationnaire qui permettra aux grains de diminuer leur humidité jusque 10 à 15%. Durant cette phase, la température ne doit pas dépasser les 55°C afin d'éviter d'atteindre la température de vitrosité de l'amidon qui l'empêcherait d'être dégradé ultérieurement par les enzymes. La deuxième phase est appelée « coup de feu ». Elle est beaucoup plus courte et utilise une température plus élevée pour descendre l'humidité du grain à 4%. Lors de cette seconde phase, la température est montée de 80-90°C pour les malts pâles à 220°C pour des malts torrifiés. La température induit les réactions de Maillard et de Strecker qui influenceront respectivement la couleur et l'arôme du malt. Le schéma type d'une touraille à simple plateau est présenté ci-dessous par la figure 1.7.

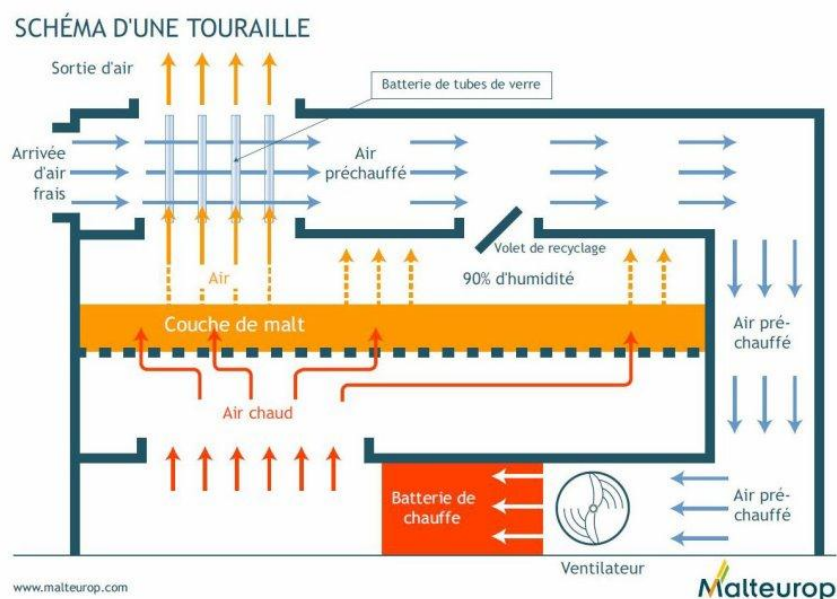


Figure 1.7 : Touraille simple plateau (Malteurop)

Le malteur influencera sur le profil de température afin d'obtenir la couleur et les arômes du malt qu'il souhaite. La figure 1.8 reprend les profils de températures utilisés pour produire différentes variétés de malt au départ d'une même orge brassicole.

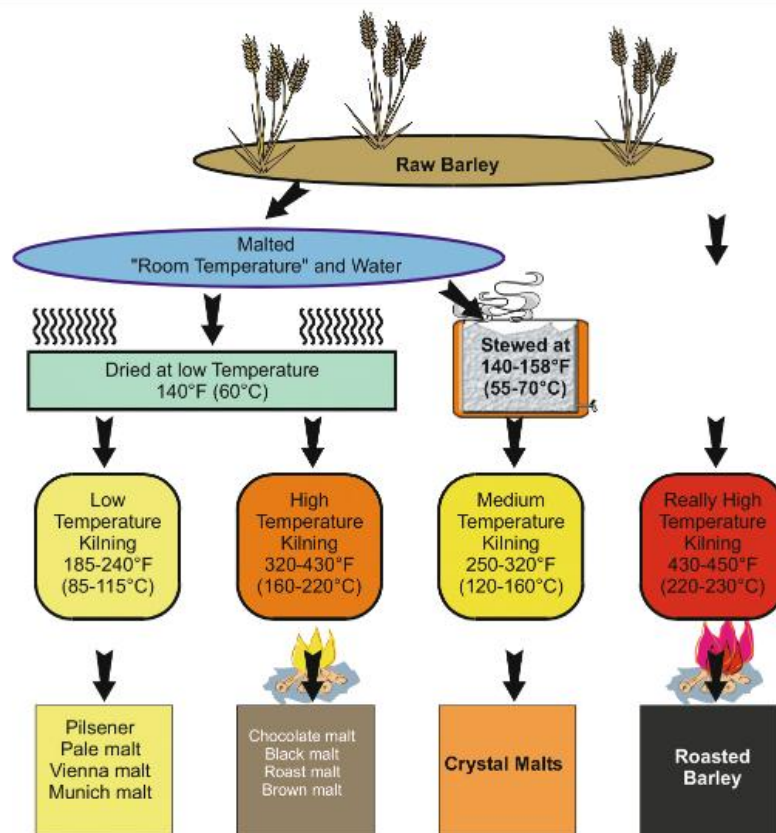


Figure 1.8 : Production de différentes variétés de malt au départ d'une même orge brassicole (Mosher and Trantham, 2017)

1.3.4. Micro-malterie

A l'image de l'usine de *Boortmalt* inaugurée à Anvers en 2018 capable de produire 470 000 tonnes de malt par an, les grands groupes céréaliers se lancent dans la construction de malteries de plus en plus grandes afin de satisfaire un marché en pleine expansion. Le système actuel de malterie délaisse donc totalement la filière de l'orge locale, les agriculteurs belges n'étant pas en mesure de cultiver une quantité aussi importante d'orge brassicole de qualité.

Maillon essentiel à la filière, il est primordial de développer des micro-malteries sur notre territoire afin de relancer la production d'orge de brasserie en circuit court. Le micro-maltage présente de nombreux avantages :

- Permet de s'adapter à la qualité de la matière première, pouvant fort varier d'année en année.
- Ne nécessite pas d'avoir des immenses lots d'orges homogènes et standardisés
- Permet de produire un malt de base avec plus de caractère et plus spécifique à la bière spéciale que le malt « pils » industriel.
- Permet de pouvoir fabriquer des lots avec un degré de désagrégation sur mesure en fonction des souhaits de la micro-brasserie. Ce paramètre permettra de jouer sur le goût et le cachet de la bière.
- S'il paraît logique que la variété d'orge a une influence sur les propriétés du malt et donc de la bière, une récente étude a permis de montrer qu'il y avait également une influence du lieu de culture de l'orge sur les paramètres organoleptiques de la bière (Herb et al, 2017). Les micro-malteries permettent donc mettre en valeur l'orge locale et des labels « malt de terroir » peuvent être créés.

D'un point de vue pratique, le maltage sur aire sera privilégié pour les productions allant jusqu'à 100 t/an. Pour les productions plus importantes (1000 t/an), le malteur préférera le maltage avec case de germination afin de diminuer la surface au sol, beaucoup plus importante dans le cas d'un maltage sur aire.

L'idée de ces malteries produisant entre 25 et 1000 tonnes de malts par an (1 à 10 t/lot) peut paraître utopiste pour beaucoup d'acteurs de la filière. Pourtant, ce schéma n'a jamais disparu dans d'autres pays en Europe tels que le Royaume-Uni ou encore la République Tchèque. En France, les micro-malteries connaissent un nouvel essor. On y dénombre pour l'instant quatre malteries produisant entre 100 et 1000 tonnes de malt d'orge bio par an. Il n'est donc absolument pas impossible de créer, en Belgique, des malteries viables capables de répondre aux exigences et spécificités des circuits courts (Godin, 2018).

Deux acteurs essentiels pour le développement de la filière de l'orge brassicole manquent en Belgique. Les micro-malteries décrites ci-dessus et des centres de nettoyage-stockage à petite échelle permettant de faire le lien entre l'agriculteur et le malteur. Le chapitre suivant permet de se faire une idée de l'importance de ces derniers en décrivant notamment les différents outils utilisés pour nettoyer, trier et stocker l'orge sur de longues périodes.

1.4. Nettoyage, triage et stockage de l'orge brassicole

Après avoir passé en revue les caractéristiques de l'orge et du processus de maltage, l'objectif de ce point sera de s'attarder sur les techniques de nettoyage, de triage et de stockage de l'orge ainsi que leurs importances sur la qualité du produit fini.

Il s'agit ici d'un point extrêmement important de la filière. En effet, même si une orge est cultivée de manière optimale lui procurant toutes les caractéristiques d'une orge brassicole de qualité, un mauvais stockage peut fortement la dégrader et la rendre inutilisable dans la suite du processus.

Lors de la moisson, une série de matériaux étrangers est récoltée en même temps que l'orge. Avant leur stockage, les grains devront donc passer à travers différents appareils permettant d'enlever ces impuretés (poussières, pailles, pierres, pièces métalliques, grains cassés, grains malsains...) pouvant se retrouver dans le lot apporté par l'agriculteur. Précédant le stockage, le nettoyage et le triage seront les étapes permettant de retirer les impuretés et de calibrer les grains d'orge. De manière générale, l'ensemble des techniques présentées ici sont utilisées non seulement pour l'orge mais également pour le malt.

1.4.1. Nettoyage

Aimant et épierreur

La première étape consistera à retirer les pierres et les matériaux métalliques présents parmi les grains. Les épierreurs sont utilisés pour séparer les matériaux en deux fractions, différenciées par leurs poids spécifiques. Ces machines servent principalement à éliminer des grosses impuretés telles que cailloux, particules métalliques et autres additions lourdes. Bien que différents modèles soient présents sur le marché, la figure 1.9 permet de se faire une idée du fonctionnement de ces deux appareils

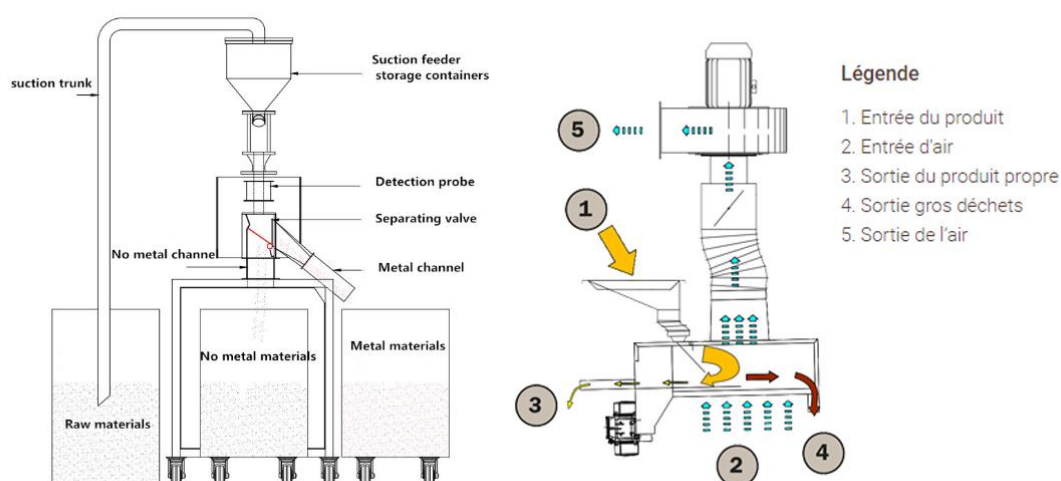


Figure 1.9 : Gauche : Aimant (www.metaldetectorfactory.com)
Droite : Epierreur (www.zanin-italia.com)

Il est à noter que, contrairement aux machines qui seront présentées ultérieurement, les aimants et épierreurs sont des appareils qui seront non seulement utilisés par les stockeurs de céréales et les malteurs mais également par les brasseurs eux-mêmes juste avant l'empâtage du malt. L'efficacité des différents appareils présentés dans ce point ne permet donc pas d'éliminer totalement les impuretés présentes dans l'orge.

Pré-nettoyeur

En passant par un pré-nettoyeur, les gros déchets présents dans le lot sont retenus par un premier tamis alors qu'un deuxième retient les grains mais laisse passer les très petites graines. En parallèle à ces tamis, un système de ventilation permet aux objets légers d'être évacuer par aspiration. La figure 1.10 présente le schéma type d'un pré-nettoyeur.

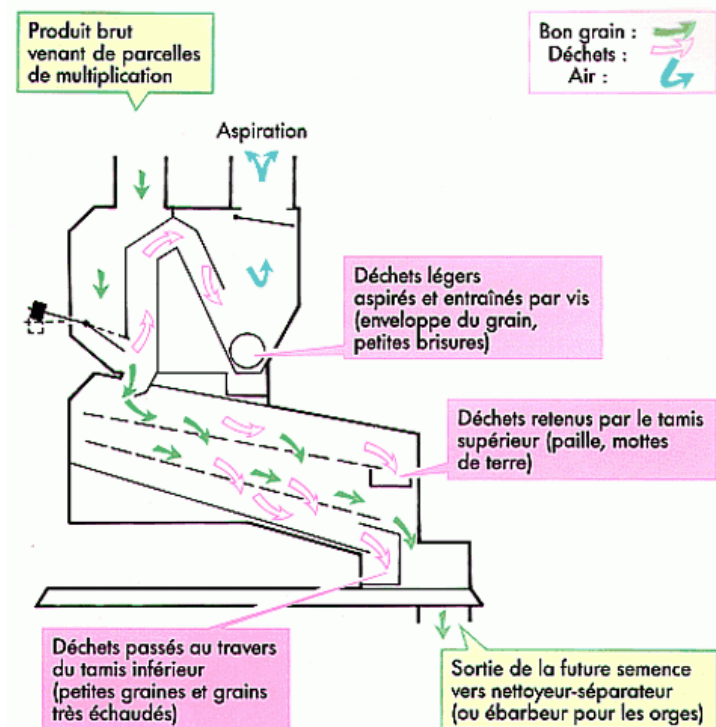


Figure 1.10 : Pré-nettoyeur (www.gnis-pedagogie.org)

Ebarbeur

Ce type d'appareil (voir figure 1.11), spécifique à l'orge non malté, n'est pas systématiquement mis en place dans le processus de nettoyage, les stockeurs estimant parfois que les autres appareils de la chaîne suffisent à éliminer la majorité des barbes des graines.

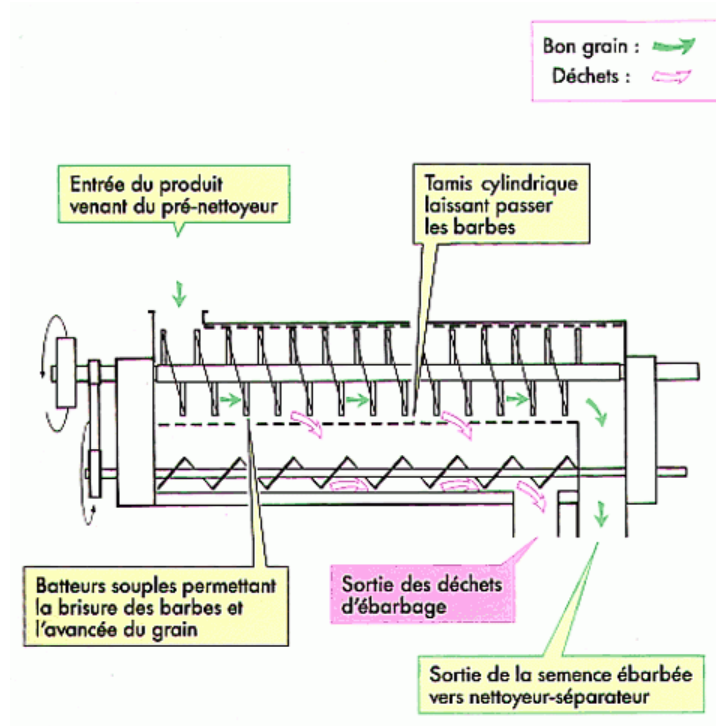


Figure 1.11 : Ebarbeur (www.gnis-pedagogie.org)

Nettoyeur-séparateur

Tous les appareils présentés précédemment peuvent rentrer dans la catégorie « pré-nettoyage » permettant de dégrossir le travail du nettoyeur-séparateur dont le fonctionnement est décrit à la figure 1.12. C'est cette étape qui sera la plus efficace dans l'élimination des déchets. En effet, il est estimé qu'approximativement 10% de la masse totale du lot est éliminée lors du passage dans le nettoyeurs-trieurs (Agribio Bretagne, 2013). Un large choix de grilles permet au stockeur d'adapter les réglages en fonction de la nature des grains et des déchets à éliminer. Une ventilation permet également d'évacuer les objets légers.

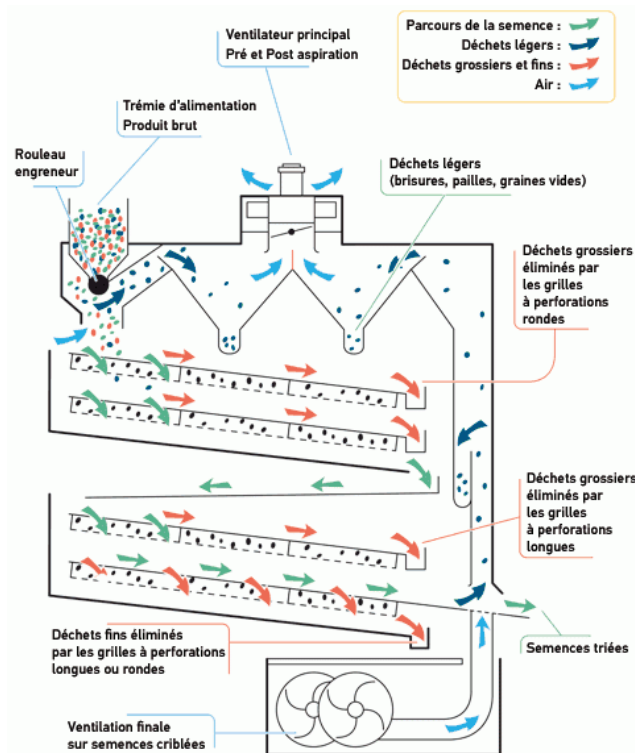


Figure 1.12 : Nettoyeur-séparateur (www.gnis-pedagogie.org)

Premières étapes du nettoyage, le nettoyage de la moissonneuse, des bennes de transport et des silos de stockage est également primordial pour éviter la présence d'autres céréales ou d'oléagineuses et permet de dégrossir le travail des différents appareils présentés ci-dessus.

1.4.2. Triage

Une fois les grains nettoyés, un triage est effectué afin de ne conserver que les grains ayant le calibre désiré pour la suite du processus. Différentes techniques existent et sont souvent utilisées en série afin d'obtenir des résultats de triages optimaux.

Plansichter

Le terme plansichter vient de l'allemand et pourrait être traduit par « tamisage plan ». Il est composé de plusieurs grandes caisses, elles-mêmes composées de plusieurs porte-tamis qui accueilleront des tamis dont l'ouverture de maille correspondra aux calibrages désirés. Dans le cas de l'orge, les grains entre 2,2 et 2,8 mm seront envoyés en malterie, les grains plus petits ou beaucoup plus grands rentreront eux dans le circuit de l'alimentation animale. La figure 1.13 présente un schéma type d'un trieur Plansichter.

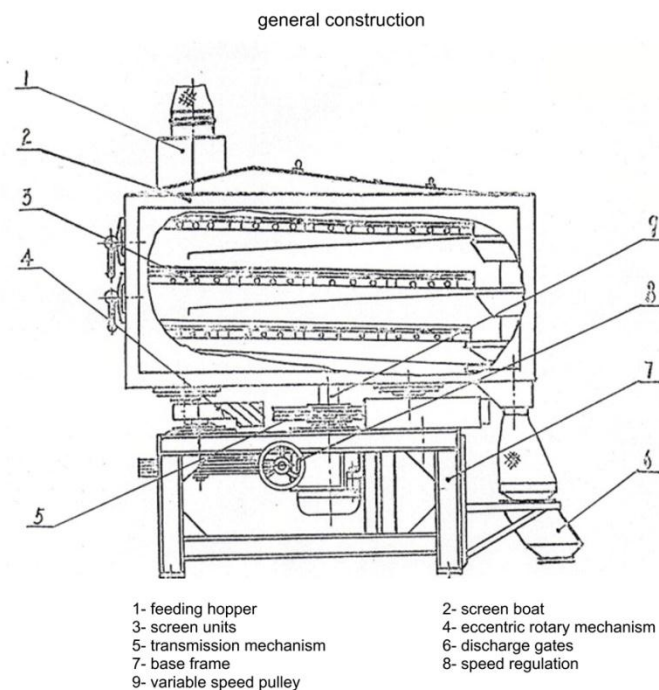


Figure 1.13 : Plansichter (www.cerealmachinery.it)

Trieur alvéolaire

L'objectif du trieur alvéolaire sera de trier les grains en fonction de leur longueur. Il élimine les grains ovales, longs ou ronds dont le diamètre est identique à celui de la semence. Le travail en batterie (Figure 1.14) permet via deux cylindres différents de trier en fonction de la largeur d'un côté et en fonction de la longueur de l'autre. Les cylindres alvéolés en rotation permettent de retenir les grains désirés pour la suite de la filière.

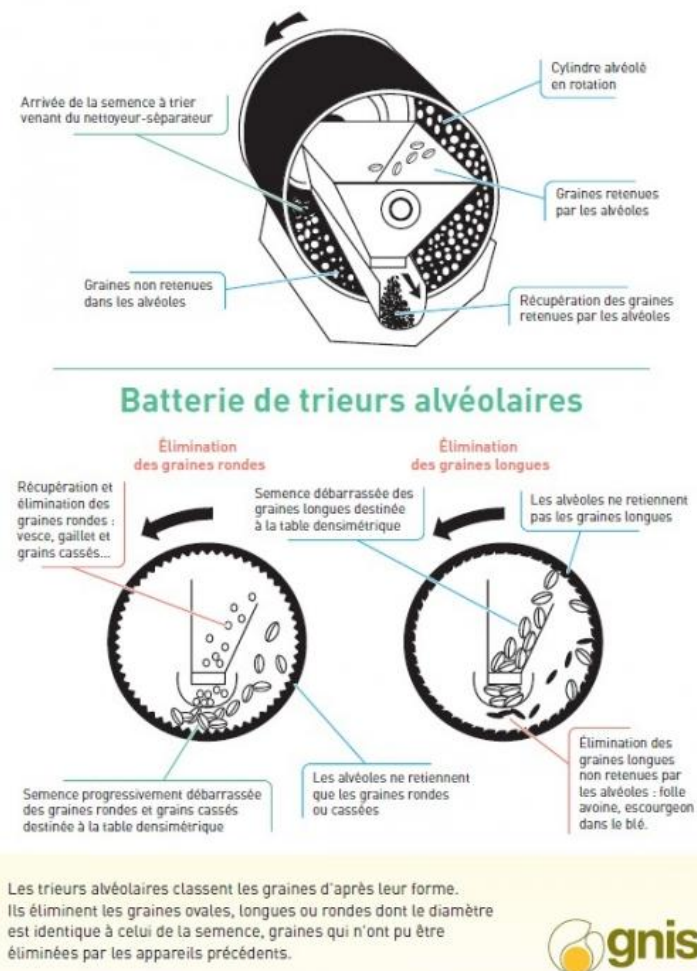


Figure 1.14 : Trieur alvéolaire (www.gnis-pédagogie.org)

Calibreur

Le calibreur (Figure 1.15) élimine les déchets lourds ayant échappés aux appareils précédents et les grains de faible diamètre. Des cylindres permettent d'homogénéiser un lot de semences, facilitant ainsi par la suite le travail de la table densimétrique.

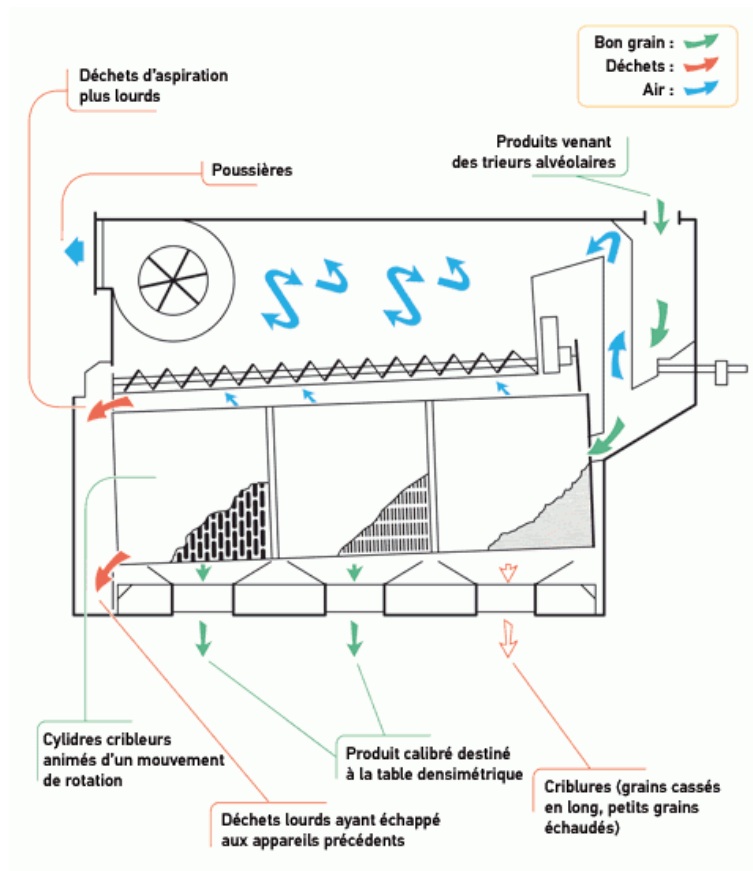


Figure 1.15 : Calibreur (www.gnis-pédagogie.org)

Table densimétrique

La table densimétrique (ou gravimétrique) permet de séparer les grains ayant des formes et des dimensions semblables mais possédant des densités différentes. Ce sont des coussins d'air qui sépareront les grains sains plus lourds des grains malades, parasités, cassés,... Plusieurs paramètres sont à tenir en compte pour le fonctionnement de cette machine : le débit des grains, la vitesse de vibration, l'inclinaison longitudinale et latérale de la table et la puissance de la soufflerie.

Etape la plus efficace pour finaliser le triage, le débit de la table densimétrique déterminera le débit de l'ensemble de la chaîne de nettoyage-triage. La figure 1.16 montre et explique le fonctionnement de ce type d'appareil.

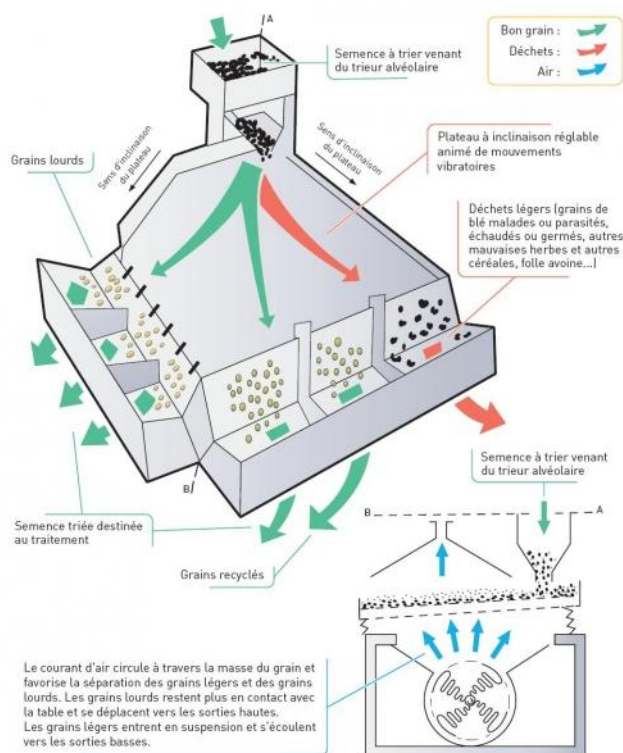


Figure 1.16 : Table densimétrique (www.gnis-pédagogie.org)

Trieur optique

Le trieur optique est une technologie assez récente et coûteuse, il n'est donc pas commun de retrouver ce genre d'appareil chez les stockeurs ou malteurs. Ce type de trieur arrive en fin de chaîne afin de parfaire le travail en triant les grains en fonction de leurs couleurs. Des caméras analysent le grain, si celui ne correspond pas aux caractéristiques demandées, un jet d'air comprimé l'expulsera de la chaîne (figure 1.17).

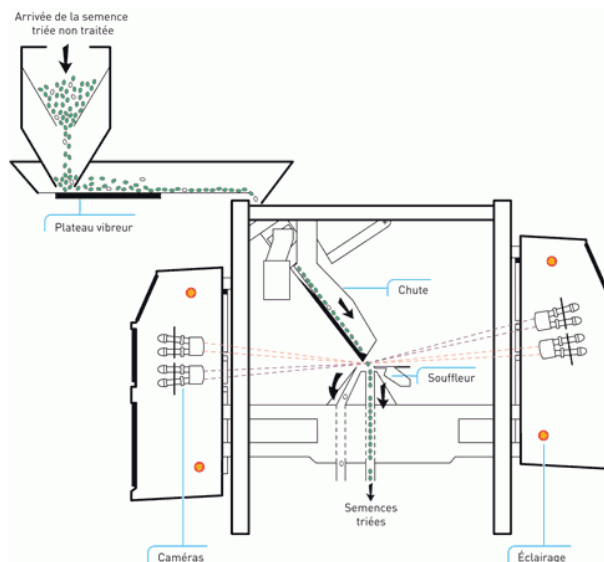


Figure 1.17 : Trieur optique (www.gnis-pédagogie.org)

La figure 1.18 présente le schéma type d'une chaîne de nettoyage-triage que l'on retrouve dans l'industrie de l'orge et du malt, chaque entreprise adaptant son matériel en fonction de ses besoins, son débit et son budget. L'annexe I résume le rôle de chacun des appareils cités précédemment et l'annexe II présente les pourcentages de pertes lors de la phase de nettoyage-triage.

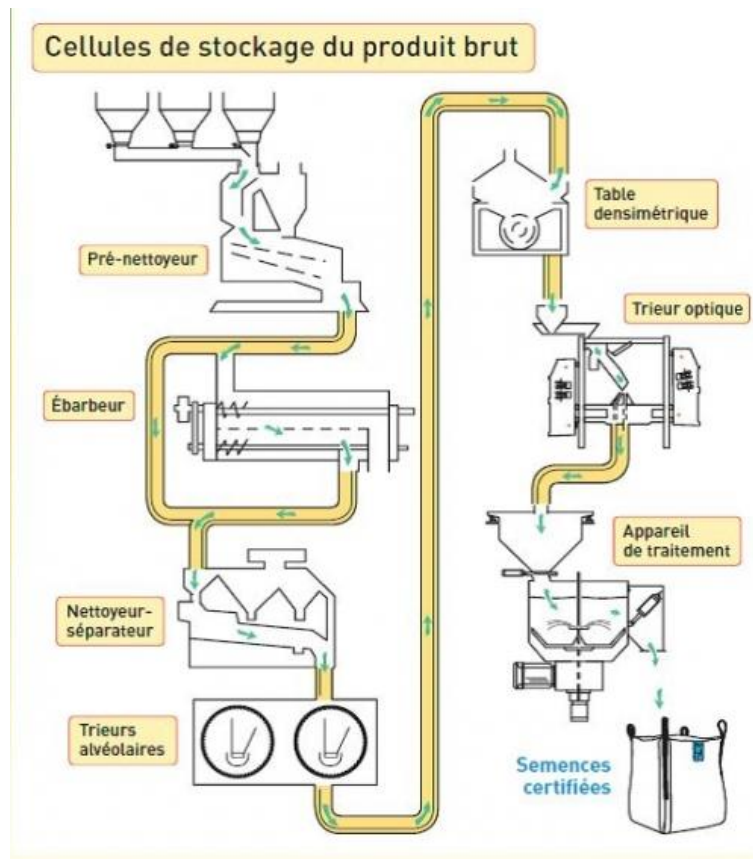


Figure 1.18 : Schéma type du nettoyage-triage en industrie (www.gnis-pédagogie.org)

1.4.3. Stockage

Même si certaines fermes possèdent leur chaîne de nettoyage-triage-stockage pour de petites productions, l'intervention d'un négociant-stockeur entre la récolte et le maltage paraît incontournable afin d'assurer les quantités d'orge brassicole nécessaires au secteur des malteries.

Le système de coopérative, très développé notamment en France où elles appartiennent aux agriculteurs, permet de conseiller les agriculteurs, de répartir les variétés en fournissant les semences aux producteurs d'orges et de centraliser tout le matériel de nettoyage, de triage et de stockage. Afin de motiver les agriculteurs à réinvestir dans la filière de l'orge brassicole locale, le développement de chaînes de nettoyage-stockage à petite échelle est inévitable. Celles-ci permettraient aux coopératives d'analyser les lots et de décider de la façon dont ceux-ci sont répartis. Cela éviterait donc l'empressement lié à la courte période de moisson.

Le stockage de l'orge et du malt est une période critique de la filière. En effet, une mauvaise gestion de celui-ci pourrait totalement détruire les stocks avec par exemple les infections de maladies, l'apparition de nuisibles (insectes, rats,...), en induisant la perte du pouvoir germinatif de l'orge ou encore en dégradant les propriétés organoleptiques du malt.

Bien que délicat à mettre en place le stockage est indispensable pour :

- Assurer la période de dormance de l'orge
- Obtenir les quantités suffisantes en orge monovariétale pour fournir les malteries
- Permettre aux malteurs de faire le mélange de différents malts afin de répondre aux cahiers des charges des brasseries

Stockage de l'orge

Contrairement aux autres céréales, l'orge doit maintenir un pouvoir germinatif supérieur à 95%, ce qui rend son stockage délicat et plus contraignant.

Après la récolte, le grain passe par une phase de dormance, période à laquelle il est incapable de germer. Ce phénomène varie selon les variétés d'orge mais surtout en fonction des conditions climatiques lors de la culture et la récolte de l'orge. Une année chaude et sèche diminuera la période de dormance alors qu'une année froide et humide la favorisera (Briggs, 1998).

La dormance est une protection naturelle de la plante. En bloquant l'eau et en ne laissant passer qu'une petite quantité d'oxygène, la céréale limite ses activités métaboliques permettant d'éviter sa germination sur pied.

Il existe deux types de dormance. La dormance primaire qui intervient naturellement au moment de la récolte et la dormance secondaire qui est mise en place par le grain lorsqu'un stress intervient (températures extrêmes, obscurité ou lumière prolongée, stress hydrique,...) (Bailly, 2018).

La phase de dormance est généralement levée après 1 à 2 mois de stockage. Le tableau 4 présente les résultats pour une orge maltée dans les mêmes conditions mais à différents temps après la récolte.

Tableau 4 : Influence de la maturation post-récolte sur les aptitudes au maltage d'une orge.
(Briggs, 1998 selon Witt, 1959)

Date maltage	Germination (%)	Extrait (%)	Ratio protéines solubles/totales (%)	Clarté du moût
21/08	97	72.5	35.5	Trouble
21/09	99	73.5	37.5	Légèrement trouble
15/10	99	74.3	39.5	Clair

Le tableau 4 montre à quel point la période de stockage de l'orge est primordiale pour lever la dormance et obtenir des aptitudes au maltage optimales. Dans les faits, la récolte à lieu durant la période estivale alors que les orges de printemps de nos régions septentrionales ne sont généralement maltées qu'à partir de la fin de l'automne et les orges d'hiver à partir du printemps (Monfort et Falisse, 2016).

L'objectif du stockeur sera de diminuer la température et le taux d'humidité du grain le plus rapidement après la récolte. Des silos équipés en ventilation vont permettre de diminuer la température aux alentours des 20°C le jour même de la réception du lot. Des séchoirs sont eux employés pour de sécher les livraisons moissonnées à plus de 16% d'humidité. Ceux-ci sont utilisés quelques jours après la récolte, après stabilisation du grain. En effet, l'humidité réelle des grains est souvent sous-estimée de 1 à 2% en début de moissons (Monfort et Falisse, 2016).

Stockée, la céréale aura tendance à respirer. Cette respiration induira une augmentation du CO₂, de la température et de l'humidité. Une augmentation de ces deux derniers paramètres est idéale à la prolifération de microbes et d'insectes, néfastes à la qualité de l'orge. La respiration initiera également la germination, ce qui n'est absolument pas recherché avant le maltage. Il est donc important de placer l'orge brassicole dans les conditions de températures et d'humidité minimisant au maximum ce phénomène de respiration. En effet, plus un grain sera chaud et humide, plus il respirera. La respiration est 8 fois plus importante pour un grain à 30°C qu'un grain à 15°C alors qu'elle sera 400 fois plus importante entre un grain à 30% d'humidité et un grain à 15%. (Monfort, b)

La figure 1.19 montre la durée de conservation de la qualité brassicole des orges en fonction de la température et de leur taux d'humidité. Ce diagramme montre à quel point il est important de conditionner son grain le plus rapidement possible après la récolte. La figure 1.20 quant à elle montre l'influence de ces facteurs sur les différentes dégradations que peut subir l'orge.

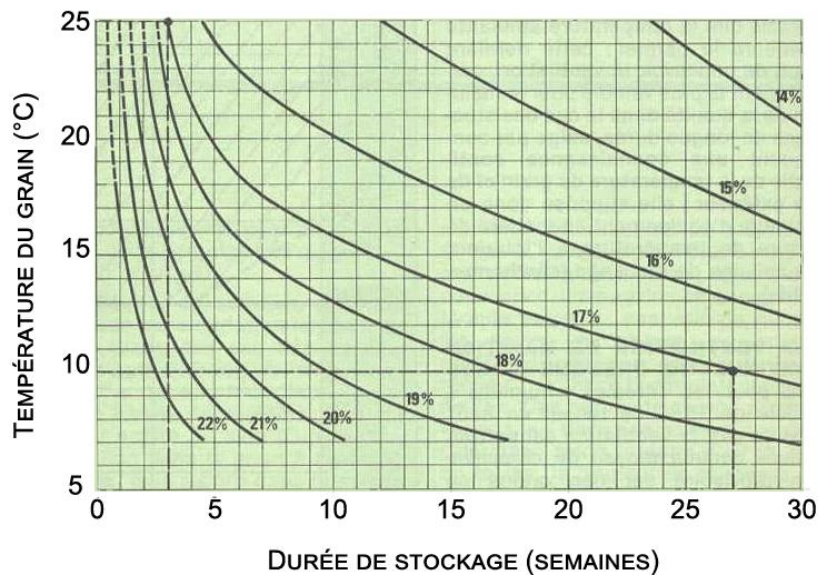


Figure 1.19 : Conservation des orges de brasserie (conservation d'un pouvoir germinatif de 95%, ou de la qualité brassicole) (Monfort, b)

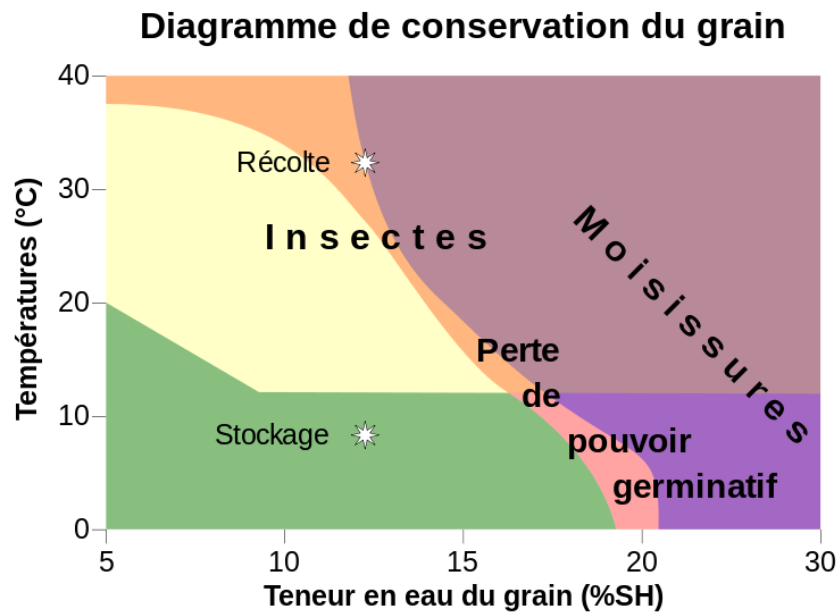


Figure 1.20 : Diagramme des risques de dégradation du grain en fonction de leurs caractéristiques (Monfort, b)

On appelle le « point froid » le point où les conditions de température et d'humidité permettent la plus grande durée de stockage.

Point froid :

- Humidité : 12%
- Température : 10°C

Séchage

Le séchage n'est pas forcément nécessaire, un séchoir n'est utilisé que lorsque le grain a une humidité dépassant les 16%. Dans l'hypothèse d'une coopérative installée en Belgique, il paraît logique d'y installer les installations nécessaires au séchage au vu des conditions climatiques du pays.

Plusieurs types de séchoir existent dans l'industrie. Le plus fréquemment utilisé est le séchoir en flux continu dont un schéma type est présenté à la figure 1.21. Afin de ne pas détériorer les grains d'orge, il est important que la température de séchage n'excède pas les 40°C. De manière générale, l'air servant au séchage a une température supérieure de 5 à 10°C au dessus de la température de l'air ambiant (Briggs, 1998).

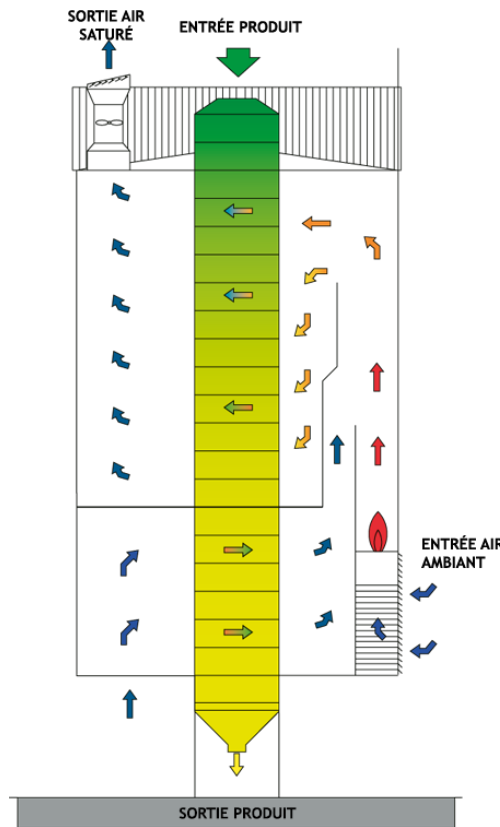


Figure 1.21 : Schéma d'un séchoir à grain à flux continu (www.zanin-italia.com)

Il est important de gérer ses récoltes afin d'éviter au maximum l'étape de séchage. En effet, celle-ci possède un coût énergétique important. 50 000 à 80 000 m³ d'air par m³ de grains sont nécessaires pour diminuer le taux d'humidité de 2 à 3 % (Pietercelie, 2017).

Ventilation

Alors que le séchage sert à diminuer le taux d'humidité, la ventilation du silo sert elle à descendre et maintenir la température. Le stockeur utilisera de l'air à température ambiante afin de diminuer la température. Cette diminution se déroule en deux voire trois paliers (Pietercelie, 2017) :

- **Palier 1** : Aout-Septembre
Le grain est récolté aux alentours des 25-35°C et immédiatement refroidi en dessous des 20°C. Ce refroidissement rapide est très important pour préserver la qualité et le potentiel de conservation.
- **Palier 2** : Octobre-Décembre
L'air extérieur est plus frais ce qui permet de descendre la température autour des 10-12°C.
- **Palier 3** : Janvier-Février (facultatif)
Si le stockeur souhaite stocker l'orge plus longtemps, il abaisse la température de l'orge à 5°C.

Même si le point froid est atteint, il y a naturellement un échauffement à l'intérieur du silo de grain, il est donc important de ventiler régulièrement les lots d'orge (tous les 10 jours). Le système de ventilation le plus couramment utilisé, est le système par faux fond perforé, présenté à la figure 1.22.

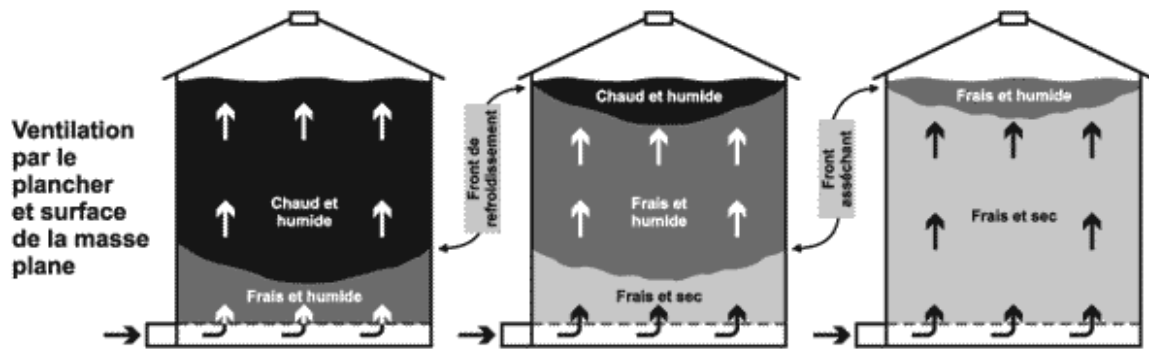


Figure 1.22 : Système de ventilation de silo de grain (Commission canadienne des grains, 2018)

Le stockage ne se fait bien évidemment qu'une fois les étapes de nettoyage et de triage réalisées. En effet, l'élimination des impuretés des grains permet d'avoir un lot homogène. L'air y circule ainsi de façon régulière, permettant un refroidissement correct de toute la masse de grain sans zones de passage préférentiel de l'air. De plus, le fait d'éliminer les grains moisis ou même déjà germés permet de limiter les phénomènes de respiration dans le lot (Monfort, b).

Les différents traitements avant et pendant le stockage présentés ci-dessus couplés à des traitements anti-nuisibles (insectes, rats, oiseaux,...) permettent aux grains d'orge d'être stockés dans les conditions optimales.

2. Objectifs du travail

Ce travail, fruit de la collaboration entre le Centre wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W) et l'Institut Meurice, a pour objectif d'évaluer les aptitudes au maltage et au brassage d'orges brassicoles wallonnes. Ce Travail de Fin d'Etude entre donc directement dans la thématique de la filière « orge brassicole » belge en circuit court décrite dans le chapitre « Introduction ».

A terme, l'idée est d'offrir une base de données expérimentales permettant de cerner au mieux les variétés d'orge et les conditions de culture les plus adaptées à notre territoire. Les résultats obtenus seront discutés et comparés aux critères utilisés dans l'industrie brassicole afin d'évaluer la qualité des malts obtenus dans le contexte d'une valorisation en circuit court.

La partie expérimentale se déroule en deux phases distinctes. La première phase a pour but de caractériser les propriétés physico-chimiques d'échantillons d'orges brassicoles avant que celles-ci soient envoyées à la VLB (Berlin) pour y être micro-maltées par micro-maltage de laboratoire. La deuxième phase consiste, elle, à caractériser les échantillons de malt obtenus et leurs aptitudes au brassage.

Les paramètres étudiés sur l'orge sont l'humidité, le temps de chute de Hagberg, le RVA, l'énergie et le pouvoir germinatifs, le poids de 1000 grains, le calibrage, la teneur en protéines totales et la composition chimique.

Les paramètres étudiés sur le malt sont le poids de 1000 grains, la teneur en protéines, l'humidité, la friabilité, le rendement, le pH, la couleur, la viscosité, les protéines solubles, l'azote α -aminé, les polyphénols et le RVA.

Les échantillons analysés ont tous été cultivés sur le territoire wallon en 2017. Au total, 34 échantillons d'orge ainsi qu'un témoin de malt de la malterie *Boortmalt* (Gembloux) sont étudiés. Ces échantillons peuvent être divisés en deux catégories. 11 orges, de variétés différentes, ont été cultivées dans des conditions identiques à Gembloux pour un « essai variétés ». Les 23 autres permettront quant à elles d'observer les influences des lieux et des modes de culture sur les caractéristiques de l'orge. L'annexe III présente la liste détaillée de nos échantillons.

3. Matériels et méthodes

3.1. Orge

3.1.1. Conditionnement

Les échantillons sont tous des orges issues de la récolte 2017 et viennent de différentes régions pédoclimatiques, variétés et modes de cultures (conventionnelle/peu intensive/biologique). Ils ont été conservés depuis l'été 2017 dans des seaux en plastique dont le couvercle a été percé afin de maintenir la respiration du grain. La première étape consistait à nettoyer et calibrer l'ensemble de nos orges grâce à un nettoyeur à grain *MLN* de *Chopin Technologies* muni d'un tamis de 2.2 mm. La figure 3.1 présente une photographie du type de nettoyeur utilisé au laboratoire.



Figure 3.1 : Nettoyeur à grain *MLN* - *Chopin Technologies* (Source : www.chopin.fr)

Pour certaines analyses nos échantillons ont dû être broyés dans un Moulin *Laboratory Mill 3100* (*Perten Instruments*) pour obtenir la *Mouture FN* (Falling Number). Si la mouture n'est pas précisée, l'analyse est réalisée sur les grains entiers nettoyés et calibrés à 2.2 mm.

3.1.2. Humidité

Connaître le taux d'humidité est très important. Cela va nous permettre de savoir si notre orge a été suffisamment bien conservée entre sa récolte et les analyses. Sur le terrain une orge devra obligatoirement être séchée si son taux d'humidité est supérieur à 15%. Au-delà de cette valeur, la stabilité de l'orge face aux modifications métaboliques ou aux infestations ne serait pas assurée et il y aurait un trop grand risque que les grains perdent leur capacité à germer après le stockage.

L'humidité a été mesurée sur nos grains via infrarouge à l'aide d'un *Infratec NOVA* (*FOSS*). Cette méthode d'analyse est très utilisée sur le terrain en raison de sa rapidité, du fait qu'elle est non destructrice de l'échantillon et qu'il s'agit d'une méthode couramment utilisée par les stockeurs de céréales.

3.1.3. Temps de chute d'Hagberg

Le temps de chute de Hagberg (Falling Number) est une analyse permettant d'évaluer la capacité enzymatique d'une céréale et particulièrement l'activité de ses α -amylases. Cette analyse permet de déterminer si les grains ont déjà commencé leur germination.

Pour cette analyse, 7.0 ± 0.05 g d'échantillon (*Mouture FN*) sont mélangés dans 25 ± 0.2 ml d'eau distillée. Après homogénéisation à l'aide d'un *Shakematic* (*Perten Instruments*) le mélange est introduit dans l'appareil de mesure *Falling Number FN1000* (*Perten Instruments*).

La suspension aqueuse de farine est placée dans un bain d'eau bouillante. La viscosité, liée à l'activité des enzymes, est évaluée par le temps mis par un agitateur pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids. Plus l'activité des α -amylases sera importante, plus la liquéfaction sera rapide et le temps de chute d'Hagberg faible.

3.1.4. RVA (« Rapid Visco Analyser »)

Le RVA consiste à relever la viscosité d'un mélange d'eau et de farine de céréales en fonction du temps et d'un programme de température. La courbe temps-viscosité obtenue permet d'obtenir un suivi des réactions enzymatiques. La figure 3.2 présente un graphe type obtenu après analyse RVA ainsi que les différents points importants de la courbe.

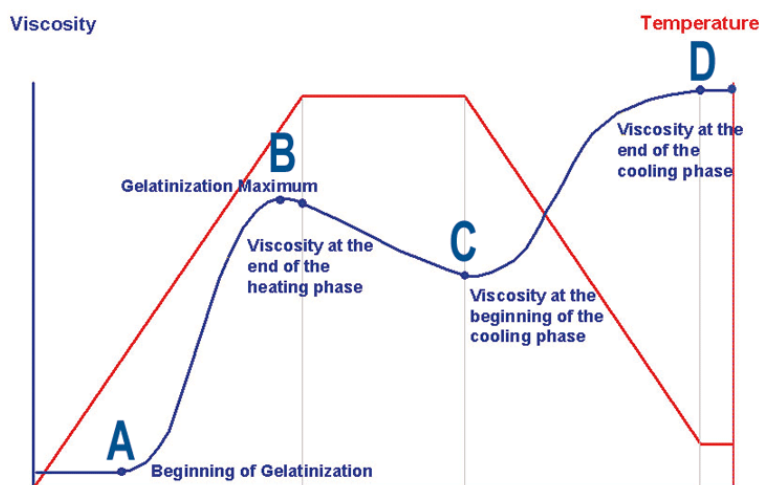


Figure 3.2 : Courbe RVA (Source : www.cwbrabender.com)

Le mélange eau-farine permet d'obtenir une courbe de viscosité impliquant l'amidon et les enzymes. Afin de n'observer que la composante "amidon" nous utilisons dans un second temps de l' AgNO_3 , un inhibiteur d'enzyme, à la place de l'eau. La comparaison de ces deux courbes donnera alors des indications quant à l'activité amylasique. Tout comme le temps de chute d'Hagberg, l'analyse RVA permet également d'évaluer la pré-germination du grain.

Cette analyse est réalisée sur le *Rapid Visco Analyser 4500* de *Perten Instruments*. $4,00 \pm 0,01$ g de *Mouture FN* d'échantillon sont ajoutés à 24 g d'eau ou de AgNO_3 . L'analyse est réalisée en duplicata.

3.1.5. Energie et pouvoir germinatifs

L'énergie et le pouvoir germinatifs sont les pourcentages de grains ayant germés après respectivement 72 et 120 heures.

Cette analyse suit la méthode EBC 3.6.1. . 50 grains d'échantillon sont disposés sur un carré d'ouate dans une boîte de Petri. On y verse de l'eau distillée afin d'augmenter l'humidité des grains et provoquer leur germination. Pour chaque échantillon, 6 boîtes de 50 grains sont mises en place. On ajoutera alors 4 ml d'eau aux 3 premières et 8 ml aux 3 suivantes. Les essais à 8 ml servent à mettre en évidence la sensibilité d'un grain à l'eau. Les boîtes sont placées dans une pièce thermostatée et le nombre de grains ayant germé sera compté après 3 et 5 jours.

Avoir une énergie et un pouvoir germinatifs élevés permet d'avoir une phase de germination plus courte lors du maltage et permet d'assurer l'homogénéité de la germination. Cette homogénéité permet d'éviter les grains non transformés pouvant être impliqués dans les problèmes de broyage, de saccharification ou encore de filtration lors du brassage.

Cette analyse est réalisée en utilisant les fractions A, B et C des grains calibrés et triés (voir 3.1.7).

3.1.6. Poids de 1000 grains

Le poids de 1000 grains est une bonne indication du remplissage des grains d'orge. Plus cette valeur sera élevée plus la quantité d'amidon, et donc d'extrait potentiel dans le malt, sera importante.

Cette analyse est réalisée selon la méthode EBC 3.4. sur les fractions de grains supérieures à 2,2 mm (A, B et C) des grains calibrés et triés (voir 3.1.7).

Une fois 20 ± 0.1 g d'échantillon pesés, le nombre de grains est compté par un compteur à grains NUMIGRAL (Chopin Technologies). L'analyse est réalisée en duplicata et la valeur est ramenée à une valeur constante d'humidité. Le poids de 1000 grains est calculé de la manière suivante :

$$P_{1000} = \frac{P \times 1000 \times (1000 - H)}{N \times 100}$$

P_{1000} = poids de 1000 grains

P = masse des grains pesés pour le comptage (g)

H = Humidité de l'échantillon

N = Nombre de grain

3.1.7. Calibrage

Le calibrage est réalisé selon la méthode EBC 3.11.1. sur un calibre munis de tamis de 2.8, 2.5 et 2.2 mm. L'analyse consiste à passer 100 ± 0.1 g d'échantillon sur les tamis pendant 5 minutes d'agitation. Les échantillons sont alors séparés en 4 fractions.

Les 4 fractions obtenues sont alors examinées et triées par l'opérateur selon la méthode EBC 3.11.2. . Nous obtenons 7 catégories de grains :

- **Calibre A** : grains > 2.8 mm (sans catégories E, F et G)
- **Calibre B** : $2.8 \text{ mm} > \text{grains} > 2.5 \text{ mm}$ (sans catégories E, F et G)
- **Calibre C** : $2.5 \text{ mm} > \text{grains} > 2.2 \text{ mm}$ (sans catégories E, F et G)
- **Calibre D** : grains < 2.2 mm (sans catégories E, F et G)
- **Calibre E** : grains cassés, grains sans germes
- **Calibre F** : grains d'autres céréales, grains germés, grains endommagés
- **Calibre G** : graines autres que céréales, grains avariés, cariés, chauffés, ergots, matières inertes et/ou étrangères

Il est important que les calibres A et B soit en grande majorité afin d'assurer une bonne teneur en amidon et une bonne homogénéité de l'orge pour obtenir une bonne germination lors du maltage.

3.1.8. Teneur en protéines totales

Lors du brassage, les protéines sont hydrolysées par différentes protéases et peptidases. On obtient alors les acides aminés nécessaires à la nutrition des levures lors de la fermentation. L'azote dont la levure a besoin est alors apportée par les acides aminés sous forme de FAN (Free Amino Nitrogen).

En plus d'être un élément nutritionnel primordial aux levures, les oligo-peptides forment la structure de la mousse et apporte une rondeur à la bière. Malgré ces points positifs, il est important que la teneur en protéines ne soit pas trop importante. En effet, les protéines rentrent en interaction avec les polyphénols (pont hydrogène, liaisons hydrophobes, liaisons ioniques) pour former le trouble colloïdal présent dans la bière.

Il est donc nécessaire de garder à l'œil le taux de protéines présent dans l'orge de brasserie, celui-ci influençant fortement les qualités organoleptiques du produit fini.

Nous analyserons la teneur en protéines via la méthode de Dumas décrite par la méthode EBC 3.3.2., cette méthode nous permet d'obtenir la quantité d'azote totale présente dans nos échantillons broyés (*Mouture FN*), l'appareil utilisé pour cette analyse est un *TruMac Series* (LECO Corporation).

La méthode de Dumas (1831) consiste en une combustion totale de l'échantillon sous oxygène à une température de plus de 1000°C . Les gaz obtenus passent par deux types de catalyseurs. Un premier catalyseur d'oxydation qui transforme les gaz en CO_2 , H_2O , SO_2 , SO_3 , N_xO_y et un second, en cuivre réduit, qui réduit l'oxyde d'azote en azote élémentaire.

Les produits obtenus non dosés sont piégés et les gaz dosés sont séparés dans une colonne de chromatographie pour être quantifiés par un détecteur à conductibilité thermique.

3.1.9. Composition chimique de l'orge

L'analyse de la composition chimique, réalisées dans les laboratoires du CRA-W situé à Libramont étudie plusieurs paramètres :

- Les minéraux (CT) : dosés après mise au four à moufle à 550°C pendant 4h
- L'amidon : dosé selon la méthode d'Ewers
- Les sucres solubles totaux (SST) : dosés selon la méthode de Luff-Schoorl
- La cellulose : dosée selon la méthode de Weende
- Les protéines totales : dosées selon méthode de Dumas
- Les hémicelluloses : leur proportion correspond à « 100 – l'ensemble des composés cités ci-dessus »

3.2. Micro-maltage de laboratoire

Nos 34 échantillons d'orge ont été envoyés aux laboratoires de la VLB à Berlin pour y être micro-maltés. Le micro-maltage réalisé ici suit la méthode standardisée Mebak 1.5.3.

Plusieurs technologies de micro-maltage sont possibles. Dans ce cas-ci un kilogramme d'orge nettoyée et calibrée à 2,2 mm est placée dans un tambour rotatif. Cette technique permet d'enchaîner les phases de trempe et de germination à l'intérieur des tambours.

Au total, le micro-maltage durera 7 jours, ses différentes étapes sont les suivantes :

3.2.1. Trempe

Cette étape dure 72 heures, les températures de l'eau de trempe et de l'air d'aération sont de $14 \pm 0,1$ °C.

Jour 1 :	Trempe : 5h Aération : 19h
Jour 2 :	Trempe : 4h Aération : 20h
Jour 3 :	Trempe : Jusqu'à atteindre un taux d'humidité de 44.5% Aération : Tout le reste de la journée

3.2.2. Germination

Temps de germination :	3 jours
Température de l'air humidifié :	$14 \pm 0,1$ °C
Température du lit de grain :	$14,5 \pm 0,1$ °C

Après l'étape de germination, l'humidité du malt vert doit se situer à 45 - 45,5 %.

3.2.3. Touraillage

Le profil de température utilisé lors de cette phase est le suivant :

50 °C : 16h
60 °C : 1h
70 °C : 1h
80 °C : 5h

3.3. Malt

3.3.1. Malt de référence

Un de nos malts, l'échantillon **13**, est un malt industriel produit par la malterie *Boortmalt* de Gembloux. Utilisé comme malt de référence, cet échantillon nous a permis de vérifier la pertinence de nos analyses par comparaison entre les valeurs expérimentales déterminées lors de ce travail et la fiche de contrôle de ce malt.

3.3.2. Humidité

Un malt fini doit normalement se situer entre 4 et 4,5% d'humidité. Si ce taux d'humidité est trop élevé, le malt perdra de ses propriétés organoleptiques et engendrera des problèmes lors de la mouture avant le brassage (Briggs, 1998).

L'humidité du malt est décrite pour la méthode EBC 4.2. . 5 g de grains avec une balance analytique *Sortorius* et broyés par un broyeur *IKA A10 B*. Ce type de broyeur possède un refroidisseur intégré qui permet de limiter les pertes d'humidité lors du broyage. La farine obtenue est alors placée à 130°C pendant 2 heures dans une étuve *Chopin EM10*. La perte de masse de notre échantillon permet d'exprimer l'humidité de nos malts en pourcentage.

3.3.3. Poids de 1000 grains

La méthode pour déterminer le poids de 1000 grains de nos malts est décrite par la méthode EBC 4.4. et est identique à celle utilisée pour les orges (voir point 3.1.6).

3.3.4. Teneur en protéines totales

La méthode pour déterminer la teneur en protéines totales de nos malts est décrite par la méthode EBC 4.3.1. et est identique à celle utilisée pour les orges (voir point 3.1.8).

3.3.5. Friabilité

La friabilité est un paramètre très utilisé en malterie car son analyse est facile à mettre en place et permet une évaluation rapide de la désagrégation du malt. La méthode utilisée est la méthode EBC 4.15.

50 g de malt sont introduits dans un friabilimètre pendant 8 minutes. Ce type d'appareil est constitué d'un tambour grillagé rotatif. La partie de grain abrasée par le tambour est pesée pour en déterminer le pourcentage. La partie non abrasée est quant à elle analysée visuellement. Les grains plus grands que la moitié de la taille initiale sont pesés pour déterminer le pourcentage de grains non friables. L'appareil utilisé est le friabilimètre standardisé EBC de marque *Pfeuffer* de la malterie *Boortmalt* de Gembloux.

3.3.6.Brassins conventionnels

Le brassin conventionnel permet au brasseur d'évaluer l'aptitude du malt à être transformé lors du brassage. Le moût obtenu par ce type de brassin standardisé (EBC 4.5.1.) permet alors de réaliser toute une série d'analyses qui seront décrites plus bas.

Le malt est broyé en fine mouture par un broyeur standardisé EBC. 50 g de cette fine mouture sont empâtés par addition de 200 ml d'eau distillée à 45-46°C. Le schéma de brassage adopté conventionnellement est le suivant: 30 minutes à 45°C; puis montée à 70°C, à raison de 1°C par minute. Une fois cette température atteinte, 100 ml d'eau à 70°C sont ajoutés. Le godet reste alors à 70°C pendant une heure avant d'être rapidement refroidi. Après avoir porté sa masse à $450 \pm 0,1$ g, le contenu du godet est filtré sur un filtre plissé imposé à un diamètre de 32 cm et correspondant au n° 597 de *Schleicher-Schuell*.

Le moût est analysé pour obtenir toute une série de résultats :

Rendement (EBC 4.5.1.)

Les moûts obtenus sont analysés à l'aide l'appareil *DMA4500 density meter* de *Anton Paar* fournissant les valeurs de densité (g/cm^3) et de degré Plato (°P). Les valeurs d'humidité et de degré Plato permettent, grâce aux formules décrites par l'EBC, de déterminer le rendement en extrait de nos échantillons de malt.

pH (EBC 4.18.)

Le pH du moût est mesuré grâce au pHmètre C860 de la marque *Consort*.

Couleur (EBC 4.7.1.)

La couleur est déterminée par la mesure de l'absorbance. Le spectrophotomètre utilisé est *Spectronic GENESYS 6*. L'absorbance est mesurée à 430nm contre un blanc (eau). La couleur en unités EBC s'obtient grâce à la formule suivante :

$$C = A_{430} \times 25 \times F$$

C = couleur en unité EBC

A_{430} = absorbance à 430nm

F = facteur de dilution

Temps de saccharification (EBC 4.5.1.)

Il s'agit ici d'un paramètre étudié lors du brassin conventionnel. Une fois la température de 70°C du moût atteinte, on mesure le temps nécessaire à la saccharification par réaction entre le moût et une solution d'iode. Tant qu'il reste de l'amidon, l'iode réagira pour devenir bleu très foncé/noir. Le temps de saccharification ne doit pas dépasser les 15 minutes.

Vitesse de filtration (EBC 4.5.1.)

Tout comme le point précédent, la vitesse de filtration est mesurée durant le brassin conventionnel. On mesure le temps que met le moût pour être filtré. Idéalement ce temps ne doit pas dépasser une heure.

Viscosité (EBC 4.8.4.)

La viscosité du malt dépend directement de la teneur en β -glucanes et en arabinoxylanes, elle est donc une bonne indication de la désagrégation du malt. Des valeurs trop élevées de viscosité engendraient des problèmes de filtration. Pour la mesurer nous utilisons le *Microviscometer Lovis 2000M* de la marque *Anton Paar*

Protéines solubles (4.9.3.)

La quantité de protéines solubles dépend de la désagrégation du malt. Elles ont un impact direct sur la tenue de la mousse et la fermentabilité.

Leur analyse se fait par la technique de Dumas décrite par l'EBC. Environ exactement 2 g de moût sont pesés sur une balance analytique *Sartorius* et concentrés par un séchage de 1 heure à 100°C dans une étuve ventilée de marque *Memmert*. Une fois ce séchage fini, les prises d'essais sont introduites dans l'appareil *TruMac series* de marque *LECO* pour analyse des protéines.

Profil en sucre (EBC 8.7.)

Ce paramètre permet de déterminer la proportion des différents sucres et par conséquent de donner une idée du travail conjoint des α et β amylases.

Le profil en sucre du moût est déterminé par HPLC. L'appareil utilisé est un *Waters 515 HPLC pump* équipé d'un *Waters 2414 refractive index detector* à 30°C. La colonne utilisée est une *Prevail Carbohydrate ES, 5 μ m 250 x 4.6mm* (Part No. 35101) de la firme *Grace*. Le solvant utilisé est un 32 mélange acétonitril/eau (75v/25v) injecté à un débit de 1 ml/min à une température de 60°C.

Azote α -aminé (EBC 4.10.)

Les FAN (Free Amino Nitrogen) sont la source en acides aminés, essentiels au développement des levures. Ils sont mesurés par dosage colorimétrique à la ninhydrine. Une droite d'étalonnage est établie en utilisant des quantités connues d'alanine. L'absorbance, mesurée à 570 nm par un spectrophotomètre de marque *Spectronic GENESYS 6*, est comparée à la droite d'étalonnage pour déterminer la quantité d'azote α -aminé.

Polyphénols (9.11.)

L'analyse des polyphénols totaux consiste en une réaction entre les polyphénols présents dans le moût et des ions ferriques en milieux alcalin. La densité optique de la solution obtenue est alors lue par spectrophotométrie à 600nm. L'appareil utilisé est un *Spectronic GENESYS 6*. La concentration en polyphénols est alors calculée via la formule suivante :

$$\text{Polyphénols (mg/l)} = A_{600} \times 820 \times F$$

A_{600} = absorbance à 600 nm

F = facteur de dilution

3.3.7.RVA (« Rapid Visco Analyser »)

L'analyse RVA du malt se déroule de la même manière que celle décrite pour l'orge au point 3.1.4. Les seules différences sont les quantités mises en jeu : 11.2g de malt préalablement passé au moulin *CT193 Cyclotec (FOSS)* et 16.8g d'eau/ AgNO_3 . Cette analyse est réalisée par Valentine Deneyer dans le cadre d'un stage au CRA-W.

3.4. Traitements des données et statistiques

Les résultats d'analyses sont compilées en une base de données exploitable sur le programme de traitement « R studio », la version 3.4.1 de « R ». Des scripts ont ensuite été élaborés afin de mettre en œuvre un traitement de données reproductible fournissant les résultats de statistique descriptive et d'analyse de la variance.

Les résultats de statistique descriptive permettent de mettre en forme tous les résultats obtenus, en prenant en compte les répétitions selon les analyses. Ces résultats sont représentés sous forme d'histogrammes. Les intervalles de confiance à 95% de la moyenne ou de la médiane (et non l'écart-type) sont représentés sur ces diagrammes.

Lors de la discussion des résultats, nous présenterons les corrélations entre différents paramètres analytiques. L'ensemble des résultats de corrélations sont statistiquement significatifs et négligent les orges d'hiver, ceux-ci présentant, nous le verrons, des valeurs trop éloignées des orges de printemps.

Les valeurs de corrélation varient de -1.00 à 1.00. Celles se situant dans les intervalles [-1.00 ; -0.50] et [0.50 ; 1.00] sont dites fortes. Les valeurs négatives indiquent que les valeurs d'une variable tendent à augmenter lorsque celles de l'autre variable diminuent. Inversement, une corrélation positive indique que les valeurs d'une variable tendent à augmenter lorsque celles de l'autre variable augmentent. Un exemple de diagramme de corrélation tel qu'utilisé dans ce travail est présenté dans l'annexe IV.

3.5. Valeurs de référence

Les différentes analyses réalisées lors de ce travail de fin d'étude permettront de caractériser différents échantillons dont la liste complète se trouve en annexe III. Les résultats obtenus seront alors comparés aux valeurs de référence utilisées dans l'industrie de l'orge brassicole.

L'annexe V rassemble les valeurs attendues pour les différentes analyses selon plusieurs références: IFBM, VLB, Synagra, Malteurs de France, Arvalis, EBC et Malteurs Echos. Le tableau 5 compile les valeurs de référence utilisées dans les analyses ultérieures sur base de l'annexe V.

Tableau 5 : Valeurs de référence pour les différentes analyses de l'orge et du malt

	Seuil stricte	Seuil souple
<u>ORGE</u>		
Humidité (% MH)	14	14.5
Energie germinative (% germés)	97	93
Pouvoir germinatif (% germés)	98	95
Protéines totales (% MS)	9.5-11.5	9-12
Poids de 1000 grains (g)	37-45	/
Calibrage AB (%)	90	85
Calibrage DE (%)	3	/
<u>MALT</u>		
Humidité (% MH)	4-5	3-5.5
Poids de 1000 grains (g)	28-44	/
Protéines totales (% MS)	9.5-11.5	9-12
Temps de saccharification (min)	15	/
Rendement sec (% MS)	80	76
pH	5.6-6	/
Couleur (EBC)	3-4	2-5
Viscosité (mPa.s)	1.55-1.6	1.48-1.65
FAN (mg/l)	160	120
Polyphénols (mg/l)	/	/
Protéines solubles (% MS)	3.6-4.7	/

Dans notre cas, nous avons à faire à une transformation artisanale, il faudra donc s'accorder plus de liberté et aller vers des seuils plus souples que ceux utilisés dans les malteries industrielles. Les orges cultivées de manière bio notamment devront probablement être évaluées en fonction des seuils souples.

4. Résultats et discussions

Ce chapitre réunit l'ensemble des résultats obtenus pour les manipulations décrites dans les « Matériels et méthodes ». Ces résultats sont présentés sous forme de graphiques établis à l'aide du programme informatique *R* sur lequel sont mises en évidence les valeurs seuils décrites dans le tableau 5 et l'annexe V.

Sauf précision, les codes couleurs utilisés dans les graphes de ce chapitre sont les suivants :

- Les échantillons d'orges de printemps 2 rangs (2RP) et leurs malts associés sont présentés en **mauve**.
- Les échantillons d'orges d'hiver 2 rangs (2RH) et leurs malts associés sont présentés en **vert**.
- Les échantillons d'orges d'hiver 6 rangs (6RH) et leurs malts associés sont présentés en **orange**.
- Les valeurs seuils souples détaillées dans le tableau 5 sont représentées par des lignes ou pointillés **rouges**.
- Les valeurs seuils strictes détaillées dans le tableau 5 sont représentées par des lignes ou pointillés **orange**.

Les résultats sont systématiquement séparés en deux graphes présentés en parallèles :

- « **Essai variétés** » : Cet essai est composé de 11 échantillons ayant tous été cultivés de manière conventionnelle dans les mêmes conditions, à Gembloux. Présenté de manière détaillée, cet essai permettra de mettre en évidence, les variétés les plus adaptés à la filière orge brassicole en Belgique.
- « **Essai agriculteurs** » : Cet essai est quant à lui composé de 23 échantillons cultivés dans différentes régions pédoclimatiques de Wallonie et suivant différents modes de culture : conventionnel, biologique et peu intensif. Ce dernier entre dans une optique de protection des sols en utilisant notamment très peu de produits phytosanitaires, certains appellent cela le mode agro-écologique. Cet essai permettra de se faire une idée de l'influence de ces facteurs sur les propriétés physico-chimiques de nos orges et de leurs malts.

Afin d'alléger la présentation de cet essai, ce sont les moyennes (ou médianes) des résultats qui sont présentés, nos échantillons ayant été réunis en 5 catégories : les orges d'hiver 2 rangs, les orges d'hiver 6 rangs et les orges de printemps 2 rangs de culture biologique, conventionnelle et peu intensive. Même si les échantillons de l'« essai agriculteurs » ne sont pas présentés de manière détaillée, ceux présentant des valeurs critiques seront précisés dans la discussion des résultats.

L'ensemble de nos échantillons d'orge sont présentés de manière détaillée (variétés, agriculteurs, lieux et modes de culture) à l'annexe III. Parmi nos échantillons, l'échantillon **13** est un malt de référence qui servira ici de base de comparaison des échantillons étudiés par rapport à un malt industriel.

4.1. Orge

4.1.1. Humidité

Comme expliqué dans le chapitre « Introduction », l'humidité est un facteur clé dans le stockage de l'orge, une humidité au-delà des seuils préconisés dans l'industrie brassicole pouvant amener moisissures et pré-germination non désirées. Sa mesure, après stockage, permet donc de se faire une idée rapide de la conservation de la qualité brassicole de notre grain. La figure 4.1 présente les résultats d'humidité obtenus pour nos échantillons d'orge.

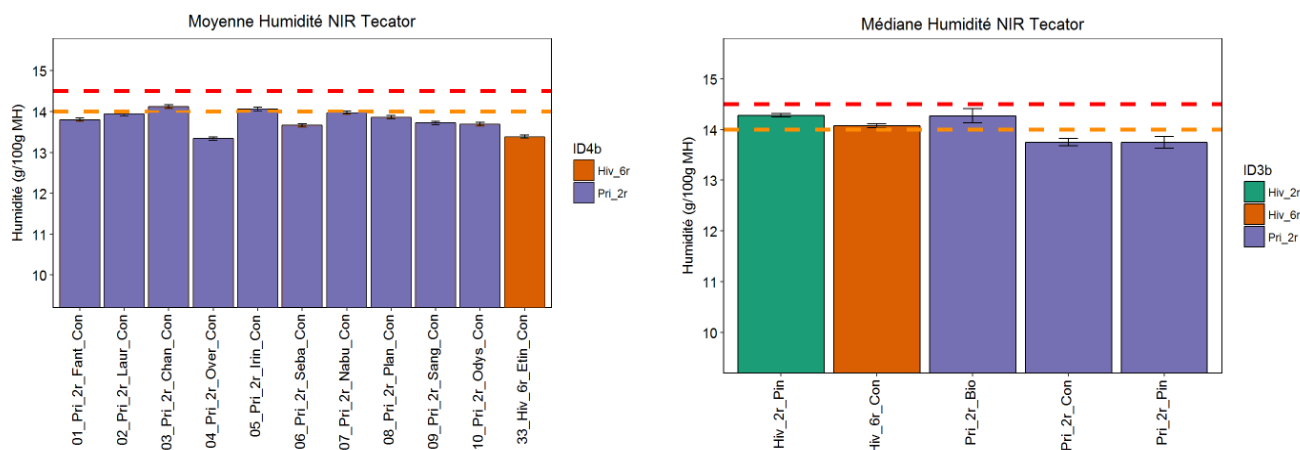


Figure 4.1 : Humidité des échantillons d'orge. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Nous constatons que nos échantillons se situent tous en dessous des seuils d'humidité fixés à 14 et 14.5%. Le seul échantillon (**15**: orge de printemps 2 rangs de l' « essai agriculteurs ») dépassant ces seuils se situe encore loin de la valeur limite de 16% d'humidité, valeur à laquelle l'orge est obligée d'être séchée avant son stockage. Nous pouvons donc rapidement conclure que nos orges ont été récoltées et conservées dans de bonnes conditions et ne nécessiteraient aucun séchage si elles étaient introduites dans le circuit de l'orge à valorisation brassicole.

4.1.2. RVA sur orge – Hagberg

L'analyse RVA consistant à relever la viscosité d'un mélange d'eau et de farine de céréale en fonction du temps et d'un programme de température révèle, au même titre que le temps de chute d'Hagberg, l'activité enzymatique de nos orges. Ces deux paramètres sont présentés dans les figures 4.2 et 4.3.

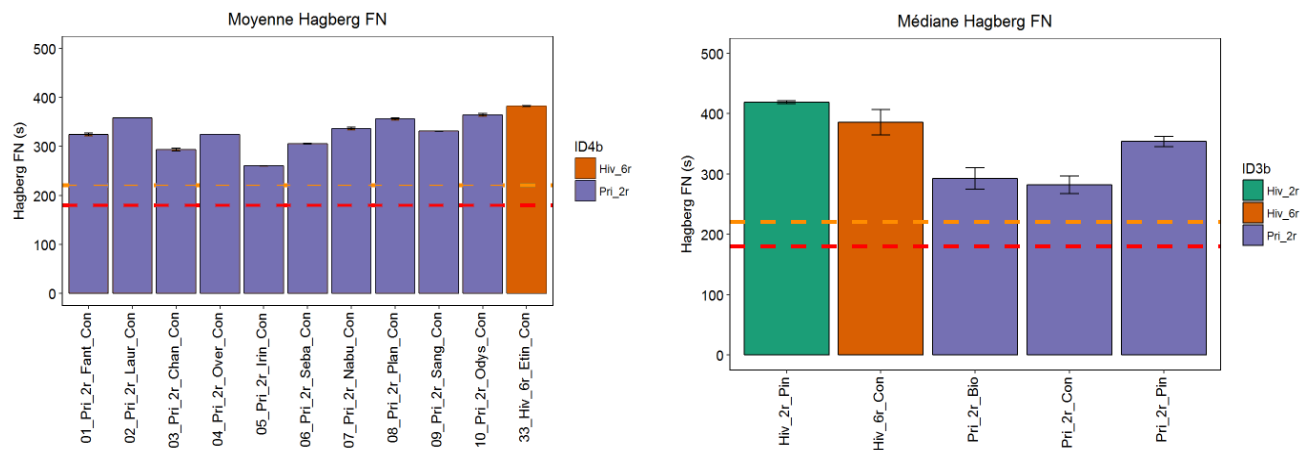


Figure 4.2 : Hagberg. Gauche : « essai variétés ». Droite : « essai agriculteurs »

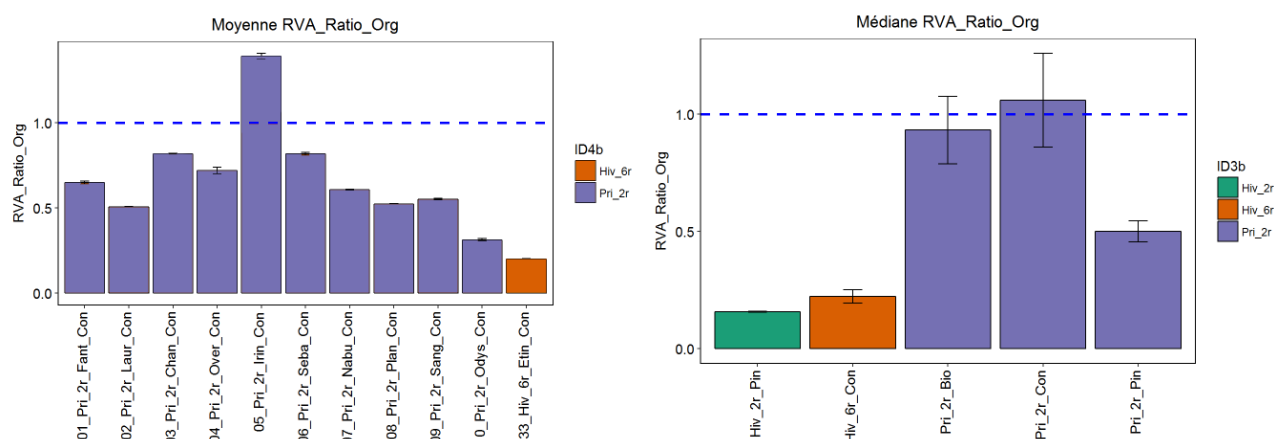


Figure 4.3 : RVA - Ratio. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Pour le temps de chute de Hagberg, *Perten* indique comme valeurs seuils pour l'orge 220s (strict) et 180s (souple). Ces valeurs sont issues du froment mais sont également utilisées dans la littérature pour l'orge brassicole sans pourtant n'avoir jamais été validées. Il faudrait donc idéalement mener une étude pour établir des valeurs seuils spécifiques à l'orge brassicole.

Deux orges de printemps de l'« essais agriculteurs », une de culture conventionnelle (16) et une de culture biologique (29), possèdent des temps de chutes inférieurs à la valeur souple de 180s. Ce sont ces deux échantillons qui justifient les valeurs médianes plus basses pour les orges printemps 2 rangs en culture biologique et conventionnelle dans l'« essai agriculteurs ». Ces faibles temps de chute de Hagberg traduisent une activité enzymatique importante. Une forte activité des α -amylases, pouvant correspondre à un

lancement prématuré de la germination, pourrait engendrer une perte de l'énergie germinative après stockage des grains ou poser problème dans la suite du processus de maltage avec notamment la présence de grains « hussards », grains dont la plumule sort des enveloppes externes. Nous verrons plus tard que l'échantillon **16** possède un pourcentage important de grains étrangers ou endommagés (calibres FG) ce qui pourrait justifier l'augmentation de l'activité enzymatique.

L'analyse RVA « *Rapid Visco Analyser* », représente elle aussi l'état d'avancement d'une éventuelle pré-germination pouvant être causée par de mauvaises conditions de stockage ou de récolte trop tardive causée par une météo pluvieuse. Les résultats du RVA sont présentés sous la forme d'un ratio, c'est-à-dire :

$$Ratio = \frac{Viscosité\ finale\ (AgNO_3) - Viscosité\ finale\ (H_2O)}{Viscosité\ finale\ (H_2O)}$$

Lorsque l'activité enzymatique sera importante, la viscosité finale obtenue dans l'eau sera plus faible et augmentera donc la valeur du ratio. Si ce rapport est supérieur à 1, on peut considérer que les résultats deviennent critiques. Il s'agit ici d'un seuil totalement arbitraire qu'il serait intéressant d'affiner dans le cadre d'une étude plus poussée sur le RVA.

Les figures 4.2 et 4.3 nous permettent de constater que les échantillons posant problème lors de l'analyse du temps de chute de Hagberg, ressortent également lors des mesures par RVA. Ces deux analyses sont donc complémentaires et devront être mises en lien avec l'énergie et le pouvoir germinatif présentés au point suivant. L'échantillon **05** de l'« essai variétés » (orge 2RP de la variété *Irina*) présente lui aussi un ratio supérieur à 1. Bien qu'il soit l'échantillon de cet essai avec le plus petit temps de chute de Hagberg, rien ne laisse supposer une éventuelle pré-germination.

Une corrélation très nette de - 0.98 est observée entre le temps de chute de Hagberg et le logarithme népérien du ratio. L'utilisation du logarithme permet de linéariser la relation entre ces deux paramètres. Il est important de préciser que toutes les corrélations présentées dans ce travail et dans la suite du document sont statistiquement significatives et ne prennent pas en compte les échantillons d'orges d'hiver, trop différents, afin de permettre la mise en évidence de liens entre les paramètres.

Fournissant plus de paramètres (voir point 3.1.4) et une plus nette différence entre un lot standard et un lot pré-germé, l'analyse RVA devrait, en cas de choix, être privilégiée au temps de chute de Hagberg et ce malgré un temps de mesure plus important. La figure 4.4 présente les valeurs obtenues pour le *Pasting Temperature* (eau). Ce paramètre correspond à la température de gélatinisation de l'amidon que nous constatons plus faibles pour les orges d'hiver que de printemps dans le cadre de l'« essai agriculteurs ». L'analyse RVA suivant un profil de température, un pic de viscosité sera observé lorsque la température de gélatinisation de l'orge sera atteinte. Fournissant donc des informations

supplémentaires sur l'amidon l'analyse RVA est bien plus complète que le temps de chute de Hagberg. Malheureusement, aucune valeur seuil pour ce paramètre n'est conseillée par la littérature.

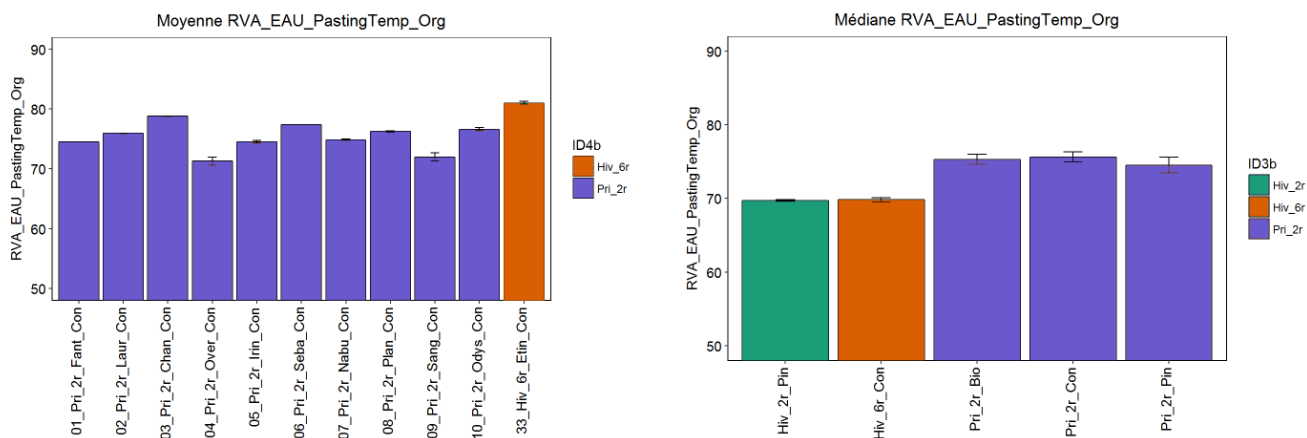


Figure 4.4 : Pasting temperature (eau) des échantillons d'orges
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

La figure 4.5 présente les valeurs de *Pasting Temperature* (eau) obtenue pour le malt. Il est intéressant de présenter ces résultats dans ce point afin de constater la nette diminution entre les orges et leurs malts.

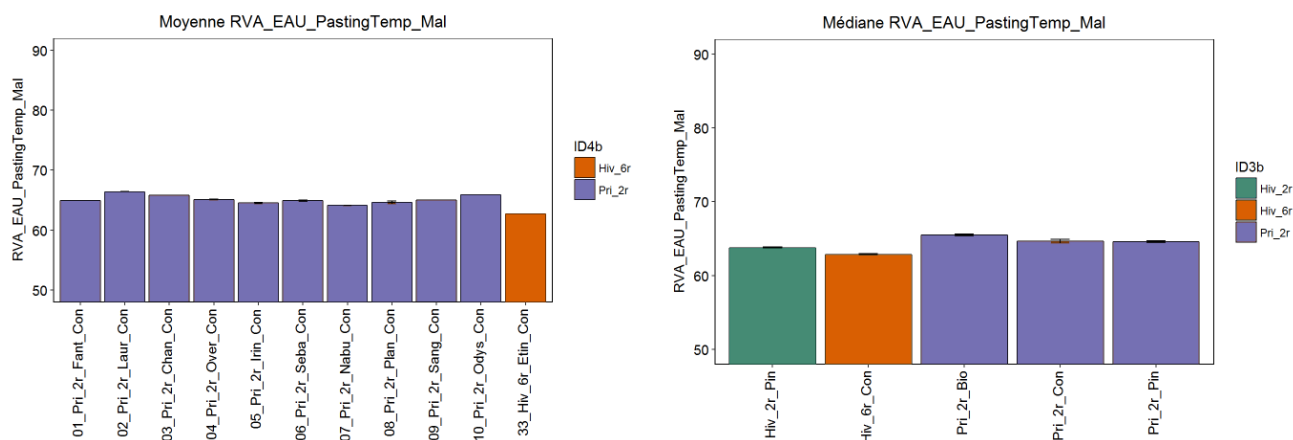


Figure 4.5 : Pasting temperature (eau) des échantillons de malts
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

On constate une nette baisse de la température de gélatinisation de l'amidon lorsque les orges ont été maltées. Cette diminution peut être justifiée par l'activation des enzymes hydrolytiques lors du maltage et qui ont donc déjà été actives sur l'amidon. Nous nous approchons ici des températures optimales d'activité des amylases visées par le brasseur lors du brassage. La détermination du *Pasting Temperature* par RVA sur le malt pourrait être envisagée comme un outil intéressant pour ajuster le palier de brassage des β -amylases. En effet, si ce paramètre est élevé pour un malt, cela signifie que le brasseur devra chauffer plus pour atteindre le palier enzymatique des β -amylases ou en tout cas adapter son profil de brassage en allongeant son palier.

Il est également à noter que lorsque les enzymes sont désactivées par l'AgNO₃, les protéines de l'orge interviennent dans le processus d'empesage de l'amidon. Cette observation vient des corrélations entre les *Peak Time* (AgNO₃)/*Peak Area* (AgNO₃) et la teneur en protéine de respectivement 0.58 et 0.53. Le RVA évalue en principe uniquement l'activité enzymatique et le comportement de l'amidon, il est donc intéressant de remarquer ici que l'analyse RVA réagit également avec les protéines. L'usage d'AgNO₃ permet d'étudier le comportement des protéines sans l'interférence des enzymes.

4.1.3. Energie et pouvoir germinatifs

Analyses nécessitant la levée de la dormance, l'énergie et le pouvoir germinatifs reflètent la qualité du travail de l'agriculteur et du stockeur ainsi que la capacité du grain à germer.

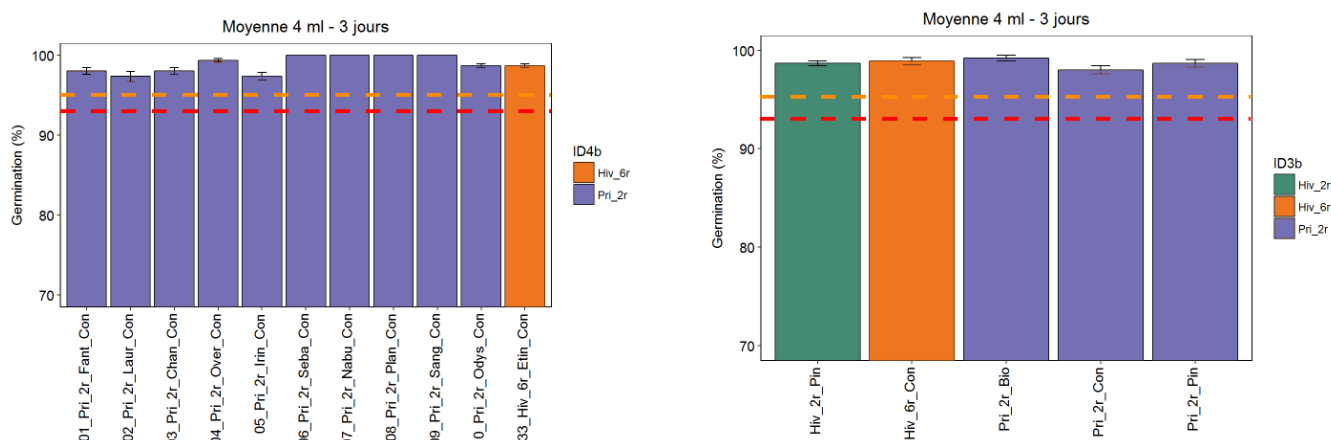


Figure 4.6 : Energie germinative pour 4 ml d'eau.
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

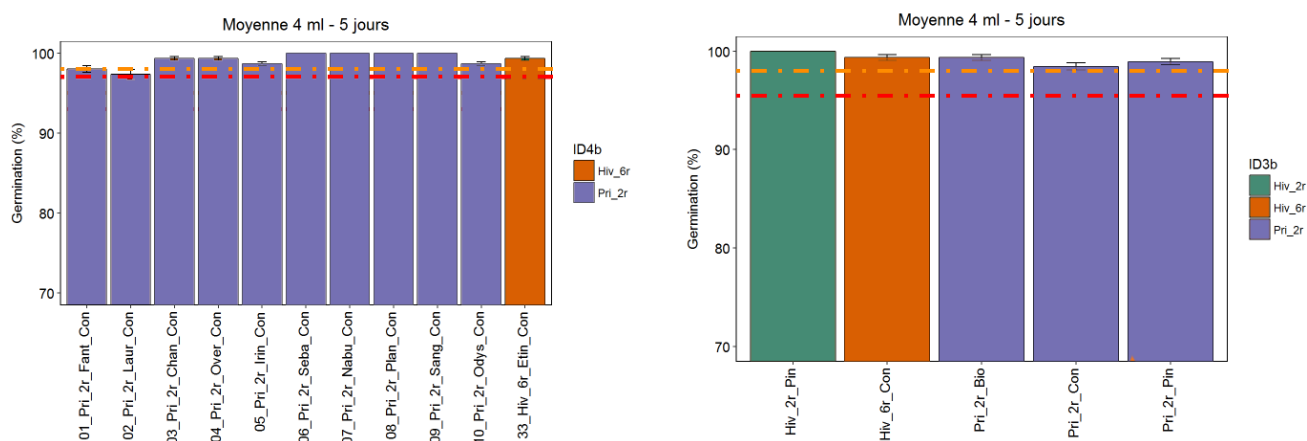


Figure 4.7 : Pouvoir germinatif pour 4 ml d'eau.
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Les graphes présentés dans les figures 4.6 et 4.7 présentent le pourcentage de grains ayant germé après 3 et 5 jours. L'ensemble des échantillons obtient des valeurs supérieures aux seuils présentés au tableau 5 qui sont de 95 et 98 % après respectivement 72 et 120 heures

de germination. Les résultats obtenus sont donc tout à fait satisfaisants et peuvent être justifiés par des conditions de stockage à priori optimales au vu de l'humidité des grains mesurée et un grand calibre des grains (voir point 4.1.5). En ce qui concerne les échantillons **16** et **29**, ceux-ci obtiennent respectivement 96.7 et 98.7% en pouvoir germinatif. Bien que l'échantillon **16** soit légèrement inférieur à la valeur seuil de 98%, nous sommes loin des résultats moins bons que les analyses RVA et de temps de chute de Hagberg ne laissaient présager.

Il est à noter qu'aucune différence significative n'est à observer entre les valeurs de germination obtenues entre 4 et 8 ml d'eau. Nous pouvons donc conclure qu'aucun de nos échantillons ne présente de sensibilité à l'eau.

4.1.4. Poids de 1000 grains

Les graphes de la figure 4.8 présentent en parallèles les résultats obtenus pour les orges (bleu foncé) ainsi que pour leurs malts (bleu clair).

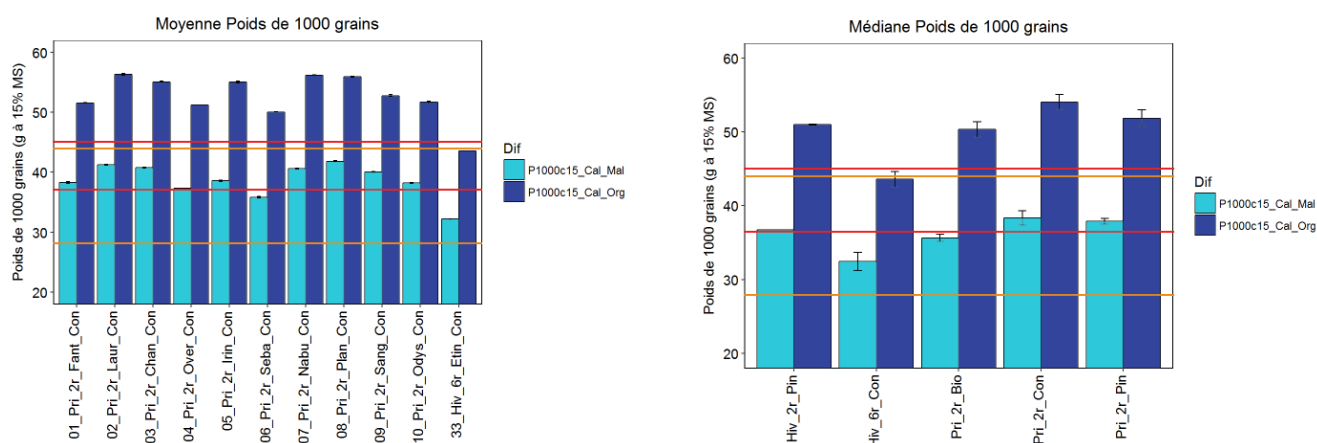


Figure 4.8 : Poids de 1000 grains des échantillons d'orge
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Alors que les malts ont tous des poids de 1000 grains compris dans les valeurs seuils entre 28 et 44 g (lignes orange), les résultats obtenus pour les orges sont plus surprenants. En effet, l'ensemble des échantillons obtient un poids de 1000 grains supérieur aux valeurs seuils. Seuls les échantillons d'orge d'hiver 6 rangs, naturellement plus petits, entrent dans la gamme comprise entre 37 et 45 g (lignes rouges). Nous présentons les résultats des orges et des malts en parallèle afin de montrer la baisse du poids de 1000 grains après maltage. Plus le maltage sera poussé, plus la masse des grains diminuera. Dans le cadre d'une micro-malterie, ce paramètre facile à mettre en place pourrait donc éventuellement indiquer au malteur si son maltage a été plus ou moins poussé que d'habitude.

Ces valeurs élevées qui sont en liens directs avec les excellents résultats obtenus pour le calibre peuvent être expliquées par le fait que l'année 2017 fut une excellente année pour la culture des céréales. Les grains d'orge possèdent donc un endosperme plus important ce qui augmente leurs poids et leurs tailles. Les Malteurs de France annoncent eux aussi des

calibres élevés pour les orges cultivées en 2017. Les résultats que nous obtenons sont donc tout à fait cohérents et entre directement dans les tendances de l'année 2017.

4.1.5. Calibrage

La figure 4.9 présente les proportions des calibres de nos échantillons ainsi que les seuils que les fractions A et B devraient idéalement atteindre. Pour rappel, les différentes fractions de grains sont :

- **Calibre A** : grains > 2.8 mm (sans catégories E, F et G)
- **Calibre B** : 2.8 mm > grains > 2.5 mm (sans catégories E, F et G)
- **Calibre C** : 2.5 mm > grains > 2.2 mm (sans catégories E, F et G)
- **Calibre D** : grains < 2.2 mm (sans catégories E, F et G)
- **Calibre E** : grains cassés, grains sans germes
- **Calibre F** : grains d'autres céréales, grains germés, grains endommagés
- **Calibre G** : graines autres que céréales, grains avariés, cariés, chauffés, ergots, matières inertes et/ou étrangères

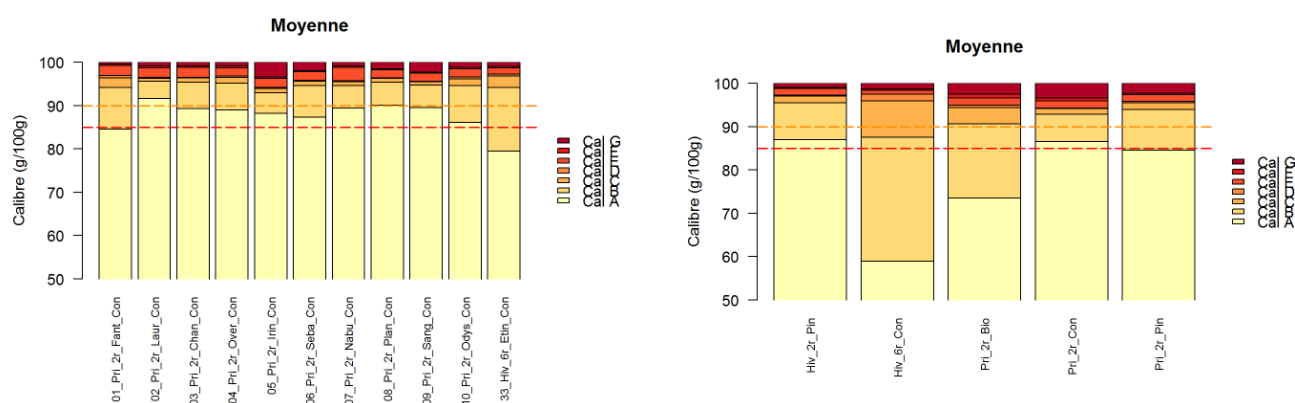


Figure 4.9 : Proportion des différents calibres des échantillons d'orge.
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Trois échantillons de l' « essai agriculteurs » (14, 16 et 30) présentent des fractions F et G supérieures aux autres. Cette grande proportion des grains contaminés ou étranger est justifiée par le fait que ces échantillons ont été au départ cultivés dans un objectif fourrager et non brassicole, ils ont donc été moins bien nettoyés que les autres. La figure 4.10 ci-après montre le pourcentage des calibres A et B.

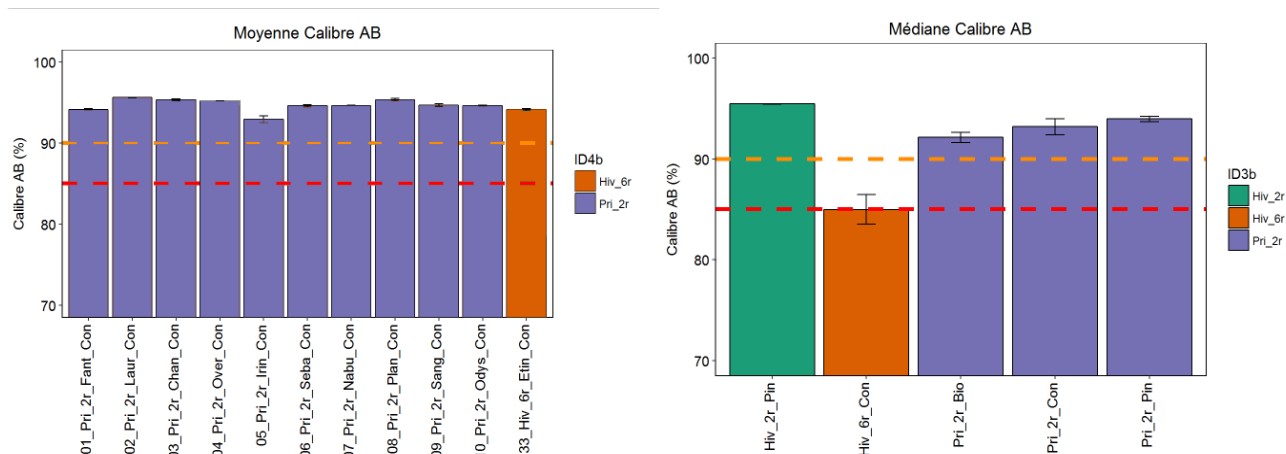


Figure 4.10 : Pourcentage de grains de calibre A et B (>2.5 mm).

Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Hormis un des échantillons (34 : orge 6RH de l' « essai variétés », culture conventionnelle), toutes nos orges possèdent des fractions A et B au moins supérieures au seuil souple de référence. Le seul échantillon en dessous de cette valeur seuil est une orge d'hiver 6 rangs, naturellement plus petite.

La taille des grains de nos échantillons traduit un endosperme important et donc une réserve d'amidon relativement conséquente qui favorisera la germination lors du maltage et le rendement lors du brassage. Même si les orges d'hiver ont une fraction de calibres A et B correspondant au seuil de référence, nous constatons que la proportion des fractions B et C est bien plus importante pour ce type d'orge que pour les orges de printemps.

Même si le lien entre calibre et poids de 1000 grains paraît logique, il est intéressant de le prouver statistiquement. Il existe des corrélations entre ces deux paramètres de : 0.72 avec le calibre A, -0.83 avec calibre B, -0.79 avec calibre C, -0.75 avec calibre D et 0.40 avec calibre AB. L'avantage de mesurer le poids de 1000 grains est qu'il s'agit d'une analyse bien plus rapide que le calibrage des orges brassicoles. Pour les orges fourragères, les fractions E, F et G ne sont pas séparées ce qui accélère fortement leurs calibrages. Pour estimer le calibre rapidement, il faut donc utilisé le poids de 1000 grains et non le poids à l'hectolitre, ancien paramètre commercial utilisé à l'époque où les céréales se vendaient par sacs. Dans le cadre de ce travail, aucune corrélation n'a été mise en évidence entre poids à l'hectolitre et calibrage ou encore entre poids à l'hectolitre et poids de 1000 grains. Il s'agit donc bien d'un paramètre obsolète.

4.1.6. Teneur en protéines totales

En plus d'être un élément nutritionnel primordial aux levures (sous forme de FAN – Free Amino Nitrogen), les oligo-peptides forment la structure de la mousse et apporte une rondeur à la bière. Malgré cela, il est important que la teneur en protéines ne soit pas trop importante. En effet, les protéines rentrent en interaction avec les polyphénols pour former un trouble colloïdal présent dans la bière. De plus, les protéines peuvent, après oxydation, apporter des goûts non désirés à la bière. Des valeurs trop basses peuvent également être un problème et ce, notamment pour la production des malts spéciaux, les malteurs cherchant en effet une certaine quantité de protéine pour favoriser les réactions de coloration. Les seuils de protéines utilisés dans l'industrie sont donc des intervalles compris entre 9.5 et 11.5% pour les seuils stricts et entre 9 et 12% pour les seuils plus souples. La figure 4.11 présente les résultats obtenus pour la teneur en protéines.

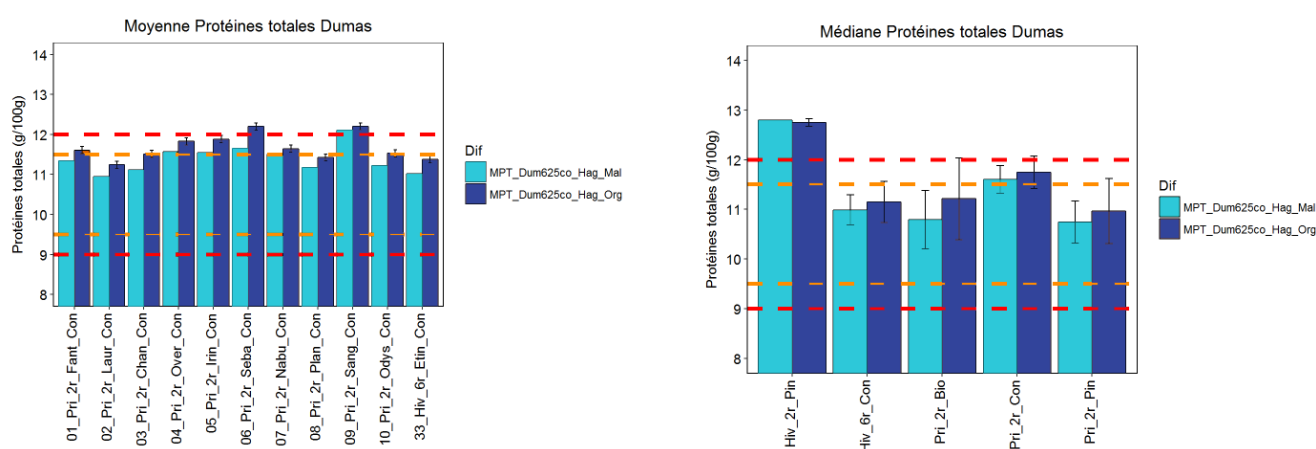


Figure 4.11 : Teneur en protéines totales des échantillons d'orge et de malt.
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Tout comme pour le poids de 1000, les teneurs en protéines totales des grains des échantillons d'orge (bleu foncé) sont présentés en parallèle avec les résultats de leurs malts (bleu clair). On constate rapidement qu'il n'y a aucune différence significative entre ces valeurs. Le maltage doit normalement induire une perte de 3 à 5% de protéines totales (radicelles, réactions enzymatiques,...). Les résultats sont présentés ici sous forme de proportions, les sucres solubles et une partie de l'amidon étant également consommés pendant le maltage, il est normal d'obtenir des proportions de protéines semblables entre les orges et les malts.

Les résultats présentés ci-dessus montrent que plusieurs échantillons se retrouvent en dehors des seuils de référence et possèdent dans l'ensemble une teneur en protéines trop élevée. Les Malteurs de France annoncent dans leur bilan annuel 2017 de qualité des orges françaises des résultats relativement élevés en terme de protéines totales (11.0% pour les orges de printemps et aux alentours de 11.5-12.0% pour les orges d'hiver). Les résultats obtenus dans ce travail suivent donc cette tendance et peuvent être justifiés par les conditions climatiques de cette année 2017.

Les variétés d'orge plus anciennes telle que Casanova, ont été moins sélectionnées au cours des années pour avoir un taux de protéines plus bas ce qui explique les teneurs importantes en protéines totales. Nous l'avons vu, les échantillons **16** et **30** de l' « essai agriculteurs » sont au départ destinés à l'alimentation animale. L'agriculteur utilisant une quantité plus importante d'azote pour la culture d'orge fourragère cela justifie les teneurs en protéines totales plus élevées pour ces deux échantillons.

Trois échantillons de l' « essai agriculteurs » (les orges 2RP **18**, **27** et **29**) présentent étonnamment des résultats trop faibles de protéines. Ces valeurs faibles peuvent être expliquées par leur mode de culture, peu intensive pour l'échantillon 18 et biologique pour les échantillons **27** et **29** où les agriculteurs visent une meilleure conservation des sols.

Il sera donc nécessaire de s'accorder une certaine souplesse quant à ces valeurs. Dans le cadre d'une filière en circuit-court, l'orge serait utilisée pour brasser des bières spéciales refermentées en bouteille où le trouble apporté par les protéines est un critère moins important que pour les pils ou les bières filtrées non refermentées pour lesquelles ont été établis ces seuils.

4.1.7. Composition chimique de l'orge

Ces analyses, réalisées dans le laboratoire de biochimie du CRA-W à Libramont, apporte des informations sur la composition chimique de nos échantillons d'orge. Les graphes présentés à la figure 4.12 reprennent de bas en haut les proportions d'amidon (AMico), de sucres solubles totaux (SST), de protéines totales (MPT), d'hémicellulose (HEMwco), de cellulose (CELwco) et de minéraux (CTco).

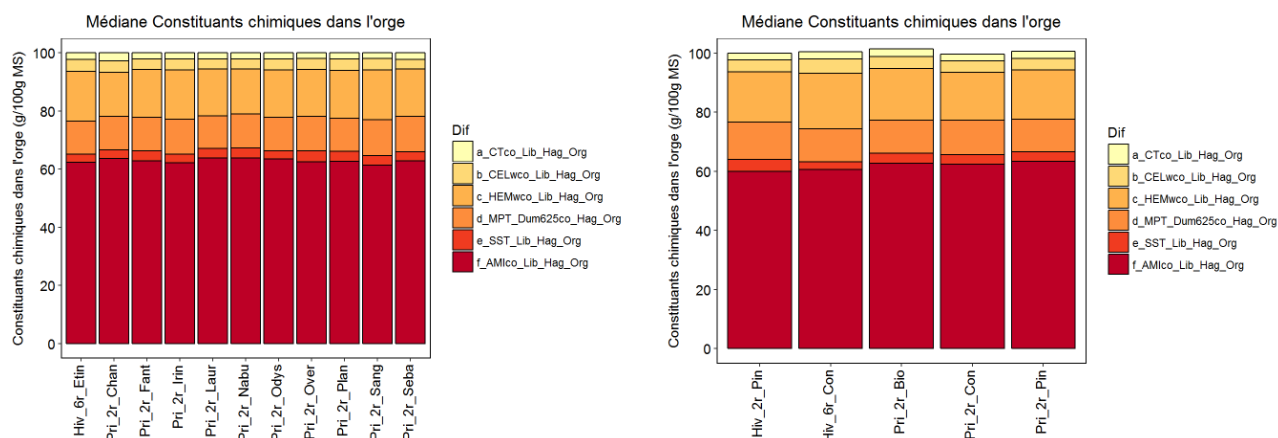


Figure 4.12 : Composition des échantillons d'orge
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Plusieurs corrélations intéressantes ont été trouvées. Parmi ces composants nous observons des corrélations entre amidon et cellulose (-0.44), et entre amidon et protéines (-0.61). Il s'agit ici de corrélations négatives parfaitement logiques, plus l'endosperme sera important, plus la proportion d'amidon sera grande et plus celle de cellulose et de protéines sera faible. Au vu de cette corrélation, il pourrait être envisagé d'étudier la proportion d'amidon plutôt que celle des protéines, l'amidon étant présent en quantité plus importante et étant une donnée très intéressante pour le brasseur. Cependant, mesurer la quantité d'amidon plutôt que la quantité de protéines paraît impossible, la coutume de l'industrie dans la valorisation d'autres céréales étant de rechercher la teneur en protéine. De plus, mesurer la quantité d'amidon est bien plus compliqué que mesurer celle des protéines.

La corrélation la plus nette entre la composition chimique de l'orge et les autres analyses présentées précédemment est la corrélation entre la cellulose et les calibres A et B (-0.67). Ce résultat colle parfaitement aux justifications exprimées ci-dessus, un grand calibre des grains augmentant la proportion d'endosperme et diminuant la proportion de glume riche en cellulose.

4.1.8. Discussion générale

Les tableaux 6 et 7 ci-dessous reprennent de manière synthétique les résultats présentés dans ce chapitre. Les cases **vertes** signifient que l'échantillon entre dans les valeurs seuils strictes, les cases **orange** dans les valeurs seuils souples et les cases **rouges** que l'échantillon est en dehors de ces seuils. Les numéros des orges cultivées de manière conventionnelle sont notés en noir, celles cultivées de manière peu intensive le sont en **bleu** et les orges cultivées de manière biologique sont écrites en **vert**.

Tableau 6 : Synthèse des résultats obtenus pour les échantillons d'orge de l' « essai variétés »

« Essai variétés »								
	Humidité	Temps de chute de Hagberg	RVA	Energie germinative	Pouvoir germinatif	Calibrage AB	Protéines	Poids de 1000 grains
Seuils stricts	< 14 %	220s	/	97%	98%	90%	9.5-11.5%	37-45g
Seuils souples	< 14.5%	180s	/	93%	95%	85%	9-12%	/
01								
02								
03								
04								
05								
06								
07								
08								
09								
10								
33								

De manière générale, nous pouvons conclure que les résultats sur les orges obtenus pour cet essai sont très positifs. L'échantillon **05** de variété *Irina* ressort comme étant l'échantillon avec le moins de qualités brassicoles et ne serait pas à privilégier dans le cas d'une production d'orge de brasserie sur notre territoire.

Nous constatons que les paramètres s'éloignant des valeurs cibles de l'industrie sont les protéines et les poids de 1000 grains. Ces deux paramètres ressortent également dans le bilan annuel 2017 des Malteurs de France, nos orges suivent donc une tendance globale. L'industrie brassicole ayant été capable de produire des bières de qualité malgré ces paramètres élevés, il est tout à fait pertinent de penser que ces variétés, en dehors de la variété *Irina*, sont parfaitement adaptées à une filière d'orge brassicole en circuit-court en Wallonie. Même si nous aurions tendance à écarter l'orge de variété *Irina*, il est important de noter que ses mauvais résultats peuvent être influencés par des calibres F et G (grains, étrangers, contaminés,...) élevés qui pourraient être diminués grâce à un meilleur nettoyage. Il est donc important de d'abord analyser les résultats obtenus sur le malt avant de tirer des conclusions hâtives.

Le poids de 1000 grains dans ce cas-ci n'est pas un facteur restrictif surtout au vu des bons résultats pour les calibres A et B. Si ces valeurs élevées s'avèrent se répéter au fil des années, il pourrait être intéressant de revoir les limites de ce paramètre.

Rarement préféré aux orges de printemps, nous constatons que l'orge d'hiver 6 rangs de variété *Etincel* est la seule orge de cet essai à remplir tous les critères imposés par l'industrie pour l'orge. L'analyse ultérieure des malts nous permettra de savoir s'il est envisageable de promouvoir cette variété.

Tableau 7 : Synthèse des résultats obtenus pour les échantillons d'orge de l' « essai agriculteurs »

	Humidité	Temps de chute de Hagberg	RVA	Energie germinative	Pouvoir germinatif	Calibrage AB	Protéines	Poids de 1000 grains
Seuils stricts	< 14%	220s	/	97%	98%	90%	9.5-11.5%	37-45g
Seuils souples	< 14.5%	180s	/	93%	95%	85%	9-12%	/
11								
12								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
34								
35								

Plusieurs échantillons d'orge de cet « essai agriculteurs » ressortent déjà comme étant inadaptés à la filière de l'orge brassicole tels que les échantillons 16, 24, 29 et 30. Cependant, il paraît difficile de tirer des conclusions sur cet essai avant l'analyse des malts. Les paramètres importants étudiés sur les malts présentés ci-dessous nous permettront de tirer des conclusions plus poussées.

4.2. Malt

Les résultats obtenus sur les orges, surtout ceux sur le taux de germination, nous ont permis de conclure qu'il était totalement pertinent d'envoyer l'ensemble de nos échantillons en Allemagne pour le micro-maltage de laboratoire. Les résultats présentés dans la suite de ce chapitre reflètent donc les analyses réalisées sur nos orges maltées. Les résultats de « poids de 1000 grains » et de « teneur en protéines totales » ne seront pas repris ici, ceux-ci étant déjà présentés en parallèle aux orges dans les points 4.1.4 et 4.1.6 et extrêmement corrélés entre eux.

4.2.1. Humidité

Liée à la phase de touraillage du maltage ainsi qu'au stockage du malt, l'humidité a pour valeurs seuils 5 (strict) et 6% (souple). La figure 4.13 présente les valeurs d'humidité obtenues pour nos échantillons de malt.

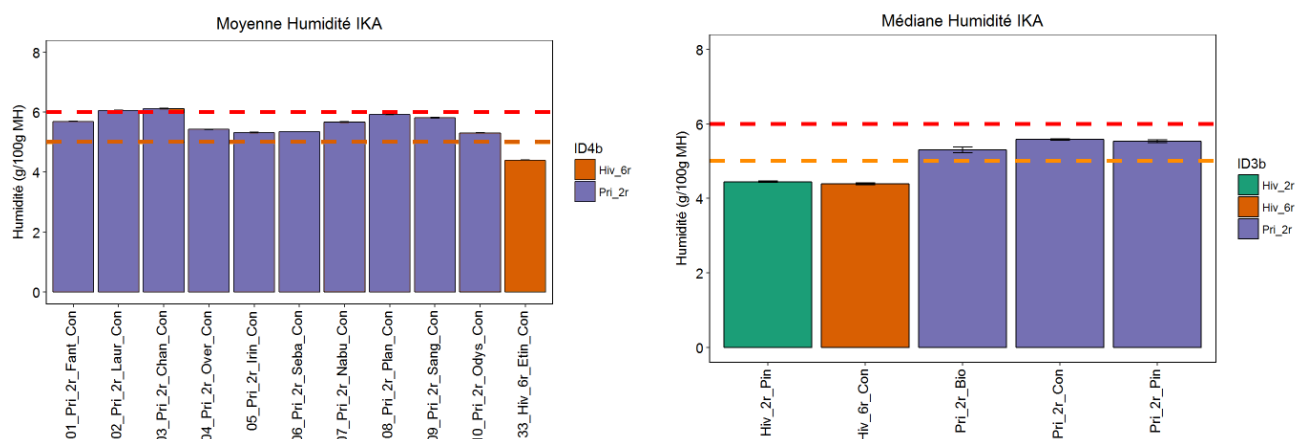


Figure 4.13 : Humidité des échantillons de malt. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

On constate que nos malts ont une humidité un petit peu élevée mais ne dépassant jamais la valeur seuil de 6%. Les seuls malts en dessous de 5% d'humidité sont les malts d'orges d'hiver 2 et 6 rangs. Ces humidités plus faibles peuvent être justifiées par le fait que les orges d'hiver possèdent des calibres inférieurs et donc des surfaces de séchage plus grandes.

Les résultats d'humidité obtenus peuvent rapidement nous indiquer que nos malts ont été conservés dans de bonnes conditions après leur micro-maltage.

Les équations infrarouges utilisées pour prédire l'humidité des orges ne permettent pas de prédire des humidités aussi basses que celles des malts, il a donc fallu recourir à une détermination en laboratoire.

4.2.2. Friabilité

Permettant d'évaluer rapidement la désagrégation du malt, la friabilité est un paramètre très utilisé en malterie. Son importance est telle qu'à la malterie *Boortmalt* de Gembloux, où cette analyse a été réalisée, la friabilité est le seul paramètre évalué sur place par le malteur sur le produit fini. Les valeurs seuils strictes et souples à obtenir sont respectivement de 80 et de 75% de friabilité. Le seuil strict à 80% est utilisé pour les malts d'orges de printemps alors que le seuil souple est quant à lui utilisé pour les malts d'orges d'hiver.

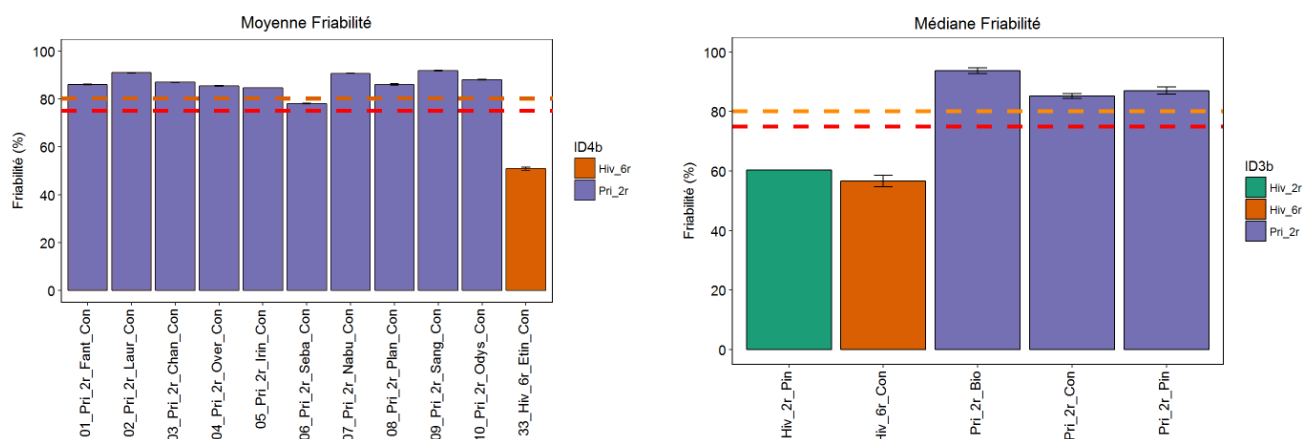


Figure 4.14 : Friabilité des malts. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

La figure 4.14 nous montre que les malts issus d'orges de printemps, hormis l'échantillon **30** qui est une orge fourragère à tendance brassicole, ne présentent aucun problème de friabilité contrairement à ceux issus d'orges d'hiver. Ceux-ci ont tous des valeurs inférieures aux valeurs seuils de référence et tournent aux alentours de 60 voire 50% de friabilité.

Ces faibles valeurs peuvent être expliquées par le processus de maltage. En effet, le micro-maltage réalisé dans le cadre de ce travail est standardisé et spécifique aux orges de printemps. Sur le terrain, un malteur ne maltera jamais deux orges de la même façon et son processus de maltage sera adapté spécifiquement aux orges d'hiver. Facteur significatif du maltage, il n'est donc pas étonnant de trouver des mauvais résultats de friabilité pour les malts d'orge d'hiver. Une journée supplémentaire dans le processus de maltage, au niveau de la trempe et de la germination, est observée dans l'industrie du malt. Il serait donc intéressant d'allonger le profil de maltage d'une journée dans le cadre d'un micro-maltage de laboratoire d'orge d'hiver afin d'éviter les problèmes que nous rencontrons ici.

Pour l'« essai variétés » nous constatons que l'échantillon **06**, est la seule orge de printemps de l'essai à être en dessous du seuil strict de 80%. Cette friabilité plus basse pourrait être expliquée par le fait qu'il s'agit ici d'un échantillon d'une variété (*Sebastian*)

plus ancienne et donc moins sélectionnée au cours du temps pour ses aptitudes au maltage.

Plusieurs corrélations statistiquement significatives sont intéressantes à mettre en évidence entre la friabilité et certains composants de l'orge :

- Avec la teneur en amidon : 0.62. Plus la quantité d'amidon sera élevée, plus celui-ci pourra être désagrégué et donc augmenter la friabilité.
- La teneur en protéines : -0.68. Nous constatons donc qu'une forte teneur en protéines tend à diminuer la friabilité et donc la qualité de maltage de nos orges

Les analyses présentées ci-dessous ont toutes été réalisées sur les moûts obtenus par brassins conventionnels en fine mouture.

4.2.3. Extrait et rendement des malts

Deux paramètres sont mesurés directement lors du brassin conventionnel : le temps de saccharification et la vitesse de filtration. Aucun de nos 35 échantillons ne dépassant les 15 minutes, les temps de saccharification obtenus permettent de juger la bonne qualité enzymatique de nos malts. La vitesse de filtration est, quant à elle, problématique pour 5 des échantillons d'orge printemps de l' « essai agriculteurs » : les échantillons **11, 17, 20, 22** et **23** qui mettent tous plus d'une heure à être filtrés, ce qui posera problème dans un processus de brassage ultérieur. Cultivés de manière conventionnelle (**11** et **17**) ou peu intensive (**20, 22** et **23**), rien ne laissait présager de mauvais résultats de filtration pour ces échantillons lors de nos analyses sur l'orge. Il est à noter également que les échantillons les plus rapides au niveau de la filtration (± 30 minutes) sont les malts d'orge d'hiver.

Rendement

Etabli grâce à l'extrait contenu dans le moût, le rendement est un des paramètres les plus importants à évaluer pour le brasseur. Il lui permettra en effet de déterminer la qualité d'un malt en terme de quantité de sucres fermentescibles et donc, *in fine*, d'alcool produit lors de la fermentation. Les rendements secs, corrigés par rapport aux taux d'humidité des malts, doivent au moins dépasser 76% voir 80 % dans le cadre de critères stricts.

Directement lié à la quantité d'amidon de l'orge, le rendement possède une corrélation de 0.61 avec ce paramètre.

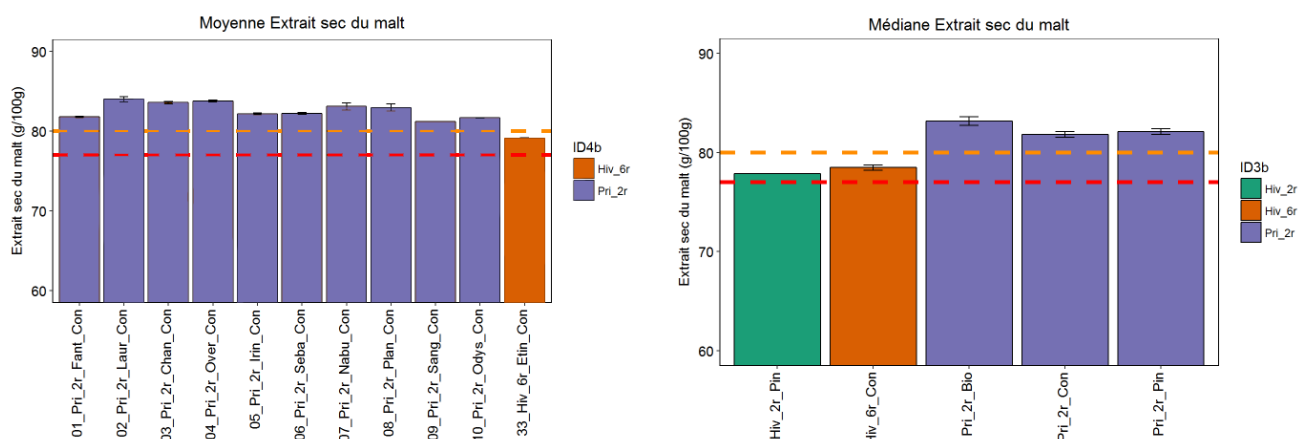


Figure 4.15 : Rendements calculés au départ de l'extrait des moûts et rapportés à la matière sèche. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Nous constatons au niveau des graphes de la figure 4.15 que l'ensemble de nos échantillons répondent au moins aux critères souples de 76% mais que ce sont principalement les malts d'orges de printemps qui dépassent la barre des 80% (à l'exception des échantillons 17 et 30 de l'« essai agriculteurs » qui se situent aux alentours des 79%).

Pour les malts d'orges d'hiver, seul l'échantillon 32 de l'« essai agriculteurs » dépasse le seuil strict de 80% de rendement. Possédant un endosperme plus petit, il est normal que l'extrait et donc le rendement d'une orge d'hiver soit plus faible. Ce sont ces raisons qui peuvent également justifier le rendement moins bon de l'échantillon 33 (orge 6RP de variété *Etincel*) dans l'« essai variétés ». Malgré ces valeurs légèrement plus basses, les résultats de rendement des orges d'hiver dépassent tout de même la valeur seuil souple de 76%.

Le brasseur aura tout intérêt à ce que le maltage soit le plus optimal possible. En effet, une corrélation de 0.66 est observée entre le rendement sec et la friabilité. La friabilité étant un paramètre révélateur d'un bon processus de maltage, celui-ci permettra d'obtenir un rendement en extrait maximum.

4.2.4.pH

Les valeurs obtenues pour le pH de nos moûts sont présentées à la figure 4.16. Le pH visé lors d'un brassin conventionnel se situe entre 5.6 et 6.0.

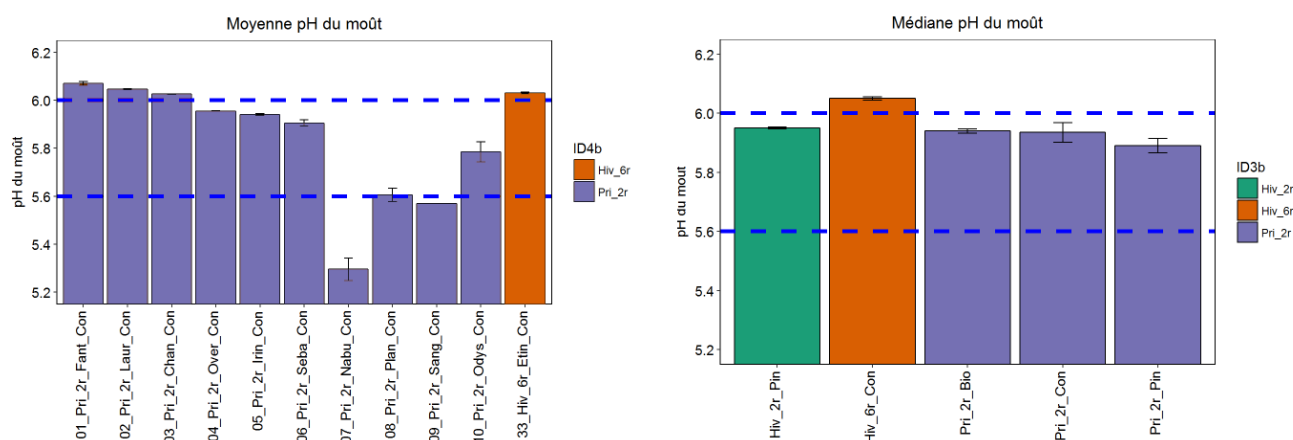


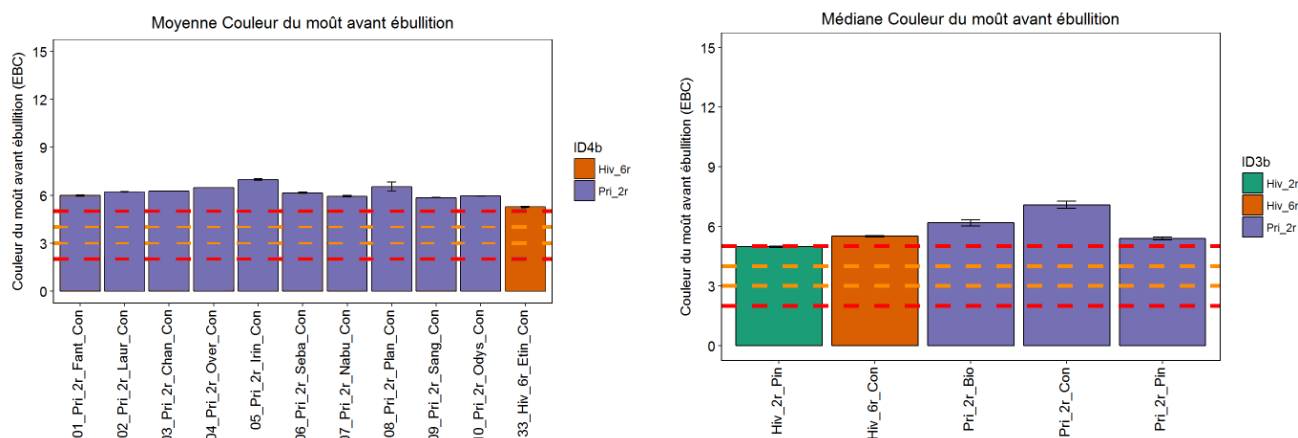
Figure 4.16 : pH des moûts. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Les amylases du malt ont un optimum d'activité lorsque le pH se situe aux alentours de 5.4, le brasseur essaiera donc toujours d'obtenir un moût dont le pH se situe entre 5.2 et 5.6, ce qui n'est pas forcément le cas pour tous nos échantillons.

La différence entre les objectifs visés par le brasseur et les objectifs visés en brassin conventionnel vient du fait que le brasseur corrigera son moût afin d'atteindre le pH optimum d'activité des amylases, ce qui n'est pas le cas dans le cadre d'un brassin conventionnel. Les résultats obtenus pour le pH nos échantillons sont donc dans l'ensemble parfaitement adaptés au brassage.

4.2.5. Couleur

Ayant subi un maltage spécifique aux malts pils, nos échantillons sont sensés obtenir des couleurs situées entre 3 et 4 EBC (seuils stricts) ou 2 et 5 EBC (seuils souples). La figure 4.17 reprend les résultats obtenus pour cette manipulation.



Les moûts, anormalement troubles, ont du être centrifugés à 12 000 t/min pendant 15 minutes afin de réduire au maximum leurs turbidités. Malgré ça, les couleurs obtenues sont bien trop élevées par rapport aux valeurs de référence, même souples, des malts pils.

Le malt **13** industriel de référence, pourtant annoncé à une couleur de 3.2, obtient ici 6.7 EBC. Bien que les valeurs présentées par les malteurs pour la couleur soient généralement fort optimistes, nous constatons que nous avons bel et bien des problèmes de couleur pour nos échantillons et ce, même pour notre échantillon témoin. Ces couleurs trop élevées ne posent pas réellement de problème dans le cadre d'une production de bière à haute fermentation, non filtrée et refermentée en bouteille mais peuvent être justifiées par le trouble important de nos moûts. Ces troubles, probablement liés à la quantité importante de protéines dans nos échantillons d'orge et globalement dans les orges récoltées en 2017, peuvent quant à eux être plus problématiques.

4.2.6. Viscosité

La viscosité du moût est influencée par une série de paramètres. La présence de β -glucanes et d'arabinoxylanes normalement désagrégés lors du maltage est la principale cause d'une augmentation de viscosité. Cependant, la quantité de protéines peut également l'influencer.

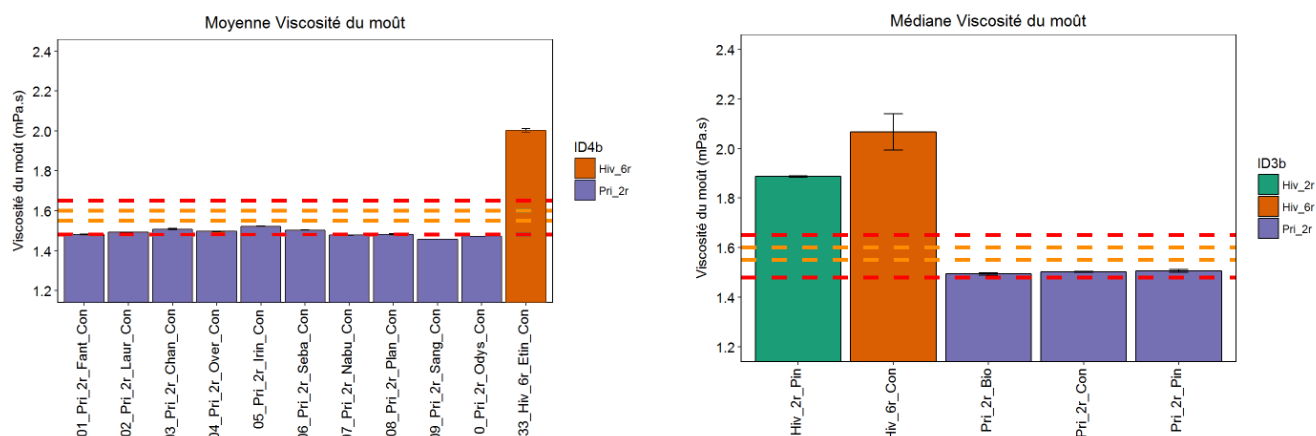


Figure 4.18 : Viscosité des moûts. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

On constate rapidement dans la figure 4.18 que les résultats obtenus pour la viscosité sont relativement faibles pour les malts d'orges de printemps mais surtout qu'ils sont trop élevés pour les malts d'orges d'hiver.

La présence de β -glucanes et d'arabinoxylanes augmentent fortement la viscosité du moût. Un maltage optimal des orges permet la dégradation de ces composantes des parois cellulaires. Nous avons vu, grâce aux résultats de friabilité, que nos échantillons issus d'orges d'hiver n'avaient pas été maltés de manière idéale. Les β -glucanes et arabinoxylanes n'ont donc probablement pas été dégradés totalement ce qui pourrait expliquer ces viscosités élevées. Cependant ce lien direct entre friabilité et viscosité, mis en évidence par une corrélation (orges d'hiver exclus) de -0.60, est contradictoire avec les résultats obtenus pour les temps de filtration, faibles dans le cas des malts d'orge d'hiver. Une grande quantité de β -glucanes et d'arabinoxylanes étant sensée augmenter le temps de filtration nous aurions donc tendance à justifier la viscosité importante des malts d'orge d'hiver par la présence de certaines protéines qui, nous l'avons vu, apportent un trouble à nos moûts.

4.2.7. Protéines solubles

Durant le brassage, certaines enzymes dégradent les protéines contenues dans le malt. Trois fractions sont alors obtenues. Les acides aminés (ou FAN - Free Amino Nitrogen) qui, comme présenté au point suivant, serviront de nutriments aux levures, les protéines insolubles qui seront retenues dans les drêches lors de la filtration et les protéines solubles qui se retrouveront dans le moût. Les graphes présentés à la figure 4.19 montre la quantité de protéines solubles, incluant les FAN, présente dans nos différents moûts.

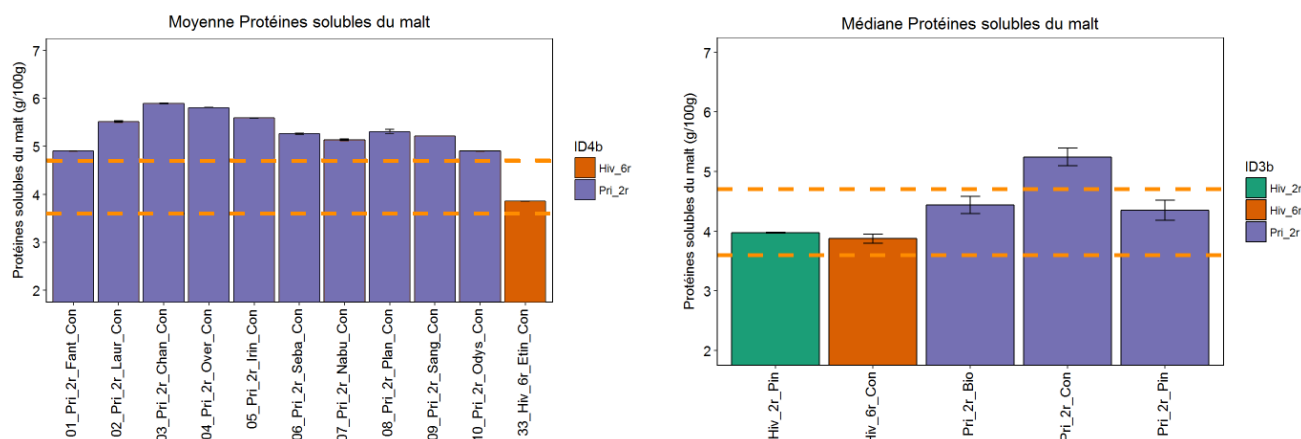


Figure 4.19 : Protéines solubles des moûts. Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

On constate que pour l' « essai variétés », hormis l'échantillon issu d'une orge d'hiver, nos moûts présentent des quantités trop importantes de protéines solubles, celles-ci devant idéalement se situer entre 3.6 et 4.7 mg/l. Pour les protéines solubles, seuls des seuils stricts ont été trouvés dans la littérature. Une trop grande quantité de protéines solubles peut, par formation de complexes avec les polyphénols, amener un trouble à la bière. Comme expliqué plus haut, ce problème importe moins dans le cas d'une production artisanale de bière spéciale refermentée en bouteille même si les protéines peuvent, après oxydation, amener des goûts non désirés à la bière.

Pour l' « essai agriculteurs », la tendance est à un taux de protéines solubles élevé sauf une nouvelle fois pour les malts d'orge d'hiver.

Ces valeurs trop élevées de protéines peuvent expliquer la couleur trop importante de nos échantillons. D'une part en apportant un trouble au moût et d'autre part par réactions liées à la chaleur du brassage.

Il est important de citer un paramètre supplémentaire que nous avons calculé : l'indice de Kolbach. Cet indice correspond à la formule : $\frac{\% \text{ protéines solubles}}{\% \text{ protéines totales}} \times 100$ et permet d'informer sur la dégradation des protéines lors du maltage. Plus les protéines seront désagrégées, plus la teneur en protéines solubles sera importante et plus ce pourcentage sera élevé. Nous constatons que nos échantillons d'orges de printemps présentent des indices de Kolbach plus élevés que celui de la référence industrielle. Nous pouvons donc supposer une sur-désagrégation de ces malts qui justifient les valeurs élevées de protéines solubles pour les orges de printemps.

4.2.8. Profil en sucre

La figure 4.20 ci-dessous présente le profil en sucre de nos différents échantillons. Celui-ci présente les sucres sous formes de proportions. De bas en haut : glucose-fructose, saccharose, maltose, maltotriose et sucre non fermentescibles. Leurs pics se chevauchant dans le chromatogramme obtenu par HPLC, le glucose et le fructose sont englobés dans une seule et même proportion.

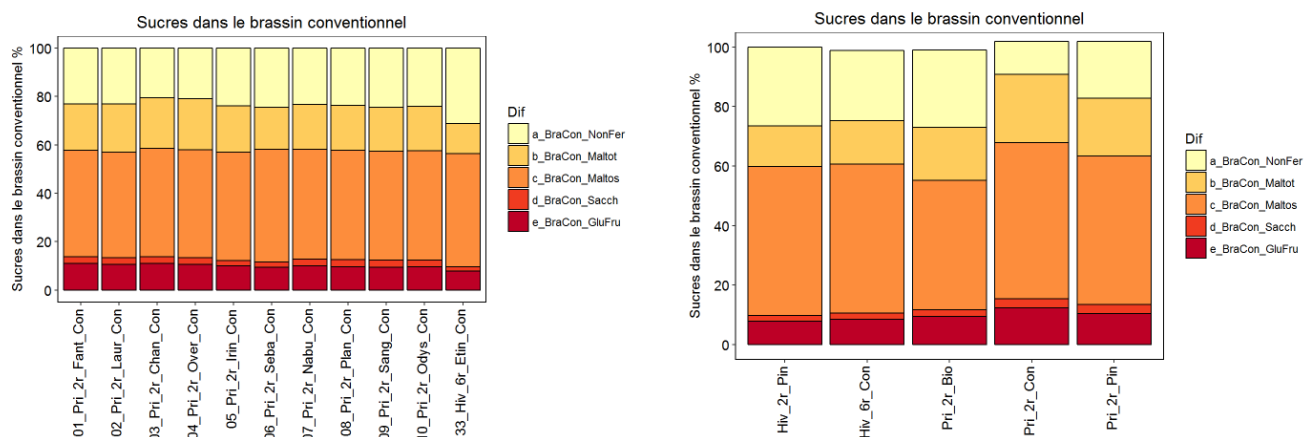


Figure 4.20 : Profil en sucre des moûts.

Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Ce profil est très intéressant pour le brasseur car il lui indique les proportions de sucre fermentescible et non fermentescibles dans les moûts et donc les rendements qu'il pourra obtenir après fermentation. Nous constatons que les malts d'orges d'hiver possèdent des quantités de sucres non fermentescibles plus importantes que les malts d'orges de printemps, ceci étant probablement dû à un maltage moins idéal.

4.2.9. Azote α -aminé

L'azote α -aminé est un élément essentiel du moût car il fournit les nutriments nécessaires au bon développement de la levure lors de la fermentation. Les seuils minimaux de quantité de FAN sont de 120 mg/l pour le seuil souple et 160 mg/l pour le seuil strict.

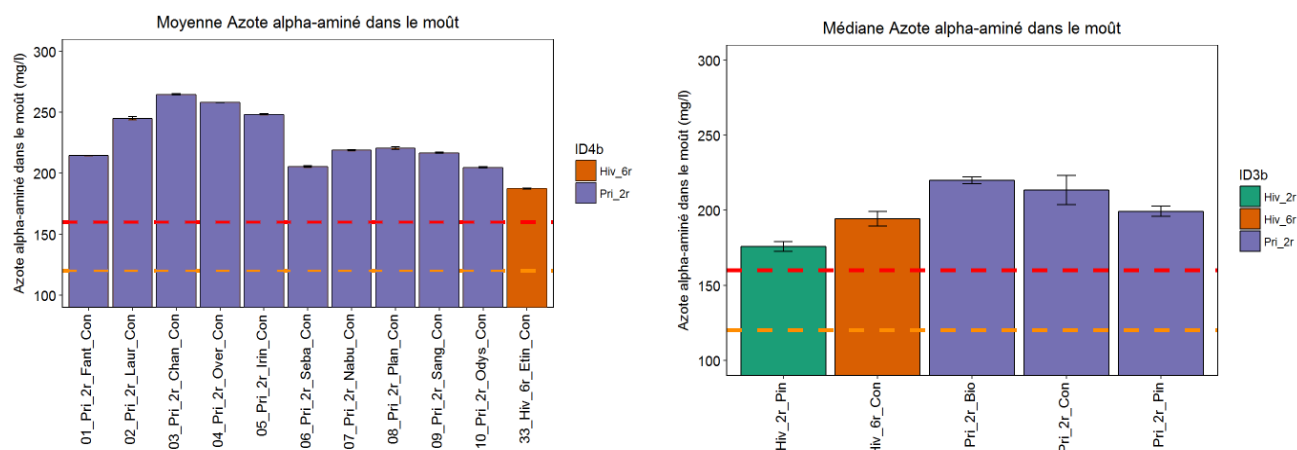


Figure 4.21 : Quantité d'azote α -aminés dans les moûts.
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Nous constatons dans la figure 4.21 que tous nos échantillons fournissent une quantité de FAN suffisante pour assurer le bon déroulement de la fermentation et ce, même pour le seuil le plus strict. Le seul résultat inférieur à 160 mg/l est notre échantillon témoin (13) dont la quantité de FAN obtenue est de 139 mg/l. Celle-ci étant annoncée à 138 mg/l par *Boortmalt*, nous pouvons être réconfortés dans la pertinence de l'ensemble des résultats obtenus pour la quantité d'azote α -aminés de nos moûts.

Idéalement, il faudrait procéder à une fermentation des moûts afin d'évaluer la pertinence de ces limites. Il faudrait également introduire des valeurs seuils maximales. En effet, une quantité trop importante d'azote peut être, nous l'avons vu, liée à des couleurs trop importantes et à des problèmes de clarification.

Nous constatons une corrélation entre la quantité de FAN et les protéines solubles (0.73). Ces deux composantes étant toutes deux issues de protéines plus longues hydrolysées lors du brassage, il est tout à fait logique d'obtenir des résultats corrélés pour ces deux paramètres.

4.2.10. Polyphénols

La figure 4.22 ci-dessous, présente les résultats obtenus pour les quantités de polyphénols dans nos moûts :

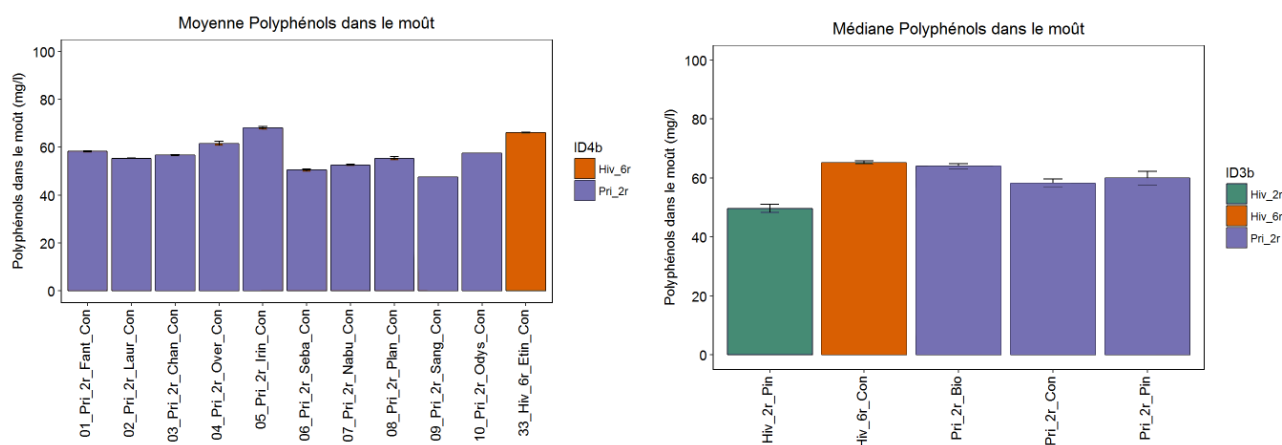


Figure 4.22 : Quantité de polyphénols dans les moûts.
Gauche: « essai variétés ». Droite: « essai agriculteurs »

Bien qu'aucun seuil minimum et maximum de référence ne soit appliqué dans l'industrie et qu'il serait intéressant d'en déterminer, la quantité de polyphénols est une donnée intéressante à présenter. Naturellement présents dans les enveloppes de l'orge, les polyphénols présentent des propriétés anti-oxydantes très intéressantes pour la conservation de la bière. Cependant, si ceux-ci se retrouvent en trop grande abondance, ils apportent de l'âcreté et de l'astringence désagréables à la bière. En association aux protéines, ils sont également responsables de trouble dans la bière. Cependant, ce trouble a relativement peu d'importance dans le cas d'une bière spéciale refermentée en bouteille ce qui est pratiquement toujours le cas en brassage artisanal.

Pour l'« essai variétés », les valeurs se situent entre 47 et 68 mg/l. Pour l'« essai agriculteurs », celles-ci se situent entre 46 et 95 mg/l. Notre malt **13** témoin se situant à 44 mg/l, nous pouvons conclure que les quantités de polyphénols obtenues sont supérieures à un malt pils industriel sans toutefois présenter de valeurs critiques mis à part pour les échantillons **26** et **28**, orges 2RP produites en culture biologique, présentant des quantités importantes de polyphénols pouvant être liées à leur plus petits calibres.

4.2.11. RVA sur malt

Le RVA sur malt est une analyse peu voire pas du tout utilisée dans l'industrie brassicole. Seuls les australiens, inventeurs de cette technologie, s'intéressent à ce paramètre et utilisent le RVA orge en mode *Stirring Number* (analyse de 3 minutes) à la place du temps de chute de Hagberg. Les résultats obtenus dans ce travail nous permettent de mettre en évidence différentes corrélations entre les paramètres obtenus par RVA sur malt et certains autres résultats.

- Corrélation entre la friabilité et le *Pasting Temperature* dans l'eau et dans l'AgNO₃ : respectivement 0.66 et 0.64. Ces corrélations peuvent être expliquées par l'état de désagrégation de l'amidon. Plus celui-ci sera désagrégé plus sa friabilité et sa température de gélatinisation seront importantes. L'AgNO₃ bloquant les enzymes nous pouvons voir l'état de désagregation sans interférence des enzymes grâce à ce paramètre.
- Corrélation entre l'extrait sec des moûts et le Peak Area eau : 0.73. L'air du pic de viscosité reflète la quantité d'amidon. Nous avons vu précédemment qu'il y avait un lien direct entre quantité d'amidon et rendement au brassage ce qui peut justifier cette corrélation.
- Corrélation entre la viscosité et la viscosité finale dans l'AgNO₃ : 0.75. Nous avons donc un lien direct entre la viscosité mesurée sur les moûts et la viscosité mesurée lors du RVA des malts. L'AgNO₃ permet de mieux voir la prise en viscosité grâce au blocage des enzymes.

Les corrélations présentées ci-dessus prennent en compte les paramètres de l'analyse RVA du malt. Dans la partie de ce travail spécifique aux résultats des orges, nous avons également mis en évidence les corrélations entre les *Peak Time (AgNO₃)/Peak Area (AgNO₃)* des orges et la teneur en protéines.

Nous constatons donc que les données obtenues pour les RVA des orges et des malts pourraient servir à prévoir des données expérimentales telles que la friabilité ou certains paramètres du brassin conventionnel. Il est cependant encore trop tôt pour établir cette conclusion, un travail plus poussé et spécifique à ces liens entre RVA et paramètres brassicoles devant idéalement être réalisé. Cela pourrait permettre, à terme, de mettre en place une technique d'analyse rapide utilisant les viscogrammes des orges et des malts pour prédire certains autres paramètres. Nous avons d'ailleurs observé des corrélations simples entre l'analyse RVA de l'orge et des paramètres analytiques du malt. Corrélations entre les *Peak Time (AgNO₃)/Peak Area (AgNO₃)* et la friabilité de respectivement - 0.47 et - 0.56 et entre le *Peak Time (AgNO₃)* et l'extrait sec de - 0.46.

4.2.12. Discussion générale

Les tableaux 8 et 9 ci-après reprennent de manière synthétique les résultats présentés dans ce chapitre. Les cases **vertes** signifient que l'échantillon possède des résultats entrant parfaitement dans la filière brassicole, les cases **orange** signifient des résultats non optimaux mais pouvant tout de même satisfaire les critères et les cases **rouges** que l'échantillon est en dehors des valeurs désirées. Les numéros des orges cultivées de manière conventionnelle sont notés en noir, celles cultivées de manière peu intensive le sont en **bleu** et les orges cultivées de manière biologique sont écrites en **vert**.

Alors que les résultats des orges étaient uniquement comparés aux valeurs seuils de référence, nous avons ici la chance d'avoir un malt de référence industriel qui nous permet d'ajouter une dimension supplémentaire à la validité ou non d'un paramètre. Par exemple, les résultats obtenus sur la couleur seraient à priori totalement en dehors des seuils de validité. Pourtant le résultat de notre échantillon de malt industriel étant dans la même gamme de valeur que nos échantillons, nous pouvons conclure que leurs couleurs sont valides malgré des valeurs a priori trop élevées.

Nous comparerons donc nos échantillons aux valeurs seuils de référence et aux valeurs obtenues par le malt **13** industriel. Notons tout de même que ce malt industriel possède une humidité trop élevée.

Tableau 8 : Synthèse des résultats obtenus pour les échantillons de malts de l'« essai variétés »

	« Essai variétés »										
	Humidité	Friabilité	Prot. Tot.	Rendement	pH	Couleur	Viscosité	Prot. Sol.	FAN	Polyphénols	Temps de filtration
Seuils stricts	< 5%	80%	9.5-11.5 %	80%	5.6-6.0	3-4 EBC	1.55-1.60 mPa.s	3.6-4.7 %	> 160	/	< 1 heure
Seuils souples	< 6%	75%	9-12%	76%	/	2-5 EBC	1.48-1.55 mPa.s	/	> 120	/	/
01	orange	vert	vert	vert	orange	vert	vert	orange	vert	vert	vert
02	orange	vert	vert	vert	orange	vert	vert	orange	vert	vert	vert
03	orange	vert	vert	vert	orange	vert	vert	orange	vert	vert	vert
04	orange	vert	orange	vert	vert	vert	vert	orange	orange	vert	vert
05	orange	vert	orange	vert	vert	vert	vert	orange	orange	vert	vert
06	orange	orange	orange	vert	vert	vert	vert	orange	vert	vert	vert
07	orange	vert	orange	vert	vert	vert	vert	orange	vert	vert	vert
08	orange	vert	vert	vert	vert	vert	vert	orange	vert	vert	vert
09	orange	vert	rouge	vert	vert	vert	vert	orange	vert	vert	vert
10	orange	vert	vert	vert	vert	vert	vert	orange	vert	vert	vert
33	vert	rouge	vert	orange	orange	vert	rouge	vert	vert	vert	vert
Malt de référence											
13	orange	vert	vert	vert	vert	vert	vert	vert	vert	vert	vert

Dans l'ensemble, les résultats pour cet essai sont positifs. Cependant deux échantillons ressortent comme étant en dessous des autres. Les échantillons d'orges de printemps 05 et 06 respectivement de variété *Irina* et *Sebastian*.

L'orge de variété *Irina* ressortait déjà après les analyses sur l'orge. Celle-ci possède globalement un pouvoir germinatif plus bas, des calibres plus petits, un rendement légèrement moins bon et une quantité de FAN plus importante que les autres échantillons. Même si ces résultats peuvent être justifiés en partie par des calibres de grains F et G importants et donc de grains étrangers ou contaminés présents en plus grande quantité dans le lot, il ne serait pas pertinent de mettre en avant cette variété surtout en comparaison aux bons résultats des autres variétés.

La variété *Sebastian* est, quant à elle, une ancienne variété. Elle a donc été moins sélectionnée au cours du temps pour présenter des paramètres brassicoles de qualité. Cependant, cette variété fait partie des « variétés préférées » présentées par les Malteurs de France pour 2019. Nous pouvons conclure que cette variété possède de bonnes qualités brassicoles mais ne correspond pas à la taille de culture visée dans ce travail (>15 000 ha) et n'est pas adaptée à nos régions.

L'orge d'hiver de variété *Etincel* de cet essai présente de mauvais résultats au niveau de la friabilité et de la viscosité. Nous avons vu précédemment que ces paramètres traduisent un maltage incomplet et ce, en raison du micro-maltage de laboratoire standardisé prévu pour les orges de printemps. Les résultats obtenus sur l'orge étant tout à fait probants, il est tout à fait envisageable de promouvoir cette variété.

Les variétés d'orges ressortant donc de cet essai sont donc :

- Orges 2RP : *Fantex*, *Laureate*, *Chanson*, *Overture*, *Nabuco*, *Planet*, *Sangria* et *Odyssey*
- Orge 6RH : *Etincel*

Il est à noter que les variétés 6RH *Etincel* et 2RP *Planet* font partie des « variétés préférées » annoncées par les Malteurs de France en 2019 et les variétés 2RP *Sangria* et *Laureate* sont quant à elles dans les « variétés en observation commerciale et industrielle ». Cette dernière variété est déjà conseillée en Angleterre depuis un an (MBC, 2018) et présente de bons résultats dans ce travail. Il serait donc judicieux, dans le cadre du développement d'une filière d'orge brassicole en Wallonie de privilégier ces variétés. La variété *Odyssey* a quant à elle déjà été retirée en Angleterre, il ne faudrait donc pas miser sur cette variété.

Le tableau 9 ci-dessous reprend la synthèse des résultats obtenus pour l'« essai agriculteurs » :

Tableau 9 : Synthèse des résultats obtenus pour les échantillons de malts de l'« essai agriculteurs »

	« Essai agriculteurs »										
	Humidité	Friabilité	Prot. Tot.	Rendement	pH	Couleur	Viscosité	Prot. Sol.	FAN	Polyphénols	Temps de filtration
Seuils stricts	< 5%	80%	9.5-11.5 %	80%	5.6-6.0	3-4 EBC	1.55-1.60 mPa.s	3.6-4.7 %	> 160	/	< 1 heure
Seuils souples	< 6%	75%	9-12%	76%	/	2-5 EBC	1.48-1.55 mPa.s	/	> 120	/	/
11											
12											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
21											
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29											
30											
31											
32											
34											
35											
Malt de référence											
13											

Contrairement à l'« essai variétés » servant à mettre en évidence les variétés les plus adaptées à la production d'orges brassicoles sur notre territoire, cet essai sert à mettre en

évidence l'influence des régions pédoclimatiques où ces orges ont été cultivées, ainsi que l'influence de leur mode de culture.

Comme pour l' « essai variétés », il est difficile de tirer de réelles conclusions sur les malts d'orges d'hiver, ceux-ci ayant maltés dans des conditions non optimales à ce type d'orge.

Influence de la région pédoclimatique

Les échantillons d'orge ayant des lieux de culture particuliers sont les orges **11** cultivées en Ardenne, **12** et **15** cultivées en Famenne et **16** cultivée dans le Condroz. Les échantillons **11** et **16** ont des temps de chute de Hagberg et donc des pouvoirs germinatifs moins bons que les autres échantillons. Cet indicateur de pré-germination peut être lié à des pédoclimats plus durs, les conditions de récolte pouvant être plus compliquées en raison d'une météo plus capricieuse pouvant impliquer des problèmes d'humidité et donc de stockage. Nous ne constatons pas ce phénomène pour les orges **12** et **15**, celles-ci ayant été cultivées en Famenne dont la particularité est d'être une région sèche.

Afin de produire des orges de la meilleure qualité possible en circuit-court en Wallonie, il sera important d'axer la production de ces orges brassicoles dans des zones agricoles plus favorables et donc d'éviter, dans un premier temps, des régions comme l'Ardenne ou le Condroz. Les zones agricoles présentant les meilleurs résultats pour 2017 et donc à privilégier pour la culture d'orge sont les régions limoneuses et sablo-limoneuses wallonnes.

Il est intéressant de signaler que ces échantillons, au même titre que l'échantillon **30**, sont au départ cultivés dans un objectif fourrager plutôt que brassicole. Ils sont donc moins bien nettoyés et possèdent des taux de protéines plus importants en raison de la quantité plus importante d'azote apportée au champ. Nous constatons ici l'importance de privilégier les meilleures variétés brassicoles aux variétés fourragères pour obtenir les meilleurs malts possibles.

Influence du mode de culture

Le facteur particulièrement influencé par le fait de cultiver les orges en culture biologique ou peu intensive, est la quantité de protéines. Les échantillons **18**, **23**, **26** et **28** possèdent même des quantités de protéines inférieures aux seuils recommandés ce qui ne correspond pas du tout aux tendances de l'année 2017 mais qui peuvent être justifiées par la volonté de protection des sols de ces cultures avec notamment l'utilisation moins intensives de produits phytosanitaires.

Les résultats observés permettent d'être tout à fait optimistes quant à la possibilité de produire de l'orge brassicole en culture biologique ou peu intensive sur notre territoire. Cependant, il faudra apprendre à mieux gérer la fertilisation azotée des sols, comprendre l'impact de la culture précédente (voir même des deux cultures précédentes) et étudier les reliquats azotés dans le sol avant l'implantation d'une culture d'orge brassicole.

5. Conclusions et perspectives

Nous l'avons vu, la production d'orges brassicoles en Belgique ne cesse de diminuer et ce, malgré des productions de malts d'orge de plus en plus importantes. Pourtant, la tendance générale à se rediriger vers des productions en circuit-courts pousse de plus en plus de gens à essayer de relancer une production locale d'orges de qualité brassicole en Belgique et particulièrement en Wallonie. Malgré cette volonté grandissante, nous remarquons qu'il manque un chaînon important à l'essor de cette filière pour des petits lots à façon : les micro-malteries. L'ensemble de ce travail nous permet de tirer toute une série de conclusions concernant le développement de cette filière et la valorisation de l'orge brassicole en circuit-court.

Tout d'abord, nous avons constaté que l'analyse RVA « *Rapid Visco Analyser* » des échantillons d'orge et de malts nous permettait de mettre en évidence plusieurs corrélations entre les paramètres fournis par cette analyse et des paramètres tels que la friabilité, la viscosité ou encore le rendement de nos malts. Mis à part en Australie, cette analyse, un peu plus développée notamment pour le froment, n'est quasiment pas utilisée dans le circuit brassicole et ne parle pas vraiment aux malteurs et encore moins aux brasseurs. Il serait pourtant intéressant, au vu des résultats obtenus dans ce travail, de consacrer du temps à une étude plus poussée des liens entre les viscogrammes du RVA et les paramètres brassicoles des orges et des malts. Cela pourrait permettre, à terme, de développer une analyse rapide pouvant prédire des paramètres brassicoles importants. De plus, une étude de 2013 montre qu'il serait possible de prédire les paramètres d'un RVA en mode classique (15 minutes) sur l'orge à partir du spectre infrarouge (Cozzolino et al., 2013). Cette perspective pourrait signifier qu'il serait possible de déterminer très rapidement une éventuelle pré-germination de l'orge et ce, dès la réception du grain après récolte.

Nous avons également constaté qu'un point critique ressortant de l'analyse de nos échantillons était le taux en protéines. Ces teneurs en protéines élevées ressortent également dans le bilan annuel des Malteurs de France, ce qui montre qu'il s'agit d'un phénomène global et non lié directement à nos échantillons. En revanche, avant l'année 2016, les orges présentaient des teneurs en protéines de plus en plus basses. Il est donc important d'adapter en permanence les procédés de maltage en fonction des paramètres obtenus sur l'orge et de remettre en question les seuils utilisés dans l'industrie brassicole, ceux-ci étant relativement vieux. De plus, nous avons vu que les protéines étaient majoritairement dosées avant stockage par analyse infrarouge, en raison du prix plus bas et de la rapidité de cette méthode. Or, on estime qu'en dépôt de stockage, l'échantillonnage non idéal (pas toujours représentatif du lot) engendre un biais et la précision de la mesure par infrarouge (manque de contrôles et/ou matériel vieillissant) induit une incertitude de mesure simple (correspondant à 1 écart-type) de 0.3%. Nous savons que pour avoir une probabilité de 95% d'obtenir la bonne valeur, nous devons prendre le résultat analytique ± 2 écarts-types, ce qui correspondrait ici à une gamme de valeurs de 1.2% de protéines. Cette incertitude de mesure nous montre que les valeurs seuils de teneur en protéines sont donc bien trop strictes et ne peuvent pas permettre, à

elles seules, de déclasser un lot. Il serait donc nécessaire de fixer de nouvelles valeurs cibles adaptées à cette incertitude de mesure ainsi que des valeurs plus souples dans le cas d'une agriculture en circuit-court.

En ce qui concerne l'analyse du grain au dépôt de stockage, il serait intéressant, surtout lors d'années présentant une météo à risque, d'évaluer l'activité enzymatique via le temps de chute de Hagberg, le RVA en mode *Stirring Number* (3 minutes) ou encore par une analyse infrarouge.

Après avoir pris du recul quant aux résultats de nos échantillons dans leur ensemble, nous avons pu voir qu'il était tout à fait possible de produire de l'orge de qualité brassicole sur notre territoire et ce, même pour des orges cultivées de manière biologique ou peu intensive (agro-écologique). Nous devons tout de même émettre une réserve quant aux lieux de culture de ces orges, les régions pédoclimatiques plus rudes telles que l'Ardenne ou le Condroz présentant des résultats moins bons que pour les grandes régions agricoles wallonnes. Il sera donc important, en tout cas dans les premières années de culture, de privilégier les régions pédoclimatiques aux conditions les plus favorables c'est-à-dire les régions limoneuses et sablo-limoneuses de Wallonie. Notre « essai variétés » permet d'identifier les variétés les plus propices à la filière de l'orge brassicole en circuit-court sur notre territoire :

- Orges 2 rangs de printemps : *Sangria, Laureate, Fantex, Chanson, Overture, Nabuco, Planet* et *Quench* (« essai agriculteurs »)
- Orge 6 rangs d'hiver : *Etincel*

Nous devons cependant émettre quelques réserves sur les bons résultats de nos échantillons. En effet, nous avons vu que l'année 2017 avait été une année excellente d'un point de vue météorologique pour la production de céréales de qualité. Les conditions climatiques variant fortement d'une année à l'autre en Belgique, ces résultats ne seront pas toujours aussi bon. Nous avons vu dès lors, l'énorme intérêt de l'intervention d'un intermédiaire entre le champ et la malterie pour réaliser un « nettoyage-triage-calibrage » poussé permettant l'élimination des grains malsains comme les grains fusariés où se trouve les mycotoxines et donc l'obtention de lots de meilleure qualité. De plus, ces résultats ne prennent pas du tout en compte les analyses sur les mycotoxines, amenant des problèmes sanitaires à l'orge. Etant un poison, les normes au niveau des mycotoxines sont très strictes en alimentation humaine. Il est donc impératif de bien gérer ce paramètre, surtout que la Wallonie s'est habituée à produire des céréales fourragères pour lesquelles ces seuils sont bien plus souples et difficiles à atteindre. Il serait donc très intéressant d'intégrer ces analyses aux résultats de ce travail afin de pouvoir tirer des conclusions plus poussées sur la qualité brassicole de nos orges.

Lors de ce travail, tous nos échantillons ont subi un micro-maltage standardisé par l'E.B.C. Celui-ci mériterait d'être réadapté aux variétés d'orges de printemps actuelles possédant une désagrégation plus rapide ainsi qu'aux variétés d'orge d'hiver nécessitant un maltage plus long. Dans la pratique, le malteur pourra faire valoir son savoir-faire en adaptant son processus à chaque orge en fonction de ses caractéristiques analytiques et donc obtenir des

qualités brassicoles encore meilleures. La mise en place d'un laboratoire indépendant avec un équipement de micro-maltage de laboratoire est essentielle pour accompagner cette filière locale dans ces futurs défis et est d'un net intérêt pour permettre l'essor des micro-maltries.

Pour que la production locale d'orges brassicoles puisse se développer de manière optimale, il existe un « prix juste terroir » destiné aux agriculteurs pour l'orge produite. Il faudra également définir un « prix juste terroir » pour le malt artisanal produit par les micro-maltries, une fois que celles-ci se seront développées en Wallonie. En effet, les micro-maltries ayant également besoin d'une part de cette somme afin de combler la différence de prix inévitable entre un malt industriel et un malt artisanal. Il est également important que l'ensemble des acteurs de la filière soit prêt à faire des compromis :

- Les dirigeants doivent inciter et aider la mise en place d'une filière qui doit devenir autonome et gérer un label de terroir seule. Il est prévu que la synergie entre la Promotion Orge Brassicole (POB) et le Collège des Producteurs (SoCoPro) s'occupe de ce label, de la planification de la production d'orge brassicole locale et des contrats entre agriculteurs, stockeurs et malteurs tout en impliquant les brasseurs. Le financement de cette filière viendrait d'une part du prix juste terroir et d'autre part de l'ensemble des acteurs de la filière orge brassicole locale qui cotiseraient au niveau de l'organisme gestionnaire afin de financer les nombreux défis de cette filière.
- Des chaînes de nettoyage-triage-calibrage élaborées et un bon refroidissement des lots doivent être mises en place afin d'assurer une bonne conservation des orges
- Des stockages à petite échelle à la ferme ou proche de la ferme doivent être mis en place afin d'avoir plus de temps (en dehors de la période des moissons) pour mieux analyser les lots et constituer des lots de meilleurs de qualité.
- Des micro-maltries doivent voir le jour afin de pouvoir malter les orges produites en circuit-court en quantités raisonnables. De plus, les malteurs doivent être prêts à devoir malter des lots très différents notamment en fonction des conditions climatiques.
- L'augmentation du prix pour un malt local et artisanal à un « prix juste terroir » augmente de ± 1 centime par 33cl le prix de la bière spéciale (Robert, 2017). Cette augmentation, au même titre que la TVA et les accises, doit être considérée comme directement payée par le consommateur et n'affecte donc pas le brasseur. Pour exploiter au mieux ce malt et sa valeur ajoutée pour leur bière, certains brasseurs devront apprendre à comprendre les résultats d'analyse du malt et d'être en mesure d'adapter leurs procédés de brassage en fonction de la qualité spécifique du lot.
- Nous l'avons vu l'augmentation du « prix juste terroir » pour un malt local et artisanal n'a qu'une importance minime sur le prix final de la bière. L'implication du consommateur sera plutôt dans sa volonté à réellement soutenir son patrimoine immatériel, la bière, et sa communauté rurale face à la volatilité du marché mondial.

La conclusion finale de ce travail est qu'il est tout à fait envisageable de développer une filière d'orge brassicole en circuit-court sur notre territoire vu la bonne aptitude à une valorisation brassicole des orges analysées. Cependant, celle-ci ne sera possible que lorsque des micro-maltes adaptées verront le jour et lorsque l'ensemble des acteurs de la filière, de l'agriculteur au consommateur, seront totalement investis et en phase avec ce projet, ce qui semble être de plus en plus la tendance en Wallonie.

6. Bibliographie

- Agrobio Bretagne. (2013). *Trier et stocker ses céréales à la ferme pour mieux les valoriser*. SymbIOse.
- Ajib, B. (2013). *Contribution À La Modélisation de La Qualité de L'orge et Du Malt Pour La Maîtrise Du Procédé de Maltage*. Université de Lorraine.
- Bailly, C. (2018). *La dormance des semences*. Sorbonne Université, Paris.
- Boivin, P. (2004). *Analyse Du Malt*. EBC.
- Brasseurs Belges (2017). *Rapport annuel 2017*.
- Briggs, D. E. (1998). *Malts and Malting*. Springer, US, pp 796.
- Commission des grandes cultures – SoCoPro. (2017). *Dossier de presse : orge brassicole*.
- Cozzolino, D., Roumeliotis, S., Eglinton, J. (2013). "Exploring the Use of Near Infrared (NIR) Reflectance Spectroscopy to Predict Starch Pasting Properties in Whole Grain Barley". *Food biophysics*, 2013 ; 8(4) : 256-261
- Godin, B. (2018). *Orge brassicole : qualité et micro-maltes*. CRA-W.
- Herb, D., Filichkin, T., Fisk, S., Helgerson, L., Hayes, P., Meints, B., Jennings, R., Monsour, R., Tynan, S., Vinkemeier, K., Romagosa, I., Moscou, M., Carey, D., Thiel, R., Cistue, L., Thomas, W. (2017). "Effects of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Variety and Growing Environment on Beer Flavor". *Journal of the American Society of Brewing Chemists*.
- Kunze, W. (2014). *Technology Brewing and Malting*. VLB Berlin, Germany, pp 950.
- Lewis, M. J., Young, T. W. (2001). *Brewing*. Springer, US, pp 398.
- Malteurs de France. (2017). *Qualité des orges de brasserie française 2017*.
- Malteurs de France. (2018). *Liste des variétés préférées des Malteurs de France et Brasseurs de France : orge de brasserie – récolte 2019*.
- MBC – Malt Barley Committee. (2018). *MBC approved list : harvest 2019*.
- Monfort, B. (2004). *Le malt d'orge de brasserie locale et de qualité différenciée*. Gembloux Agro-Bio Tech - ULiège.
- Monfort, B. *Stockage de qualité des orges de brasserie*. Gembloux Agro-Bio Tech - ULiège.
- Monfort, B., Falisse A. (2016). *Orges brassicole*. Livre Blanc « Céréales ».
- Mosher, M., Trantham, K. (2017). *Brewing Science : A Multidisciplinary Approach*. Springer, US, pp 408.
- Pietercelie, A. (2017). *Cours de Brasserie : Matières premières : l'orge*. Institut Meurice.
- Pietercelie, A. (2017). *Cours de Brasserie : Matières premières : le malt*. Institut Meurice.
- Robert, H. (2017). *Etude du maltage artisanal de l'orge brassicole pour son développement en circuit-court en Wallonie*. Gembloux Agro-Bio Tech - ULiège.
- TerraBrew Association. (2016). *Présentation : La filière courte en orge de brasserie en Belgique*.

Sites internet consultés :

www.atrissem.com : consulté le 02/08/2018

www.febed.be : consulté le 11/08/2018

www.gnis-pedagogie.org : consulté le 02/08/2018

www.grainscanada.gc.ca : consulté le 08/08/2018

www.malteurop.com : consulté le 10/08/2018

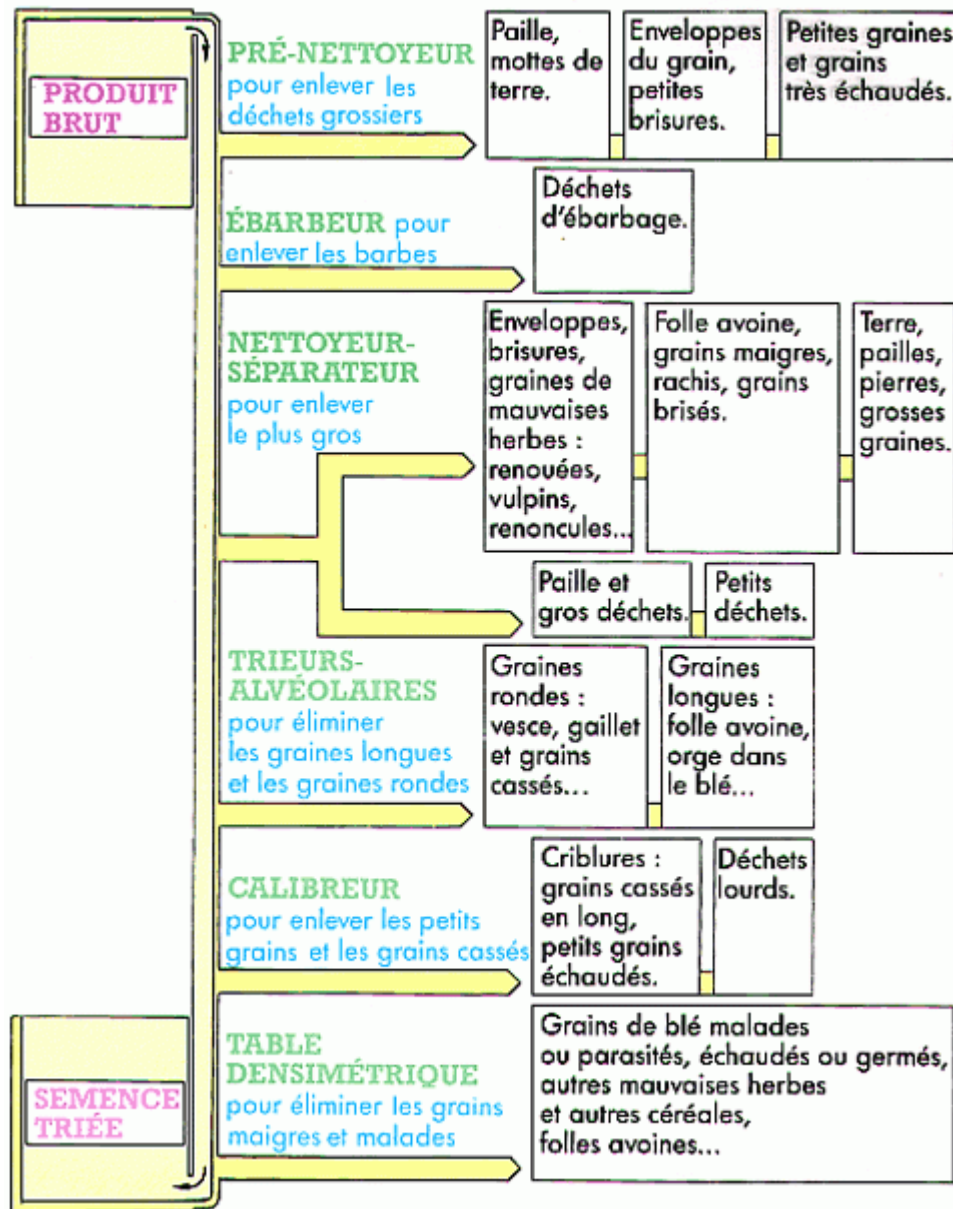
www.metaldetectorfactory.com : consulté le 02/08/2018

www.tpelabiere.e-monsite.com : consulté le 08/08/2018

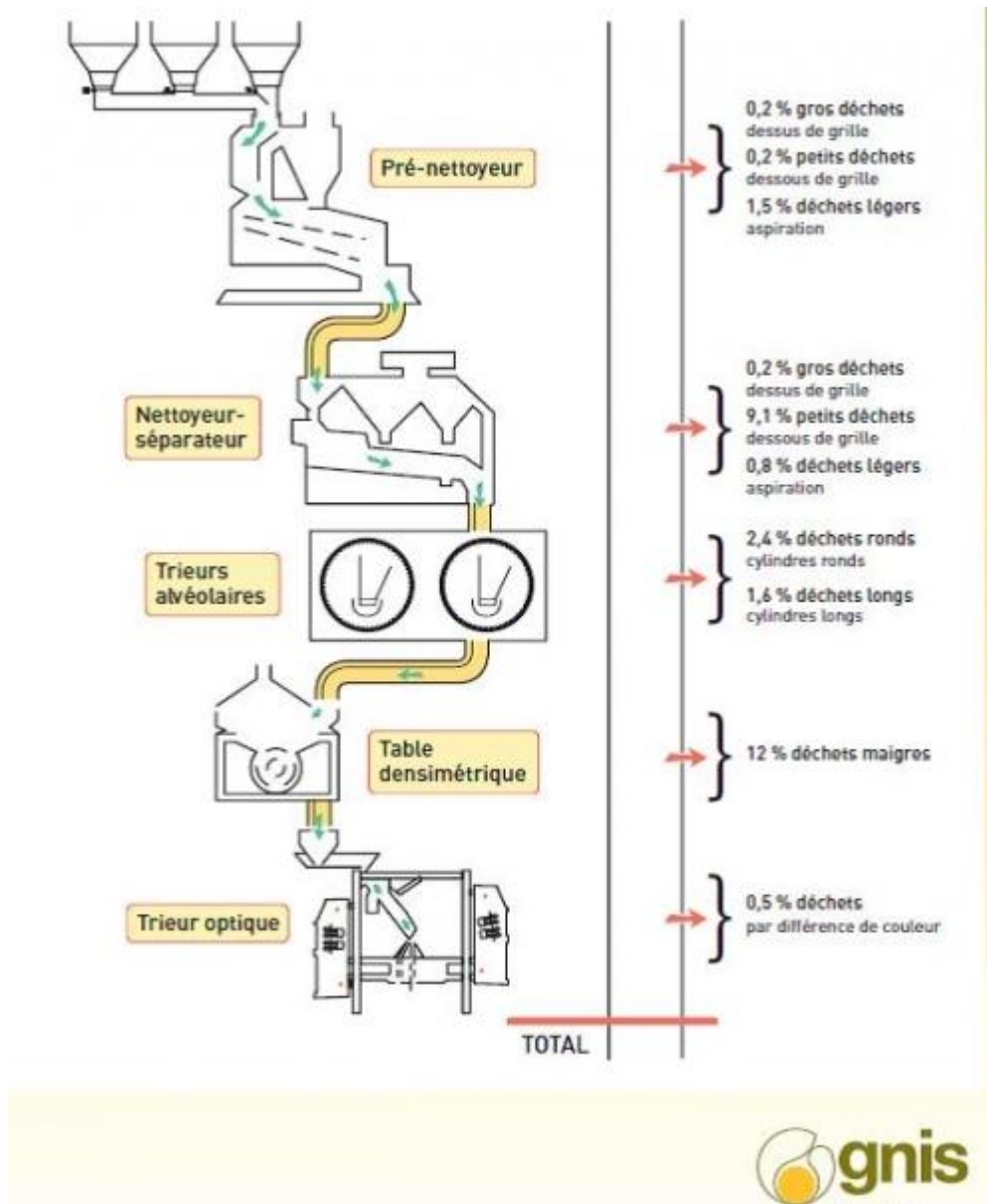
www.zanin-italia.com : consulté le 02/08/2018

7. Annexes

Annexe I : Rôles de l'ensemble des appareils impliqués dans la chaîne de nettoyage-triage-calibrage



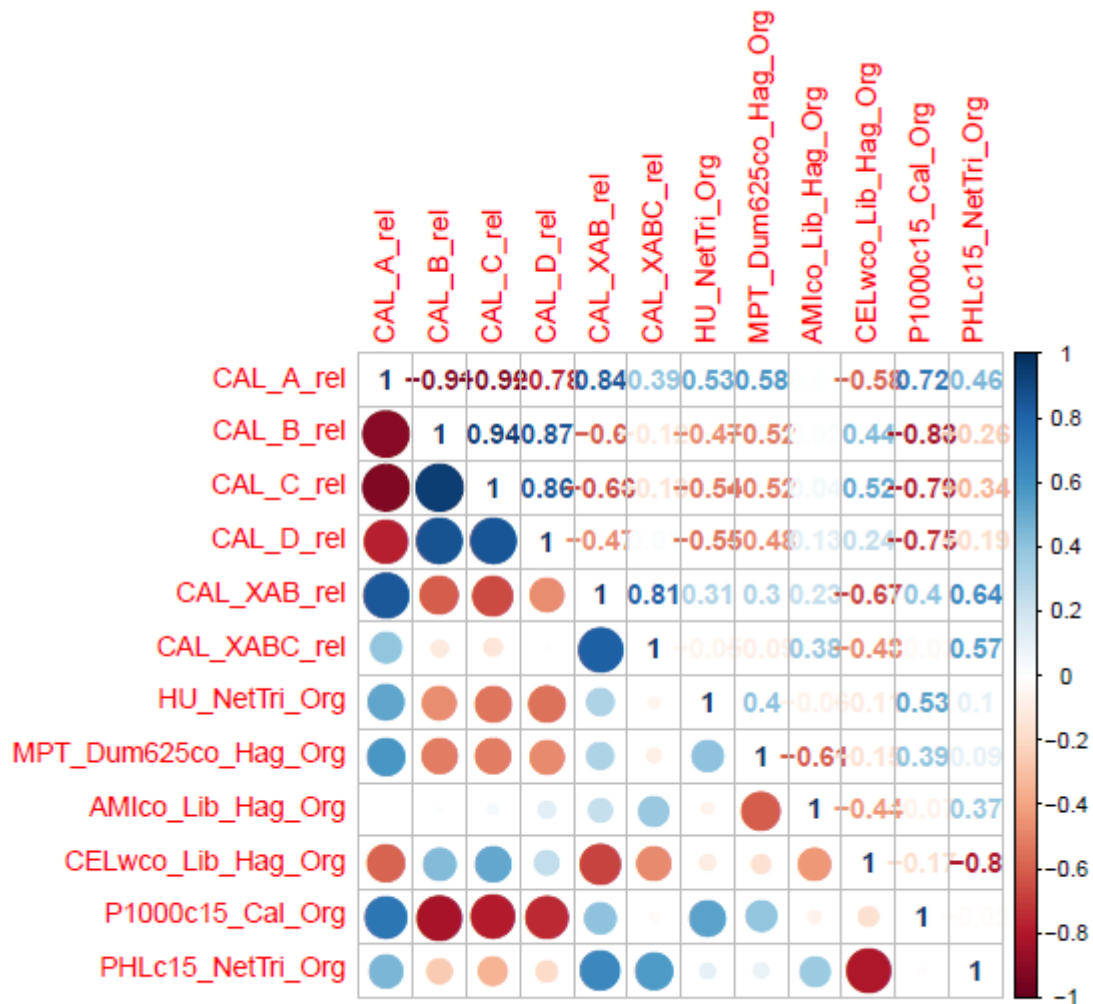
Annexe II : Freintes liées à la chaine de nettoyage-triage-calibrage



Annexe III : Liste détaillée des échantillons d'orges

N° d'échantillon	Mode de culture	Lieu de culture	Variete	Type d'orge	
1	Conventionnel	Gembloux	Fantex	Printemps	2 rangs
2	Conventionnel	Gembloux	Laureate	Printemps	2 rangs
3	Conventionnel	Gembloux	Chanson	Printemps	2 rangs
4	Conventionnel	Gembloux	Overture	Printemps	2 rangs
5	Conventionnel	Gembloux	Irina	Printemps	2 rangs
6	Conventionnel	Gembloux	Sebastian	Printemps	2 rangs
7	Conventionnel	Gembloux	Nabuco	Printemps	2 rangs
8	Conventionnel	Gembloux	Planet	Printemps	2 rangs
9	Conventionnel	Gembloux	Sangria	Printemps	2 rangs
10	Conventionnel	Gembloux	Odyssey	Printemps	2 rangs
11	Conventionnel	Halleux	Odyssey	Printemps	2 rangs
12	Conventionnel	Philippeville	Quench	Printemps	2 rangs
13					
14	Conventionnel	Boussu	Planet	Printemps	2 rangs
15	Conventionnel	Gedinne	Planet	Printemps	2 rangs
16	Conventionnel	Ciney	Irina	Printemps	2 rangs
17	Conventionnel	Thisnes	Irina	Printemps	2 rangs
18	Peu intensif	Villers_L_Eveque	Irina	Printemps	2 rangs
19	Peu intensif	Villers_L_Eveque	1	Printemps	2 rangs
20	Peu intensif	Villers_L_Eveque	2	Printemps	2 rangs
21	Peu intensif	Villers_L_Eveque	3	Printemps	2 rangs
22	Peu intensif	Villers_L_Eveque	4	Printemps	2 rangs
23	Peu intensif	Remicourt	Sebastian	Printemps	2 rangs
24	Peu intensif	Limal	Irina	Printemps	2 rangs
25	Peu intensif	Huy	Irina	Printemps	2 rangs
26	Bio	Corroy Le Grand	Irina	Printemps	2 rangs
27	Bio	Wavre	Irina	Printemps	2 rangs
28	Bio	Antheit	Irina	Printemps	2 rangs
29	Bio	Boirs	Odyssey	Printemps	2 rangs
30	Bio	Greze_Doiceau	Extase	Printemps	2 rangs
31	Peu intensif	Ath	Casanova	Hiver	2 rangs
32	Conventionnel	Wavre	Etincel	Hiver	6 rangs
33	Conventionnel	Gembloux	Etincel	Hiver	6 rangs
34	Conventionnel	Vollezele 2016	Casino	Hiver	6 rangs
35	Conventionnel	Gembloux	Hook	Hiver	6 rangs

Annexe IV : Exemple de diagramme de corrélation



Annexe V : Compilation des seuils de référence pour l'orge brassicole et le malt

	Orge									
	M.E. à façon		M.E. en propre		IFBM 1	IFBM 2	FRAB	Arvalis	Malteurs de France	VLB
	Conseillé	Exclusion	Conseillé	Exclusion						
Humidité	10-14%	>14,5%	<14,5%	>14,5%	<14,5%	<15,0%	<14.5%	<14.5%	<14.5%	<14%
Protéines	9,5-11,5%	8-11,5%	9,5-11,5%	8-11,5%	9,5-11,5%	<11,5%	8.5-11.5%	8.5-11.5%	entre 10 et 11	10-11,5%
Pré-germination								<2%		
Calibrage AB	85% > 2,5mm		>95% > 2,5mm	<85% > 2,5mm	90% > 2,5mm	90-95% > 2,5mm	90% > 2,5mm	90% > 2,5mm		>85% > 2,5mm
Calibrage D					2% < 2,2mm	2% < 2,2mm	<3.0%			
Calibrage E					<0.5%					
Impuretés G								<0.5%	<0.5%	
E germin. 3j						>90%		>98%	>97%	>92%
E germin. 5j	>90%	<75%	>97%	<95%		>95%	>95%			>98%
P 1000						35-47				37-45 g
PHL						65-75				

	Malt			
	Analyse M.E.	IFBM	VLB	EBC
Humidité	4.80%	4-4.5%	3-5%	4.5-5.5
Calibrage	/	>90%	90-95%	>95%
P1000	/	/	28-44g	/
Temps de filtration	/	/	Max 60 min	/
Temps de saccharification	/	<15min	<15min	/
Rendement	82.4%	80-83%	80-83%	Min 80.5%
Couleur	5.3 EBC	3-6.5 EBC	4-5 EBC	2-5 EBC
Viscosité	1.5	1.50-1.55mPa.s	1.48-1.6 mPa.s	1.55-1.65mPa.s
pH	/	5.7-6	5.6-6	/
Protéines totales	8%	9.5-11.5%	11-11.5%	10-11.5%
Protéines solubles	3.65%	3.6-4.7%	4-5%	4.1-4.7%
FAN	/	120-160mg/l	>120mg/l	>160mg/l
Polyphénols	/	/	/	/
Différence	/	/	/	1-2%

