

Maltage à faible humidité pour réduire la consommation d'énergie et préserver l'environnement

Patrick BOIVIN, directeur Scientifique d'IFBM (Institut Français des Boissons, de la brasserie et de la Malterie)

RÉSUMÉ :

Avant de pouvoir être utilisé par le brasseur, l'orge doit être transformé en malt. Au cours du maltage, l'étape de séchage est très consommatrice d'énergie (750 à 1000 Kwh/tonne et 90% de l'énergie consommée lors du maltage). L'objectif de ce projet a consisté à produire un malt de qualité en réduisant la teneur en eau du grain lors de la germination pour réduire de 20% l'énergie. Les validations des recherches au stade semi industriel ont montré la faisabilité de ce procédé avec production d'une bière de qualité identique à un procédé classique.

ABSTRACT

To be usable by brewers, barley has to be transformed in malt. Kilning is a drying step that uses a large amount of energy (750 to 1000 KWh/ton and 90% of energy used in malting process). The main objective of the project was to produce high quality malt with barley containing less water during germination to reduce 20% of energy. Validation of research at semi-industrial scale showed that malting at low moisture was possible with a production of good beer.

PARTIE I : CONTEXTE ÉCONOMIQUE ET TECHNIQUE

Le malt est la matière première essentielle et stratégique pour les brasseurs pour obtenir une délicieuse bière et agréable à boire, sans problèmes de fabrication. Obtenir un bon malt avec les nouvelles contraintes environnementales, qui signifie l'utilisation de moins d'eau et d'énergie, est le plus grand défi des malteurs français.

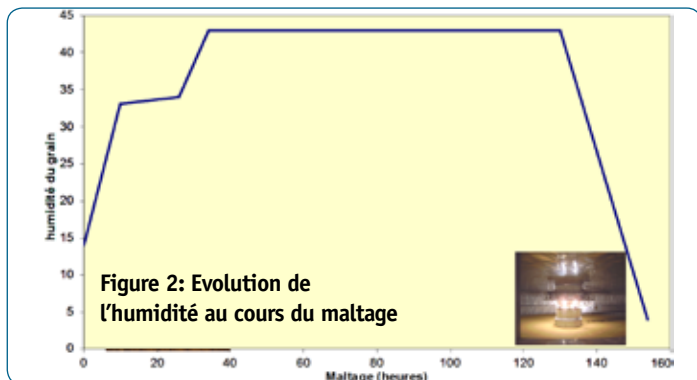
Avant d'être utilisée par les brasseurs, l'orge doit subir un maltage, procédé qui se décompose en trois grandes étapes (figure 1)

1) **La trempe**, pendant laquelle s'opère l'hydratation de l'embryon et de l'albumen, permettra la synthèse et la diffusion des enzymes produites au cours de la germination. La trempe se décompose en une succession de sous-eaux (2 ou 3) et de sous-air. L'humidité du grain en fin de trempe est comprise entre 43 et 45%.

2) **La germination**, qui se déroule en atmosphère humide et avec une forte aération, est la période où s'opère notamment une synthèse active des enzymes hydrolytiques (amylases, protéinases, glucanases,...). Les enzymes diffusent dans l'albumen, hydrolysent les b-glucanes et protéines qui rendra friable le grain malté après touraillage et permettra la production de sucre fermentescibles au brassage.



Figure 1 : Les différentes étapes de la transformation de l'orge en malt.



3) **Le tourailage** où l'humidité du grain est réduite de 43% à 4.5% par un flux d'air chaud allant de 50°C à 85°C afin de stabiliser le produit formé et produire des arômes qui vont être à l'origine du caractère subtil de la bière.

L'évolution de l'humidité pendant le processus de maltage est montré dans la figure 2.

La filière française orge-malt-bière est une filière organisée, dont le poids économique est conséquent. Grâce aux qualités d'orge de brasserie sélectionnée et aux outils de production, la Malterie Française est fortement exportatrice (85% de la production, soit 1 MT de malt) ce qui situe la France en tête du commerce mondial, position qu'elle occupe depuis plus d'un quart de siècle. Les sociétés françaises et opérant en France sont leaders sur le marché mondial avec Malteurop (n°1), Soufflet (n°2), Cargill (n°3) et Axerial (n°5). 95% de l'énergie thermique et 50% de l'énergie électrique utilisées en malterie sont consommés lors du séchage du malt pour éliminer l'eau absorbée par le grain lors de l'étape de trempage et de germination. Cette énergie représente 750 à 1000 kWh/t de malt produit, soit un coût de l'ordre de 25 euros par tonne de malt (plus du quart de la valeur ajoutée de cette industrie). Si la France veut rester leader sur le marché du malt, une nouvelle approche de la transformation de l'orge en malt, maltage à faible humidité, doit être envisagée. Le séchage de l'orge germée à 35% d'humidité au lieu de 45% permettrait une économie d'énergie de plus de 35%, soit plus de 10 millions d'euros d'économie par an pour la malterie française avec un impact important sur l'environnement.

Il n'existait aucune étude à caractère multidisciplinaire traitant dans sa globalité de la problématique liée à l'hydratation du grain d'orge dans le contexte de la technologie malticole et brassicole.

La réponse à cette question, dont les enjeux économiques étaient majeurs pour les professionnels français a conduit à l'élaboration d'un projet de R&D financé par l'ANR et Malteurs de France.

Ce projet a proposé de travailler conjointement à plusieurs facteurs d'échelle, en adéquation avec les différents phénomènes physico-chimiques visés et étudiés dans le but de réduire quantité d'eau dans le grain nécessaire à la transformation en malt de qualité respectant les exigences du brasseur.

PARTIE II : PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

Pour réaliser cet objectif, il était indispensable d'avoir une meilleure connaissance des phases physico-chimiques et biochimiques clés du maltage. D'une part la diffusion de l'eau et les phénomènes physico-chimiques qui contrôlent cette diffusion à travers les différentes structures du grain devaient être étudiés. D'autre part, les mécanismes de migration des protéines et enzymes dans l'albumen devaient être élucidés. A faible humidité, le grain d'orge ne peut pas germer parce que le métabolisme cellulaire dépend directement la teneur en eau dans les tissus. Le maltage à faible humidité pouvait avoir des conséquences sur le processus de biologique de la germination, la synthèse et la diffusion dans l'albumen des enzymes, l'hydrolyse des molécules de stockage et particulièrement des β -glucanes des parois de l'albumen et par conséquent sur la qualité brassicole du malt. L'étude de l'état de l'eau et sa répartition dans les différents tissus au cours des périodes de sous eau et sous air de la trempage aiderait à optimiser le diagramme de trempage.

Plusieurs techniques de pointes: l'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM), la microcalorimétrie à balayage et la spectrophotométrie Infra Rouge à Transformée de Fourier pouvait être utile pour cette étude. La diffusion de l'eau dans le grain peut être influencée par des couches hydrophobes qui se trouvent en périphérie de l'albumen. En effet, les cuticules sont situées entre le péricarpe et le testa. Elles sont composées de cutine, polymère d'acide gras estérifiés et de cire. Ces structures hydrophobes qui ont été décrites dans le blé, n'ont pas été caractérisées dans l'orge. De plus l'hydrolyse enzymatique par une acyle hydrolase de ces composés pourrait faciliter la diffusion de l'eau. L'application d'enzymes exogènes pourrait faciliter la diffusion de l'eau dans l'albumen.

Dans ce contexte les objectifs du programme ont été :

- 1- Déterminer les teneurs en eau critiques permettant le démarrage de la germination et de la croissance de l'embryon
- 2- Caractériser, pour des apports contrôlés d'eau, le processus d'imbibition des grains c'est-à-dire les cinétiques de transfert d'eau dans les différents compartiments du grain.
- 3- Etudier le transfert des macromolécules d'intérêt pour la filière (hydrolases,..) de la couche à aleurones vers l'albumen amylicé, en fonction de l'hydratation des grains.
- 4- Etudier la structure et la dégradation des interfaces hydrophobes (cuticule) et pariétales (aleurone, albumen) et leur impact sur l'hydratation du grain
- 5- Modéliser à l'échelle du grain des phénomènes de diffusion de l'eau dans le grain et des transformations biochimiques et à l'échelle du procédé des différentes phases pour optimiser le procédé de maltage à faible humidité d'eau
- 6- Etudier au stade micro-maltage des transformations et de la qualité brassicole du malt du maltage à faible teneur en eau et validation au stade semi-industriel (maltage 600 kg et brassage 20hl)

PARTIE III : LES PARTENAIRES DU PROJET ET LES TACHES

Cf. Schéma 1



PARTIE IV : RÉSULTATS

Pour évaluer l'impact des facteurs opératoires sur la qualité du malt, un plan d'expériences a été défini. Il s'est appuyé sur 4 facteurs initiaux (variété, température, teneur en protéine et diagramme de trempe) et avec 40 expériences, D-optimales.

L'analyse des résultats du plan d'expériences a confirmé que les variétés d'orge hiver et printemps présentent des comportements très différents. L'impact des conditions opératoires (en particulier température, durées des phases : 1er sous-air et 2ème sous-eau) sur la qualité du malt est assez bien prédit. Des modèles pour chaque indicateur ont été établis pour les variétés d'orge d'hiver et de printemps.

Les travaux réalisés sur la physiologie de la germination ont permis de montrer que la germination est possible lorsque la teneur en eau des grains devient supérieure à 36%. La teneur en eau des grains a une action différentielle sur les activités potentielles des hydrolases. Les activités α -amylase et β -glucanase sont nulles ou très faibles dans les grains secs, mais elles augmentent fortement dès que la teneur en eau des grains dépasse 32%, c'est-à-dire avant que les grains ne soient capables de germer. L'activité potentielle de ces enzymes est optimale lorsque les grains ont une teneur en eau de l'ordre de 37%.

Le suivi de l'imbibition des grains lors des 8 premières heures de sous-eau puis au cours du sous-air a permis de proposer un protocole expérimental permettant l'obtention d'un malt à 38-39% d'eau.

L'apport de calcium sous forme de CaCl_2 pendant les sous-eaux ou d'acide gibbérélique (GA3) n'a pas eu d'effet significatif sur la prise d'eau des grains. Le calcium entraîne une légère augmentation des activités α - et β -amylases, mais n'a pas d'effet significatif sur l'activité β -glucanasique et l'hydrolyse des parois évaluée par la teneur en β -glucanes.

L'étude de l'état de liaison de l'eau et sa répartition dans les différents tissus au cours des périodes de sous eau et sous air de la trempe a été réalisée par IRM. L'étude a consisté dans un premier temps à développer/optimiser la technique d'analyse en IRM pour l'orge et le traitement de données.

L'analyse des images obtenues lors de la trempe a montré qu'au cours du premier sous-eau l'eau rentrait préférentiellement par l'embryon et restait dans les tissus périphériques du grain d'orge. Après le sous air, il n'y avait que peu d'eau qui pénétrait dans l'albumen. Dès le début du deuxième sous eau, pour la variété de printemps, il y avait diffusion de l'eau dans l'albumen avec une bonne répartition après les 6 heures de sous-eau. Par contre pour la variété d'hiver, cette diffusion dans l'albumen se faisait au 3ème sous eau. Ces travaux ont montré que contrairement à ce qui était publié et enseigné, il n'y a pas de diffusion de l'eau des parties périphériques de l'orge vers l'albumen au cours des périodes de sous air. Cette diffusion a lieu lors d'un sous eau

après une période de sous air assez longue pour la variété d'orge de printemps et deux périodes de sous air pour la variété d'hiver. Cette diffusion dans l'albumen n'est pas liée à la porosité de l'albumen mais peut-être dû à la destructuration enzymatique des cuticules, qui sont des couches hydrophobes, lors des périodes de sous-air.

L'étude de la diffusion des protéines dans l'albumen a indiqué qu'un maltage à faible hydratation entraîne un retard dans la diffusion des β -glucanases et non une diminution de son activité. Ces différences de diffusion de cette enzyme entraînent une désagrégation plus faible des parois de l'endosperme (figure 3) et peuvent avoir des conséquences sur les étapes de filtrations au cours du procédé de fabrication de la bière. Cependant, une optimisation du diagramme de trempe et l'utilisation d'auxiliaires technologiques comme l'acide gibbérélique pourraient pallier cet effet.

Afin de tester et valider les résultats obtenus dans ce projet, des maltages au stade micro et semi-industriel ont été réalisés (figure 4 et 5). Les installations d'IFBM sont certifiées et auditées annuellement par les malteurs et brasseurs.

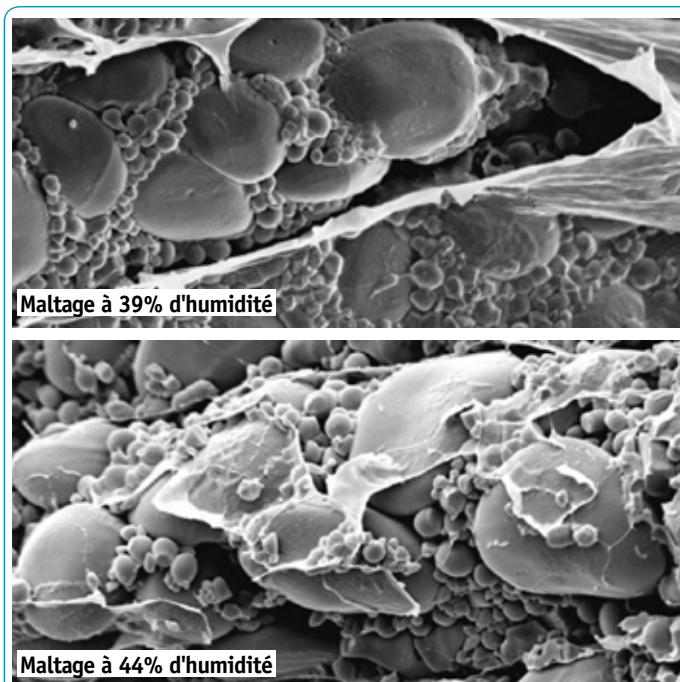


Figure 3 : Structure de l'albumen du grain de malt après un maltage à faible humidité (39%) et à humidité normale (44%)

Afin de tester l'impact variétal et la teneur en protéines sur le maltage à faible humidité, des micro-maltages ont été réalisés, en utilisant un diagramme de trempé issu de la modélisation, sur 13 variétés de printemps et d'hiver. Malgré un maltage conduisant à une faible humidité en germination (36-37%), certaines variétés ont donné des malts avec des friabilités conformes aux spécifications des brasseurs. L'impact variétal semble important, ainsi que la teneur en protéines. Une teneur en protéines faible (<10%) permettra d'obtenir un malt de qualité avec un maltage à faible humidité.

Une analyse plus fine de la qualité du malt a montré que le maltage à faible humidité conduisait à des teneurs en β -glucanes élevées dans le moût. Au stade semi-industriel, ce problème a été constaté sur le malt qui a conduit à des problèmes de filtration du moût lors d'un brassage de 20hl (figure 6). Ce problème de filtration de moût dû à une mauvaise hydrolyse des b-glucanes lors du maltage n'est pas acceptable par le brasseur.



Figure 4 : micro_malterie d'IFBM

Des essais ont été réalisés avec des auxiliaires technologiques (ions, enzymes et acide Gibbérellique) avec une variété de printemps et une variété d'hiver. Ces essais ont montré que l'ajout d'acide gibbérellique en début de germination a permis une hydrolyse plus rapide des b-glucanes au cours de la germination de l'orge et ainsi de diminuer la concentration en b-glucanes du moût. Des essais de maltage à faible humidité avec une augmentation du temps de germination (+ 1 jour) a permis également de diminuer la teneur en b-glucanes du moût.

Des essais au stade semi-industriel ont été réalisés avec une variété de printemps peu sensible au maltage à faible humidité. Le maltage à 38% d'humidité au cours de la germination et 35% en fin de germination, soit 5% de moins d'un maltage classique a donné un malt de qualité brassicole. La qualité brassicole a été améliorée par l'ajout



Figure 5 : Malterie semi-industrielle (600 kg) d'IFBM



Figure 6 : Brasserie semi industrielle (20 hl) d'IFBM

d'acide gibbérellique. Aucun impact négatif n'a été constaté lors de la production de la bière et sur la qualité physico-chimique et sensorielle de la bière.

PARTIE V : CONCLUSION

Ce projet ambitieux mené par différentes équipes académiques avec des expertises différentes coordonné par IFBM et cofinancé par Malteurs de France a permis d'obtenir de nouvelles connaissances des phases clés du maltage indispensables à sa maîtrise et en particulier à l'application d'un nouveau procédé économe en énergie. Bien que restant encore des verrous à franchir, ce projet a montré la faisabilité d'un maltage à faible humidité qui peut permettre d'économiser 20% d'énergie soit pour la production de malt français, 250 millions de kWh par an.