



REQUASUD

Qualité du Froment d'hiver en région wallonne



par
R. Oger,
G. Sinnaeve,
C. Anceau,
M-J. Goffaux,
P. Dardenne.

Avec la collaboration des
laboratoires de la Chaîne
NIR, de la cellule de
coordination de l'asbl
REQUASUD, ainsi que des
Départements Qualité des
Productions Agricoles, Lutte
biologique et ressources
phytogénétiques et
Production végétale du
Centre de Recherches
Agronomiques de
Gembloux.



Avec le soutien du
Ministère de la
Région wallonne,
Direction Générale
de l'Agriculture



Qualité du Froment d'hiver en région wallonne



par
R. Oger⁽¹⁾,
G. Sinnaeve⁽²⁾,
C. Anceau⁽³⁾,
M.-J. Goffaux⁽³⁾,
P. Dardenne⁽²⁾.

Avec la collaboration
des laboratoires de
la Chaîne NIR⁽²⁾, la
cellule de coordination⁽³⁾ de
l'asbl REQUASUD, ainsi que des
départements Qualité des
Productions Agricoles, *Lutte
biologique et ressources
phytogénétiques*⁽⁴⁾ et
Production végétale⁽⁵⁾ du
Centre de Recherches
Agronomiques de
Gembloux.



Avec le soutien du
Ministère de la
Région Wallonne,
Direction Générale
de l'Agriculture

⁽¹⁾ **R. Oger**

Centre de Recherches Agronomiques
de Gembloux, Section biométrie,
Gestion des Données et
Agrométéorologie

⁽²⁾ **G. Sinnaeve**

Département Qualité
des productions Agricoles (CRA)

P. Dardenne

Président de l'asbl **REQUASUD**,
Département Qualité
des productions Agricoles (CRA)

⁽³⁾ **C. Anceau**

Conseiller pour la qualité
des produits, **REQUASUD**

M-J. Goffaux

Coordinatrice de la cellule
de coordination, **REQUASUD**

B. Toussaint

Conseiller pour la qualité
du milieu, **REQUASUD**

⁽⁴⁾ **A. Chandelier**

Département lutte biologique et
Ressources phylogénétiques (CRA)

⁽⁵⁾ **J-L. Herman**

Département Production
Végétale (CRA)

Nous remercions également

R. Biston, pour ses conseils
judicieux et sa relecture attentive.

édité et distribué par :
asbl Réquasud
rue de Lioux, 9
B - 5030 Gembloux
Belgique

Dépôt légal : D/2003/8689/1

3 Introduction

**4 Recommandations pour l'échantillonnage
à la réception et au stockage**

- 5 Comment réaliser les prélèvements élémentaires
- 6 Comment obtenir l'échantillon global représentatif
- 6 Comment obtenir l'échantillon pour le laboratoire
- 6 Echantillonnage pour la recherche de mycotoxines

7 Un peu de statistiques

- 7 Justesse
- 7 Fidélité
- 8 En pratique

**10 La qualité intrinsèque du froment
et les mesures d'appréciation**

- 10 Les qualités du froment
- 11 La qualité boulangère
- 11 La qualité biscuitière
- 11 La qualité amidonnière

12 Mesures d'appréciation de la qualité

- 12 Les mesures physiques
 - 12 Teneur en impuretés
 - 12 Teneur en eau
 - 13 Masse à l'hectolitre
- 14 Les mesures indirectes
 - 14 La teneur en protéines
 - 14 L'indice de Zélény
 - 14 L'indice de chute de Hagberg
 - 15 L'alvéographe Chopin
 - 16 L'alvéo-consistographe
 - 16 Le farinographe Brabender
 - 16 Le caractère non-collant et machinable
- 16 La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR)
 - 16 Principe de fonctionnement de la SPIR
 - 17 Prédiction de la teneur en protéines
 - 17 Prédiction de l'indice de Zélény

**18 Evolution de la qualité du froment en fonction
des années et des conditions météorologiques**

- 19 Teneur en protéines
- 19 Hagberg
- 21 Poids à l'hectolitre
- 22 Indice de Zélény
- 22 Rapport Zélény/Protéines

24 Considérations nouvelles pour la qualité du froment

- 24 Qualité boulangère
 - 24 L'activité alpha-amylasique
 - 25 Le multigraphe
 - 25 La panification standardisée
- 25 Qualité pour l'alimentation animale
- 26 Les mycotoxines
 - 26 Evaluation de la teneur en mycotoxines dans les grains
 - 26 Les mycotoxines associées à la fusariose de l'épi
 - 27 Les mycotoxines produites au stockage
 - 28 Réglementation concernant les mycotoxines
- 28 La traçabilité
 - 28 Evolution
 - 28 Définitions
 - 28 La traçabilité des céréales

29 Conclusions et perspectives

30 Références

32 Normes de qualité à la réception (annexe 1)

Dans le cadre de l'Opération "Qualité des Céréales en Wallonie" (à l'initiative du Ministère de l'Environnement, des Ressources Naturelles et de l'Agriculture de la Région wallonne), lancée en 1987, et par la suite dans le cadre du réseau **REQUASUD**, des moyens analytiques efficaces, fiables et performants ont été mis à disposition de la filière wallonne de production des céréales. Le réseau **REQUASUD** est soutenu par la Direction générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne par une convention-cadre.

Les échanges commerciaux dans la filière des céréales imposent en effet au niveau du négoce, un contrôle de la qualité des grains à la réception, au cours du stockage et à l'expédition. Dans les années 1980, la CEE a fixé les premières normes de qualité pour le froment panifiable (règlements (CE) n°1955/1981 et n°2062/1981). Depuis lors, la valeur boulangère a pris une importance croissante dans les relations entre la production, le négoce et l'industrie. Cette évolution s'est traduite par l'introduction dans les modalités de réception des céréales, de divers critères applicables au froment panifiable.

Actuellement, l'organisation commune des marchés dans le secteur des céréales est régie par le règlement (CE) n°1766/1992. En complément, la réglementation fixant "les procédures de prises en charge des céréales par les organismes d'intervention ainsi que les méthodes d'analyse pour la détermination de la qualité" a été revue et est régie par le règlement (CE) n°824/2000. D'autre part, les opérations relatives au froment panifiable doivent respecter les dispositions de l'Arrêté royal du 07/02/1997 et du règlement (CE)

n°178/2002, concernant les bonnes pratiques d'hygiène et de sécurité des denrées alimentaires. Les exigences applicables aux matières premières destinées à l'alimentation animale se sont également accrues avec l'Arrêté royal du 08/02/1999 (modifié par l'AR du 10/04/2003) relatif au commerce et à l'utilisation des substances destinées à l'alimentation animale, mais surtout avec les normes GMP (Good Manufacturing and Managing Practices) développées par l'industrie belge.

Sur base de ces réglementations, des normes de réception des froments sont diffusées chaque année en début de campagne. Il s'agit des normes publiées par SYNAGRA qui sont applicables au niveau du négoce. Celles-ci déterminent le classement des lots en "panifiable" ou "fourrager", et conditionnent les bonifications (ou réfections) affectées aux lots livrés par l'agriculteur. Ces normes peuvent être assouplies en cours de campagne lorsque les conditions climatiques le justifient (faibles valeurs de Hagberg par exemple).

Ce contrôle intéresse également l'agriculteur qui désire connaître la qualité des froments au moment de la récolte ou de la livraison, cela lui permet d'évaluer l'importance des réfections et des bonifications et également de s'orienter vers une phytotechnie optimale dans le choix de ses variétés.

Comme l'ensemble de la production agro-alimentaire, le secteur des céréales connaît actuellement des évolutions importantes. La prise de conscience relative à la maîtrise de la sécurité des denrées alimentaires, s'est concrétisée, par exemple, par des préoccupations liées à la présence de mycotoxines, ou par la maîtrise de la traçabilité entre les différents maillons de la filière. La demande d'analyses pour caractériser les lots de céréales s'est donc accrue, mais surtout, elle s'est diversifiée. D'autre part, l'évolution des connaissances scientifiques conduit également à une évolution des techniques d'analyse. Face à ces évolutions, la Région wallonne souhaite mettre en place un Conseil de filière "grandes cultures" qui s'intégrerait dans la politique de qualité développée par la Région pour ses productions agricoles.

L'intérêt commun des producteurs et des négociants pour l'analyse de la qualité du froment s'est concrétisée par la formation au sein de **REQUASUD** d'asbl interprofessionnelles associant à des laboratoires agréés des

producteurs et des négociants: AGRI-QUALITE à Soignies, Brabant Wallon AGRO-QUALITE à La Hulpe, CARAH à Ath, CÉRÉALES PLUS à Waremme et Tinlot, IQUALUX à Bastogne, OPA-QUALITÉ à Ciney et OBJECTIF-QUALITÉ à Gembloux.

Un atout fondamental apporté par l'infrastructure de **REQUASUD** est l'harmonisation des analyses réalisées dans les différents laboratoires, notamment via l'utilisation d'une méthode rapide: la spectrométrie dans le proche infrarouge et la réalisation de contrôles interlaboratoires réguliers.

Le Département Qualité des Productions Agricoles (Centre de Recherches Agronomiques) établit les étalonnages permettant de mesurer la qualité par spectrométrie dans le proche infrarouge et prend en charge toutes les opérations de standardisation et de contrôles entre les laboratoires, ainsi que la synthèse des résultats.

La base de données **REQUASUD**, reprenant les résultats de près de 150.000 analyses de céréales réalisées au sein du réseau de 1994 à 2002, permet quant à elle d'évaluer la situation de la qualité du froment d'hiver en Wallonie en fonction de différents paramètres et constitue dès lors un outil d'aide supplémentaire à la décision pour les différents acteurs de la filière.

Fournissant des analyses rapides, précises et harmonisées à travers différents laboratoires fonctionnant en toute indépendance, **REQUASUD** constitue un outil original permettant de connaître et surtout de faire reconnaître la qualité des céréales lors des transactions commerciales ainsi que d'assurer des productions de qualité tant pour les acteurs du secteur que pour les consommateurs.

Le Président,
 P. Dardenne

Recommandations pour l'échantillonnage à la réception et au stockage

L'échantillonnage est une opération qui doit être menée d'une manière rigoureuse par du personnel formé. Un mauvais échantillonnage conduira à un résultat erroné, à une mauvaise interprétation, à des malentendus et à des ajustements de prix non justifiés.

Pour connaître les caractéristiques et la composition d'un lot de céréales, il est nécessaire de prélever un échantillon représentatif et de le faire analyser. Le lot étant rarement homogène, il convient de réaliser plusieurs prélèvements élémentaires et de les mélanger soigneusement pour constituer l'échantillon global représentatif. Si le volume ainsi obtenu est trop important, il faut le réduire pour arriver à 2 ou 3 échantillons de 1 kg qui pourront être analysés au laboratoire.

Les normes de référence en matière d'échantillonnage de céréales ont été revues récemment et distinguent plusieurs catégories d'échantillonnage en fonction des caractéristiques du lot et des constituants à examiner ou à doser (tableau 1). Les normes comportent des règles générales et la description de l'appareillage, du lieu et du moment de l'échantillonnage, des méthodes de prélèvement des échantillons, de la constitution de l'échantillon global et de l'échantillon pour analyse. Enfin, elles décrivent les modalités d'emballage, de marquage et d'expédition des échantillons, ainsi que le rapport d'échantillonnage.

tableau 1

Les normes de référence en matière d'échantillonnage.

Si le lot de céréales est	Contrôle de la qualité	Recherche de mycotoxines
statique		
En sacs	ISO 13690 : 1999	Directive 1998/53/CE (AM 05/02/01) et Directive 2002/26/CE
En vrac		
♦ Profondeur inférieure à 3 m	ISO 13690 : 1999	
♦ Profondeur de 3 à 12 m	ISO 13690 : 1999	
♦ Profondeur supérieure 12 m	ISO 6644 : 2002	
en mouvement		
Echantillonnage automatique	ISO 6644 : 2002	

Note : Il existe également des normes pour l'échantillonnage dans le cadre de la détermination de l'infestation par les insectes (ISO 6639-2:1986), de la détermination de la présence de bactéries, levures et moisissures (ISO 7698:1990) et de l'analyse des résidus de pesticides (Directive 2002/63/CE)

Comment réaliser les prélèvements élémentaires

Si le grain est statique

<p>A partir de sacs ISO 13690 : 1999</p>	<p>Utiliser des sondes effilées</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦Jusqu'à 10 sacs, échantillonner chaque sac. ♦De 10 à 100 sacs, échantillonner 10 sacs au hasard. ♦Plus de 100 sacs, échantillonner un nombre de sacs correspondant approximativement à la racine carrée du nombre de sac total, selon le plan d'échantillonnage suivant : pour 200 sacs (racine carrée = ± 14), il faut constituer 14 groupes de 14 sacs (soit 196 sacs) et prélever, par exemple, le 7ème sac dans chaque groupe et un sac au hasard dans le dernier groupe. Un total de 15 sacs sera donc échantillonné.
<p>Dans des wagons, camions, barges ou navires ISO 13690 : 1999</p>	<p>Utiliser une sonde tubulaire, enfoncée verticalement dans le chargement</p> <ul style="list-style-type: none"> ♦Sur toute la profondeur du lot. ♦Jusqu'à 500 t, prélever en plusieurs points selon le schéma ci-contre. ♦Au-delà de 500 t, prélever un nombre d'échantillons correspondant à la moitié de la racine carrée du tonnage total. <div style="text-align: center;"> <p>Jusqu'à 15 tonnes De 15 à 30 tonnes De 30 à 500 tonnes</p> <p>5 8 11</p> <p>prélèvements</p> </div>
<p>Dans des silos, cellules de stockage ou entrepôts ISO 13690 : 1999 ISO 6644 : 2002</p>	<p>Si la profondeur du lot le permet, prélever les échantillons comme pour les wagons, camions, barges ou navires.</p> <p>Si la profondeur du lot est trop importante, prélever les échantillons sur le grain en mouvement, lors de la livraison ou lors de la vidange, suivant ISO 6644.</p>

Si le grain est en mouvement

<p>A la réception, lors de la vidange d'une benne</p>	<p>Il faut prélever du grain à intervalles réguliers, durant tout le déversement, à l'aide d'un récipient en prenant soin de couper le flux de produit sur toute la largeur du véhicule.</p>
<p>Pour les lots de plus de 500 tonnes ISO 6644 : 2002</p>	<p>Il s'agit de grains en mouvement sur une bande transporteuse, dans un conduit incliné, dans des systèmes pneumatiques ou à la sortie d'un conduit ou d'une bande transporteuse.</p> <p>Au niveau des équipements d'échantillonnage, les installations sont conçues en vue d'éviter de briser les grains (vitesse trop élevée) et d'éviter une ségrégation des grains (inclinaison inférieure à 35°).</p> <p>Les prélèvements élémentaires doivent être réalisés sur une section transversale la plus large possible du flux de grain. Tout le lot de grains doit avoir une chance équivalente de pénétrer dans l'échantillonneur. Les échantillonneurs seront ajustés afin d'obtenir un échantillon global de 100 kg au maximum.</p>
<p>Echantillonnage en continu ISO 6644 : 2002</p>	<p>Une petite portion est prélevée en continu durant toute la période pendant laquelle le grain passe au point d'échantillonnage.</p>
<p>Echantillonnage intermittent automatique ISO 6644 : 2002</p>	<p>Une série de prélèvements de taille fixe est réalisée à intervalle de temps prédéterminé. Les prélèvements sont réalisés pendant toute la période pendant laquelle le grain passe au point d'échantillonnage.</p>

Comment obtenir l'échantillon global représentatif

L'échantillon global doit être constitué en réunissant les prélèvements élémentaires et en les mélangeant soigneusement.

Les prélèvements élémentaires peuvent être conservés séparément si l'objectif est d'étudier les fluctuations des caractéristiques et de la composition dans le lot.

Comment obtenir l'échantillon pour le laboratoire

Si l'échantillon recueilli est trop volumineux, il est nécessaire de le réduire pour obtenir un échantillon représentatif utilisable par le laboratoire. La réduction peut être réalisée à l'aide d'un diviseur d'échantillons ou par la méthode des cônes et des quartiers en procédant de la façon suivante (voir figure 1):
 A : mélanger l'échantillon sur une surface propre,
 B : rassembler les grains en formant un tas conique et aplanir le sommet du tas,
 C et D : fractionner le tas en 4 à l'aide d'une planche,
 E et F : rejeter les 2 quartiers diagonalement opposés et mélanger les 2 quartiers restants.

Si besoin est, répéter l'opération une nouvelle fois pour arriver à la quantité désirée.

Idéalement l'échantillon global est ainsi réduit jusqu'à l'obtention de 3 échantillons de 1 kg :

- un échantillon est placé dans un flacon hermétique qui sera envoyé au laboratoire pour analyse,
- un échantillon est destiné à l'organisme stockeur pour pratiquer les analyses rapides pour la constitution de ses lots,
- un échantillon est conservé dans un conteneur adapté et soudé pour analyse contradictoire éventuelle.

Les échantillons doivent être identifiés et munis d'étiquettes résistantes. Les informations figurant sur les étiquettes doivent au minimum reprendre la nature du produit, la variété, l'identification du numéro de lot, les noms du vendeur et de l'acheteur, ainsi que la date, le lieu et le type d'appareil d'échantillonnage.

figure 1

Réduction de l'échantillon : méthode du "cône".

De Lucia et Assenato, FAO, 1992

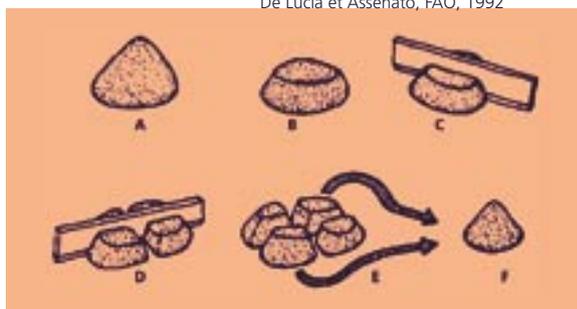


tableau 2

Subdivision des lots pour le contrôle des teneurs en aflatoxines dans les céréales (AM 05/02/2001).

Poids du lot de céréales (en tonnes)	Poids ou nombre de sous-lots	Nombre d'échantillons élémentaires	Poids de l'échantillon global (en kg)
≥ 1500	Environ 500 t.	100	30
≥ 300 et < 1500	3 sous-lots	100	30
≥ 50 et < 300	Environ 100 t.	100	30
< 50	-	10 à 100	1 à 10

Echantillonnage pour la recherche de mycotoxines

La répartition des mycotoxines dans les denrées alimentaires étant généralement hétérogène, leur recherche nécessite un échantillonnage adapté. La directive 1998/53/CE, mise en application par l'Arrêté ministériel du 05/02/2001, présente les modes de prélèvement d'échantillons pour le contrôle officiel des teneurs maximales en mycotoxines. Les échantillons globaux ainsi obtenus sont considérés comme étant représentatifs des lots.

Pour cet échantillonnage, des précautions doivent être prises pour éviter que la lumière ne modifie la composition des échantillons car certaines mycotoxines sont sensibles aux ultraviolets.

Les lots de plus de 50 tonnes doivent être subdivisés en sous-lots suivant le tableau 2. Chaque sous-lot doit faire l'objet d'un échantillonnage séparé et est évalué séparément. Le poids de l'échantillon élémentaire est d'environ 300 grammes (100 g pour les lots de moins de 50 tonnes).

L'échantillon global est obtenu par mélange grossier des échantillons élémentaires. Le mélange est ensuite subdivisé en trois sous-échantillons égaux. Les échantillons globaux de moins de 10 kg ne doivent pas être divisés en sous-échantillons.

Chaque sous-échantillon doit ensuite être finement broyé séparément et soigneusement mélangé afin de garantir une homogénéisation complète. Des échantillons identiques peuvent être alors prélevés, à des fins de contrôle et de droit de recours.

Un peu de statistiques

La plupart du temps, la réalisation d'une analyse de la qualité d'un lot ou d'un échantillon de céréales est une opération qui doit permettre à un utilisateur de prendre une décision. Selon le contexte, cette décision peut concerner :

- La vérification de la conformité de lots avec des normes de réception (par exemple les normes SYNAGRA pour le classement de lots "panifiables" ou "fourragers").
- La vérification d'une hypothèse dans le cadre d'une expérimentation en champs (par exemple, la relation entre la fumure et la qualité).
- La comparaison des performances de différentes variétés en fonction du lieu de culture.
- La détermination de la qualité intrinsèque d'un produit.
- Le réglage d'un appareil dans le cadre d'un procédé de fabrication.

Quelles que soient les circonstances, on peut comprendre facilement que la décision qui sera prise est étroitement liée à la qualité de la mesure que l'on traduit en général dans les concepts d'incertitude de mesure. Le résultat d'une mesure est lui-même le résultat de tout un processus d'analyse qui dépend de la méthode mise en œuvre par le laboratoire. Parlant de la qualité de la méthode, on emploiera plutôt le terme d'exactitude et de ses deux composantes : la justesse et la fidélité (Norme ISO : 5725).

Justesse

Lorsqu'on réalise une analyse sur un échantillon donné, on espère que le résultat obtenu sera très proche de la valeur vraie. En fonction de la méthode d'analyse, du laboratoire, de l'équipement et de diverses variations, le résultat peut être plus ou moins éloigné de la valeur vraie. Pour augmenter les chances de s'approcher de la valeur vraie, on peut répéter l'analyse et calculer la moyenne des résultats obtenus. Plus on répète l'analyse



sur un même échantillon, plus la moyenne obtenue aura de chances de tendre vers la valeur vraie.

La justesse est définie comme l'étroitesse de l'accord entre la valeur moyenne d'un grand nombre de résultats d'analyses qui pourraient être réalisées sur un même échantillon et une valeur vraie ou une valeur de référence généralement acceptée. Par opposition, le biais est l'écart entre cette moyenne et la valeur vraie. En pratique, le biais représente souvent une erreur systématique qui peut être le résultat de la méthode elle-même ou d'un étalonnage inadéquat de la méthode au niveau du laboratoire.

Au sein du réseau **REQUASUD**, la justesse est vérifiée de manière permanente grâce à l'organisation d'essais de comparaison interlaboratoires ou "ring tests". L'analyse statistique de ces essais interlaboratoires permet d'évaluer l'aptitude de chaque laboratoire à maîtriser la méthode d'analyse et ainsi de garantir la qualité des résultats remis à leurs clients. Ces contrôles interlaboratoires permettent également de vérifier l'homogénéité des résultats entre les différents laboratoires. La participation à des essais interlaboratoires internationaux comprenant un grand nombre de laboratoires, ou l'utilisation de matériaux de référence certifiés complètent cette analyse.

Fidélité

Si on réalise indépendamment une même analyse sur plusieurs échantillons identiques, on a peu de chances d'obtenir exactement le même résultat. Cependant, on vise à minimiser les écarts entre les résultats. La fidélité est définie comme l'étroitesse de l'accord entre des résultats d'analyses indépendantes, réalisées sur des échantillons identiques. Selon les conditions, on parlera de répétabilité ou de reproductibilité.

Les conditions de répétabilité correspondent aux situations pour lesquelles tous les facteurs susceptibles d'influencer le résultat d'analyse restent stables ou sont fixés a priori. C'est par exemple le cas lorsqu'une même personne dans un laboratoire réalise plusieurs analyses successives d'un même échantillon dans un intervalle de temps relativement court (1 jour maximum) avec le même matériel. Ces conditions permettent donc d'avoir un écart minimum entre les résultats.

En résumé, la fidélité traduit donc l'aptitude à fournir des résultats les plus proches possibles lors de plusieurs analyses répétées d'un même échantillon. Quant à la justesse, elle représente l'écart moyen entre une valeur vraie attendue et les résultats de ces différentes analyses. Les notions de justesse et de fidélité sont représentées de manière imagée à la figure 2.

Les conditions de **reproductibilité** correspondent à des situations plus variables, où certains facteurs influençant éventuellement la mesure peuvent varier dans le temps ou l'espace. Dans un même laboratoire, on utilisera, par exemple, le terme de reproductibilité intralaboratoire pour qualifier la variabilité des résultats obtenus à partir d'une même méthode par des personnes différentes ou à des intervalles de temps plus longs (de l'ordre de la semaine ou du mois). On utilisera, par contre, le terme de reproductibilité interlaboratoire, pour mesurer la dispersion des résultats d'analyses des mêmes échantillons, obtenus dans les différents laboratoires d'un réseau. Comme elle intègre potentiellement un plus grand nombre de facteurs d'influence, on doit s'attendre à ce que des résultats obtenus dans des conditions de reproductibilité soient beaucoup plus variables que des résultats issus d'expériences de répétabilité.

En pratique

Pour le laboratoire, il est important de connaître la justesse et la fidélité de la méthode d'analyse qu'il applique afin d'interpréter correctement les résultats de mesure obtenus avec celle-ci. La fidélité est quantifiée par la mesure de la dispersion des résultats autour de la moyenne. En statistique, cette dispersion est mesurée plus classiquement par la variance ou l'écart-type. Ces paramètres permettent de calculer les limites de répétabilité ou de reproductibilité. Ces limites représentent un écart maximum admissible, pour une probabilité donnée, entre deux résultats d'analyses réalisées de manière indépendante dans des conditions de répétabilité ou de reproductibilité. Cette probabilité est fixée de manière conventionnelle à 0,95 (Norme ISO 5725).

Ainsi, par exemple, lorsqu'un laboratoire affiche pour une analyse de l'indice de Zélény une répétabilité de 2 ml, cela signifie que 95 fois sur 100, l'écart entre deux mesures sera inférieur à cette limite.

De la même façon, une reproductibilité de 4 ml implique que 95 fois sur 100, la différence entre les résultats de l'analyse d'un même échantillon soumis à deux laboratoires d'un réseau ou soumis à un même laboratoire à un intervalle de temps relativement long ne dépassera pas cette valeur. Ces limites supposent toutefois que les sous-échantillons qui sont analysés proviennent d'un lot homogène et que les conditions de conservation n'ont aucune influence sur l'évolution des grandeurs analytiques mesurées. Les ordres de grandeur de ces paramètres de fidélité donnés au tableau 3 sont repris des normes correspondant aux paramètres et des valeurs de tolérance retenues par le BIPEA (Bureau Interprofessionnel d'Etudes Analytiques). Ce bureau français organise des essais interlaboratoires sur de nombreuses matrices notamment agricoles.

figure 2

Illustration de la justesse et de la fidélité.



Pour l'utilisateur, les résultats d'une analyse réalisée par un laboratoire peuvent être associés à des limites d'incertitude qui se calculent de manière analogue aux limites de reproductibilité intralaboratoire. Elles définissent un intervalle de confiance à l'intérieur duquel la valeur vraie devrait se trouver 95 fois sur 100, traduisant de cette manière le fait qu'un résultat, quel que soit le soin apporté à la réalisation de l'analyse, n'est jamais qu'une estimation de cette valeur qui reste inconnue.

tableau 3

Limites de répétabilité et de reproductibilité des différentes mesures de la qualité des froments (normes correspondant aux paramètres et valeurs de tolérance retenues par le BIPEA).

Paramètre analytique	Limite de répétabilité (r)	Limite de reproductibilité (R)
Teneur en protéines (%)	0,20	0,30
Indice de chute de Hagberg (s)	5 % de la valeur observée	12 % de la valeur observée
Indice de Zéleny (ml)	2	2 si < 20 ml 10 % si > 20 ml
Test de l'Alvéographe Chopin	W 8 % de la valeur observée P 8 % de la valeur observée L 10 % de la valeur observée	W 10 % de la valeur observée
Teneur en eau (%) Référence Humidimètre	0,15 0,4 + 3 % de la valeur observée	0,30
Poids à l'hectolitre (kg/hl)	0,20	0,50

La qualité intrinsèque du froment et les mesures d'appréciation



Les qualités du froment

La qualité du froment peut être définie comme étant son aptitude à satisfaire aux exigences des procédés de fabrication des industries transformatrices et à celles des consommateurs. On comprendra dès lors, combien il s'agit d'une notion difficile à cerner tant les procédés et les produits issus de sa transformation sont nombreux, variés et en constante évolution.

L'utilisation des farines de froments en boulangerie, en pâtisserie, en biscuiterie et en amidonnerie requiert des caractéristiques qualitatives bien différenciées. De plus, au sein de ces différents secteurs d'utilisation, les exigences qualitatives sont encore segmentées de façon plus ou moins importante en fonction de la diversité des produits.

Avant toute utilisation, l'humidité constitutive, au niveau de la réception du froment, un paramètre déterminant l'aptitude au stockage et la nécessité d'un séchage préalable. Par ailleurs, le poids à l'hectolitre permet d'apprécier indirectement la valeur meunière correspondant au rendement en farine (d'une qualité déterminée) à partir d'une quantité donnée de grains.

Bien que les diverses valeurs d'utilisation se réfèrent à des procédés de fabrication différents, des paramètres analytiques communs servent à caractériser celles-ci: il s'agit notamment de la teneur en protéines, de l'indice de sédimentation de Zélény, du temps de chute de Hagberg, du W et du rapport P/L de l'alvéographe Chopin (voir p. 14 "Les mesures indirectes"). Le tableau 4 reprend pour ces critères de qualité les normes de la meunerie belge vis-à-vis des différentes utilisations.

tableau 4

Critères et normes de qualité de la meunerie belge pour la boulangerie, la biscuiterie et l'amidonnerie.

Critères	Boulangerie	Biscuiterie	Amidonnerie et industrie du gluten
Teneur en protéines (% matière sèche)	≥ 11,5	10,0 – 11,0	±11,5
Indice de Zélény (ml)	≥ 30	28 - 32	25 - 35
W Chopin	≥ 220	100 - 120	
P/L Chopin	0,3 à 0,7	0,4 à 0,6	
Hagberg (s)	≥ 220	≥ 220	≥ 220

La qualité boulangère

On peut définir une bonne valeur boulangère comme la possibilité pour une farine de fournir une pâte qui se laisse travailler normalement, fermentant bien, possédant une capacité d'absorption d'eau suffisante et qui, après cuisson, donne un pain de bon volume, à belle croûte, à bonne structure de mie et à saveur et odeur agréables.

La qualité boulangère d'un froment recouvre deux aspects:

Les qualités fermentaires sont liées à la richesse en sucres et à l'équilibre enzymatique (activité amylasique) de la farine. Celles-ci conditionnent l'aptitude de la pâte, dès l'adjonction de levure ou de levain, à produire du gaz carbonique (CO₂) à partir des sucres fermentescibles, à l'origine de la levée de la pâte. Le nombre de chute de Hagberg permet d'apprécier ce premier facteur.

Les qualités rhéologiques de la pâte ou force d'un froment sont définies par l'aptitude des farines à s'hydrater et de la pâte à se développer, grâce à la formation d'un réseau protéique capable de retenir le CO₂ produit lors de la fermentation. Ce réseau protéique se caractérise par ses propriétés de ténacité, d'élasticité et d'extensibilité. La teneur en protéines, l'indice de Zélény et l'alvéographe Chopin se rapportent à ce second facteur.

Les valeurs des différents paramètres qualitatifs requis pour la boulangerie varient en fonction du type de produit (pain de mie, baguette, brioche, ...), des habitudes alimentaires et du mode de fabrication (industriel ou artisanal, pétrins rapides ou lents, ...).

La qualité biscuitière

La qualité biscuitière d'un froment est difficile à définir en règle générale étant donné la diversité des produits et des procédés de fabrication dans ce secteur.

La commercialisation finale des biscuits s'effectuant le plus souvent en emballages de poids et de forme prédéterminés et devant renfermer un nombre prévu d'unités, les produits fabriqués doivent individuellement présenter après cuisson des dimensions et des formats réguliers pour une masse constante.

Par ailleurs, la qualité de la farine doit être définie aussi en fonction de ses interactions avec d'autres matières premières (graisses, sucres, produits de fourrage ou de nappage).

Les froments à faible force boulangère possédant une forte extensibilité de la pâte à l'essai à l'alvéographe présentent la meilleure aptitude pour la fabrication de ce type de produit.

Ces froments doivent également être peu riches en protéines (teneur inférieure à 11 %) et produire des farines à faible absorption d'eau.

La qualité amidonnière

Depuis quelques années, dans l'industrie de l'amidonnerie-glutennerie, la recherche d'une valorisation optimale de l'ensemble des constituants du grain se marque de plus en plus; le gluten n'étant plus le seul, les dérivés de l'amidon se font plus nombreux.

Ainsi, la qualité d'un froment en amidonnerie-glutennerie repose sur deux critères principaux, la facilité de séparation et donc la pureté du gluten et de l'amidon; et les quantités récupérées (évaluées notamment par les analyses réalisées au Glutomatic). Outre le critère de séparation, il est généralement admis qu'un froment amidonnier doit être un froment panifiable de qualité courante à supérieure avec une teneur en protéines moyenne et présentant une forte extensibilité (Dubois *et al.*, 1997).

Mesures d'appréciation de la qualité

Les échantillons prélevés lors de la réception chez le négociant-stockeur (voir p. 4 "Recommandations pour l'échantillonnage à la réception et au stockage") servent à déterminer la qualité du froment afin de constituer des lots de qualité différenciée. Les mesures de l'humidité et de la masse à l'hectolitre (mesures physiques) sont réalisées sur le site même de la réception car elles doivent être considérées pour la conduite du stockage. Certains négociants sont en outre équipés de spectromètres proche infrarouge pour la détermination sur graines entières de la teneur en protéines, sur laquelle peut se baser le classement des lots.

Un sous-échantillon est transmis à un laboratoire d'analyse agréé pour la détermination de la teneur en protéines, de l'humidité, de l'indice de Zélény et éventuellement du nombre de chute de Hagberg, conditionnant le paiement de la qualité (voir Barème SYNAGRA p. 32). Avant d'être soumis à l'analyse, les échantillons sont débarrassés des impuretés éventuelles.

Pour les analyses de routine réalisées en grand nombre et sur une courte période, les laboratoires de **REQUASUD** utilisent en réseau la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR), sur base d'appareils performants (monochromateurs) permettant des déterminations analytiques précises. La teneur en protéines est obtenue par une équation générale et l'indice de Zélény par des équations spécifiques à chaque variété. L'indice de chute de Hagberg généralement réalisé sur un nombre limité d'échantillons ne peut être prédit par SPIR et requiert donc l'utilisation de la méthode de référence.

Pour ce qui est des lots fournis par les négociants-stockeurs à la meunerie, des analyses sont également réalisées. Dans ce cas, les lots fournis étant généralement composés de mélanges de variétés, la détermination de l'indice de Zélény se fait par la méthode de référence.

Le règlement (CE) n°824/2000 reprend les méthodes normalisées en matière de céréales. Les laboratoires du réseau **REQUASUD** se basent sur celles-ci ou sur des normes équivalentes édictées soit par l'ISO (International Standard Organisation) soit par l'AFNOR (Association française de normalisation) (tableau 5). Les étalonnages SPIR (protéines et Zélény) sont établis à partir d'analyses de référence effectuées selon ces normes.

Les mesures physiques

Teneur en impuretés (en %)

On appelle impuretés, l'ensemble des éléments considérés conventionnellement comme indésirables dans l'échantillon. La méthode consiste à séparer les impuretés d'un échantillon par tamisage ou triage et à les quantifier par pesée (annexe III du règlement (CE) n°824/2000). On distinguera les grains endommagés, les grains étrangères à l'espèce, les débris végétaux et animaux, les particules minérales.

Teneur en eau (%) (norme NF V03 707: 2000)

Cette détermination est considérée pour la conduite des opérations de stockage (séchage) ou de transformation industrielle. Elle est par ailleurs indispensable pour rapporter les résultats des analyses à une base fixe (matière sèche) et permettre les comparaisons.

La méthode de référence consiste en un séchage à l'étuve à pression atmosphérique, à une température comprise entre 130 et 133°C, dans des conditions opératoires définies. La perte de masse observée dans les conditions spécifiées par la norme est équivalente à la quantité d'eau présente dans le produit.

La mesure par humidimètre (type Multigrain - Dickey John) permet une détermination rapide de la teneur en eau. Les humidimètres sont utilisés sur les sites de réception. Ceux-ci mesurent une caractéristique électrique des grains, variable en fonction de leur état d'hydratation, reliée après étalonnage à la teneur en eau des grains.

Avec ce type d'appareil, en plus des

tableau 5

Relevé des normes utilisées au sein du réseau REQUASUD et correspondance avec les prescriptions du règlement (CE) n°824/2000

Paramètres	Normes internationales	Règlement (CE) n°824/2000
Impuretés		Annexe III
Humidité	NF V 03-707 : 2000	Annexe IV ou ISO 712 : 1998 ou technologie infrarouge
Vérification des humidimètres	ISO/DIS 7700-1 : 1999	
Caractère non collant et machinable de la pâte		Annexe V
Teneur en protéines	NF V 03-750 : 1999 (Kjeldahl) ou ICC 167 (Dumas) ou technologie infra-rouge	ICC 105/2
Indice de Zélény	ISO 5529 : 1992 ou technologie infra-rouge	ISO 5529 : 1992
Nombre de chute de Hagberg	NF V 03-703 : 1997	ISO 3093 : 1982
Poids spécifique ou poids à l'hectolitre	ISO 7971-2 : 1995	ISO 7971-2 : 1995
Alvéographe Chopin	ISO 5530-4 : 1991	
Farinographe Brabender	ISO 5530-1 : 1997	

précautions à prendre au moment de l'échantillonnage, les conditions suivantes doivent être respectées pour l'obtention de résultats corrects :

- l'étalonnage doit être régulièrement vérifié;
- les échantillons de grains doivent présenter les mêmes caractéristiques que ceux ayant servi à l'étalonnage, et donc répondre aux spécifications suivantes :
 - > être sains, à maturité physiologique normale, exempts de phénomènes de fermentation ou de début d'altération,
 - > ne pas avoir séjourné dans un récipient ou un sachet fermé, du fait des phénomènes de condensation à la surface des grains qui pourraient fausser la mesure,
 - > être exempts d'impuretés et de grains cassés (nécessité d'un nettoyage préalable),

> être en équilibre thermique avec l'appareil de mesure et la pièce où il se trouve,
 > l'eau doit être répartie de façon homogène dans l'échantillon; cela implique que les graines ayant subi une pluie ou un séchage récent doivent être stabilisées avant la mesure.

Les performances analytiques de ces appareils peuvent être vérifiées par rapport à la méthode de référence en utilisant la norme ISO/ DIS 7700-1 : 1999.

Masse à l'hectolitre (kg/hl) (Norme ISO 7971-2 : 1995)

La masse volumique ou masse à l'hectolitre, appelée communément poids spécifique (PS), est une mesure ancienne qui remonte à l'époque où l'on mesurait la quantité de

grains au volume. La masse à l'hectolitre est calculée à partir de la masse d'un litre de grain, évaluée grâce à un Niléma-litre et est exprimée en kg/hl. La masse à l'hectolitre est toujours prise en compte dans les transactions bien que son intérêt technique soit contestable.

En effet, de nombreuses études ont montré les imperfections de cette mesure qui est influencée par différents facteurs comme l'importance de l'espace intergranulaire, le tassement des grains, la nature et la quantité des impuretés présentes dans l'échantillon, la teneur en eau, ...

Au niveau des sites de réception les mesures sont effectuées avec des humidimètres (type Dickey-John) disposant d'une cellule de volume fixe et d'un mécanisme de pesée. Ce type de dispositif équipe certains spectromètres infrarouges parmi les plus récents.

Les mesures indirectes

La teneur en protéines, l'indice de Zélény, le temps de chute de Hagberg et le test à l'alvéographe Chopin sont des mesures prédictives de la valeur d'utilisation des froments, fondées sur les connaissances de la rhéologie des pâtes et sur les relations entre les constituants du grain et la qualité.

Ces mesures sont dites indirectes, car pour pouvoir être interprétées dans l'appréciation de la qualité, elles ont dû préalablement être mises en relation avec les observations des industries de transformation ou des mesures globales telles que les tests de panification, les tests biscuitiers, ...

La teneur en protéines (en % de la matière sèche)

La teneur en protéines est un critère important dans l'appréciation de la qualité, pour l'alimentation humaine (valeur d'utilisation), mais également pour l'alimentation animale (valeur alimentaire). Compte tenu des relations qui existent entre la teneur en protéines et la valeur d'utilisation des variétés, c'est un des critères intéressants à prendre en compte dans le classement des lots à la réception.

La méthode de référence consiste à mesurer la teneur en azote par une méthode chimique (méthode de Kjeldahl selon la norme NF V03-750 : 1999 ou méthode Dumas selon la norme ICC 167:2000), cette teneur étant ensuite multipliée par un facteur de conversion (5,70 pour l'alimentation humaine; 6,25 pour l'alimentation animale).

La détermination de la teneur en protéines par spectrométrie dans le proche infrarouge est également une méthode agréée en Belgique (AM du 26/08/1988), et a été approuvée par l'Association Internationale de Chimie et Technologie Céréalières (ICC N° 159 : 1995).

L'indice de Zélény (en ml) (norme ISO 5529 : 1992)

L'indice de Zélény (ou indice de sédimentation) est un indicateur de la qualité des protéines.

Le principe de sa mesure repose sur l'aptitude des protéines de la farine à gonfler

en milieu acide. L'indice de Zélény correspond au volume du dépôt obtenu après agitation et sédimentation d'une préparation de farine en suspension dans un réactif (acide lactique, isopropanol et colorant). La mouture est réalisée sur un moulin spécifique, qui fait partie intégrante de la méthode.

L'indice de chute de Hagberg (en secondes) (norme NF V03-703 : 1997)



L'indice de chute de Hagberg mesure indirectement l'activité des amylases (enzymes dégradant l'amidon) qui peut devenir excessive en cas de présence de grains germés ou en voie de germination. Un froment dont l'activité amylasique est trop importante ne convient pas aux industries de cuisson et doit être orienté vers une autre utilisation. A l'inverse, une activité amylasique insuffisante en vue de l'utilisation de la farine en boulangerie, peut être corrigée par l'ajout de malt ou d'amylose fongique.

Le principe de la méthode repose sur la mesure de la viscosité d'un empois formé par la gélatinisation d'une suspension aqueuse de farine placée dans un bain d'eau bouillante. L'évolution de la viscosité, liée à l'activité des enzymes, est appréciée par le temps mis par un agitateur pour traverser la préparation sous l'effet de son propre poids. Une activité amylasique importante provoque la liquéfaction rapide de l'empois et la durée de chute de l'agitateur est courte (faible indice de chute de Hagberg). Inversement, un froment à faible activité enzymatique a un indice de chute de Hagberg élevé. L'indice de chute de Hagberg, exprimé en secondes, globalise la durée d'agitation de la préparation (60

secondes) et celle de la chute de l'agitateur.
Un indice de chute peut varier entre 60 et 500 secondes et ne peut jamais être inférieur à 60 secondes.

L'alvéographe Chopin (norme ISO 5530-4 : 1991)



L'essai à l'alvéographe évalue les caractéristiques rhéologiques d'une pâte à hydratation constante (force boulangère, extensibilité, ténacité et élasticité) et permet de prédire l'aptitude d'une farine à la fabrication de produit de cuisson (pains, biscuits, gâteaux, ...).

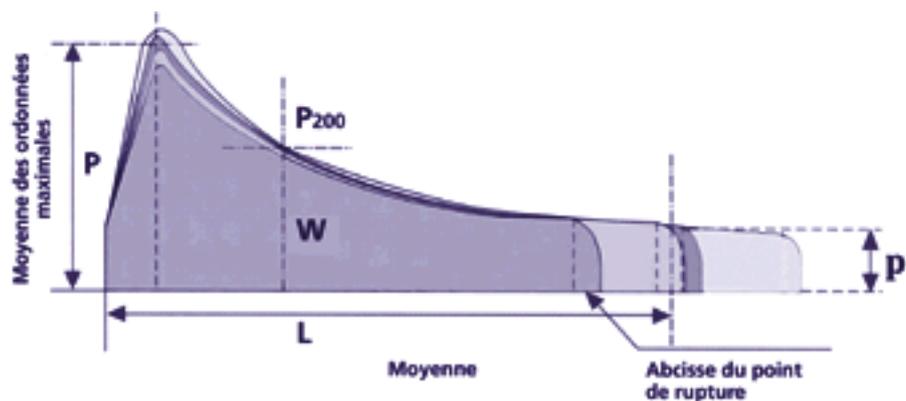
Le principe de la mesure repose sur le gonflement d'un échantillon de pâte soumis à une pression d'air. Le volume de la bulle formée est fonction de l'extensibilité de la pâte. L'évolution de la pression dans la bulle, en fonction du temps, est mesurée et reportée sous forme de courbe appelée alvéogramme.

Cet alvéogramme est caractérisé par les paramètres suivants:

- W la surface de l'alvéogramme W (en 10^{-4} Joule/g de pâte) représente le travail de déformation de la pâte jusqu'à la rupture et exprime la force de la farine.
- P (en millimètres d'eau): pression maximale (la pression est enregistrée avant que le disque de pâte ne commence à gonfler); P est en relation avec la ténacité de la pâte.
- L (en millimètres): longueur correspondant à l'allongement maximum de la bulle, en rapport avec l'extensibilité de la pâte.
- le rapport P/L donne une indication de l'équilibre entre ténacité et extensibilité de la pâte.

figure 3

Courbe type obtenue avec l'alvéographe Chopin



W = travail de déformation (en 10^{-4} joule), P = pression maximale (en mm d'eau),
P200 = pression mesurée après injection de 200 cm³ d'air (en mm d'eau),
L = extensibilité ou longueur de la courbe (en cm)

Deux farines peuvent avoir la même force boulangère (W) et être de qualité complètement différente au niveau de l'extensibilité (L) et de la ténacité (P), c'est pourquoi les valeurs W et P/L figurent toujours ensemble. Plus récemment, la notion d'indice d'élasticité a été introduite (I_e (%)) = $(P200/P) * 100$ où P200 est la pression enregistrée après avoir insufflé 200 cm³ d'air correspondant à un L de 40 mm). Ce paramètre est étroitement corrélé avec l'élasticité des pâtes dans les industries de cuisson. Pour la panification, la valeur de I_e devrait idéalement être comprise entre 50 et 55 %. La figure 3 montre une courbe type obtenue à l'alvéographe.

L'alvéo-consistographe (norme ISO 5530-4 : 1991)

Cet appareil résulte de l'ajout de capteurs de pression au pétrin de l'alvéographe et ainsi permet la mesure du potentiel d'hydratation des farines (comme le farinographe), la mesure du comportement de la pâte au pétrissage et l'étude des propriétés rhéologiques des pâtes à hydratation adaptée. Contrairement au protocole standard de mesure à l'alvéographe, l'eau est ajoutée en fonction de la capacité d'absorption d'eau de la farine et non plus de manière constante.

Le farinographe Brabender (norme ISO 5530-1 : 1997)

Le farinographe permet de mesurer la capacité d'absorption d'eau d'une farine pour atteindre une consistance de pâte fixée (500 Unité Brabender). Le malaxage de la pâte ainsi formée se poursuit afin d'évaluer sa résistance au travail mécanique (degré d'affaiblissement de la pâte après 10 et 12 minutes). Ce dernier critère est particulièrement important pour des processus industriels imposant aux pâtes des contraintes mécaniques importantes lors du pétrissage et de la panification.

Le caractère non-collant et machinable (règlement (CE) n°824/2000)

Ce critère intervient pour la détermination de la qualité des froments destinés à l'intervention lorsque les autres critères sont rencontrés : impuretés, protéines (> 10,5 %), Hagberg (> 220 secondes), Zélény (> 22 ml). Une pâte est préparée à partir de farine, d'eau, de levure, de sel et de saccharose dans un pétrin déterminé. Après division et boulage, les pâtons reposent 30 minutes; ils sont façonnés, placés sur des plaques de cuisson et cuits après une fermentation finale d'une durée déterminée. Les propriétés technologiques de la pâte sont notées (caractère non collant et machinable ou caractère collant et non machinable). La méthode est décrite dans l'annexe V du règlement (CE) n°824/2000.

La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) : la voie rapide de l'analyse

Principe de fonctionnement de la SPIR

Le principe de la méthode repose sur l'absorption d'énergie par les différents constituants de la matière organique (protéines, matière grasse, fibres, sucres, etc.) sous l'effet d'un faisceau lumineux dont les longueurs d'onde sont comprises entre 780 et 2500 nm, chaque constituant ayant un spectre d'absorption spécifique dans le proche infrarouge.

Le spectre d'un échantillon intègre les absorptions élémentaires de chaque constituant auxquelles viennent s'ajouter les interférences liées à la complexité du produit et aux caractéristiques physiques de l'échantillon.

La spectrométrie dans le proche infrarouge ne permet donc pas un dosage direct des constituants; il s'agit d'une méthode indirecte qui se réfère à un étalonnage par rapport aux méthodes de référence.



L'étalonnage consiste à développer un modèle mathématique reliant les données spectrales aux valeurs obtenues par les méthodes de référence, d'une population d'échantillons représentatifs du produit à analyser. Un modèle doit être établi pour chaque produit et chaque constituant. Une fois ce modèle établi, il est utilisé en routine sur base des données optiques uniquement, pour analyser rapidement de grandes séries d'échantillons, et pour une détermination simultanée de plusieurs paramètres.

La performance d'une équation est évaluée sur base de 2 paramètres statistiques:

- le coefficient de détermination R^2 qui exprime la part de variation du critère mesuré expliquée par le modèle,
- l'erreur standard de prédiction SEP qui correspond à l'écart-type des écarts entre la valeur prédite et la valeur analytique.

Un étalonnage est d'autant plus performant que la valeur de R^2 est proche de 1 et que la valeur SEP proche de la reproductibilité intralaboratoire de la méthode de référence correspondante.

En faisant abstraction du bon fonctionnement des appareils et du respect des procédures standardisées d'utilisation de ceux-ci (par ex: séchage et présentation des échan-



tillons, température de mesure, ...), la fiabilité que l'on peut accorder au résultat d'une détermination par SPIR est donc principalement liée à la qualité de l'étalonnage utilisé, à la connaissance et au respect de ses limites. Le spectre d'un échantillon analysé doit être similaire à ceux ayant servi à l'élaboration du modèle et le niveau du paramètre à prédire doit être inclus dans la gamme de variation prise en compte dans l'étalonnage. En aucun cas cet étalonnage ne peut être extrapolé.

Dans le cadre de **REQUASUD**, huit spectromètres infrarouge (monochromateurs Foss-NIRSystems 5000), répartis dans les laboratoires partenaires en région wallonne, sont gérés et coordonnés par le laboratoire de référence (Département Qualité des Productions Agricoles du CRA).

Cette organisation permet :

- de garantir l'homogénéité des réponses instrumentales (l'ensemble des appareils étant standardisés par rapport à l'appareil "maître" du Département Qualité);
- d'utiliser les mêmes étalonnages sur différents appareils;
- de contrôler et d'améliorer les performances analytiques des étalonnages par un grand nombre de contrôles fournis par l'ensemble des laboratoires.

Initialement, les mesures SPIR étaient effectuées sur des échantillons broyés. Depuis quelques années, les mesures SPIR sont effectuées sur grains entiers. L'hétérogénéité du grain est alors compensée par la mesure d'un échantillon plus important et par un balayage plus long.

Prédiction de la teneur en protéines

En ce qui concerne la détermination de la teneur en protéines, un modèle unique est applicable à toutes les variétés de froment.

Avec le développement de dispositifs permettant la mesure de grains entiers, de nouvelles bases de données ont été constituées en intégrant une grande variabilité d'échantillons (point de vue variétal, géographique, phytotechnique, pédologique et climatique). Les performances analytiques des modèles établis sur grains entiers sont équivalentes à la reproductibilité de la méthode de référence ($R^2 = 0,95$; $SEP = 0,28$).

Prédiction de l'indice de Zélény

L'estimation de l'indice de Zélény au moyen d'un modèle établi sur l'ensemble des variétés s'est avérée dès le départ d'une précision insuffisante. En effet, une distorsion était constatée, due aux différences génétiques et à la liaison entre la teneur en protéines et l'indice de Zélény spécifique à chaque variété. Des équations particulières ont donc été développées pour chaque variété apparaissant dans les échantillons analysés. Le développement et la validation des équations "Zélény" représentent un travail de contrôle important étant donné la multiplicité des variétés présentes chaque année dans les échantillons réceptionnés et également l'apparition continue de nouvelles variétés.

L'incertitude de mesure liée à la détermination de l'indice de Zélény par SPIR au niveau de **REQUASUD**, varie de 2 à 3 ml selon les variétés. L'imprécision augmente légèrement (sans jamais dépasser 4 ml) pour des variétés de Zélény élevé, cela étant dû à la méthode de référence elle-même, moins reproductible pour les hautes valeurs (les normes requièrent une reproductibilité intralaboratoire de 10% de la valeur mesurée supérieure à 20 ml, soit 4 ml pour un Zélény de 40 ml). A titre de comparaison, une équation générale, toutes variétés confondues, conduit à une incertitude de 8 ml sur ce paramètre. Si une équation générale peut convenir dans une optique de classement des lots, comme cela se fait parfois dans le négoce, elle est peu adaptée pour la fourniture de valeurs devant déterminer le paiement.

Evolution de la qualité du froment en fonction des années et des conditions météorologiques



Si les relations entre les facteurs météorologiques et la croissance ou le développement des céréales (en particulier du froment d'hiver) sont en général bien connues, leur influence sur la qualité de celles-ci n'a été mise en évidence qu'à l'occasion d'un nombre limité de travaux réalisés dans des conditions culturales bien spécifiques. Au sein de **REQUASUD**, on dispose de nombreux résultats sur la qualité du froment d'hiver en région wallonne depuis 1989. Partant de cet acquis, il est possible d'analyser l'influence des variables climatiques sur la qualité du froment d'hiver en région wallonne.

Afin d'étudier cette influence, on a pris en considération uniquement les deux dernières phases critiques de la croissance et du développement précédant la récolte, à savoir la phase qui va du début de la formation de l'épi à la floraison (1^{er} avril au 15 juin) et la phase qui va de la floraison à la maturité (15 juin au 31 juillet). Les valeurs moyennes des températures, du rayonnement et de l'évapotranspiration potentielle ainsi que le logarithme des totaux des précipitations, pour la région de Gembloux, ont été calculés pour ces deux phases.

L'étude des relations entre les paramètres déterminant la qualité et les principales variables climatiques calculées pour chacune des phases de croissance doit pouvoir tenir compte de l'évolution de l'ensemble des facteurs phytotechniques qui influencent les productions. En particulier, l'évolution du niveau des intrants (engrais, pesticides), le développement de nouvelles techniques et le choix de nouvelles variétés sont des informations difficiles à qualifier et qui ne sont pas directement disponibles.

Pour suppléer à ce manque d'information, une fonction de tendance technologique a été calculée pour chaque paramètre en fonction du temps. La valeur estimée par cette fonction (régression linéaire simple) est soustraite des valeurs observées chaque année pour calculer des écarts de rendements (résidus) qui sont, en principe, indépendants de la tendance technologique et peuvent alors être utilisés pour calculer les relations avec les variables climatiques. Les corrélations obtenues pour les deux dernières phases de croissance précédant la récolte sont résumées au tableau 6 (p. 23). Ce tableau donne également les corrélations entre les paramètres de qualité et leurs rendements moyens observés pour la région wallonne, et permet d'interpréter l'influence des conditions météorologiques sur la qualité.

Comme il fallait un peu s'y attendre, ces corrélations sont globalement faibles, ce qui s'explique à la fois par la définition approximative des phases de croissance et par le calcul qui est réalisé à partir de valeurs moyennes des paramètres qualitatifs établis pour l'ensemble de la région wallonne. A ce stade, la démarche qui est proposée, n'a pas pour objectif d'effectuer des prévisions de la qualité du froment d'hiver en fonction des conditions météorologiques, mais de dégager des tendances générales dont les détails pourront être révélés à l'occasion d'analyses plus fines.

Teneur en protéines

L'évolution de la teneur moyenne en protéines des échantillons analysés au sein du réseau **REQUASUD** depuis 1989 (figure 4) montre une diminution significative de ce paramètre en fonction du temps. Sur les dix dernières années, on a pratiquement perdu 0,5 % par rapport au niveau initial. Cette réduction s'explique notamment par le choix de variétés qui sont caractérisées par une meilleure répartition des réserves dans les grains. Une tendance équivalente a également été observée au Royaume-Uni par Smith et Gooding (1999) qui notent une réduction de l'ordre de 0,65 % au cours des 20 dernières années, probablement en raison d'une meilleure adaptation des fumures azotées dont l'importance a progressivement été réduite.

D'une manière générale, les teneurs en protéines sont liées ($r = 0,58$) aux niveaux de rendements obtenus à l'issue des différentes saisons. On considère, en général, que des conditions du milieu qui favorisent la croissance des cultures et l'augmentation de leur biomasse contribuent ainsi à la dilution de l'azote assimilé par la plante et donc à une diminution de la teneur en protéines.

Benzian et Lane (1986) ont mis en évidence l'effet de la température moyenne sur la période de remplissage des grains. D'après ces auteurs, la durée de la période de remplissage est raccourcie par des conditions de températures élevées, ce qui réduit l'accumulation totale des hydrates de carbone, mais n'affecte pas, dans une même proportion, l'assimilation de l'azote, de sorte que, dans ces conditions, on devrait plutôt s'attendre à une augmentation des teneurs en protéines. Cette relation n'a cependant pas pu être vérifiée pour nos conditions culturales où la température pendant les deux dernières phases de croissance ne semble pas exercer une influence significative.

Hagberg

La figure 5 montre également une diminution du nombre de chute de Hagberg, de l'ordre de 68 unités au cours des 10 dernières années.

figure 4

Evolution des valeurs moyennes de la teneur en protéines du froment d'hiver en région wallonne (période 1989-2002).

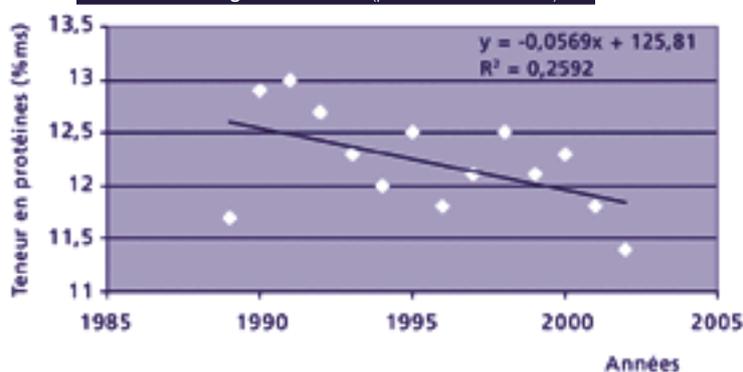
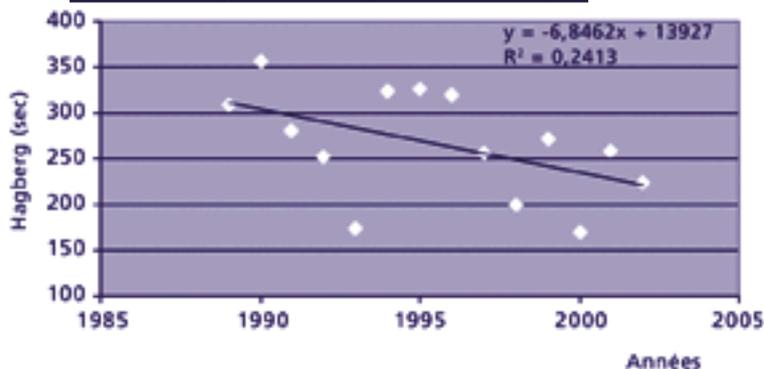


figure 5

Evolution des valeurs moyennes du nombre de chute de Hagberg du froment d'hiver en région wallonne (période 1989-2002).



L'effet des températures, au cours de la phase de remplissage et de maturation des grains, semble être déterminant pour expliquer la valeur de ce paramètre. Il est tout à fait conforme aux résultats de travaux qui ont montré que la variation de l'activité de l'alpha amylase et de la valeur du nombre de chute de Hagberg pouvait être associée à la vitesse d'assèchement des grains et à l'évaporation potentielle observée durant cette période. Des températures élevées, durant la période qui précède la maturité, peuvent en effet réduire les périodes critiques durant lesquelles les grains restent humides sous l'influence de conditions ambiantes défavorables en limitant le risque de germination et de production d'alpha amylase qui lui est associé.

Des grains de froment qui se développent dans une atmosphère plutôt froide auront également tendance à voir leur dormance plus facilement levée que des grains qui sont produits dans un environnement chaud, ce qui entraînera d'autant plus facilement leur germination. Ce phénomène est accentué par la présence de périodes pluvieuses qui retardent encore le moment de la récolte. Comme les périodes plus froides, au moment de la maturation des grains, coïncident également avec des périodes pluvieuses avec un ensoleillement réduit, il est difficile en pratique de distinguer l'effet de ces deux facteurs sur le nombre de chute de Hagberg.

Dans le tableau 6 (p.23), le rayonnement moyen et le total des précipitations observées durant la phase 2, avec respectivement des coefficients de corrélation de 0,56 et -0,59, sont les facteurs qui semblent avoir la plus grande influence sur le nombre de chute de Hagberg. Durant cette période, des températures maximales moyennes et des évaporations potentielles élevées sont également favorables à l'obtention de valeurs élevées du Hagberg. Il faut noter que l'effet des températures durant la première phase de croissance qui a été définie dans cette étude, semble jouer dans un sens opposé, puisqu'à des températures élevées sont en général associées des valeurs de Hagberg plus faibles.

figure 6

Valeurs moyennes de l'indice de chute de Hagberg du froment d'hiver en région wallonne (saison 2002).

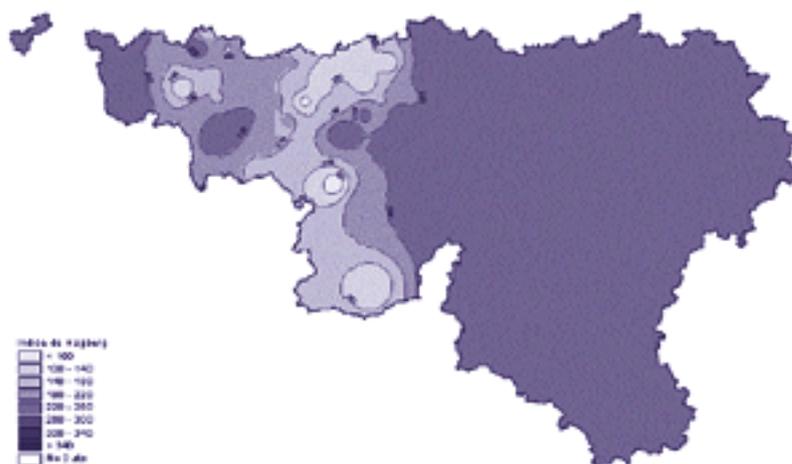
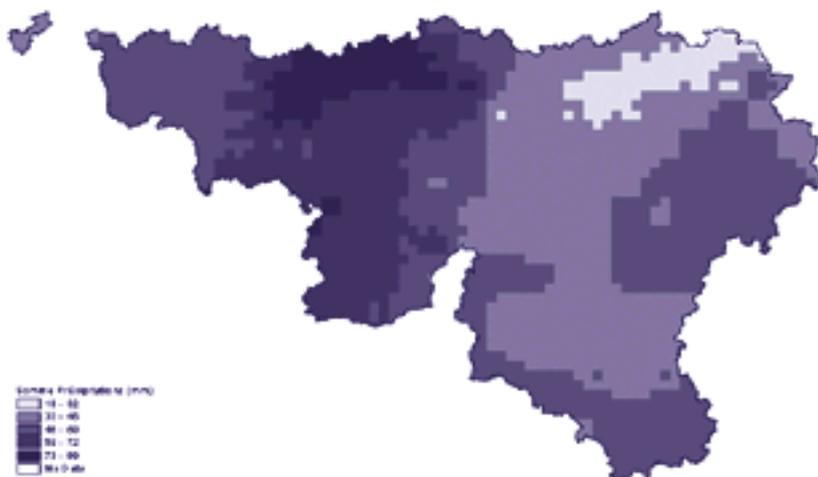


figure 7

Total des précipitations observées en région wallonne du 1^{er} août au 10 août 2002.



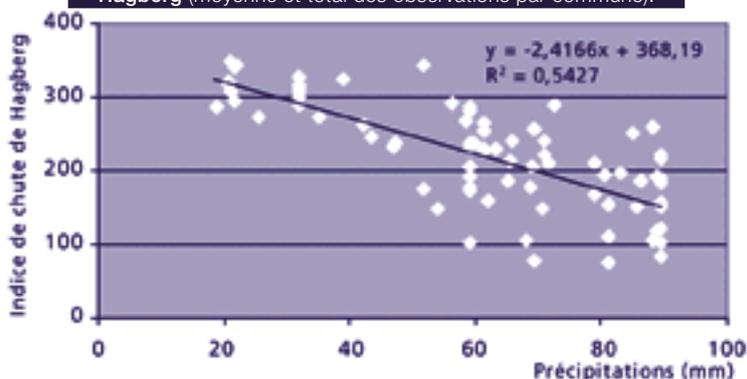
On peut illustrer ces différentes observations en considérant les résultats des mesures de la campagne 2002. Au cours de cette année, on considère en effet que la période de pluie au début août est à l'origine de la diminution importante du nombre de chute de Hagberg qui a été observée dans différentes régions du pays. L'analyse des résultats disponibles, au sein de la base de données de **REQUASUD**, a permis de dresser une carte (figure 6) montrant la variation de ce paramètre au travers des différentes parties du territoire de la région wallonne.

L'est de la région wallonne apparaît ainsi comme une zone privilégiée avec des valeurs moyennes de l'indice de chute de Hagberg égales ou supérieures à 250. Pour les zones les plus touchées par les intempéries observées au début du mois d'août (ouest de la région), on observe rarement des valeurs de Hagberg dépassant 220s avec à certains endroits des zones inférieures à 100s. Ces observations peuvent être mises en relation avec la carte des précipitations (figure 7) observées entre le 1er et le 10 août.

On note une bonne cohérence entre les deux cartes. Celle-ci est confirmée à la figure 8 qui montre la relation entre la valeur moyenne du Hagberg observée dans chaque commune de Wallonie en 2002 et le total des précipitations correspondantes durant la première décennie du mois d'août. On voit clairement que, pour les communes où le total des précipitations est resté inférieur à 40 mm, le nombre de chute de Hagberg est resté proche de 300s. La dispersion des résultats le long de la droite de régression traduit l'influence du moment de la récolte sur le résultat final. Dans certaines communes où les conditions ont permis une récolte précoce du froment (avant les précipitations), la valeur du nombre de chute de Hagberg est restée élevée. Par contre, dans les autres situations, cette valeur s'est progressivement dégradée en fonction de l'importance des événements pluvieux et de la récolte plus tardive qui ont favorisé la germination et l'augmentation de l'activité alpha amylasique des froments.

figure 8

Influence du total des précipitations observées entre le 01/8/2002 et le 10/8/2002 sur les valeurs de l'indice de chute de Hagberg (moyenne et total des observations par commune).



Poids à l'hectolitre

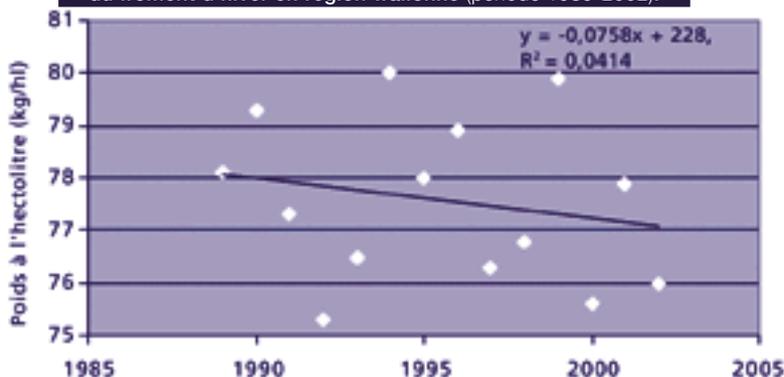
Le poids à l'hectolitre est resté relativement stable dans le temps avec une valeur oscillant autour de 77,5 g (figure 9).

Le tableau 6 (p.23) montre que les conditions climatiques lors de la dernière phase de la croissance des plantes, influencent de manière significative le poids à l'hectolitre. Les relations sont analogues à celles observées pour le nombre de chute de Hagberg, à savoir que les fonctions qui favorisent l'évaporation (températures élevées, rayonnement) sont favorables à l'obtention d'un poids à l'hectolitre élevé. A l'inverse, des conditions plus humides et plus froides allongent la durée de la période de récolte et augmentent le risque

de diminution du poids spécifique sans que l'on puisse préciser s'il s'agit d'un effet direct de la température ou de l'humidité. Le poids à l'hectolitre est lui-même un caractère assez complexe qui est influencé par la densité des grains et leur morphologie. La densité peut être associée à la teneur en protéines, tandis que la morphologie est influencée par les conditions de séchage (assèchement des grains) qui peuvent dépendre de l'humidité de l'air, du développement de maladies ou d'un nombre excessif de grains déterminé par des facteurs environnementaux intervenant plus tôt dans la saison.

figure 9

Evolution des valeurs moyennes du poids à l'hectolitre du froment d'hiver en région wallonne (période 1989-2002).



Indice de Zélény

L'examen de l'évolution de l'indice de Zélény (figure 10) montre également une réduction progressive, au cours de ces dernières années (± 2 ml en moyenne sur 10 ans). Comme pour les autres paramètres, cette réduction peut être attribuée à un changement de stratégie dans les choix variétaux qui constitue probablement le facteur déterminant des différences observées. L'indice de Zélény est en effet un indicateur de la qualité des protéines liées aux différentes fractions protéiques présentes qui dépendent essentiellement de la variété. Les conditions du milieu peuvent également affecter ces différentes fractions et en particulier les fractions à faible poids moléculaire (gliadines, albumines et globulines).

Les conditions climatiques qui influencent l'indice de Zélény sont les mêmes que pour le poids à l'hectolitre et le Hagberg, mais elles agissent dans le sens opposé. Des conditions de temps sec et chaud ont plutôt tendance à augmenter les fractions de protéines favorisant l'obtention de farines avec un indice de Zélény élevé.

Rapport Zélény/Protéines

Contrairement aux valeurs de la teneur en protéines ou de l'indice de Zélény pris individuellement, le rapport de ces deux paramètres ne montre aucune tendance significative en fonction du temps (figure 11).

D'une manière générale, les variables climatiques qui semblent avoir une influence sur ce rapport sont les mêmes que celles qui agissent sur les composantes, mais les relations sont moins étroites. Les corrélations les plus élevées sont observées pour les précipitations ($r = 0,38$) et le rayonnement ($r = -0,40$) durant la deuxième phase de croissance.

figure 10

Evolution des valeurs moyennes de l'indice de Zélény du froment d'hiver en région wallonne (période 1989-2002).

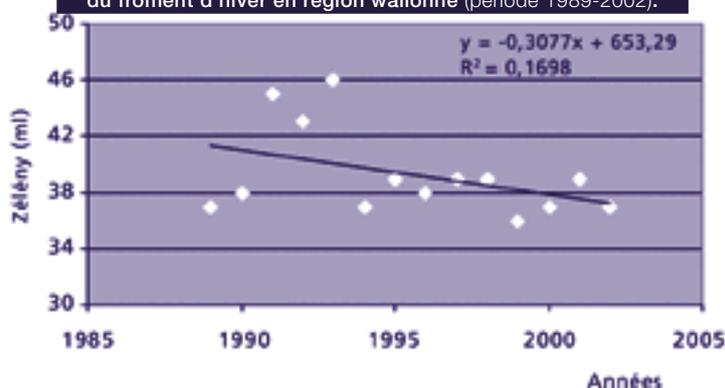


figure 11

Evolution des valeurs moyennes du rapport Zélény/Protéines du froment d'hiver en région wallonne (période 1989-2002).

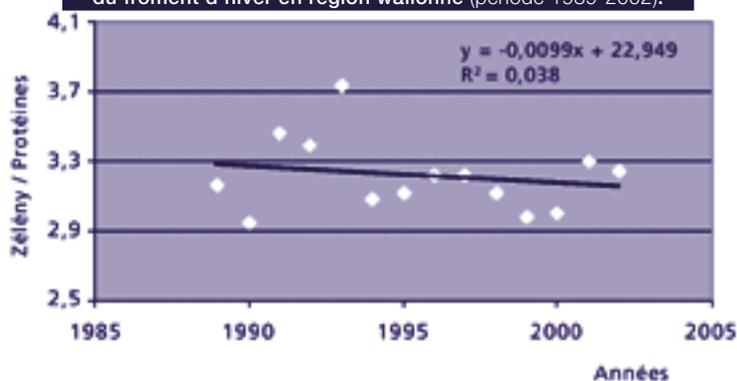


tableau 6

Corrélations entre les paramètres de la qualité du froment d'hiver et les principales variables climatiques observées pour les deux phases de croissance précédant la récolte ainsi que les rendements en grains moyens observés pour la région wallonne.

	Poids à l'hectolitre	Protéines	Zélény	Hagberg	Zélény/Protéines
Tmin 1	-0,21	0,11	0,21	-0,56	0,09
Tmin 2	0,24	0,00	0,06	0,28	-0,10
Tmax 1	-0,30	-0,04	0,13	-0,53	0,14
Tmax 2	0,53	-0,27	-0,42	0,55	-0,29
Tmoy 1	-0,27	0,04	0,18	-0,57	-0,00
Tmoy 2	0,44	-0,18	-0,31	0,48	-0,29
Log RR1	-0,21	0,12	-0,10	-0,33	-0,22
Log RR2	-0,65	0,38	0,55	-0,59	0,38
ETP1	-0,11	-0,34	-0,05	-0,22	0,09
ETP2	0,67	-0,29	-0,50	0,56	-0,38
Rn1	-0,06	-0,32	-0,34	0,06	-0,16
Rn2	0,60	-0,28	-0,54	0,56	-0,40
Rendements	0,08	0,58	-0,36	-0,26	-0,13

Tmin : température minimale moyenne.

Tmax : température maximale moyenne.

Tmoy : température moyenne.

Log RR : logarithme décimal du total des précipitations.

ETP : évapotranspiration potentielle moyenne.

Rn : rayonnement global moyen.

Indice 1 : période allant de la fin de l'épiaison à la floraison.

Indice 2 : période allant de la fin de la floraison à la maturité.

Considérations nouvelles pour la qualité du froment



Qualité boulangère

L'activité alpha-amylasique

En Belgique, dans les tractations commerciales entre les partenaires de la filière meunerie - boulangerie, le temps de chute de Hagberg est le premier critère examiné pour estimer l'aptitude d'un lot de froment à la panification. Il devient prépondérant en cas de faibles valeurs. En effet, un Hagberg faible témoigne, en principe, d'un excès d'activité amylasique et peut conduire, dans les cas extrêmes, au déclassement immédiat du lot sans considération des autres paramètres de qualité technologique habituellement pris en compte tels que la teneur en protéines et l'indice de sédimentation selon Zélény (Barème SYNAGRA). La pré-germination entraîne une diminution des poids à l'hectolitre. Dès lors, les primes qui y sont liées sont également compromises.

Ces dernières années, la filière meunerie - boulangerie a été confrontée très fréquemment, à des froments présentant des faibles valeurs de Hagberg. Ceux-ci étaient souvent, mais pas toujours, la conséquence logique de conditions climatiques défavorables ayant induit des phénomènes de germination sur pied. Un projet spécifique intitulé "Caractérisation des facteurs influençant la structure de l'amidon et ses conséquences sur la valorisation du froment indigène" et financé par le Ministère de la Région wallonne (DGA, Recherche subventionnée) a été initié. Ce projet mené par les Unités de Technologie des IAA et de Phytotechnie des Régions tempérées (FUSAGx) et le Département Qualité vise une meilleure compréhension de l'état de l'amidon et des activités enzymatiques. Les problèmes récurrents de faibles valeurs de Hagberg sont-ils dus aux seules alpha-amylases ou masquent-ils des différences d'état de l'amidon? Quels sont les facteurs influençant cet état de l'amidon (variétal, phytotechnique, environnemental, climatique, ...)? Quelles méthodes culturales et analytiques faut-il proposer aux intervenants de la filière pour identifier et définir la meilleure adéquation des froments à leurs utilisations? C'est pour apporter des réponses à ces questions que la méthode du nombre de chute de Hagberg ainsi que des méthodes alternatives basées sur l'analyse rhéologique de l'amidon et/ou sur la détermination de l'activité des alpha-amylases sont étudiées.

Bien que délicat et imparfait, un système d'analyse du Hagberg en pré-récolte a été mis en place afin d'opérer une "surveillance Hagberg" et d'avertir la filière d'un risque éventuel. Un kit spécifique aux alpha-amylases basé sur une réaction de type antigène – anticorps (Wheat Rite®), a été développé par un consortium australien constitué de sociétés privées et d'instituts publics de recherches (Quality Wheat CRC) (Skeritt, 2000). Dans sa forme actuelle, ce kit est intéressant pour éviter l'incorporation de lots présentant une forte activité alpha-amylasique dans des silos destinés à la meunerie – boulangerie, mais il ne permet pas un dosage d'activité suffisamment précis que pour intervenir dans des tractations commerciales. Sur base d'essais effectués par les laboratoires du Réseau **REQUASUD** et des résultats obtenus par Huret (2000), il ressort que la lecture visuelle des cartes permet tout au plus un classement en 3 groupes (bon, douteux, mauvais). De plus, le prix de ce kit reste assez dissuasif.

Multigraphe

Un appareil, le multigraphe, a été développé en vue de caractériser les propriétés rhéologiques des farines de froment tant sur une mouture intégrale que sur une farine blanche. Cet appareil toujours en développement présente un grand intérêt pour la filière

- il permet la détermination simultanée de plusieurs paramètres (absorption d'eau, qualité du réseau protéique, comportement de l'amidon au chauffage et influence des enzymes);
- il autorise le travail sur de petites quantités de farine intégrale et pourrait dès lors être utilisé plus largement au sein de la filière. (Sinnaeve *et al.*, 2001).

La panification standardisée

Si les tests indirects permettent un classement des lots à la réception, il importe de les relier à une méthode de panification standardisée. Les travaux menés dans le cadre de la "Filière Grandes cultures" mise en place, en son temps, par le Ministère Fédéral des Classes moyennes et de l'Agriculture a permis d'élaborer une méthode de panification standardisée au niveau belge. Cette méthode a été développée avec la contribution de l'Association Royale des Meuniers Belges

(ARMB-KVBM), Het Landelijk Verbond der Middel-grote en Kleine Maalderijen, Maaldersvereniging, Molenaars 2000, du CTL Hogeschool Gent et du Département Qualité du Centre de Recherches Agronomiques de Gembloux. Bien que faisant l'objet d'un consensus au sein de la filière, le protocole n'a jamais fait l'objet d'une publication officielle.

Ce test de panification est basé sur un pétrissage dit "intensifié" et sur un temps de fermentation abrégé. Une pâte est préparée dans un pétrin à spirale, à partir de farine, d'eau, de levure sèche instant, de sel, d'acide ascorbique et, au besoin, de farine de malt. Les pâtons sont pesés puis boulés. Ils fermentent et sont ensuite laminés et façonnés. Au moins un pâton façonné est placé dans un moule et au moins un autre sur une platine. Ils continuent à fermenter avant d'être enfournés. La cuisson simultanée dans un moule et sur une platine permet la comparaison de l'aptitude d'une farine aux deux modes de cuisson, notamment au rendement en volume. De plus, un paramètre objectif de l'écoulement du pâton est obtenu sur platine par son observation durant la fermentation finale et la cuisson. Les propriétés de la pâte durant les opérations et manipulations sont notées; les pains sont évalués le même jour quant au volume, au rapport hauteur/longueur, à la texture et à l'alvéolage de la mie. Les résultats sont transmis sous la forme d'une grille synoptique d'évaluation (Filière grandes cultures, 2000).

Qualité pour l'alimentation animale



Trop souvent, on réserve à l'industrie de l'alimentation animale les froments qui ne conviennent ni à la meunerie - boulangerie ni à l'amidonnerie. Les critères qualitatifs utilisés pour les froments destinés à la panification sont peu adaptés pour discriminer les froments quant à leur utilisation optimale en alimentation animale.

Les enquêtes menées en France par l'ONIC et l'ITCF (2001) montrent que de plus en plus, on tient compte de la teneur en protéines des froments. Un classement en trois classes selon la teneur en azote (% MS) est proposé ($N \geq 1,84$; $1,68 \leq N < 1,84$; $N < 1,68$). Cette différenciation des froments devrait permettre aux fabricants d'aliments du bétail, de mieux cerner l'offre disponible.

Pour ce qui est de la filière avicole et plus particulièrement de la production de poulet de chair, le froment constitue de 20 à 30% de la ration quotidienne. Au-delà de ces taux, divers problèmes zootechniques peuvent survenir. En effet, les volailles sont dépourvues d'enzymes permettant la dégradation des arabinoxylanes (hémicellulose). Ces arabinoxylanes provoquent la formation de gel dans l'intestin grêle des volailles et

entraînent des perturbations du processus digestif (Wery *et al.*, 2003). La teneur en arabinoxylanes étant liée à la variété, ces auteurs préconisent de choisir des variétés de froment spécifiques pour l'alimentation des volailles. En France, les variétés sont évaluées pour l'alimentation avicole sur base de la détermination de l'indice de viscosité d'un extrait aqueux. Celui-ci devrait être inférieur à 2,8 (Bernicot, 2003).

Les mycotoxines

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires produits par certains champignons qui contaminent les produits de l'agriculture. Certaines de ces substances présentent une toxicité à très faible concentration pour l'homme et l'animal lorsqu'elles sont introduites dans l'organisme (par voie orale le plus souvent) (Chandelier et Kestemont, 2003).

En culture de céréales, on distingue deux groupes de mycotoxines :

- celles qui sont produites au champ, et qui résultent le plus souvent d'une contamination des grains par les *Fusarium* responsables de la fusariose de l'épi ;
- celles qui sont produites lors du stockage, et qui résultent d'une contamination des grains par des champignons qui ont d'autres exigences de température et d'humidité.

Evaluation de la teneur en mycotoxines dans les grains

Les techniques de dosage des mycotoxines peuvent être réparties en 2 groupes :

- les techniques analytiques, parmi lesquelles la plus utilisée pour le dosage de mycotoxines est la technique HPLC (" High Performance Liquid Chromatography "). Elles permettent de détecter de très faibles quantités de mycotoxines, mais sont coûteuses et fastidieuses.
- les techniques immunologiques parmi lesquelles figurent la technique ELISA (" Enzyme Linked ImmunoSorbent Assay "), sont utilisées en pré-screening car elles permettent d'analyser un grand nombre d'échantillons en peu de temps et sont peu coûteuses, par contre leur seuil de détection est plus élevé que celui de l'HPLC.

Les mycotoxines associées à la fusariose de l'épi

La fusariose de l'épi est une maladie fongique qui affecte les céréales dans de nombreuses régions du monde. Des conditions particulières de température et d'humidité durant la floraison favorisent la germination et la dispersion des spores des champignons responsables, spores qui sont présents le plus souvent au sol sur des résidus de culture.

En Europe, la fusariose de l'épi est induite principalement par 4 espèces de *Fusarium* (*Fusarium graminearum*, *F. culmorum*, *F. poae* et *F. avenaceum*) ainsi que par *Microdochium nivale*.

Microdochium nivale ne produit pas de mycotoxine. Par contre, lorsque l'infection est due à l'une des 4 espèces de *Fusarium* précitées, les pertes de rendement s'accompagnent d'une diminution de la qualité des grains par la production de mycotoxines. Il est donc important de souligner ici qu'il n'y a pas de corrélation stricte entre l'observation de symptômes de fusariose de l'épi au champ et la présence de mycotoxines dans les grains récoltés.

Les trichothécènes (DON, NIV, T2 et HT2) sont de loin les mycotoxines le plus souvent rencontrées en culture de céréales. Le DON (déoxynivalénole) est considéré comme la mycotoxine " marqueur " en raison de sa présence fréquente dans les cultures de céréales contaminées par la fusariose de l'épi. Parmi les autres mycotoxines produites par *Fusarium*, on peut citer également la zéaralénone (ZEA) ainsi que la moniliformine (MON).

En ce qui concerne les mycotoxines associées à la fusariose de l'épi, les facteurs de risque peuvent être classés en 2 catégories : les facteurs culturaux, sur lesquels l'agriculteur peut agir et qui ont un impact tantôt sur le taux d'inoculum, tantôt sur la sévérité de l'infection, et les facteurs météorologiques sur lesquels on ne peut pas agir, mais que l'on peut analyser en vue de prédire le risque de développement de la maladie.

Le précédent cultural, la présence d'adventices et le travail du sol

Parmi les agents responsables de la fusariose de l'épi, *F. graminearum* est l'un des plus fréquents. Ce champignon peut aussi infecter le maïs, et survivre sur les chaumes laissés sur le sol après la culture. Un précédent maïs est donc très favorable au développement de fusariose de l'épi en froment d'hiver.

Le travail du sol doit aussi être pris en considération. En effet, le labour enfuit les résidus de culture, et avec eux les spores des champignons responsables de la fusariose des épis, ce qui limite le développement de la maladie sur la culture suivante. Il va s'en dire qu'un précédent maïs associé à l'absence de labour constitue le risque majeur de développement de la fusariose de l'épi en froment d'hiver.

La variété cultivée

Plusieurs gènes de résistance à la fusariose de l'épi ont été identifiés, et l'utilisation de variétés résistantes est certainement une bonne perspective de lutte. Cependant, la réponse des variétés à l'infection peut être très variable d'une année à l'autre.

Les traitements fongicides

Il est acquis aujourd'hui que la distinction entre *Microdochium nivale* et les *Fusarium* est importante pour comprendre et raisonner le contrôle de la fusariose sur les épis de froment par des fongicides. En effet, si *M. nivale* et les différentes espèces de *Fusarium* causent des symptômes très semblables sur les épis, ils ne sont pas pour autant contrôlés par les mêmes fongicides. *M. nivale*, décrit comme non producteur de mycotoxines, est principalement contrôlé par certaines substances de la famille des strobilurines, la plus efficace étant l'azoxystrobine (Amistar). Les différentes espèces de *Fusarium*, qui produisent des mycotoxines, sont quant à elles contrôlées par des substances de la famille des triazoles, les plus efficaces étant le metconazole (Caramba) et le tébuconazole (Horizon). A ce jour, seul le metconazole est agréé en Belgique contre *Fusarium*.

Les facteurs météorologiques

Les conditions météorologiques au moment de la floraison du froment sont déterminantes dans le risque de voir se développer la maladie. On considère en général que des précipitations fréquentes associées à une température supérieure à 15°C quelques jours avant et quelques jours après la floraison sont des conditions favorables au développement de la fusariose des épis. Parmi les différents paramètres météorologiques, la durée d'humectation, c'est-à-dire la période durant laquelle on observe la présence d'eau libre (dépôt de gouttelettes de rosée ou de pluie) à la surface des organes végétaux est probablement celui dont l'influence est la plus importante. La connaissance de ces périodes d'humectation est donc essentielle pour prévoir le développement des épidémies et mettre en place des stratégies de protection ou de traitements phytosanitaires qui soient réellement efficaces.



Les mycotoxines produites au stockage

Après récolte, les mycotoxines ne disparaissent pas spontanément ; celles qui ont pu se développer au champ se maintiennent au cours de la conservation. De plus, d'autres espèces de champignons s'installent progressivement. C'est notamment le cas pour certaines espèces d'*Aspergillus* qui sont redoutées dans les régions tropicales et qui produisent des aflatoxines et l'ochratoxine A, substances cancérigènes dangereuses. Dans les pays tempérés, en cas de mauvaises conditions de stockage, l'ochratoxine A est produite par *Penicillium verrucosum*, qui est aussi producteur de citrinine (Leuillet, 2002).

En l'état actuel des connaissances et malgré les améliorations apportées aux techniques de production et de stockage, il n'est pas possible d'empêcher complètement le développement de ces moisissures. La source principale de contamination par l'ochratoxine A chez l'homme provient de l'ingestion de céréales et des produits à base de céréales. La prévention est d'une importance essentielle pour éviter autant que possible la contamination et protéger le consommateur (règlement (CE) n°466/2001).

Limitation du taux de mycotoxines dans les grains à la récolte

La prévention des mycotoxines en stockage passe d'abord par le nettoyage des outils (moissonneuse-batteuse, remorques, camions, silos). A la récolte, en fonction du réglage de la moissonneuse-batteuse, le battage peut éliminer les grains les plus petits et, entre autres, les grains fusariés.

L'humidité des grains à la récolte est un facteur essentiel à maîtriser car le développement des moisissures et la production des mycotoxines en sont très dépendants (Grosjean *et al.*, 2002).

Limitation du taux de mycotoxines dans les grains à la réception

Pour les lots contaminés, il est conseillé de prévoir un nettoyage après récolte, en faisant passer les grains entre des grilles qui éliminent les corps étrangers, les graines étrangères, les impuretés (paille, grains cassés, glumes, glumelles). Les insectes doivent être maîtrisés car ils constituent également des vecteurs de contamination (Grosjean *et al.*, 2002).

Limitation du taux de mycotoxines dans les grains au stockage

Le stockage doit se faire avec un grain dont la teneur en eau est inférieure à 14%. Plus la teneur en eau est élevée, plus les risques de développement de moisissures sont importants. Lorsque la teneur en eau des grains est supérieure à 14%, ceux-ci doivent subir un séchage. Il faut donc éviter de rentrer des céréales trop humides ou immatures dans les silos ou de faire des mélanges de grains secs et humides (Grosjean *et al.*, 2002).

Si malgré tout, certains lots de céréales sont contaminés, leur gestion doit se réfléchir en fonction du type de mycotoxine, du niveau et des exigences de l'utilisation envisagée. Cependant le mélange entre un lot sain et un lot contenant des mycotoxines dans le but d'avoir une matière première avec une teneur basse en mycotoxines n'est pas autorisé (règlement (CE) n°466/2001).

Réglementation concernant les mycotoxines

A l'heure actuelle, le règlement (CE) n°466/2001 "porte sur la fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires" afin de protéger la santé du consommateur. En complément à ce document, les aflatoxines et l'ochratoxine A, mycotoxines produites au stockage, sont citées dans les règlements (CE) n°257/2002 et (CE) n°472/2002, fixant les teneurs maximales, entre autre, dans les céréales. Les limites pour les aflatoxines totales sont de 4 µg par kilo. Pour l'ochratoxine A, la législation distingue une limite de 5 µg par kilo pour les grains de céréales brutes et de 3 µg par kilo pour tous les produits dérivés des céréales.

Il n'existe pas encore au niveau européen de réglementation spécifique établie pour les principales mycotoxines associées à la fusariose de l'épi (DON, NIV, T2-HT2 et ZEA). Comme peu d'informations sont disponibles pour établir des niveaux de tolérance objectifs, basés sur des études scientifiques rigoureuses, ce sont bien souvent des considérations économiques ou politiques, voire les limites de détection des méthodes de dosage utilisées qui servent de base à l'établissement de limites maximales recommandées. Le référentiel GMP pour la fabrication des aliments pour animaux interdit l'utilisation de céréales et de produits céréaliers dont la teneur en DON dépasse certaines limites déterminées en fonction de l'animal auquel ils seront destinés. Dans les normes de réception SYNAGRA 2003, il est prévu un droit de refus si le taux de DON est supérieur à 750 µg/kg pour le blé panifiable et à 5000 µg/kg pour le blé fourrager.

La traçabilité

Evolution

Aujourd'hui, dans la filière agro-alimentaire, la traçabilité s'avère indispensable pour des raisons autres que purement logistiques : maîtrise du risque alimentaire, relation de confiance envers le consommateur, contraintes réglementaires et légales, responsabilité du producteur, rappel des produits défectueux, amélioration de la production, amélioration de la compétitivité, commerce électronique, ...

Le développement des outils d'identification (étiquettes, code-barres, puces électroniques, etc.) et des techniques d'analyse rapides (ADN, SPIR, etc.) permettent désormais de développer la traçabilité liée au produit. En parallèle, le développement des outils informatiques, permettant de conserver un volume énorme d'informations qui alimentent de nombreuses bases de données, conduit à la maîtrise de la traçabilité de l'information.

Définitions

Une définition de la traçabilité a été publiée en 2002 avec le nouveau règlement (CE) n°178/2002 traitant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires. On entend par traçabilité, " la capacité de retracer, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire, d'un aliment pour animaux, d'un animal producteur de denrées alimentaires ou d'une substance destinée à être incorporée ou susceptible d'être incorporée dans une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux " .

L'article 18 comprend les dispositions en matière de traçabilité, à mettre en application à partir du 1er janvier 2005 :

- La traçabilité des denrées alimentaires et de tous les éléments entrant dans la chaîne agro-alimentaire devra être établie à toutes les étapes (production, transformation, distribution).
- Les exploitants des entreprises de la filière agro-alimentaire devront être en mesure d'identifier tous leurs fournisseurs et devront disposer des moyens permettant de mettre cette information à disposition des autorités compétentes.
- Les exploitants des entreprises de la filière agro-alimentaire devront disposer des moyens permettant d'identifier les entreprises auxquelles leurs produits auront été fournis, et de mettre cette information à disposition des autorités compétentes.
- Les denrées alimentaires et les aliments pour animaux seront étiquetés et identifiés selon des dispositions spécifiques.

La traçabilité des céréales

Contrairement au secteur de la production animale où les démarches de traçabilité existent depuis plusieurs années, le secteur de la production végétale ne possède pas encore de système d'identification et d'enregistrement uniformisé et obligatoire. Cependant les exigences des clients de cette filière se sont accrues ces dernières années, par exemple, avec le référentiel GMP pour la production d'aliments pour le bétail.

Dans un souci de sécurité des aliments, les transformateurs de matières premières végétales ont identifié le besoin d'une Gestion Intégrale de la Qualité de la Filière végétale (GIQF). C'est pourquoi une Plate-forme de Concertation pour la Transformation des Matières Végétales (PTMV) a été initiée en 2000 par la Fédération de l'Industrie Alimentaire (FEVIA) en partenariat avec les associations professionnelles et les entreprises du secteur.

Dans le secteur des céréales, la PTMV a identifié plusieurs démarches existantes apportant des éléments qui peuvent être exploités dans une démarche de traçabilité :

- SIGEC (Système intégré de Gestion et de Contrôle) géré par l'IG2 de la Direction Générale de l'Agriculture du Ministère de la Région wallonne ; cette banque de données contient l'identification et l'enregistrement de tous les producteurs, et de toutes les unités de production qui font l'objet d'une déclaration en vue de l'obtention d'une prime PAC.
- BELFYT (AFSCA), avec les données relatives aux producteurs de plants et de semences.
- Géo-Agri, pour la région wallonne, organise un cadastre des épandages de lisiers.
- NITRAWAL, pour la région wallonne, doit mettre en place un cadastre des épandages pour mettre en relation les quantités d'azote organique produit ou importé dans une exploitation.
- La Charte PERFECT en province de Liège est un cahier des charges pour la rotation, mis en place pour garantir la production de légumes. Elle implique une traçabilité sur l'ensemble de la rotation.
- Le contrat tripartite Orge de Brasserie incluant un cahier de charges pour l'agriculteur et un autre pour le négociant et pour lequel des fiches de culture et de silo sont à remplir.

- Le contrat tripartite Blé de qualité comprenant les mêmes modalités que les Orges de Brasserie.

Partant de ces démarches ainsi que de celles existant pour d'autres spéculations de grandes cultures et pour l'horticulture, la PTMV proposera un modèle de fiche de culture dont l'utilisation pourrait être généralisée à toutes les spéculations. Cette initiative vise à mettre en place un seul système de gestion de la traçabilité dans la filière végétale et à éviter de multiplier des systèmes différents.

L'évolution prochaine de la législation (projet d'AR sur l'autocontrôle, la notification obligatoire et la traçabilité ainsi que du règlement (CE) n°178/2002) concernant la traçabilité au niveau de la production primaire, recommandera probablement la tenue de registres :

- Les exploitants devraient tenir à jour des registres concernant les mesures de maîtrise des risques pour les denrées alimentaires ;
- Les exploitants qui produisent ou récoltent des produits végétaux devraient en particulier tenir des registres sur lesquels sont renseignés :
 - l'utilisation de pesticides et de biocides,
 - la présence d'organismes nuisibles ou de maladies pouvant compromettre la sécurité des produits d'origine végétale,
 - les résultats d'analyses d'échantillons prélevés sur des végétaux ou d'autres échantillons, revêtant une importance pour la santé publique.
- Les exploitants devraient conserver les registres durant au moins cinq années, et tenir à la disposition de l'autorité compétente et des exploitants destinataires du secteur alimentaire les informations pertinentes figurant dans ces registres.
- D'autres personnes telles que des vétérinaires, agronomes et techniciens agricoles pourraient assister les exploitants dans la tenue à jour des registres.

Il apparaît donc qu'un ensemble d'éléments de traçabilité existe déjà et qu'il sera nécessaire de les structurer, de les compléter et de les exploiter. Ces travaux doivent être menés en concertation entre les différents partenaires de la filière. Ils doivent comprendre une analyse des dangers puisqu'un des objectifs de la traçabilité est la maîtrise de la sécurité des aliments. Mais ils doivent également tenir compte des besoins des clients potentiels et des contraintes des producteurs.

Conclusions et perspectives

Rédigées par Robert Biston, Directeur honoraire du CRA
Ancien Président de l'asbl REQUASUD

L'action de **REQUASUD** dans la filière céréalière a pris au cours des années une importance de plus en plus déterminante. Le rôle prépondérant des laboratoires du réseau d'analyse est mis en évidence dans ce document. A l'avenir, ce rôle se renforcera sûrement face à une politique agricole commune orientée de plus en plus vers la qualité des productions. En effet, les analyses chimiques, technologiques et sanitaires constituent de plus en plus "le fer de lance" pour le maintien d'une production céréalière confrontée à une compétitivité accrue.

La maîtrise des qualités technologiques et sanitaires permet d'adapter les productions aux attentes des différents utilisateurs et d'assurer ainsi la diversité des productions et des marchés. Il est significatif, à cet égard, de constater l'émergence de nouvelles normes et/ou exigences de plus en plus spécifiques, par exemple en matière d'utilisation des céréales dans l'alimentation animale ou dans les aliments à destination des bébés ("baby food").

Ces analyses contribuent à consolider une agriculture raisonnée, précise, innovante et performante. En aidant au développement des techniques de culture et à leur meilleure valorisation, elles permettent de concilier rentabilité, qualité et environnement. En effet, les méthodes physiques d'analyse non destructives, à la base du réseau **REQUASUD**, ont largement

démonstré leur efficacité. Les développements technologiques récents de ces méthodes offrent des potentialités nouvelles : système embarqué, analyse des matières organiques des sols, screening des infections, ... Ces méthodes conjuguées avec des systèmes d'acquisition des données d'information géographiques, permettront dans l'avenir, d'une part d'adapter les techniques de production aux exigences de compétitivité et de traçabilité et d'autre part, de maîtriser l'impact des activités agricoles sur l'environnement, plus particulièrement par une intégration dans des modèles de croissance intégrant l'agrométéorologie et l'écophysiologie.

Les statistiques resteront importantes dans les actions du réseau, d'une part au niveau analytique (étalonnages, cartes de contrôle, calcul d'incertitudes, études interlaboratoires, ...) et d'autre part, au niveau d'aide à la décision (analyse de la base de données, cartes thématiques, ...).

Les différentes démarches "qualité" mises en place dans le réseau permettent aux équipes impliquées de toujours progresser dans l'organisation du travail analytique, elles doivent nécessairement se poursuivre afin de répondre aux exigences de l'accréditation. Cette approche est la seule permettant de garantir aux partenaires et aux clients le sérieux de l'information et du service rendu.

Références

Arrêté ministériel du 26/08/1988 fixant les méthodes de référence pour la détermination de la qualité du froment et fixant les tarifs pour ces analyses. *Moniteur Belge* du 15/11/1988.

Arrêté ministériel du 05/02/2001 portant fixation de la manière de prélever les échantillons pour le contrôle officiel des teneurs maximales en mycotoxines dans certaines denrées alimentaires, *Moniteur Belge* du 28/02/2001.

Arrêté royal du 07/02/1997 relatif à l'hygiène générale des denrées alimentaires. *Moniteur Belge* du 25/04/1997.

Arrêté royal du 10/04/2003 modifiant l'Arrêté royal du 08/02/1999 relatif au commerce et à l'utilisation des substances destinées à l'alimentation des animaux, *Moniteur Belge* du 16/04/2003.

Bar L'Helgouac'h C. (2000). Mesure de l'indice de chute de Hagberg. *Perspectives agricoles* 263 : 24-25.

Benzian B., Lane P. (1986). Protein concentration of grain in relation to some weather and soil factors during 17 years of English winter-wheat experiments. *Journal of Science Food Agriculture* 37 : 435 - 444.

Bernicot M-H. (2003). Nouvelles variétés de blé tendre. *Perspectives agricoles* 290 : 30-45.

Chandelier A., Kestemont M-H. (2003). La fusariose de l'épi en froment d'hiver : symptômes et champignons responsables. *In* Fumure et protection phytosanitaire des céréales, Février 2003, CRA et FUSAGx, Gembloux, Belgique.

Chi-Dung Ta (2002). Traçabilité totale en agro-alimentaire : Méthodologie, pratique et suivi. AFNOR Collection A savoir, ISBN 2-12-505022-6.

Cuny A-S. (1998). Traçabilité : Guide pratique pour l'agriculture et l'industrie alimentaire. Guide ACTA-ACTIA (Paris France). ISBN 2-85794-166-8.

De Lucia M. et Assennato D. (1992). L'après-récolte des grains – Organisation et techniques. *In* Bulletin des services agricoles de la FAO 1993, FAO Rome, Italie.

Directive 1998/53/CE portant fixation de modes de prélèvement d'échantillons et de méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires, JOCE L 201/93 du 17/07/1998.

Directive 2002/26/CE portant fixation des modes de prélèvement d'échantillons et des méthodes d'analyse pour le contrôle officiel des teneurs en ochratoxine A des denrées alimentaires, JOCE L 75/38 du 16/03/2002.

Directive 2002/63/CE fixant des méthodes communautaires de prélèvement d'échantillons pour le contrôle officiel des résidus de pesticides sur et dans les produits d'origine végétale et animale et abrogeant la directive 1979/700/CEE, JOCE L 187/30 du 16/07/2002.

Dubois A., Bollen L., Biston R., Deroanne C. (1997). Froment d'hiver qualité amidonnière. *Agricontract* 295 : 7-10.

Filière Grandes Cultures (2000). Test standard belge de panification de farine de froment. Version 3 du 20/11/2000.

GENCOD EAN Guide sur la traçabilité dans les chaînes d'approvisionnement de la stratégie à la pratique. (2001). France, rue M. Hartmann 2, 92137 Issy-les-Moulineaux cedex France.

Grosjean F., Leuillet M., Berhaut P. et Niquet G. (2002). Dossier Mycotoxines : Nettoyage, stockage et gestion des lots. La prévention est payante. *Perspectives agricoles* 278 : 40-41.

Huret S. (2000). Evaluation de méthode visant à étudier l'activité alpha-amylasique des blés à la récolte. Travail de fin d'études. Haute Ecole Charlemagne, Institut Supérieur Industriel Huy, 66p.

ICC method 159 (1995). Determination of Protein by near Infrared Reflectance (NIR) Spectroscopy. International Association for Cereal Science and Technology, A-1030 Vienna, Austria.

ICC method 167 (2000). Determination of crude protein and grain products for food and feed by the Dumas Combustion Principle. International Association for Cereal Science and Technology, A-1030 Vienna, Austria.

ITCF (1995). Qualité des blés tendres : produire pour vendre. *Perspectives agricoles* 203 : 48p. (ITCF actuellement Arvalis-Institut du végétal, Paris-France).

Leuillet M. (2002). Dossier Mycotoxines : Flore fongique et mycotoxines. Céréales à paille françaises : qualité sanitaire satisfaisante. *Perspectives agricoles* 278 : 24-26.

Leygue P. (1993). Débouchés industriels des céréales. (ITCF actuellement Arvalis-Institut du végétal, Paris-France).

Norme FD V 01-020 : 2002. Lignes directrices pour l'établissement d'une démarche de traçabilité dans les filières agricoles et alimentaires. AFNOR, Paris.

- Norme ISO 5529** : 1992. Blé tendre - Détermination de l'indice de sédimentation - Test de Zélény. ISO, Genève.
- Norme ISO 5530-1** : 1997. Farines de blé tendre - Caractéristiques physiques des pâtes - Partie 1: Détermination de l'absorption d'eau et des caractéristiques rhéologiques au moyen du farinographe. ISO, Genève.
- Norme ISO 5530-4** : 1991. Farines de blé tendre - Caractéristiques physiques des pâtes - Partie 4: Détermination des caractéristiques rhéologiques au moyen de l'alvéographe ISO 5530-4 : 1991/Cor 1 : 1992. ISO, Genève.
- Norme ISO 5725-1 à 6** : 1994. Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure. ISO, Genève.
- Norme ISO 6639-2** : 1986. Céréales et légumineuses - Détermination de l'infestation cachée par les insectes - Partie 2: Échantillonnage. ISO, Genève.
- Norme ISO 6644** : 2002. Flowing cereals and milled cereal products - Automatic sampling by mechanical means. ISO, Genève.
- Norme ISO 7698** : 1990. Céréales, légumineuses et produits dérivés - Dénombrement des bactéries, levures et moisissures. ISO, Genève.
- Norme ISO/DIS 7700-1** : 1999. Vérification des humidimètres de services. Partie 1 : Humidimètres pour céréales. ISO, Genève.
- Norme ISO 7971-2** : 1995. Céréales – Détermination de la masse volumique, dite " masse à l'hectolitre " - Partie 2 : Méthode pratique. ISO, Genève.
- Norme ISO 13690** : 1999. Céréales, légumineuses et produits de mouture - Echantillonnage des lots statiques. ISO, Genève.
- Norme NF V03-703** : 1997. Céréales et produits céréaliers – Blés tendres, seigles, et leurs farines. Blés durs et leurs semoules - Détermination de l' " indice de chute " selon Hagberg – Perten. AFNOR, Paris.
- Norme NF V03-750** : 1999. Céréales et légumineuses - Détermination de la teneur en azote et calcul de la teneur en protéines brutes– Méthode Kjeldahl. AFNOR, Paris.
- Norme NF V03-707** : 2000. Céréales et produits céréaliers – Détermination de la teneur en eau – Méthode de référence pratique. AFNOR, Paris.
- ONIC-ITCF** (2001). Qualité des blés français : Récolte 2001. Enquête auprès des collecteurs, 10p.
- Projet d'Arrêté royal** relatif à l'autocontrôle, à la notification obligatoire et à la traçabilité dans la chaîne alimentaire, version du 19/12/2002. AFSCA, Bruxelles.
- Règlement (CEE) n°1955/1981 du Conseil**, du 13 juillet 1981, déterminant les exigences technologiques du froment tendre destiné à la panification. Journal officiel n° L 198 du 20/07/1981.
- Règlement (CEE) n°2062/1981 de la Commission**, du 15 juillet 1981, définissant la méthode de détermination de la qualité panifiable minimale du froment tendre. Journal officiel n° L 201 du 22/07/1981.
- Règlement (CE) n°1766/1992 du Conseil**, du 30 juin 1992, portant organisation commune des marchés dans le secteur des céréales. Journal officiel n° L 181 du 01/07/1992.
- Règlement (CE) n°824/2000 de la Commission** du 19 avril 2000 fixant les procédures de prise en charge des céréales par les organismes d'intervention ainsi que les méthodes d'analyse pour la détermination de la qualité. Journal officiel L100 du 20/04/2000 (modifié en dernier lieu par le règlement (CE) n°336/2003).
- Règlement (CE) n°466/2001 de la Commission** du 08 mars 2001, portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Journal officiel n° L 77 du 16/03/2001.
- Règlement (CE) n°178/2002 du Parlement européen et du Conseil** du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires. Journal officiel L 031 du 01/02/2002.
- Règlement (CE) n°257/2002 de la Commission** du 12 février 2002 modifiant le règlement (CE) n°194/1997 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires et le règlement (CE) n°466/2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Journal officiel n° L 041 du 13/02/2002.
- Règlement (CE) n°472/2002 de la Commission** du 12 mars 2002 modifiant le règlement (CE) n°466/2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires. Journal officiel n° L 075 du 16/03/2002.
- Règlement (CE) n°336/2003 de la Commission** du 21 février 2003 fixant les procédures de prise en charge des céréales par les organismes d'intervention ainsi que les méthodes d'analyse pour la détermination de la qualité. Journal officiel n° L 049 du 22/02/2003.
- Sinnaeve G., Herman J-L., Couvreur L., Dardenne P.** (1999). Situation qualitative des blés en 1999. *In* Fumure et protection phytosanitaire des céréales, Gembloux, 24 février 1999. CRA et FUSAGx, Gembloux, Belgique.
- Sinnaeve G., Herman J-L., Couvreur L., Dardenne P., Oger R., Vrebos D.** (1999). Aperçu de la qualité des froments en 1999. *In* Fumure et protection phytosanitaire des céréales, Septembre 1999, CRA et FUSAGx, Gembloux, Belgique.
- Sinnaeve G., Herman J-L., Couvreur L., Bodson B., Vancutsem F., Falisse A., Van Remoortel V., Dardenne P., Oger R., Wasterlain R.** (2000). Aperçu de la qualité des froments d'hiver en 2000. *In* Fumure et protection phytosanitaire des céréales, Septembre 2000, CRA et FUSAGx, Gembloux, Belgique.
- Sinnaeve G., Aelvoet M., Willems L.** (2001). Qualitätbeurteilung von Weizen und -mehlen mit dem Rheotec Multigraph. *Getreide Mehl und Brot* 55 : 9-16.
- Sinnaeve G.** (2001). Le temps de chute de Hagberg n'est pas une méthode absolue pour la classification des blés destinés à la boulangerie. Thèse annexe, FUSAGx, Gembloux, 17p.
- Sinnaeve G., Herman J-L., Couvreur L., Bodson B., Vancutsem F., Falisse A., Dardenne P., Oger R., Goffaux M-J.** (2002). Aperçu de la qualité des froments d'hiver en 2002. *In* Fumure et protection phytosanitaire des céréales, Septembre 2002, CRA et FUSAGx, Gembloux, Belgique.
- Sinnaeve G. et Bodson B.** (2002). Les froments d'hiver en 2002 : Premier aperçu de la qualité. *Le Sillon* Belge, 30/08/2002, p5.
- Skerritt J.** (2000). On farm diagnosis for maximising grower returns (Projet 2.1.3). www.wheat-research.com.au/
- Smith G.P., Gooding M.J.** (1999) Models of wheat grain quality considering climate, cultivar and nitrogen effects. *Agricultural and Forest Meteorology* 94 : 150-170.
- Synagra** (2003). Normes de réception des céréales, oléagineux et protéagineux livrées par les producteurs au négoci-collecteur – Récolte 2003. Syndicat national du commerce des céréales et autres produits agricoles, Bruxelles-Belgique.
- Wery O., Thewis A., Beckers Y.** (2003). Valorisation du froment d'hiver dans l'alimentation du poulet de chair. *In* Fumure et protection phytosanitaire des céréales, Février 2003, CRA et FUSAGx, Gembloux, Belgique.

Annexe 1

Normes de qualité à la réception

(Barème SYNAGRA récolte 2003)

Les normes de réception des froments au niveau du négoce sont régies par le barème SYNAGRA diffusé en début de campagne. Celui-ci détermine le classement des lots en "panifiable" ou "fourrager", et conditionne les bonifications (ou réfections) affectées aux lots livrés par l'agriculteur. Ces normes peuvent être assouplies en cours de campagne lorsque les conditions climatiques le justifient (faibles valeurs de Hagberg par exemple).

Dans les normes de réception SYNAGRA 2003, il est prévu un droit de refus si le taux de DON est supérieur à 750 µg/kg pour le blé panifiable et à 5000 µg/kg pour le blé fourrager. D'autre part, lorsque le taux d'humidité d'un froment panifiable est supérieur à 17,5 %, le lot est automatiquement déclassé comme froment fourrager.

Froment panifiable

A/ Normes

1/ Humidité

- Maximum : 14 à 14,5 % : zone neutre
- Bonification dès 13,9 % : 0,10 % par 0,1 % ; maximum : 1 %
- Réfaction : dès 14,6 % : 0,12 % par 0,1

2/ Poids à l'hectolitre

- Minimum 76 à 77 kg : zone neutre
- Bonification : 77,1 à 78 kg : 0,25 % du prix ; 78,1 à 79 kg : 0,50 % ; 79,1 à 80 kg : 0,75 % ; maximum : 1 %
- Réfaction : 75,9 à 72 kg : 0,05 % par 0,1 ; < à 72 kg : droit de refus

3) Impuretés

- Forfaitaires : minimum 1,5 % ; dès 1,5 % : 0,1 par 0,1
- Réelles : sur demande d'une des parties, après analyse au tamis de 2 mm et plus de 3,5 mm ; à partir de 3 % : réfaction de 0,05 par 0,1 ; maximum 6 %

4/ Freinte : 0,5 %

5/ Etat des grains : germés : maximum 2,5 %

6/ Frais d'enlèvement : 4 € / 1000 kg, avec un minimum forfaitaire de 50 €

7/ Ventilation et séchage : à exécuter à partir de 15,6 %

B) Qualité panifiable

1/ Tests technologiques

- Hagberg : < 220 déclassé en fourrager
- Zélény < 30 déclassé en fourrager
- Protéines (Nx5,7) : < 11,5 déclassé en fourrager
- Zélény/protéines : ≤ 2 fourrager ; 2 < Z/P < 3 tout venant ; ≥ 3 panifiable

2/ Primes de qualité (voir annexe 2)

- Condition de base : interdépendance des 3 tests technologiques ; le test le plus défavorable détermine la bonification

Froment fourrager

1/ Humidité

- Maximum : 14,5 %
- Réfaction dès 14,6 % : 0,12 % par 0,1 %

2/ Poids à l'hectolitre

- Minimum : 75kg
- Réfaction : 74,9 à 70 kg : 0,05 % par 0,1

3/ Impuretés

- Forfaitaires : 0,5 % ; dès 0,51 % : 0,1 par 0,1

4/ Freinte : 0,5 %

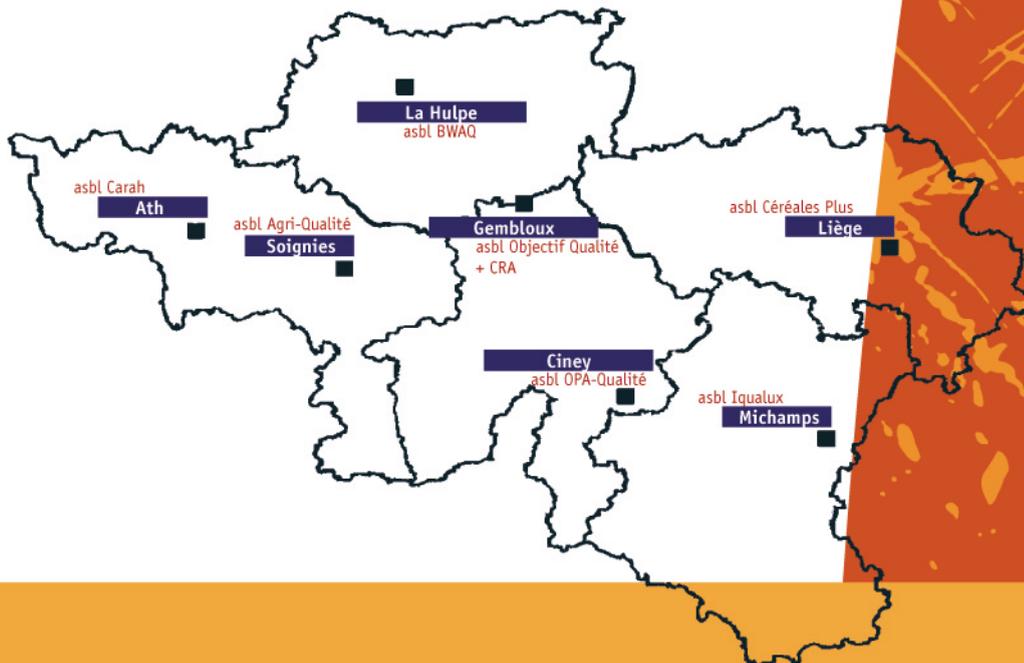
5/ Frais d'enlèvements : 4 € / 1000 kg

6/ Ventilation et séchage : à exécuter à partir de 15,6%

- 7/ Variétés : les variétés de froment classées fourragères sont les suivantes : Beaufort, Biscay, Buccaneer, Claire, Drifter, Hussar, Napier, Trémie, Tribun et Vivant.

Annexe 2
Détail des primes de qualité octroyées pour le froment panifiable. (Barème SYNAGRA récolte 2003).

Protéines	Zélény	Prime par 1000 kg
De 12,00 à 12,24	30	1,24 €
De 12,25 à 12,49	32	2,48 €
De 12,50 à 12,74	34	3,72 €
De 12,75 à 12,99	36	4,96 €
De 13,00 à 13,24	38	6,20 €
De 13,25 à 13,49	40	7,44 €
Au dessus de 13,49 : à convenir		



Analyses des céréales dans le réseau REQUASUD

asbl Interprofessionnelles et laboratoires d'analyse

asbl Carah

Laboratoires du Carah
responsable : M. Van Koninckxloo
Rue Paul Pastur, 11 – 7800 Ath
tél. 068 26 46 50 fax 068 26 46 79

asbl Agri-Qualité

Laboratoire de la Qualité du lait
responsable : E. Piraux
Chemin St Landry, 35, bte 2 – 7060 Soignies
tél. 067 33 32 68 fax 067 33 47 56

Asbl Céréales Plus

Tinlot-Scry
responsable : D. Vanvyve
Rue de Dinant, 110 – 4557 Tinlot-Scry
tél. 085 51 15 21 fax 085 51 26 66

Asbl Iqualux

Centre d'Information agricole de la Province du Luxembourg
responsable : B. Toussaint
Michamps – 6600 Bastogne
tél. 061 21 08 20 fax 061 21 08 40

Asbl Objectif Qualité

Unité de Technologie des Industries agro-alimentaires (FUSAGx)
responsable : C. Deroanne
Passage des Déportés, 2 – 5030 Gembloux
tél. 081 62 22 61 fax 081 60 17 67

Asbl Brabant Wallon Agro-Qualité

responsable : F. Demeuse
Rue Saint Nicolas, 17 – 1310 La Hulpe
tél. 02 656 09 70 fax 02 652 03 06

Asbl OPA-Qualité-Ciney

responsable : J. Balon
Château Saint Quentin – 5990 Ciney
tél. 083 21 47 03 fax 083 21 81 18

Laboratoire d'encadrement référentiel

Département Qualité des Productions Agricoles

Centre de Recherches Agronomiques
responsable : P. Dardenne
Chaussée de Namur, 24 – 5030 Gembloux
tél. 081 62 03 50 fax 081 62 03 88

Base de données centralisée

Service Informatique de la Cellule de Coordination de l'asbl REQUASUD

Centre de Recherche agronomique / Section Biométrie, Gestion des Données et agrométéorologie
responsable : R. Oger
Rue de Liroux, 9 – 5030 Gembloux
tél. 081 62 65 74 fax 081 62 65 59

Coordination de Réquasud

Cellule de coordination de REQUASUD

Centre de Recherches agronomiques de Gembloux
responsable : M-J. Goffaux
Rue de Liroux, 9 – 5030 Gembloux
tél. 081 62 65 58 fax 081 62 65 59

Conseiller Qualité des Produits

C. Anceau
Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux
Unité de Technologie des Industries agro-alimentaires
Passage des Déportés, 2 – 5030 Gembloux
tél. 081 62 22 49 fax 081 60 17 67

asbl REQUASUD siège social

rue de Liroux, 9
5030 Gembloux
tél. 081 62 65 55
fax 081 62 65 59
e-mail requasud@cra.wallonie.be
<http://requasud.cra.wallonie.be>