
Qualité technologique et sanitaire des céréales alimentaires

Evaluation de leur qualité panifiable et bonnes pratiques pour s'assurer de leur aptitude à la transformation

Partie 1

v2026



B. Godin et P.-Y. Werrie

Plateforme de Technologie des céréales, oléagineux et protéagineux

Unité Valorisation des produits, de la biomasse et du bois

Département Connaissance et valorisation des produits

Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CRA-W)



Table des matières

Partie 1

1. Généralités

2. Qualité technologique

Humidité/Poids à l'hectolitre/Teneur en protéines

Temps de chute de Hagberg

Indice de sédimentation de Zélény

Alvéographe Chopin

Mixolab+

Test de panification standardisé

3. Mouture et qualité nutritionnelle

4. Qualité sanitaire

1. Généralités

Le **choix variétal est le levier déterminant pour atteindre la qualité technologique** visée et adaptée à sa filière. Il conditionne le produit final et le procédé de transformation envisageable. En panification, il est primordial de disposer d'une **protéine de qualité élevée plutôt que d'en viser une quantité importante de faible qualité.**

La **variété parfaite n'existe pas.** Il faut trouver la variété avec le meilleur équilibre entre rendement à l'hectare, quantité de protéines et qualité de la protéine. Les trois ne vont pas de pair. La relation entre le rendement à l'hectare et la teneur en protéines est inverse pour un même système de production. D'un point de vue physiologique, une variété de froment ne peut pas à la fois avoir un rendement très élevé et une qualité technologique très élevée.

Qualité technologique =
(1) VARIETE X (2) Fumure X (3) Autres facteurs (année, climat, sol, précédent, densité de semis, ...)

Les critères d'aptitude à la transformation sont spécifiques à chaque filière. Il faut **définir ses propres critères** avec des seuils limites stricts pour les années avec une moisson de qualité habituelle et des seuils souples pour celles qui sont critiques. Cette stratégie est nécessaire pour s'assurer de pouvoir approvisionner sa filière locale et garantir un débouché à ses producteurs.

Le **froment n'est pas une commodité aussi standard que le sucre, les œufs et le beurre.**

L'ordre d'importance de ses propres critères technologiques est également critique. Du plus important au moins important, il est le suivant :

1. **Qualité des constituants chimiques** (comme la force et la nature du gluten) dépendant du choix de la variété
2. **Quantité des constituants chimiques** (comme la teneur en protéines)
3. **Paramètres physiques du grain** (comme le poids à l'hectolitre)

Généralement, cet ordre d'importance est appliqué de manière inversée. Il en résulte des lots de qualité technologique standard trop élevée. Cette qualité supérieure n'intègre pas la flexibilité spécifique de son propre procédé de transformation. La qualité des lots sera donc souvent inutilement trop élevée. Une matière de moindre qualité technologique et moins chère aurait été suffisante. La transformation de ces lots de qualité standard sera parfois problématique alors que le cahier des charges est respecté. Cela a également un coût.

L'évaluation de la **qualité technologique** pour la panification est réalisée en étapes successives par des analyses :

1. **Très rapides** sur les grains comme celles de la teneur en protéines, en humidité et le poids à l'hectolitre qui servent de garde-fous.
2. **Basiques** sur une mouture rapide souvent intégrale comme le temps de chute de Hagberg (qualité fermentaire) et l'indice de sédimentation Zélény (qualité rhéologique des protéines).
3. **Elaborées** sur une mouture blanche comme l'Alvéographe et Mixolab+ (qualité rhéologique des protéines et de l'amidon ainsi que qualité fermentaire).
4. **Tests de panification standardisés.**

L'échantillon utilisé pour l'analyse doit être représentatif du lot évalué.

Il est toujours essentiel de connaître le nom de la variété analysée pour interpréter au mieux les résultats, surtout pour les méthodes très rapides et basiques.

Pour les froments de qualité alimentaire, il est fortement **recommandé de réaliser une analyse pré-récolte**. Elle permet de détecter les parcelles, localités et/ou variétés à éviter lors de l'allotement de lots alimentaires. L'analyse en pré-récolte permet de contrôler l'humidité des grains et surtout la teneur en protéines de la parcelle. Cette dernière permet **d'anticiper la manière dont sera réalisé l'allotement** sur base de la teneur en protéines, en plus du nom ou groupe de qualité panifiable de la variété. Elle sert également à évaluer des problématiques spécifiques à certaines années notamment : pré-germination physiologique (Hagberg) et/ou mycotoxines dans certaines parcelles.

Tractions commerciales en froment

Les barèmes de qualité technologique recommandés pour les **tractions commerciales** avec les transformateurs de froment sont présentés en fonction de leur qualité dans le Tableau ci-dessous.

Tableau – Barèmes de qualité recommandés pour les tractions commerciales en froment avec les transformateurs.

Barème de qualité	Qualité	Hum. (%)	Hag. (s)	Force du gluten	Protéine (%MS)	PHL brut (kg/hl)
Blé Panifiable Améliorant belge	Variété Q1A	≤14,5 (15,5)	≥220 (180)	Zélény≥40 ml W Alvéo.≥275(250)	≥12,0	≥76,0 (73,0 non-nettoyé)
Blé Panifiable Premium belge	Variété Q1	≤14,5 (15,5)	≥220 (180)	Zélény≥35 ml W Alvéo.≥225(200)	≥11,5	≥76,0 (73,0 non-nettoyé)
Blé Panifiable Supérieur belge et Amidonnerie exigeante	Variété Q2	≤14,5 (15,5)	≥220 (180)	Zélény≥30 ml W Alvéo.≥175(150)	≥11,0	≥76,0 (73,0 non-nettoyé)
Blé Amidonnerie belge	Variété Q3	≤14,5 (15,5)	≥150 (120)	/	≥10,5	≥72,0 (69,0 non-nettoyé)
Blé Basique belge	Variété Q4	≤14,5 (15,5)	/	/	/	/
Blé Standard belge Fegra	/	≤14,5 (15,5)	/	/	/	≥75,0

Les valeurs entre parenthèses correspondent au seuil limite souple.

Les valeurs entre crochets sont calculées avec un seuil limite souple en humidité et poids à l'hectolitre.

Hum. : Humidité récolte ; Hag. : Hagberg ; Alvéo. : Alvéographe ; PHL : Poids à l'hectolitre

2. Qualité technologique

Les grains de froment sont principalement constitués d'amidon (70%) et de protéines (12%). L'albumen est la partie du grain riche en amidon. Les couches périphériques du grain sont riches minéraux, fibres (cellulose et hémicellulose) et protéines. La matière grasse se trouvent surtout au niveau de l'embryon.

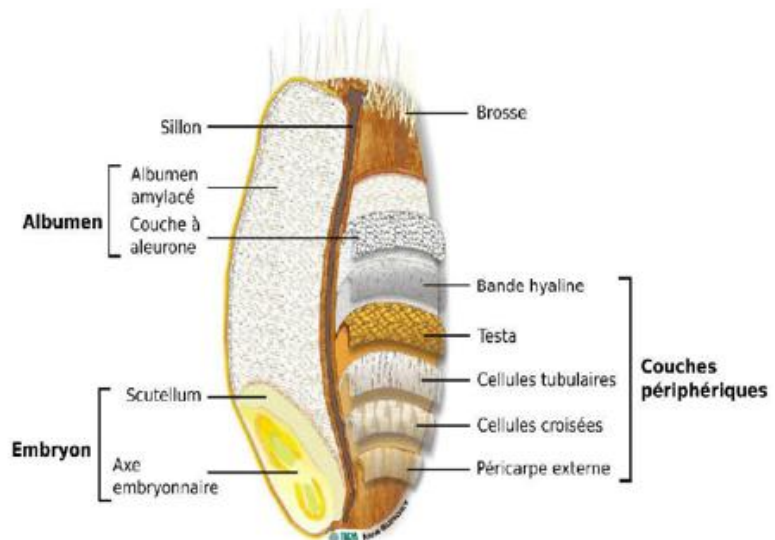
• Composition chimique des céréales

Céréale	Eau	Protéines	Matière grasse	Amidon	Minéraux
Froment	13.2	11.7	2.2	59.2	1.5
Seigle	13.7	11.6	1.7	52.4	1.9
Orge	11.7	10.6	2.1	52.2	2.3
Avoine	13.0	12.6	5.7	40.1	2.9
Riz	13.1	7.4	2.4	70.4	1.2
Maïs	12.5	9.2	3.8	62.6	1.3

- Riz très pauvre en protéines mais très riche en amidon
- Maïs pauvre en protéines mais riche en matière grasse
- Avoine très riche en matière grasse et minéraux
- Orge, Avoine et Seigle plus riches en fibres (cellulose+hémicelluloses)

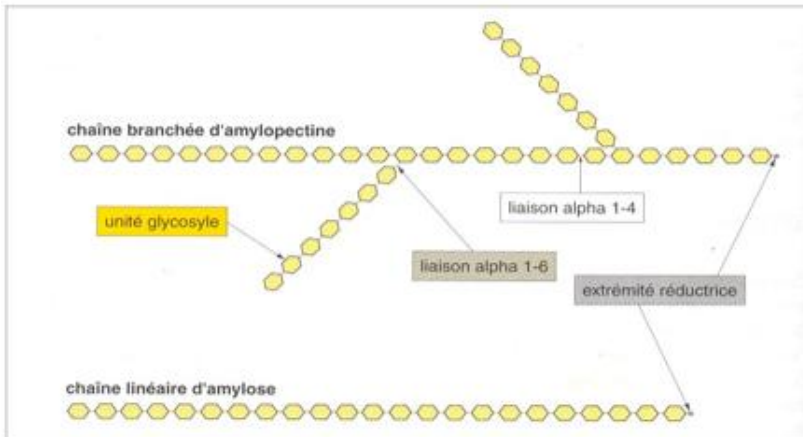
• Grain de froment

- Amidon 70%
→ Féculent / Sucres lents
- Protéines 12%
→ Gluten
- Hémicelluloses 9%
→ Fibres
- Cellulose 3%
→ Fibres
- Sucres libres 2%
- Matière grasse 2%
- Minéraux 2%



• **Amidon dans le froment → 70% MS**

- 26-28% d'amylose et 72-74% d'amylopectine



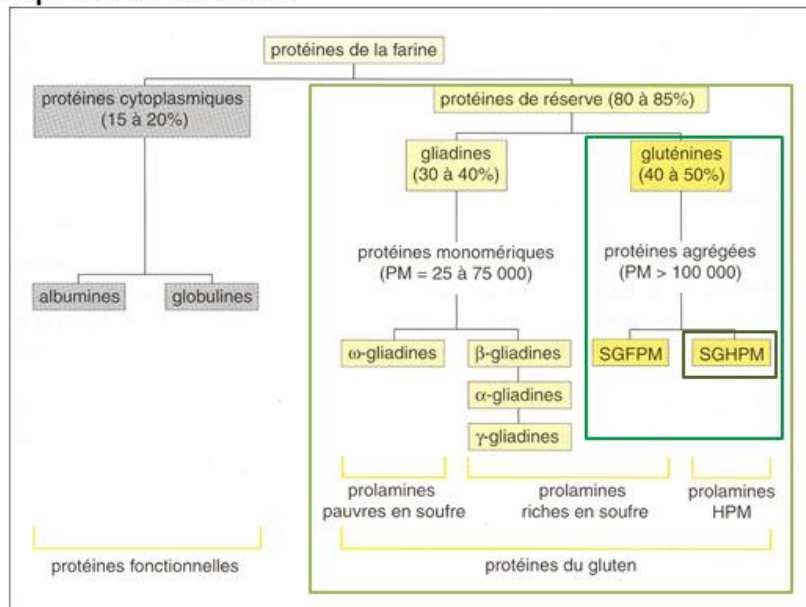
- Granules

Type A	Type B
Lenticulaire	Sphériques
Taille 20-30 µm	Taille 2-10 µm
80-90% poids	10-20% poids
15-20% nombre	80-85% nombre



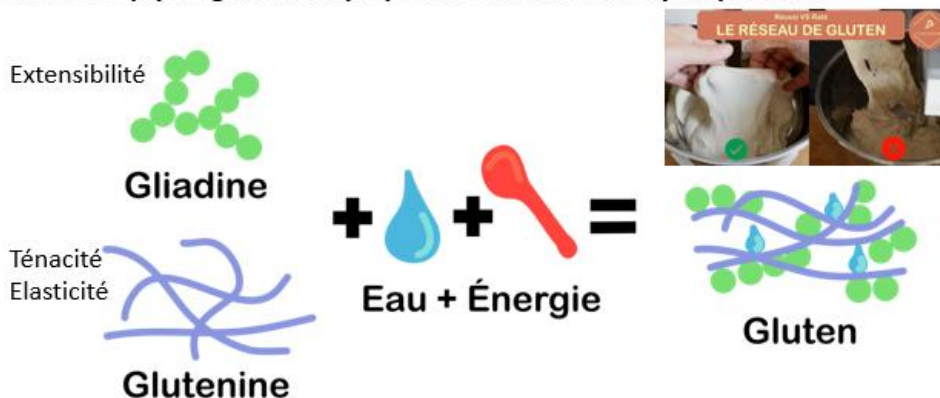
• **Protéines dans le froment → 12% MS**

Classification basée le degré de polymérisation et la teneur en acides aminés soufrés de protéines insolubles



• **Gluten**

Complexe protéique viscoélastique constitué d'un mélange hétérogène de gliadines et de gluténines associés par des liaisons covalentes (S-S) et non covalentes (hydrogène, ionique) et des interactions hydrophobes.

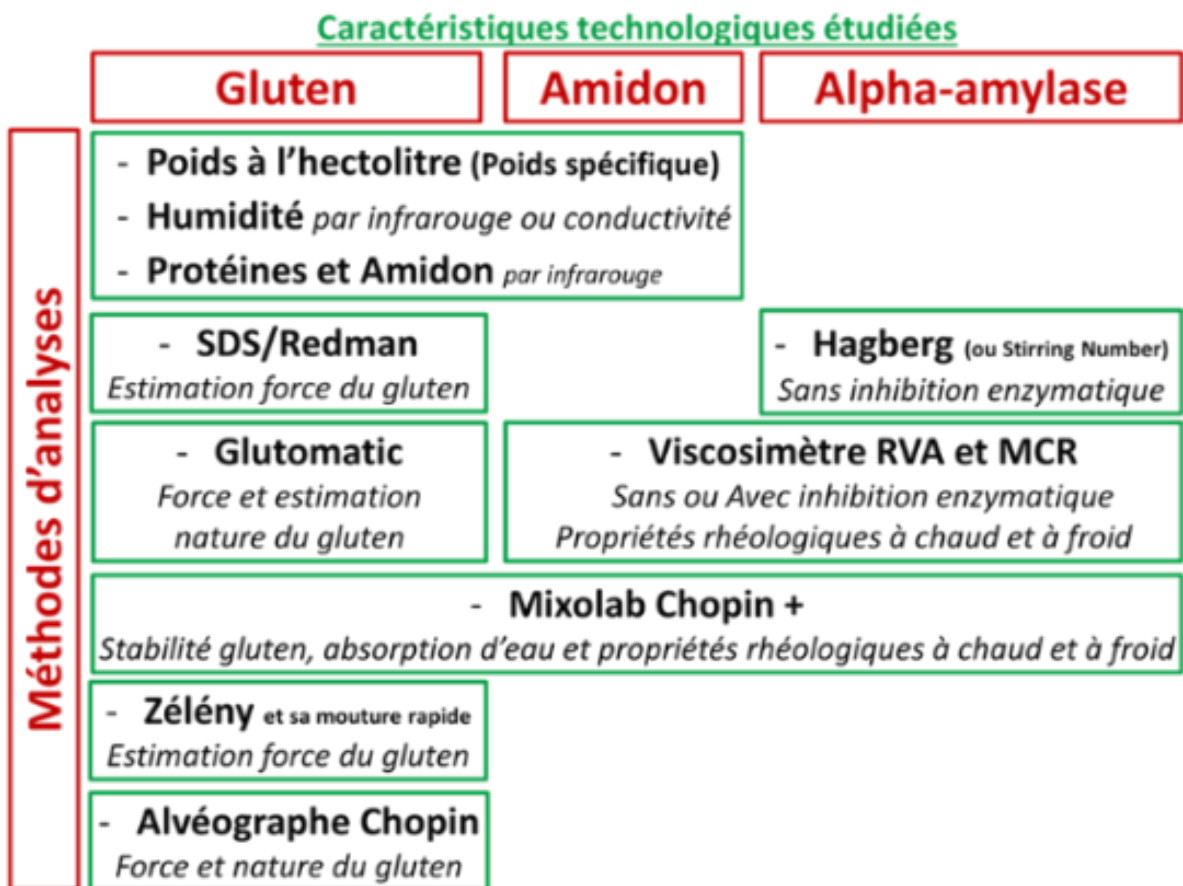


L'aptitude à la panification est en grande partie liée à la qualité rhéologique de ceux-ci. Il faut ajouter à cela une autre qualité technologique essentielle, à savoir la qualité fermentaire.

Les **qualités rhéologiques (au pétrissage, à la levée et à la cuisson)** sont définies par l'aptitude de la farine à s'hydrater et de la pâte à se développer, grâce à la formation d'un réseau protéique (gluten formé à partir des gluténines et gliadines lors du pétrissage) capable de retenir le CO₂ produit lors de la fermentation puis de maintenir le volume et la forme de la pâte à la cuisson. Ce réseau protéique se caractérise par ses propriétés de force boulangère, de ténacité, d'extensibilité et d'élasticité. L'alvéographe de Chopin et le Mixolab+ sont des méthodes élaborées nécessaires pour évaluer la qualité rhéologique.

La **qualité fermentaire** est liée à l'activité en alpha-amylases et au taux d'amidon endommagé. L'activité alpha-amylasique est mesurée par le temps de chute de Hagberg. Les alpha-amylases permettent la libération de sucres qui seront transformés en gaz carbonique (CO₂) lors de la fermentation pour permettre la levée et former les alvéoles du pain. Le taux d'amidon endommagé dépend du type de moulin (sur cylindre ou sur meule), de sa configuration et de son réglage. Au plus l'amidon est endommagé, au plus il est accessible aux alpha-amylases engendrant une libération plus importante de sucres.

Les principales méthodes d'évaluation de la qualité technologique.



Evaluation qualité panifiable de la farine blanche

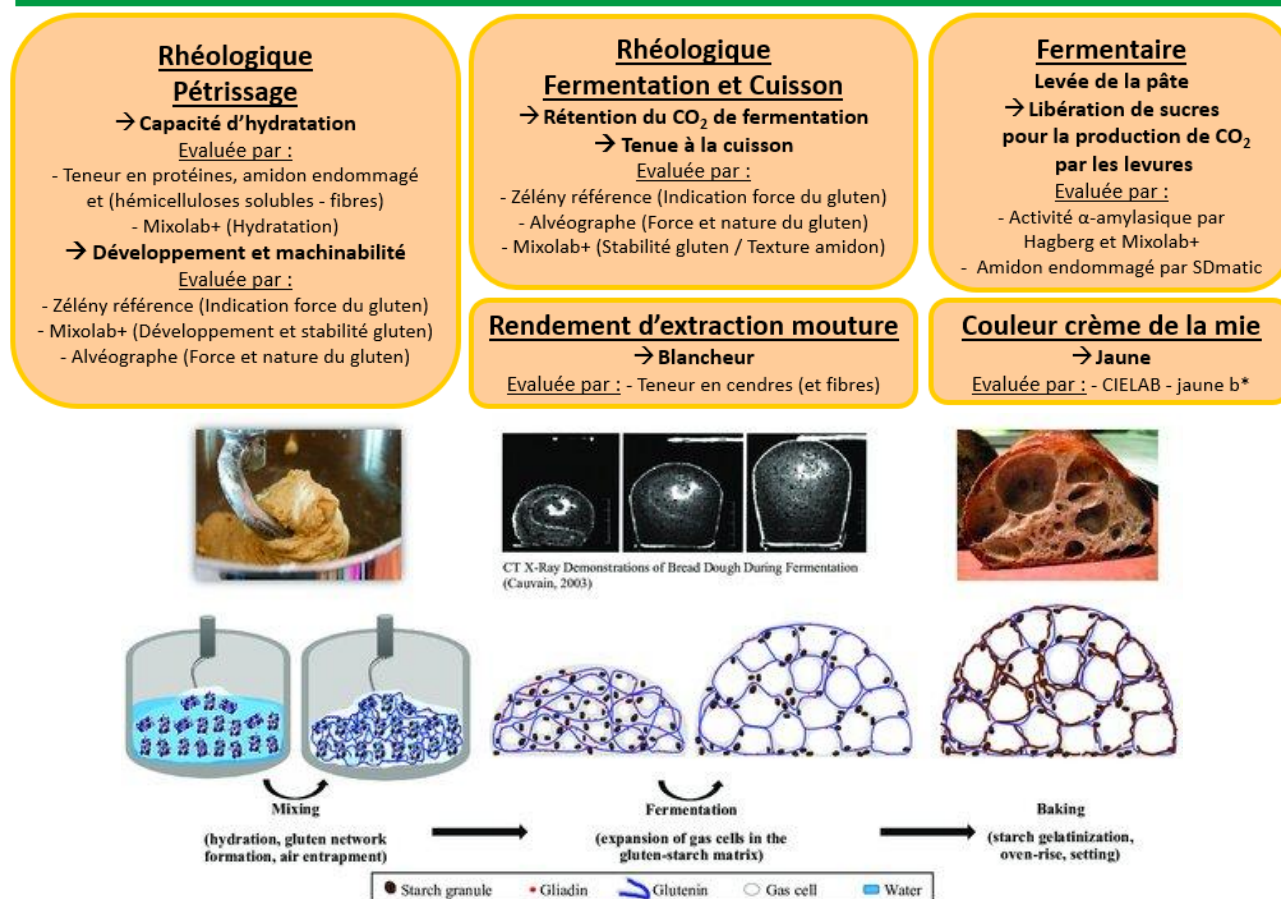


Figure – Evaluation de la qualité panifiable du froment et de l'épeautre

Qualité panifiable belge du froment	Améliorant	Premium	Supérieur
Variété	Q1A	Q1	Q2
Humidité (%)		≤14,5 (≤15,5)	
Hagberg mouture intégrale (s)		≥220 (≥180)	
Alvéographe Chopin : W Force boulangère (10-4 J)	≥275 (≥250)	≥225 (≥200)	≥175 (≥150)
Alvéographe Chopin : P/L Rapport Ténacité/Extensibilité		≤1,5 (≤2,0)	
Stabilité du gluten au Mixolab+ (min)	≥10	≥9	≥8
Zélény référence (ml)	≥40	≥35	≥30
Protéines grains (N*5,7 ; %MS)	≥12,0	≥11,5	≥11,0
	BIO : ≥11,5	BIO : ≥11,0	BIO : ≥10,5
Poids à l'hectolitre C15 (kg/hl)	≥76,0 nettoyé (≥73,0 non-nettoyé)		

Les valeurs entre parenthèses correspondent au seuil limite souple.

Les valeurs supérieures exigées pour les critères technologiques par les meuneries sont souvent excessives afin d'obtenir des gains marginaux de rendement de mouture tout en augmentant significativement le risque de déclassement pour l'agriculteur. Cela s'explique par le fait que la meunerie est une activité avec peu de valeur ajoutée et donc de marge. Les exigences élevées des meuniers en termes de qualité technologique peuvent aussi résider dans le fait d'intégrer l'incertitude de mesure à leur avantage sans prise de risques analytiques. Par exemple, avec une incertitude de mesure de l'analyse de la teneur en protéines par infrarouge de 0,25%MS pour une valeur de teneur en protéines de 11,5%MS, cela donne une incertitude de mesure élargie (à 95%) de 11,5%±0,5%MS. Les meuneries fixant le critère pour la teneur en protéines à un minimum de 12,0%MS sans prendre de risque.

Qualité panifiable belge de l'épeautre	Panifiable en pur 100% Epeautre	Panifiable en mélange 1/3 Epeautre – 2/3 Froment Q1
Variété	Q1e	Q2e et Q3e
Humidité des grains nus (%)		≤14,5 (≤15,5)
Hagberg mouture intégrale (s)		≥220 (≥180)
Alvéographe Chopin : W Force boulangère (10-4 J)	≥125 (≥100)	≥100 (≥75)
Alvéographe Chopin : P/L Rapport Ténacité/Extensibilité		≤0,5 (≤1,0)
Zélény référence (ml)	≥25	≥20
Protéines grains (N*5,7 ; %MS)	≥13,0 BIO : ≥12,5	≥12,5 BIO : ≥12,0

Les valeurs entre parenthèses correspondent au seuil limite souple.

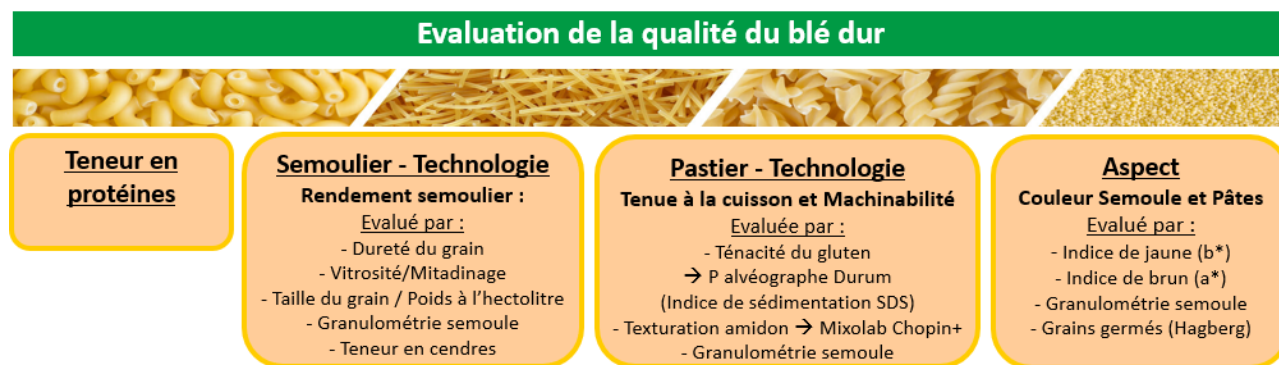


Figure – Evaluation de la qualité pastière du blé dur

Qualité pastière belge du blé dur	Elite	Premium	Supérieure
Variété	« Pastière élite »	« Pastière premium »	« Semoulerie supérieure »
Humidité (%)	≤14,5 (≤15,5)		
Hagberg mouture intégrale (s)	≥150 (≥120)		
Alvéographe Durum : P	≥105	≥85	/
Ténacité du gluten (mm H₂O)	BIO : ≥95	BIO : ≥75	
Protéines grains (N*5,7 ; %MS)	≥13,0 BIO : ≥12,0	≥13,0 BIO : ≥12,0	≥11,5 BIO : ≥11,0
Couleur jaune (b*) sur semoule	≥22 (≥17 en mouture intégrale)		
Poids à l'hectolitre C15 (kg/hl)	≥77,0 nettoyé (≥74,0 non-nettoyé) ou poids de mille grains (g) ≥45,0		
Mitadinage par infrarouge au grain à grain (%)	≤40% BIO : ≤60%		

Les valeurs entre parenthèses correspondent au seuil limite souple.

Nous avons observé un lien entre le poids à l'hectolitre et le rendement en semoule totale uniquement pour des valeurs de poids à l'hectolitre inférieures à 77 kg/hl.

Nous avons observé un lien entre le taux de mitadinage et le rendement en semoule totale uniquement pour des valeurs de taux de mitadinage supérieures à 40%.

Le procédé de transformation pastier ne fait pas intervenir de micro-organismes (levure ou levain). De ce fait, l'activité alpha-amylasique (temps de chute de Hagberg) est moins critique dans le domaine pastier et les limites des valeurs exigées (Hagberg) sont moins strictes qu'en panification. Il y a tout de même des valeurs limites car, à partir d'un certain niveau d'activité alpha-amylasique, les sucres libérés vont initier des réactions de brunissement (réaction de Maillard) avec la fraction protéique.

Les valeurs supérieures exigées pour les critères technologiques par les semouleries sont souvent excessives afin d'obtenir des gains marginaux de rendement de mouture tout en augmentant significativement le risque de déclassement pour l'agriculteur. Cela s'explique par le fait que la semoulerie est une activité avec peu de valeur ajoutée et donc de marge. Les exigences élevées des semouleries en termes de qualité technologique peuvent aussi résider dans le fait d'intégrer l'incertitude de mesure à leur avantage sans prise de risques analytiques. Par exemple, avec une incertitude de mesure de l'analyse de la teneur en protéines par infrarouge de 0,25%MS pour une valeur de teneur en protéines de 13,0%MS, cela donne une incertitude de mesure élargie (à 95%) de 13,0%±0,5%MS. Les semouleries fixant le critère pour la teneur en protéines à un minimum de 13,5%MS sans prendre de risque.

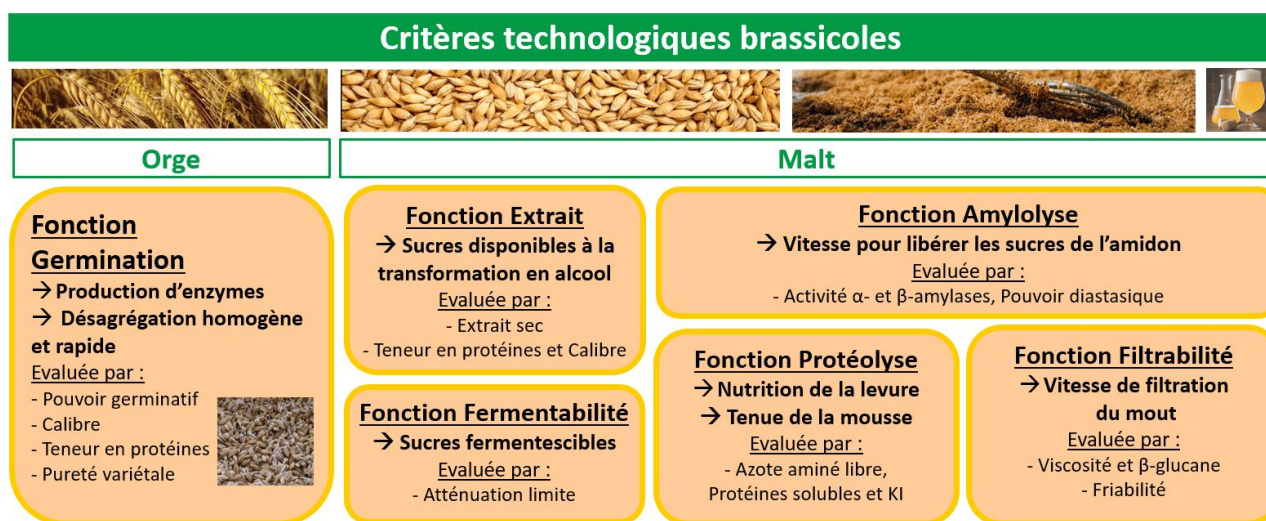


Figure – Critères technologique en orge brassicole

Cibles pour obtenir une orge brassicole de qualité

Paramètres à respecter	Seuil strict (Industriel)	Seuil souple (Artisanal)
Humidité (g/100g)	≤ 14,0	≤ 14,5
Calibre ≥ 2,5 mm (g/100g)	≥ 90	≥ 85
Calibre ≤ 2,2 mm et grains d'orge cassés (g/100g)	≤ 3	≤ 3
Grains germés, endommagés, verts et d'autres céréales (g/100g)	≤ 2	≤ 2
Matières étrangères, grains malsains, graines non-céréales comme les oléagineuses (g/100g)	≤ 0,5	≤ 0,5
Pureté variétale (%)	≥ 93	≥ 90
Germination à 3 jours sur grains entiers ≥ 2,2 mm (%)	≥ 97	≥ 92
Protéines sur grains ≥ 2,2 mm (g/100g)	9,5-11,5	9,0-12,0
* Gamme pour les appareils de mesure infrarouge de dépôt	*(9,0-12,0)	*(8,5-12,5)
Mycotoxine DON sur grains ≥ 2,2 mm (µg/kg)	< 1000	< 1000
Hagberg sur grains ≥ 2,2 mm (s)	≥ 150	≥ 120

Le maltage ne dépend pas de micro-organismes (levure ou levain) pour la germination du grain. De ce fait, l'activité alpha-amylasique (temps de chute de Hagberg) est moins critique dans le domaine du maltage et les limites des valeurs exigées (Hagberg) sont moins strictes qu'en panification. Il y a tout de même des valeurs limites car, au plus la prégermination physiologique (Hagberg) est à stade avancé, au moins le pouvoir germinatif va se maintenir à niveau élevé dans le temps au stockage.

Les valeurs supérieures exigées pour les critères technologiques par les malteries sont souvent excessives afin d'obtenir des gains marginaux de rendement de maltage tout en augmentant significativement le risque de déclassement pour l'agriculteur. Cela s'explique par le fait que la malterie est une activité avec peu de valeur ajoutée et donc de marge. Les exigences élevées des malteries en termes de qualité technologique peuvent aussi résider dans le fait d'intégrer l'incertitude de mesure à leur avantage sans prise de risques analytiques. Par exemple, avec une incertitude de mesure de l'analyse de la teneur en protéines par infrarouge de 0,25%MS pour une valeur de teneur en protéines de 11,5%MS, cela donne une incertitude de mesure élargie (à 95%) de 12,0%±0,5%MS. Les malteries fixant le critère pour la teneur en protéines à un minimum de 11,5%MS sans prendre de risque.

Humidité/Poids à l'hectolitre/Teneur en protéines

L'humidité, le poids à l'hectolitre et la teneur en protéines sont des mesures qui peuvent être mesurées très rapidement directement sur le grain. Elles permettent d'écarter rapidement des lots très déviants.

Au niveau **humidité**, la valeur est critique au regard de la dégradation de la qualité sanitaire du lot. Les grains doivent être secs : humidité inférieure à 15,5% voir mieux inférieure à 14,5% ; jamais une humidité supérieure à 18,0% voir mieux jamais supérieure à 17,0%. Il faut être vigilant avec des lots secs contenant des adventices humides. Celles-ci vont réhumidifier le lot et être la source de problèmes sanitaires. Il faut un bref séchage de ce type de lots pour diminuer l'humidités des adventices.

Le **poids à l'hectolitre** est un garde-fou permettant d'exclure des lots avec des valeurs très basses en lien avec un incident (de remplissage du grain ou de prégermination physiologique) conséquent au champ ou le développement d'insectes au stockage. Le poids à l'hectolitre correspond à l'encombrement du grain en lien avec sa forme qui est influencé par la variété. Il doit être :

- Mesuré sur un échantillon nettoyé,
- Mesuré sur un équipement dont le biais de l'analyse du poids à l'hectolitre est évalué annuellement,
- Exprimé à une humidité de 15%.

Le poids à l'hectolitre n'a globalement pas d'impact significatif sur la valeur alimentaire et technologique (Etudes suisses Agroscope, françaises Arvalis et belges Livres Blancs Céréales). Il servait jadis à transformer un volume de céréales en poids. Cela était nécessaire car qu'elles étaient vendues par unité de volume en l'absence d'un système de pesée adapté.

La **teneur en protéines** combinée au nom de la variété ou/et qualité technologique analysée permet de réaliser un allotement des lots. C'est essentiel **à la réception des lots de les regrouper par groupe de qualité panifiable de la variété** (voir par variété pour celles qui seraient très spécifiques) pour maintenir les différences entre les qualités technologiques des variétés. Il est possible également d'ajouter la teneur en protéines pour distinguer 2 ou plusieurs sous-qualités pour un groupe de qualité panifiable. C'est la pratique habituelle en Allemagne. Cela permet à une filière de ne pas déclasser trop vite des lots et de disposer de ses propres lots lors d'une année critique.

Qualité panifiable belge du froment	Améliorant	Premium	Supérieur
Variété	Q1A	Q1	Q2
Humidité (%)	≤14,5 (≤15,5)		
Protéines grains (N*5,7 ; %MS)	≥12,0 BIO : ≥11,5	≥11,5 BIO : ≥11,0	≥11,0 BIO : ≥10,5
Poids à l'hectolitre C15 (kg/hl)	≥76,0 nettoyé (≥73,0 non-nettoyé)		

Qualité panifiable belge de l'épeautre	Panifiable en pur 100% Epeautre	Panifiable en mélange 1/3 Epeautre – 2/3 Froment Q1
Variété	Q1e	Q2e et Q3e
Humidité des grains nus (%)	≤14,5 (≤15,5)	
Protéines grains (N*5,7 ; %MS)	≥13,0 BIO : ≥12,5	≥12,5 BIO : ≥12,0

Une quantité élevée de protéine ne correspond pas nécessaire à une protéine qui sera de qualité élevée pour la panification. La qualité panifiable de la protéine dépend avant du choix variétal. Il faut viser une qualité élevée pour la panification plutôt que d'en viser une quantité importante de protéines en faible qualité.

Cette qualité panifiable de la protéine peut être estimée de manière approximative par l'indice de sédimentation de Zélény divisé par la teneur en protéines (Z/P) ou de manière plus exacte par le force boulangère (W) à l'alvéographe Chopin divisée par la teneur en protéines (W/P). Cela permet de distinguer les différentes catégories de qualité technologique des variétés.

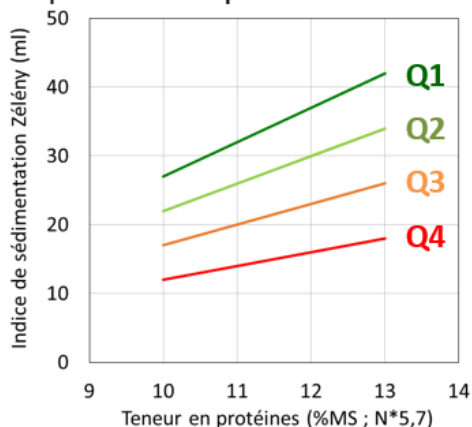
Catégories de qualité technologique

Qualité panifiable de la protéine

- **Q1/Q2/Q3/Q4**

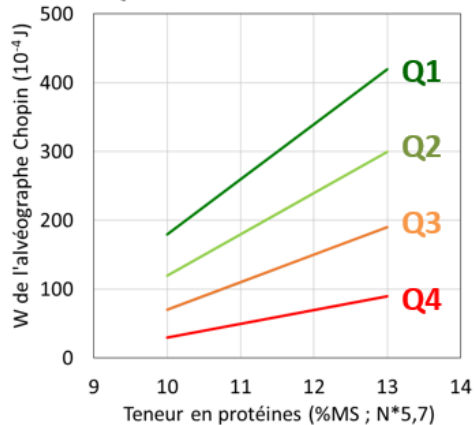
- Force boulangère par unité de protéine

Z/P
→ Zélény/Teneur en protéines
Semi-quantitatif et pas assez discriminant



Méthode rapide pour sélectionner des échantillons
Encore moins discriminant en épeautre

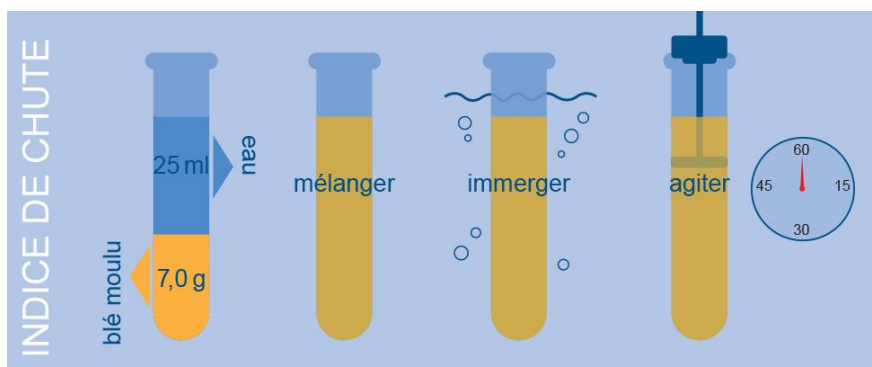
W/P
→ W alvéographe/Teneur en protéines
Quantitatif et discriminant



Nature du gluten :
Ténacité, extensibilité et élasticité

Temps de chute de Hagberg

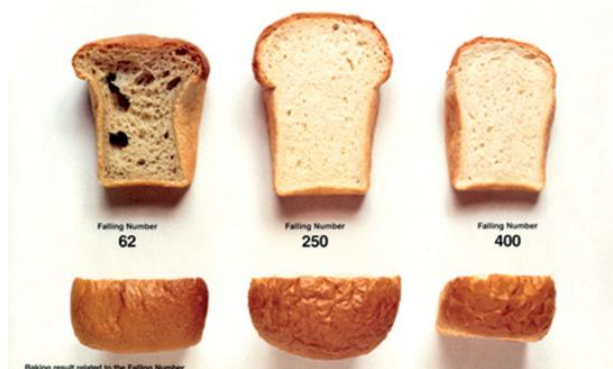
L'objectif du temps de chute de Hagberg est d'estimer l'activité alpha-amylasique d'une farine de céréale (froment, épeautre, seigle, orge, triticale). La méthode repose sur la mesure du temps de chute d'un agitateur au travers d'un gel obtenu à partir d'une suspension de farine. Les amylases réduisant l'amidon, il y a liquéfaction du gel et diminution de la viscosité. Plus il y a d'activité alpha-amylasique, plus le temps de chute de Hagberg est bas.



Lorsque les blés sont récoltés après la date optimale de récolte et qu'il a plu depuis cette date, le phénomène de prégermination physiologique du grain va apparaître. Celle-ci peut aller plus ou vite en fonction de l'année, de la localité (précipitation et température), de la verse, de la variété et de la date de récolte. Les espèces susceptibles d'être affectées par la pré-germination physiologique sont (de la moins sensible à la plus sensible) : l'épeautre, le froment, l'orge, le blé dur, le triticale et le seigle.

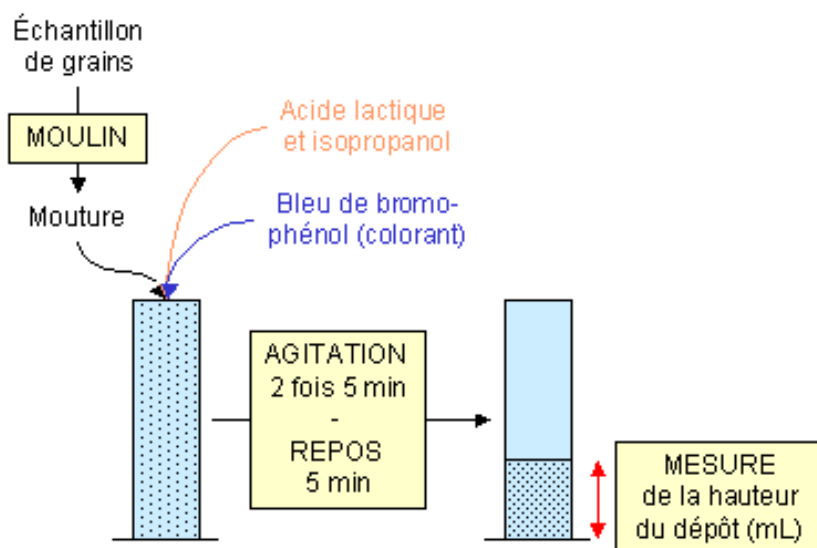
Le phénomène de prégermination va faire fortement diminuer la valeur du temps de chute de Hagberg. Il suffit que de quelques pourcents de grains avec une prégermination physiologique élevée pour une baisse importante du temps de chute de Hagberg. Il n'est pas possible de faire remonter cette valeur avec des additifs, par exemple. Le temps de chute de Hagberg est donc couramment contrôlé car des valeurs critiques trop basses ne permettent pas au pain de cuire. Le seuil strict est de 220 s et le seuil souple est de 180 s sur mouture intégrale. Ce dernier est appliqué lors de mauvaise année pour ce paramètre. Il ne faut jamais utiliser en lot avec une valeur inférieure à 150 s.

Qualité panifiable	Froment/Epeautre sur mouture intégrale
Inutilisable	Hagberg < 150 s
Difficulté de mise en œuvre	150 s ≤ Hagberg < 180 s
Acceptable	180 s ≤ Hagberg < 220 s
Bonne activité	220 s ≤ Hagberg < 300 s
Activité insuffisante → Ajout de farine maltée	Hagberg > 300 s



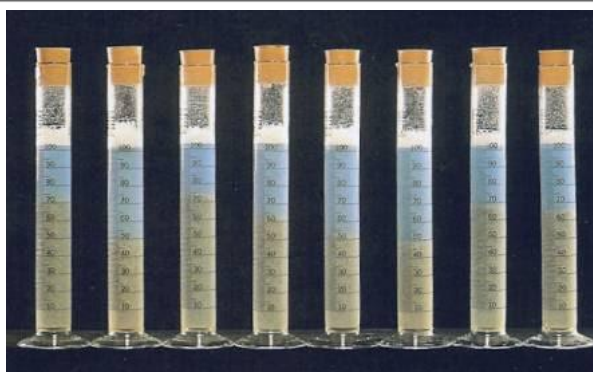
Indice de sédimentation de Zélény

L'objectif de l'indice de sédimentation de Zélény est d'estimer rapidement, avec l'aide d'un moulin spécifique, la force boulangère gluten (W de l'Alvéographe Chopin) sur une farine blanche (froment et épeautre) en milieu acide. Le principe est le suivant : la farine va être mélangée dans un milieu acide. Ensuite, mise au repos. La manipulation consiste à observer la réaction de la protéine dans ce milieu. Plus les protéines sont de bonne qualité panifiable, plus elles absorbent de l'eau. Cela entraîne deux effets en cascade : d'une part le volume de sédimentation (c'est-à-dire le volume de dépôt) de ces protéines sera élevé. D'autre part, plus la protéine absorbe de l'eau, plus son poids spécifique sera faible lors du gonflement, entraînant une vitesse de sédimentation plus lente.



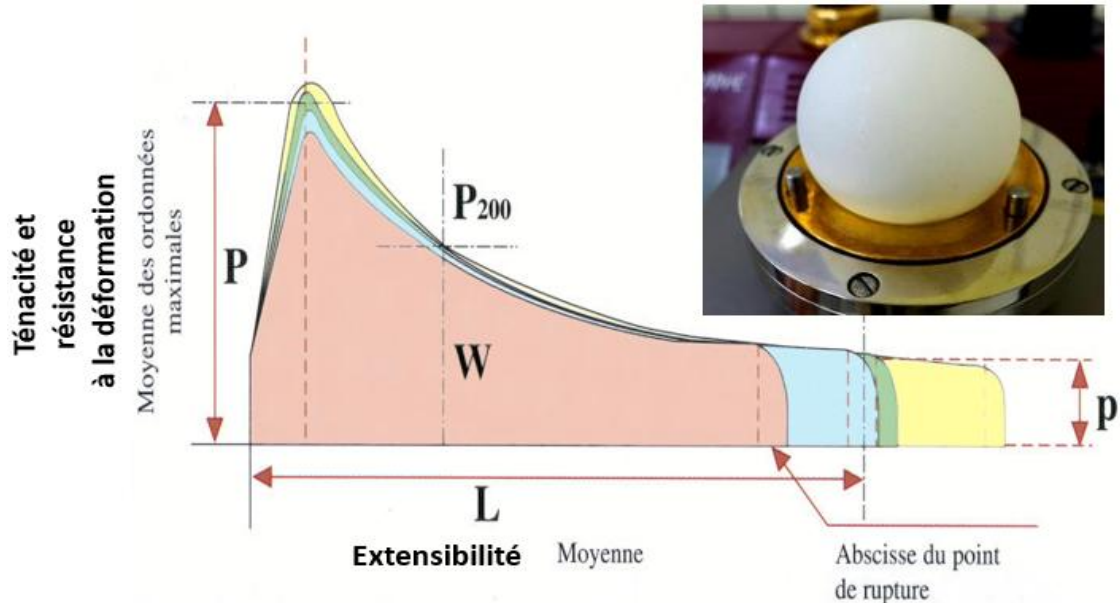
Notons que la prédiction de l'indice de sédimentation de Zélény par équation infrarouge globale (comme fournie par les appareils de dépôt) sont trop médiocres et pas pertinentes. Cette manière de mesurer l'indice de sédimentation de Zélény est complètement à proscrire pour les blés qui ne sont pas des froments modernes, c'est-à-dire les anciennes variétés, l'engrain et l'épeautre par exemple.

Qualité panifiable	Froment	Epeautre
Mauvaise	Zélény < 20 ml	Zélény < 10 ml
Médiocre	20 ml ≤ Zélény < 30 ml	10 ml ≤ Zélény < 20 ml
Bonne	30 ml ≤ Zélény < 40 ml	20 ml ≤ Zélény < 30 ml
Très bonne	Zélény ≥ 40 ml	Zélény ≥ 30 ml



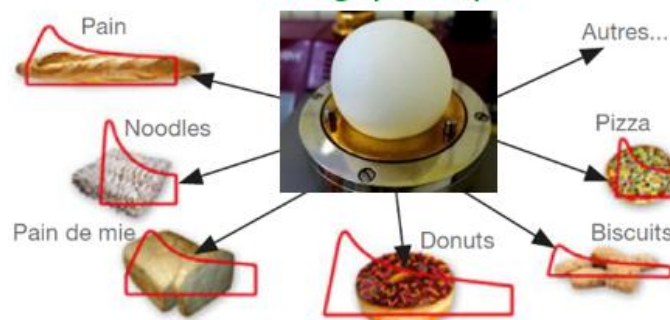
Alvéographe Chopin

L'objectif de l'alvéographe de Chopin est de déterminer la force du gluten (W) ainsi que sa ténacité (P), extensibilité (L) et élasticité (Ie). Des disques de pâte (froment ou épeautre), obtenus dans des conditions standards, sont soumis à une pression d'air. Ils vont se déformer et se gonfler en formant une bulle de pâte dont le volume et la résistance au gonflement sont liés aux propriétés rhéologiques du gluten.



Force et nature du gluten

Alvéographe Chopin



Qualité panifiable belge du froment	Améliorant	Premium	Supérieur
Variété	Q1A	Q1	Q2
Alvéographe Chopin : W Force boulangère (10-4 J)	≥275 (≥250)	≥225 (≥200)	≥175 (≥150)
Alvéographe Chopin : P/L Rapport Ténacité/Extensibilité		≤1,5 (≤2,0)	

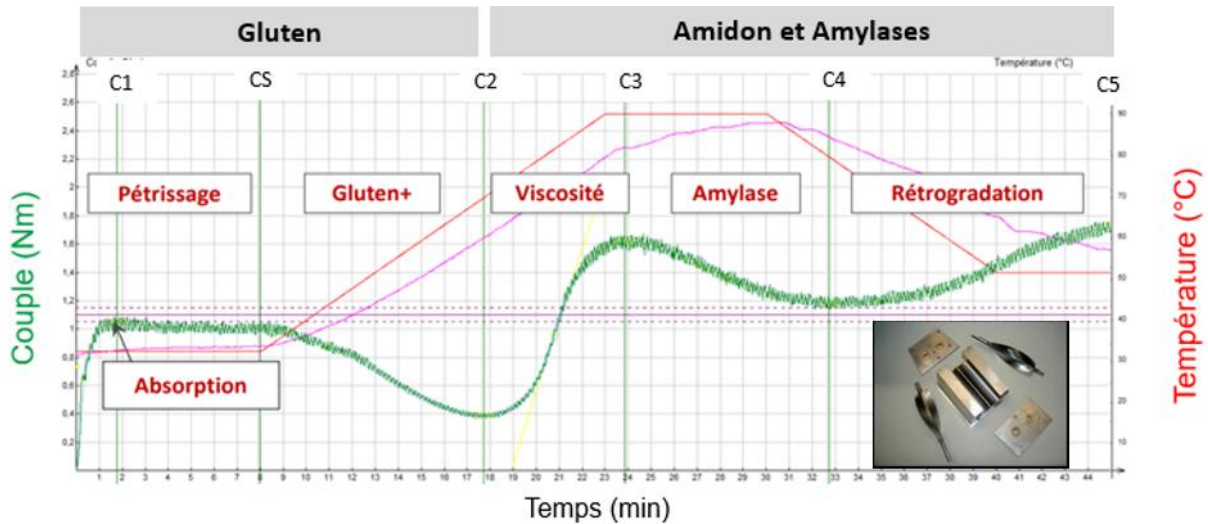
Des variétés de moindres qualités technologiques peuvent être panifiées en appliquant un procédé de transformation plus artisanal et plus long : Pétrissage moins énergétique, Levée plus longue, Utilisation de levain. Lors que la panification est très artisanale comme avec les anciennes variétés, les attentes technologiques sont différentes.

Anciennes variétés de froment avant 1960

Qualité panifiable	Alvéographe
Mauvaise	W < 50
Médiocre	50 ≤ W < 75
Bonne	75 ≤ W < 100
Très bonne	W ≥ 100

Mixolab+

Le Mixolab est un appareil permettant de mesurer le comportement rhéologique des pâtes en appliquant à celles-ci une contrainte de température par un système de chauffage-refroidissement progressif dans un pétrin dynamométrique. La particularité du Mixolab réside dans la modularité complète de son cycle de température. Il permet d'évaluer plusieurs facteurs : l'hydratation optimale de la pâte, la formation du gluten, la stabilité du gluten à 30°C et à la chauffe, le comportement de l'amidon (volume et structure de la mie ainsi que sa durée de conservation) à la chauffe puis au refroidissement et enfin l'activité alpha-amylasique de la pâte.



C1

Absorption d'eau

C1 à C2

Pétrissage
- Temps de développement
- Stabilité
- Force

C2 à C3

Volume du pain
- C2 trop faible → Pâte instable
- C2 trop élevé → Pâte ferme

C2 à C3

Volume et structure de la mie
- Fonctionnalité amidon
- Interactions amidon-protéines
- Amidon endommagé

C3 à C4

Activité amylasique forte
- C3 faible
- C4 faible
- C4-C3 élevée

C4 à C5

Durée de conservation longue
- C5 faible
- C5-C4 faible

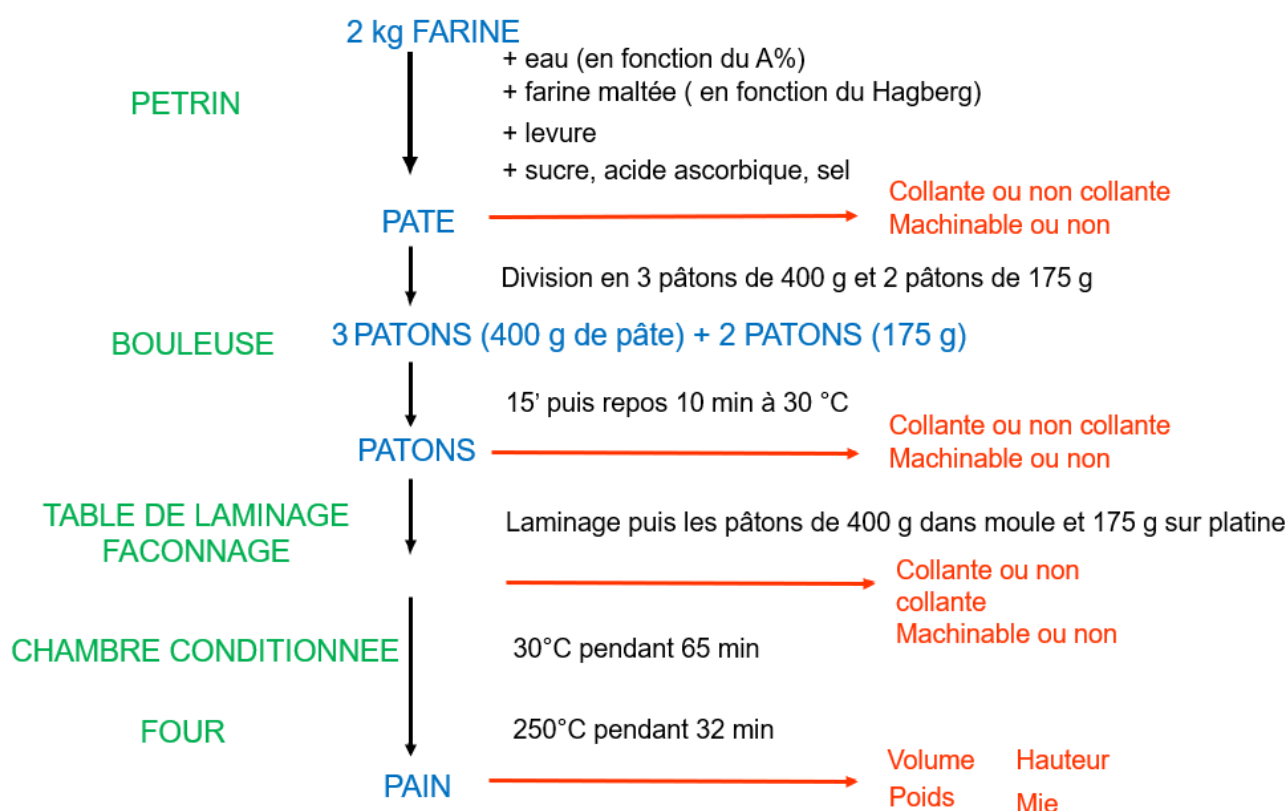
Test de panification standardisé

L'objectif du test de panification standardisé est de déterminer de manière la plus objective et reproductible la qualité du pain au niveau de différentes qualités spécifiques : le volume et forme du pain, la texture et alvéolage de la mie, la couleur de la mie et la croûte ainsi que l'analyse sensorielle du pain. Il existe différentes méthodes standardisées de panification dont, pour la Belgique, la norme NBN V12-001 « Test standard belge de panification de farine de froment ».

Les leviers les plus efficaces pour donner du goût au pain sont l'application d'une fermentation plus longue et/ou l'utilisation de levain au lieu de la levure. Ces 2 leviers permettent également de rendre les protéines plus digestes.

Il existe Arrêté ministériel wallon pour la production de pain de qualité différencié sur base de la fermentation de type polish.

Panification standardisée belge



3. Mouture et qualité nutritionnelle

Il existe 2 technologies de mouture pour produire de la farine à destination de la panification : la mouture sur cylindre et celle sur meule. La qualité nutritionnelle de ces 2 types de farines est semblable pour une même teneur en cendres (minéraux). L'avantage nutritionnel de la farine de mouture sur meule est de contenir la matière grasse du germe. L'inconvénient de la présence de cette matière grasse est qu'elle se dégrade à température ambiante dans la farine. La mouture sur cylindre produit moins d'amidon endommagé que la mouture sur meule. Le taux d'amidon recherché dépend du type produit visé : très peu pour les biscuits et beaucoup pour le pain de mie. Le suivi du niveau d'amidon endommagé et la teneur en cendres sont essentiels pour s'assurer du bon fonctionnement du moulin.

- Amidon endommagé recherché dépend du produit visé**



La teneur en cendres (minéraux) d'une mouture est en lien avec la teneur en sons (et donc en fibres) présents dans la farine. Ils sont tous les deux forts présents en périphérie du grain. La détermination de la teneur en cendres permet d'orienter l'utilisation de la farine qui est classiquement : pâtisserie T45, pain blanc T55, pain de campagne 65, semi-complet T80, semi-complet T110 ou intégral T150). Cette teneur en cendres dépend du type de moulin (cylindre ou meule), de sa configuration et de son réglage.

Nom de la farine en lien avec sa teneur en cendres (sons) et son rendement d'extraction

	T45	T55	T65	T80	T110	T150
		Farine blanche		Farine semi-complète	Farine complète	Farine intégrale
	Pâtisseries, gâteaux, pizzas	Pain blanc, pâtisseries, pâtes à tarte	Pain de campagne, pain ou baguette « tradition »	Pain semi-complet	Pain complet	Pain intégral
Teneur en cendres	< 0,50%	0,50 à 0,60%	0,62 à 0,75%	0,75 à 0,90%	1,00 à 1,20%	> 1,40%
Rendement d'extraction	70-75%	75-80%	78-83%	82-86%	87 à 90%	90 à 98%

Mouture sur cylindre

La mouture sur cylindre déroule le grain avec des passages sur différents cylindres cannelés. Les passages successifs entre 2 cylindres suivi d'un tamisage permettent de retirer délicatement les couches périphériques de sons et le germe du grain en les gardant le plus intacte possible. Ces fractions ne trouvent donc plus dans la farine blanche finale. Cela permet d'obtenir des farines les plus blanches T65 (pour les pains de campagne) à très blanches T45 (pour les pâtisseries).

Mouture sur meule

La mouture sur meule écrase directement l'entièreté des grains. Les différentes fractions du grain (périphérie, albumen et germe) sont donc mélangées. Le germe du grain riche en éléments nutritifs (minéraux et matière grasse) et des sons (fibres) éclatés en très fines particules se trouvent donc systématiquement dans la farine de meule. Les farines issues de mouture meule sont de ce fait plus riches en éléments nutritifs que des farines équivalentes de cylindre. Le tamisage la farine de meule ne permettra pas d'extraire les fins sons éclatés. Les farines les plus blanches que l'on peut obtenir en mouture meule sont donc des farines semi-complète T80. Pour obtenir un rendement de mouture sur meule plus élevé, les farines semi-complète T110 sont souvent proposées. La farine de meule avec la qualité la nutritive la plus élevée est celle contenant le tout le grain qui est la farine intégrale T150.

Afin d'éviter la dégradation des éléments nutritifs lors de la mouture sur meule, il faut s'assurer que la température de la farine à la sortie de la meule ne soit pas trop importante. Il est recommandé de rhabiller annuel les meules pour garantir une mouture de qualité nutritive et technologique des farines produites.

Farine sur minoterie cylindre

Etapes de mouture cylindre succession de :

- Broyages (B1, B2,...) sur rouleaux cannelés
- Claquages (CL1, CL2,...) sur rouleaux lisses
- Convertissages (C1, C2,...) sur rouleaux lisses



Farine sur meule en granite

Méthode d'écrasement traditionnel: le grain est écrasé dans sa totalité (germe et son dans la farine)



Produit de mouture	Sur cylindre Farine blanche et bise	Sur meule Farine bise et intégrale
Composition farine	Albumen (amande)	Albumen, fins sons (enveloppes) et embryon
Qualité technologique	Bonnes propriétés rhéologiques	Amidon endommagé à maîtriser
Qualité nutritionnelle	Réduction des contaminants	Fibres et minéraux
Qualité transformation	Débit rapide Farine blanche T45 et T55 possible	Débit lent (risque d'échauffement) Rendement faible Investissement faible

4. Qualité sanitaire

Pour s'assurer de la qualité sanitaire des grains, il faut que les teneurs en mycotoxines des grains ne passent pas les seuils repris dans la législation. Les mycotoxines se trouvent souvent en périphérie du grain là où les moisissures se sont développées.

En céréales, les mycotoxines peuvent être produites à deux moments différents :

- **au champ** avant la maturité des grains (DON) ou à partir de la maturité des grains (ZEA, HT-2, T2). Toutes ces mycotoxines sont produites par les *Fusarium* responsable de la fusariose de l'épi. Cette fusariose peut également être produite *Microdochium* qui n'est pas critique au niveau mycotoxine. Pour éviter la fusariose de l'épi, il faut éviter les précédents maïs, le non-enfouissement de résidus de pailles de céréales et les variétés sensibles à la fusariose de l'épi.

• Présence de mycotoxines des fusarioses

Microdochium

- Humidité et temp. froides à la floraison
- Epillets isolés
- Rendements pénalisés
- Pas de mycotoxines

Fusarium

- Humidité et temp. chaudes à la floraison
- Attaque groupée (en *Triticum*)
- Rendements pénalisés
- **Mycotoxines des *Fusarium* possible**

- **au stockage** (OTA, HT-2, T2). Elles sont produites dans des conditions d'humidité et de température non adaptées à la conservation des grains. De plus, il y a un risque critique de développement d'insecte dans des conditions non idéales.

L'analyse de dosage des mycotoxines peut être réalisée par 2 types de techniques :

- chromatographiques pour l'analyse simultanée des mycotoxines. Cette technique est la référence. Elle est plus coûteuse à la mise en œuvre mais elle permet de déterminer plusieurs mycotoxines à la fois de manière quantitative. En Belgique pour cette analyse, vous pouvez vous adresser au CER Marloie, Primoris et Sciensano.
- immunologiques simples comme les bandelettes à flux latéral et la méthode ELISA. Elles se limitent souvent à une mycotoxine à la fois et elles sont au mieux semi-quantitatives. En Belgique pour cette analyse, vous pouvez vous procurer notamment les kits de ProGnosis.

Préconisations de surveillance en fonction des couples grains de céréales / mycotoxines

	Mycotoxines de						
	champ					Champ/ stockage	stockage
	DON	ZEA	T2+HT2 ¹	FUMO	Ergot ² <i>Claviceps purpurea</i>	AFLA	OTA
Blé tendre							
Blé dur							
Orge de printemps							
Orge d'hiver							
Maïs							
Seigle							
Sorgho							
Avoine							
Triticale							

Préconisations de surveillance en fonction des couples grains de céréales / mycotoxines

	Mycotoxines de						
	champ					Champ/ stockage	stockage
	DON	ZEA	T2+HT2*	FUMO	Ergot ² <i>Claviceps purpurea</i>	AFLA	OTA
Porcs							
Volailles de reproduction							
Volailles ponte							
Vaches laitières							
Autres bovins, ovins, caprins							
Chevaux							
Autres animaux							

Les limites actuellement d'application pour le froment brut sont reprises dans le Tableau ci-dessous.

Tableau - Teneur maximale d'application pour différentes mycotoxines dans le froment brut destiné à l'alimentation humaine et animale

Mycotoxine	Déoxynivalénol DON	Zéaralenone ZEA	T2+HT2	Ochratoxine A OTA	Somme 12 alcaloïdes d'ergot	Sclérote d'ergot
Limite alimentation humaine (ppb)	1000	100	50	5	150	0,2 g/kg
Limite alimentation animale (ppb)	8000	2000	500	250	/	1,0 g/kg

Sur les céréales de printemps, les *Fusarium* peuvent produire plutôt les mycotoxines T-2/HT-2. Les *Fusarium* peuvent également produire des hydrophobines qui sont une des sources possibles du gushing des bières. Ces dernières peuvent également être produites lors du maltage et/ou du stockage.

Une problématique en recrudescence, même en froment conventionnel, est la présence d'ergot du seigle. La présence d'adventices graminées (vulpin, jouet du vent, raygrass, ...), de bandes enherbées et/ou de problème de fertilité d'épis permettent le développement de cet ergot dans les épis. Les espèces les plus sensibles à l'ergot sont en ordre décroissant : le seigle, le triticales, le blé tendre/dur, l'orge et l'avoine. Après la contamination d'une parcelle à l'ergot, le labour à plus de 10 cm de profondeur puis un travail superficiel du sol les années suivantes est un levier très efficace. De plus, il faut éviter de semer une céréale les 2 années suivant une contamination.