

L'amylolyse – choisir sa température d'empâtage

Nous reprenons le chemin des bancs de l'école pour continuer à discuter des **enzymes** et plus particulièrement de l'**amylolyse** : La bière une histoire 'enzymes – partie 2!

Souvenez-vous, nous vous avions présenté <u>les enzymes et leur fonctionnement</u> ainsi que les **processus enzymatiques** pendant le **maltage**. Cette fois-ci nous nous intéressons spécifiquement à l'**empâtage**.

La bière, une histoire d'enzyme – Partie 2

- L'amidon, le substrat de l'amylolyse
 - o Où trouve-t'on l'amidon?
 - o Composition chimique
 - o La gélatinisation de l'amidon
- Les transformations enzymatiques pendant l'empâtage
 - o <u>L'amylolyse</u>
 - Fonctionnement des bêta-amylases
 - Fonctionnement des alpha-amylases
 - Les paliers de température pour convertir l'amidon
 - 64 et 70°C pour favoriser le fonctionnement des 2 enzymes
 - 50 et 70°C pour favoriser le fonctionnement de la bêta amylase
 - 64 et 70°C pour favoriser le fonctionnement de l'alpha amylase
 - <u>Le multipalier pour travailler l'alcoolisation et la rondeur de la bière à la fois</u>
- Les autres paliers de température pendant l'empâtage
 - Les limite-dextrinases
 - o **Les phytases**
 - o <u>Les glucanases</u>
 - Les protéinases et peptidases
 - o <u>Le mash-out</u>
- Petit brasseur, où en es-tu?



L'amidon, le substrat de l'amylolyse

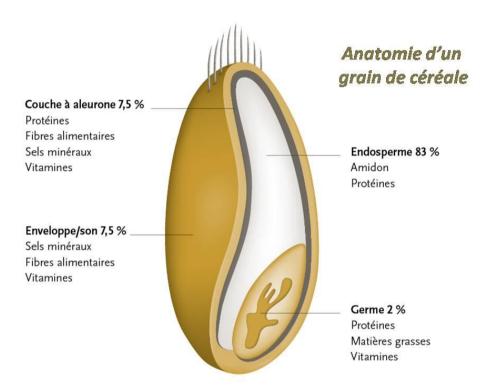
Nous vous avions déjà présenté l'amidon par <u>ici</u>, pourquoi ne pas retourner y chercher les bases.

Où trouve-t'on l'amidon?

L'amidon (du latin *amylum*, non moulu) est un glucide complexe (polysaccharide ou polyoside) composé de chaînes de molécules de D-glucose (sucre simple). Il s'agit d'une molécule de réserve pour les végétaux supérieurs et un élément courant de l'alimentation humaine.

L'amidon est une molécule de **stockage de glucides** et donc une **réserve d'énergie** chez les plantes.

L'amidon se trouve dans les organes de réserve de nombreuses plantes. Chez les céréales, l'amidon est contenu dans l'endosperme du grain.



Anatomie d'un grain de céréale



Composition chimique

L'amidon est un homopolysaccharide constitué par des résidus de D-glucopyranose. Ces molécules de glucose en conformation 4C_1 se retrouvent sous la forme de deux structures : l'amylose et l'amylopectine.

Nous avons déjà un peu parlé des sucres dans un article, pour en savoir plus sur les glucides, carbohydrates, oses et osides, c'est par <u>ici</u>!

1/ L'amylose est une structure linéaire constituée par un enchaînement de résidus de D-glucose (600 à 1000). L'amylose représente 20 à 30% de la masse en amidon.

2/ L'amylopectine est une structure ramifiée plus abondante que l'amylose. La chaîne totale peut faire entre 10 000 et 100 000 unités glucose. Elle représente 70 à 80% de la masse en amidon.

L'amylopectine est constituée par 3 chaînes différentes. Le premier type de chaîne correspond à celle qui porte le résidu de D-glucopyranose. Les chaînes B les plus internes sont constituées par des enchaînements de l'ordre de 40 à 45 résidus de glucose. Les chaînes A qui viennent se greffer sur les chaînes B sont plus courtes et renferment de l'ordre de 15 à 20 résidus de glucose.



La gélatinisation de l'amidon

L'amylopectine est responsable des propriétés de gélatinisation de l'amidon.

Le chauffage, en excès d'eau, d'une suspension d'amidon à des températures supérieures à 50°C entraîne un gonflement irréversible des grains et conduit à leur solubilisation (perte de la structure) : c'est la gélatinisation.

La **gélatinisation de l'amidon** est un processus physico-chimique qui consiste en l'hydrolyse des liaisons intermoléculaires de l'amidon en présence d'eau et de chaleur permettant aux sites de liaisons hydrogène de se lier aux molécules d'eau.

Cette **réaction irréversible** dissout les granules d'amidon dans l'eau. L'eau agit comme un plastifiant et la gélatinisation permet l'attaque des enzymes sur l'amidon.

L'amidon gélatinisé est plus accessible par les enzymes diastasiques (les enzymes de l'amylolyse).

On obtient un **empois** qui est constitué par des grains d'amidon gonflés.

En fonction des céréales, les températures de gélatinisation de l'amidon diffèrent légèrement :

Céréale	Températures de gélatinisation de l'amidon
Orge	58 – 65°C
Blé	58 – 64°C
Seigle	57 – 70°C
Avoine	57 – 72°C
Sorgho	69 – 75°C
Maïs	72 – 78°C
Riz	70 -85°C



Les transformations enzymatiques pendant l'empâtage

L'amylolyse

L'amylolyse est une réaction biochimique qui aboutit à la lyse (dégradation) de l'amidon. Cette réaction optimisée en brasserie, conduit à la **fragmentation de l'amidon** en sucres plus simples.

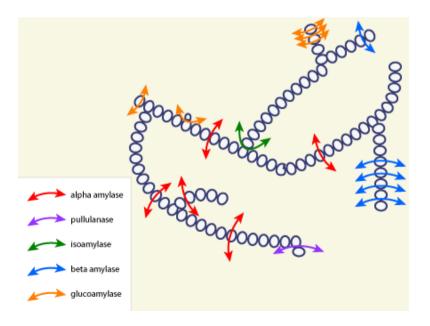
L'amylolyse est la réaction qui se déroule pendant l'empâtage. Voici notre animation pédagogique qui vous explique cela de manière ludique :

La **transformation enzymatique** s'effectuera toujours sur un amidon qui aura subi l'étape de **gélatinisation** dont nous vous avons parlé dans le paragraphe précédent.

L'augmentation de la teneur en eau au niveau du grain augmente les déplacements (par diffusion) des enzymes sur les macromolécules. Cette vitesse de diffusion est d'autant plus grande que la température est plus élevée. Les conditions environnementales optimales (pH, température...) dépendront de l'enzyme.

L'amylolyse produit :

- **Des sucres fermentescibles**: Certains sucres produits pendant l'amylolyse seront ensuite utilisés par les levures pendant la fermentation (les sucres fermentescibles) pour produire alcool et CO2;
- **Des sucres non fermentescibles**: D'autres sucres (non fermentescibles) ne seront pas dégradés et seront présents dans la bière finale. Elles apporteront du corps, de la rondeur à la bière. Nous avons présenté <u>l'utilisation de sucres non fermentescibles et leurs effets dans la fabrication de la bière.</u>



Source: https://biochim-agro.univ-lille.fr/polysaccharides/co/polysaccharides/ 1.html



L'amylolyse est une réaction de **saccharification**. Les saccharifications sont les réactions biochimiques qui consistent à transformer les sucres complexes en sucres simples.

Les enzymes contenues dans les malts et responsables de l'amylolyse sont les bêta-amylases et les alpha amylases. Cependant d'autres enzymes jouent également un rôle clé dans la fabrication de la bière, nous en parlerons également.

Les **enzymes diastasique**s, celles qui dégradent l'amidon (l'alpha et la bêta- amylase) travaillent mieux entre 55 et 65°C. Mais la fourchette de température généralement acceptée pour la gélatinisation est de 60 et 65°C et peut monter jusqu'à 67°C en fonction de la variété d'orge et des conditions de sa culture. L'alpha amylase travaille mieux entre 60 et 70°C alors que la bêta amylase entre 55 et 65°C.

Vous l'avez compris le travail du brasseur consiste à chercher l'activation des enzymes en jouant sur les températures de son empâtage pour créer le profil de sa bière. Voyons ça de plus près!



Fonctionnement des bêta-amylases

Les **bêta-amylases** sont "constitutives" alors que les alpha-amylases sont "induites" (production au moment de la sortie de dormance des graines). Ceci signifie que les bêta amylases sont naturellement présentes en abondance chez les végétaux.

Ces **exo-enzymes** sont capables de couper les liaisons 1,4 glycosidiques à partir de l'extrémité terminale des chaînes saccharidiques (amylose ou amylopectine). Les bêta amylases vont produire du maltose (disaccharides formés de 2 unités de glucoses) lorsque **les conditions environnementales se situent entre 50 et 70°C et pH 5,2.**

Le maltose sera ensuite dégradé est alcool (and co.) lors de la fermentation.

L'amylose est hydrolysé à 100% alors que l'amylopectine ne sera hydrolysée qu'à 55-60%.

La **bêta amylase** se dégrade rapidement et de manière irréversible quand la température monte au dessus de 70°C. Si la température redescend dessous les 70°C, la bêta amylase ne sera pas activée de nouveau.

Bêta amylase	
Substrat	Amylose principalement et amylopectine dans une moindre
	mesure
Produit	Sucre fermentescible : le maltose
Température de	Entre 50 et 70°C
fonctionnement	
Pic d'activité	62°C
Température de dénaturation	71°C
pH optimal de	pH 5,4 – 5,5
fonctionnement	



Fonctionnement des alpha-amylases

L'alpha amylase est produite pendant la germination et donc pendant le maltage. <u>Souvenezvous!</u>

L'embryon de grain excrète un facteur de croissance (hormone), l'acide gibbérellique (Gibberellic acid GA) qui s'oriente vers l'aleurone et induit la formation des enzymes telles que alpha-amylases et dextrinases

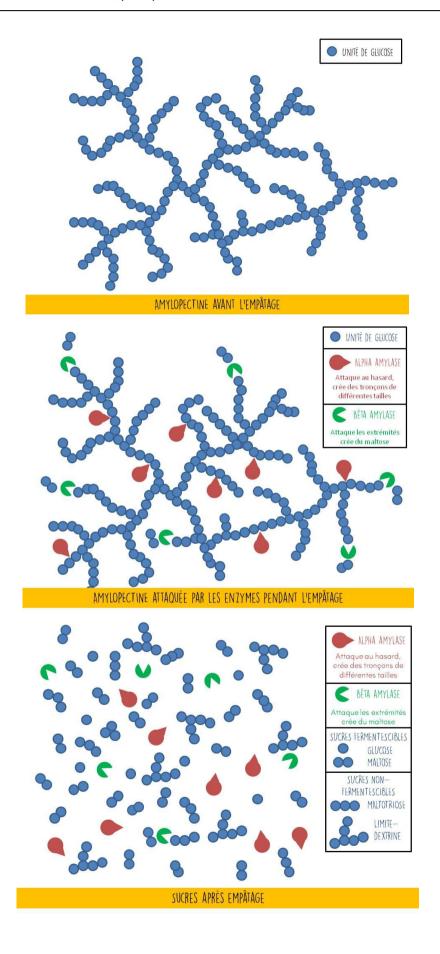
L' alpha-amylase est une **endohydrolase** qui coupe spécifiquement les liaisons α 1,4 glucosidiques en libérant des **maltodextrines** de taille variable (6 à 8 résidus de glucose avec quelques fois 2 branchements en α 1,6). L'alpha amylase a la particularité de produire également des sucres fermentescibles comme le maltotriose, le maltose et le glucose (respectivement 3, 2 et 1 résidu de glucose).

L'alpha amylase coupe donc les chaînes d'amylose ou d'amylopectine (elle n'est pas gênée par les embranchements) un peu partout. Elle libère principalement de grosses molécules qui ne seront pas métabolisées par les levures. Ce sont les sucres non-fermentescibles. Mais elle libère également des sucres fermentescibles.

Les **conditions optimales de fonctionnement de l'alpha amylase** sont des températures comprises entre 64 et 75°C et un pH entre 4,7 et 5,4.

Alpha amylase	
Substrat	amylose et amylopectine
Produit	Sucre non-fermentescible : les maltodextrines mais aussi des molécules plus petites comme le maltotriose, le maltose et le glucose
Température de fonctionnement	Entre 64 et 75°C
Pic d'activité	70°C
Température de dénaturation	77°C
pH optimal de fonctionnement	pH 5,6 et 5,8





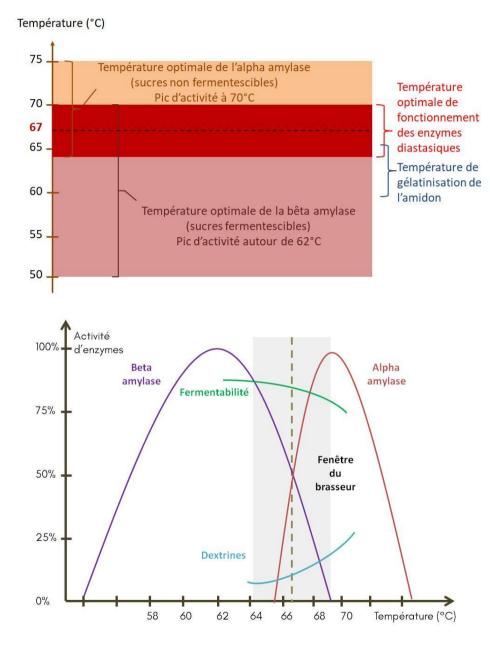


Les paliers de température pour convertir l'amidon

Comment choisir la température pendant son empâtage?

Tout dépend de ce que l'on recherche...

Reprenons avec un graphique, les informations que nous venons d'aborder :



source: J. Palmer, Wizard, Narziss



64 et 70°C pour favoriser le fonctionnement des 2 enzymes

Le brasseur peut volontairement choisir de travailler sur la fourchette de température qui permet le fonctionnement des 2 enzymes diastasiques. La bière obtenue sera équilibrée. Le moût comportera des sucres fermentescibles et non fermentescibles. La bière sera alcoolisée et sucrée.

Le monopalier le plus classiquement réalisé se situe à **67 ou 68°C** pendant 30 à 45 minutes : Bon rendement d'extraction de sucres, bonne fermentabilité (teneur en sucres fermentescibles) et bon corps (teneur en sucres non fermentescibles)

Il s'agit d'un **bon compromis**, facile à réaliser pour le débutant. Le brasseur effectue un **monopalier**, un seul palier de température moyen. La bière est "**équilibrée**".

50 et 70°C pour favoriser le fonctionnement de la bêta amylase

Le brasseur peut également choisir d'effectuer un monopalier pour favoriser la production d'alcool. Dans ce cas il choisit de placer son palier entre 50 et 70°C pour activer la bêta amylase.

Vous obtiendrez une grande proportion de sucres fermentescibles (maltose). Ces sucres seront métabolisés par les levures et seront donc à l'origine de la production d'alcool.

Le palier le plus classiquement réalisé pour activer la bêta-amylase se situe à **62°C** pendant 30 à 60 minutes : on dit que la fermentabilité de ce moût est plus élevée (plus haute teneur en sucres fermentescibles). La bière aura moins de corps.

Un palier entre 50 et 70°C favorise donc l'obtention de **bière alcoolisée et peu sucrée**. La bière est dite "**sèche**".

64 et 70°C pour favoriser le fonctionnement de l'alpha amylase

Le brasseur peut choisir d'effectuer une monopalier pour favoriser la production de sucres non fermentescibles. Il choisit de placer son palier entre 65 et 70°C pour activer préférentiellement l'alpha amylase.

A lire aussi Mes amies Les levures



Vous obtiendrez une grande proportions de sucres non fermentescibles (malto dextrines). Ces sucres ne seront pas métabolisés par les levures et apporteront donc de la rondeur, du corps à votre bière.

Le palier le plus classiquement réalisé pour activer l'alpha amylase se situe à **70°C** pendant 30 minutes. Le rendement d'extraction des sucres est toujours bon, la fermentabilité est plus faible. Ce palier est utilisé pour obtenir des bières faibles en alcool (ales légères) ou les bières riches avec du corps ("heavy body beers").

Un palier entre 64 et 70°C favorise l'obtention de bière sucrée. La bière est dire "**ronde**", elle a du "**corps**".

Le multipalier pour travailler l'alcoolisation et la rondeur de la bière à la fois

La méthode d'infusion en monopalier est la plus simple à mettre en œuvre et vous donnera de très bons résultats. Mais vous avez également la possibilité d'effectuer plusieurs paliers de températures : c'est la méthode multipalier.

Le brasseur a la possibilité d'effectuer un premier palier entre 55 et 60°C pour favoriser le fonctionnement de la bêta amylase. Il effectue ensuite un second palier entre 65 et 70°C pour favoriser le fonctionnement de l'alpha amylase.

C'est en passant plus ou moins de temps sur chaque palier que le brasseur accentue le profil de sa bière.

L'amidon produit ainsi des **sucres fermentescibles** et **non fermentescibles**. La bière résultante sera à la fois alcoolisée et ronde. La bière est "**complexe**".

Vous avez noté que nous ne parlons ici que de la température. Or le fonctionnement des enzymes est également dépendant d'autres facteurs dont le pH et le ratio d'empâtage (la quantité d'eau par rapport à la quantité de céréales). La température est le facteur le plus influant et le plus facile à travailler et à maîtriser, commencez donc par là!

Pour mieux connaître le ratio d'empâtage, nous vous conseillons la lecture de notre article : <u>calculer son volume d'empâtage</u>. Pour le pH, c'est un vaste sujet que nous n'avons pas encore abordé, coming soon!

Savez-vous que plus le malt est coloré ou "touraillé",

moins il libérera de sucres pendant l'empâtage? Pour en savoir plus : <u>les malts de base</u>.



Les autres paliers de température pendant l'empâtage

Les limite-dextrinases

Les **limites-dextrines** sont les résidus d'amidon que les alpha et les bêta amylases n'arrivent pas à hydrolyser. Ce sont ces petites "parties" correspondantes aux embranchements.

Les **limites-dextrinases** catalysent l'hydrolyse des liaisons osidiques α -D-(1 \rightarrow 6) de l'amylopectine. Le plus petit glucide qu'elle peut libérer à partir d'une liaison α -(1 \rightarrow 6) est le maltose. Les limites-dextrinaes sont des **enzymes diastasiques**, elles participent à la conversion de l'amidon.

Pour activer son fonctionnement, **un palier entre 55 et 60°C** à un pH d'environ 5,1 est nécessaire.

L'activité des limites dextrinases pourrait réduire les maltodextrines produites par les alpha amylases (moins de sucres fermentescibles, perte de la rondeur de la bière). Or le passage de la température au-dessus des 65°C inactive cette enzyme. L'action des limites-dextrinases est donc assez réduit dans notre cas.

Limite-dextrinase				
Substrat	Limite-dextrines (embranchements de l'amylopectines)			
Produit	Maltose			
Température de fonctionnement	Entre 60 et 67°C			
Pic d'activité	Entre 60 et 65°C			
pH optimal de fonctionnement	pH 4,8 et 5,4			

Les phytases

Les **phytases** font partie des nombreuses enzymes **naturellement présentes dans les céréales**.

À des températures de 30 à 52°C, les phytases convertissent la phytine en acide phytique, abaissant ainsi le pH du moût.

En raison de sa **sensibilité à la chaleur**, la phytase n'est présente que sur les malts séchés à basse température (les malts de base). Le processus de conversion est lent et nécessite au moins 60 minutes pour que le pH change de façon significative.

Traditionnellement, un palier "phytase" ou palier acide était utilisé pour les malts de pilsner sous-modifiés (peu de capacité à convertir l'amidon) dans des profils d'eau douce (pils tchèques). Aujourd'hui, les acides de qualité alimentaire ou le malt acidulé peuvent être utilisés à la place de ce palier.



Phytase	
Substrat	Phytine
Produit	Acide phytique
Température de fonctionnement	Entre 35 et 45°C
Pic d'activité	35°C
Température de dénaturation	60°C
pH optimal de fonctionnement	pH 4,5 et 5,2

Les glucanases

Les **bêta glucanes** sont des glucides présents dans la couche protéique entourant les molécules d'amidon dans les céréales. Ces bêta glucanes sont présents en plus grande proportion dans le seigle, le blé, l'avoine, les malts sous modifiés et les céréales non maltées.

Réaliser un **palier à 40 à 48°C pendant 20 minutes** permet de diminuer le trouble apporté par les bêta glucanes ainsi que d'éventuels problèmes de filtration.

Les bêta-glucanases sont les enzymes qui dégradent les bêta-glucanes. Il existe de nombreuses glucanases, la plus importantes est la 1,4 bêta glucanase dont la température optimale de fonctionnement se situe à 45°C;

Bêta glucanase	
Substrat	bêta glucane
Produit	
Température de fonctionnement	Entre 40 et 48°C
Pic d'activité	45°C
Température de dénaturation	60°C
pH optimal de fonctionnement	pH 4,5 et 5,5

Les protéinases et peptidases

Pour réaliser un palier protéolytique, portez votre moût à 45-50°C pendant 10 à 30 minutes.

Le palier protéolytique permet la lyse (dégradation) des protéines. Le but est de placer le moût à la température d'activation des enzymes dégradant les protéines : les protéases et les peptidases.

Les protéines sont naturellement présentes dans votre moût, elles sont apportées par vos malts. Selon les céréales que vous aurez choisies, votre moût comportera plus ou moins de protéines. Les protéines apportent de la <u>turbidité</u> au moût et donc à la bière.

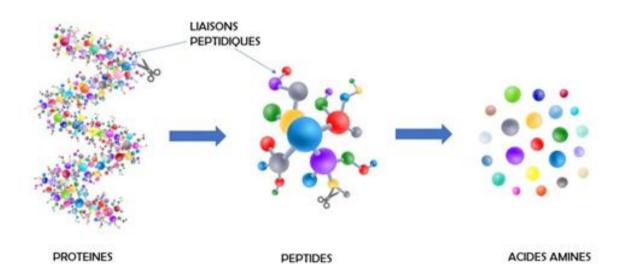


Les **bières au blé** (bières blanches, bières de froment, weiss, weizen, witbier) sont réputées pour leur forte teneur en protéines. En effet, les céréales telles que le blé, l'avoine, le seigle apportent plus de protéines que l'orge.

De manière générale, les grains crus (non maltés) sont riches en protéines.

Ces protéines ont également un rôle dans la **tenue de votre mousse ou rétention de tête**. Si vous dégradez vos protéines, votre bière sera plus limpide mais arborera moins de mousse.

Ce palier protéolytique permet la libération de **produits de dégradation des protéines** : les peptides et les acides aminés.



Le « Free Amino Nitrogen » (FAN) est l'azote aminé libre en français. Ces FANS seront des nutriments pour nos levures pendant la fermentation.

Protéase ou protéinase		
Substrat	protéines	
Produit	peptides	
Température de fonctionnement	Entre 20 et 65°C	
Pic d'activité	Entre 45 et 55°C	
Température de dénaturation	68°C	
pH optimal de fonctionnement	pH 5 et 5,5	

Peptidase

Substrat	peptides
Produit	acides aminés, FAN
Température de fonctionnement	Entre 20 et 67°C
Pic d'activité	Entre 45 et 55°C
Température de dénaturation	63°C
pH optimal de fonctionnement	pH 5 et 5,5



Le mash-out

Le mash-out est le palier de température réalisé à la fin de l'empâtage. La température est en général montée jusqu'à **76 à 80°C pendant 10 à 15 minutes** dans le but d'inactiver les enzymes.

Ceci aurait pour conséquences de figer le profil de sucres du moût, de solubiliser les sucres tout en diminuant la viscosité du moût (et donc d'améliorer la filtration), d'accélérer l'entrée en ébullition.

Ce palier est controversé.

Pour connaître plus en détail le mash-out et avoir notre avis sur le sujet : mash-out!

Petit brasseur, où en es-tu?

Pour aller plus loin:

- 3 méthodes d'empâtage filtrations : comparaison de matériel
- FAQ empâtage
- FAQ Brew in a bag

Es-tu incollable sur les enzymes de l'amylolyse?

Es-tu "team monopalier" ou "team multipalier"?

Si vous tu as aimé cet article, n'hésite pas à suivre Comment brasser sa bière sur <u>Facebook</u>, sur <u>Instagram</u> ou sur <u>YouTube</u> et à partager! A très vite.