



Echantillonnage et mesure automatiques de la qualité des grains à la récolte

F. Vigier, D. Boffety, A. Marionneau, E. Ollivier, B. Viallis

► To cite this version:

F. Vigier, D. Boffety, A. Marionneau, E. Ollivier, B. Viallis. Echantillonnage et mesure automatiques de la qualité des grains à la récolte. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 2000, 24, p. 63 - p. 71. hal-00464497

HAL Id: hal-00464497

<https://hal.science/hal-00464497>

Submitted on 17 Mar 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Échantillonnage et mesure automatiques de la qualité des grains à la récolte

Frédéric Vigier¹, Daniel Boffety¹, Anicet Marionneau¹,
Erwan Ollivier² et Bruno Viallis²

L'organisation des filières céréalières s'est accompagnée d'une augmentation des exigences exprimées par les industriels de la transformation, en matière de qualité des grains. L'appréciation de cette qualité dépend de la destination de la production. Dans le cas des blés destinés à la meunerie, la valorisation économique est fondée sur des critères physiques (poids spécifique, teneur en eau, poids de mille grains, teneur en impuretés), mais tient aussi compte de caractéristiques à valeur technologique telles que la teneur en protéines et la qualité des protéines. Le développement des contrats de cultures liant agriculteurs et organismes stockeurs ou agriculteurs et industriels a répercuté ces exigences au niveau de la production agricole. La qualité finale des grains est un facteur important de valorisation de la production (Reyns *et al.*, 1999 ; Thylen *et al.*, 1999). Or, si cette qualité s'exprime par des spécifications « techniques » (ex. : seuil de taux de protéines minimal pour du blé destiné à la panification ou maximal pour de l'orge destinée à la brasserie) associées aux débouchés envisagés (panification, brasserie, amidonnerie, etc), elle s'exprime également en terme d'homogénéité des lots destinés à la transformation. Dans le cas d'un blé destiné à la panification, l'homogénéité du lot signifie pour le critère taux de protéines que l'ensemble du lot a une valeur située au-dessus du seuil minimal. Plutôt que d'envisager un tri sur des lots hétérogènes, l'homogénéité mérite d'être recherchée le plus en amont possible, donc dès la production (Staford, 1999).

Pour le critère de qualité à prendre en compte, la recherche de cette homogénéité dès la récolte peut passer par deux approches différentes, voire complémentaires :

– agir sur le procédé de production (itinéraire technique) en modulant les techniques culturales et notamment les apports d'intrants (engrais minéraux et organiques, eau...). À partir de critères de qualité mesurés et enregistrés au niveau intraparcellaire tels que les taux de protéines, on applique le triptyque « observer-décider-agir » rattaché au concept d'agriculture de précision. Dans ce cas, les répercussions peuvent être non seulement économiques (meilleure valorisation de la production pour l'agriculteur et réduction des coûts de transformation), mais aussi environnementales (utilisation optimale des apports de produits fertilisants par les plantes et donc, réduction des risques de pollution par lessivage des surplus).

– effectuer un tri à la récolte en deux lots en fonction d'un seuil de différenciation prédéfini pour le critère de qualité considéré (ex. : taux de protéine de 11,5 %). Thylen *et al.* (1999), en Suède, annoncent une plus-value de 49 \$/ha en valorisant pour la brasserie une partie d'une récolte d'orge qui aurait été « triée à la source ».

La généralisation de l'électronique embarquée sur le matériel agricole permet d'envisager ce type d'application. Il s'agit là de développements s'intégrant dans le concept global « d'agriculture de précision »¹. En complément et de façon similaire à la mesure des rendements instantanés

1. Cet article résulte des travaux présentés à Dijon les 29 et 30 mai 2000 au colloque « Agriculture de précision, avancées de la recherche technologique et industrielle », organisé par le Cemagref et l'Enesad. Les actes de ce colloque sont diffusés par Educagri Éditions.

1. Cemagref
Clermont-Ferrand
Domaine des
Palaquins,
Montoldre, 03150
Varenes-sur-Allier
2. Ulice
ZAC « Les portes
de Riom »,
63200 RIOM

nés, l'intégration de nouveaux moyens de mesure devrait autoriser une meilleure maîtrise de la qualité des céréales au niveau intraparcellaire. À ce jour, sur le plan européen, il n'existe pas d'équipement commercialisé permettant de vulgariser la réalisation de cartographies « Qualité ». Pourtant, les variations intraparcellaires de la qualité existent. Les travaux évoqués par Reyns *et al.* (1999) en Belgique témoignent de taux de protéines allant de 10 à 15 %.

La vulgarisation de ces nouveaux équipements et l'utilisation des mesures qu'ils pourraient délivrer devraient participer à une homogénéisation des lots récoltés. Les informations géoréférencées recueillies, combinées à celles techniquement accessibles à ce jour, telles que les cartographies de rendements et des sols pourraient contribuer à la modulation des apports d'intrants (Reyns *et al.*, 1999). La seconde forme de valorisation de ces moyens de mesure embarqués consisterait à réaliser une sélection à la récolte, soit avec un dispositif de tri embarqué sur moissonneuse-batteuse et piloté par un capteur délivrant en temps réel une mesure du critère de qualité, soit en récoltant séparément des zones de parcelles considérées comme homogènes pour le critère considéré à partir des cartes réalisées les années précédentes (Stafford, 1999).

Les travaux menés par Ulice et le Cemagref ont conduit au développement et à la mise en œuvre de moyens technologiques embarqués sur moissonneuse-batteuse capables de prélever, conditionner et géoréférencer automatiquement des échantillons pour une analyse ultérieure de différents critères qualitatifs (% protéines, poids de mille grains...). Les résultats de ces analyses permettent de bâtir des cartes de référence des variations intraparcellaires de ces critères. On peut ainsi évaluer et qualifier les systèmes embarqués assurant des mesures en temps réel par comparaison de leurs cartes avec ces cartes de référence, notamment pour la détermination des taux de protéines du blé à la récolte. La comparaison deux à deux des mesures instantanées avec celles de références réalisées sur les échantillons pourrait être erronée car réalisée sur des valeurs rattachées à des zones géographiques différentes. En effet, le capteur de mesure en temps réel et le dispositif de prélèvement peuvent difficilement se placer au même endroit

du circuit de grain sur la moissonneuse-batteuse. Pour une même zone récoltée, la mesure instantanée et le prélèvement destiné à la mesure de référence en différé sont donc asynchrones et réalisés sur un flux de grain ayant un comportement différent. Cela justifie le choix de comparer les résultats à partir des cartes obtenues avec les deux sources de données.

Matériels et méthodes

■ L'équipement utilisé et les conditions d'expérimentation

Une moissonneuse-batteuse Claas Mega 218 a été équipée du système de cartographie de rendements couplé à un système de localisation DGPS Omnistar 3000LR8. Les travaux de récolte se sont déroulés en juillet 1999 sur une parcelle de blé tendre de Limagne.

■ L'échantillonnage à la récolte avec mesure de la qualité en différé

Le dispositif de prélèvement et de conditionnement d'échantillons géoréférencés a pour but de prélever des échantillons géoréférencés au moment de la récolte. Après analyse en laboratoire, il permet d'établir une ou des cartographies intraparcellaires des paramètres qualitatifs.

Les contraintes

Le dispositif de prélèvement d'échantillons doit répondre à un ensemble de contraintes définies dans le cahier des charges initial :

1. Être facilement intégrable à la machine de récolte.
2. Permettre un réglage de la taille de l'échantillon pour l'adapter aux nécessités d'analyse.
Ex. : masse minimum d'un échantillon de blé de 32 g (environ 40 cm³) pour la détermination du taux de protéines.
3. Assurer une autonomie de fonctionnement proche de 10 hectares (surface minimale de récolte sans intervention sur le dispositif jugée comme acceptable par un exploitant agricole pour ne pas accroître de façon excessive le temps de récolte).
4. Réaliser un conditionnement en échantillons facilement manipulables et avec un encombrement minimum du contenant avant et après remplissage.

5. Garantir la conservation des échantillons dans l'attente des analyses de laboratoires.
6. Autoriser une modulation du nombre d'échantillons pour établir des cartes représentatives de la variabilité intraparcellaire des critères analysés.
7. Réaliser l'identification et le géoréférencement de chaque échantillon.

Les solutions techniques retenues

Les fonctions assurées par le système se résument ainsi : prélèvement du grain, conditionnement, identification et comptage des échantillons, déclenchement de l'acquisition des positions GPS et des numéros d'échantillons sur l'ordinateur embarqué. L'application se résume selon le schéma synoptique présenté à la figure 1.

Dispositif électromécanique de prélèvement et de conditionnement

- Emplacement du prélèvement sur le circuit du grain

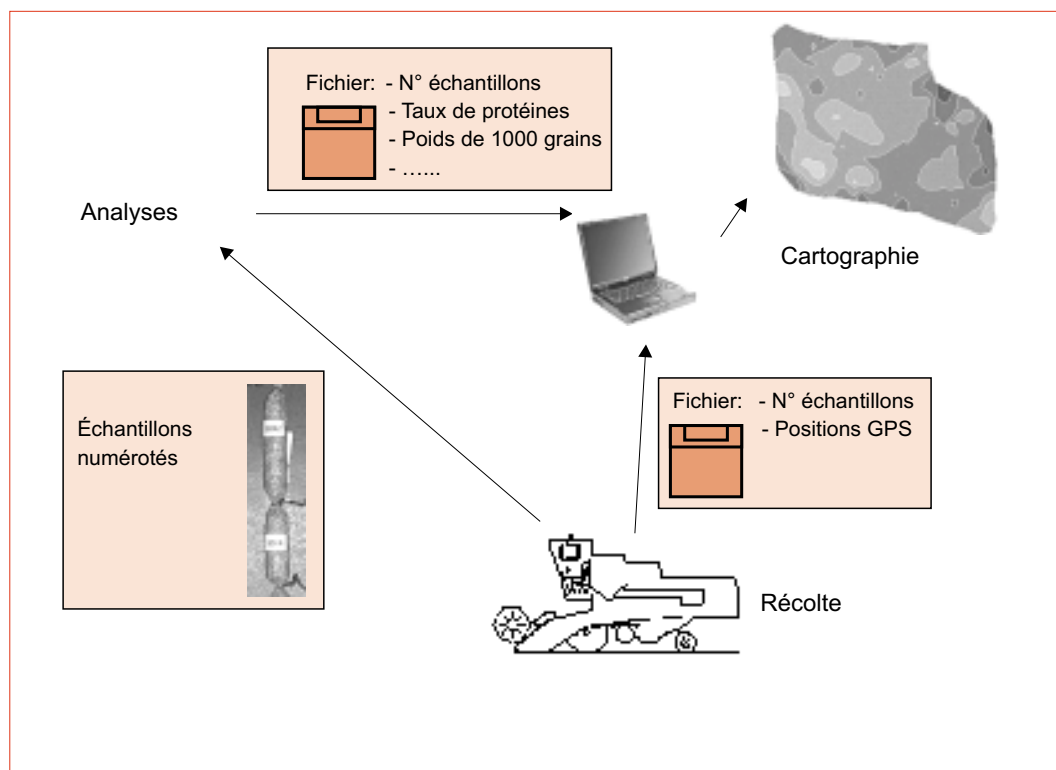
Compte tenu de la compacité des moissonneuses-batteuses, le choix du point de prélèvement

des échantillons s'est porté sur l'élévateur à grain qui alimente la trémie. Sur le circuit du grain propre, seul cet emplacement autorise l'ajout du dispositif sans modifications majeures de la moissonneuse (photo, p. 66).

Sur la moissonneuse Claas utilisée, cet emplacement permet une prise d'échantillon à proximité du dispositif de mesure des rendements instantanés (système de type volumétrique à cellules optiques sur l'élévateur à grain). Même si cela n'a pas été le cas lors des premières expérimentations, à terme, la proximité des deux points de mesure permettrait une utilisation des mêmes algorithmes de correction de position géographique pour les échantillons et pour les mesures des rendements instantanés (délai d'acheminement du grain entre la coupe et le point de mesure – distance entre l'antenne du DGPS et le front de coupe).

- Technique de prélèvement du grain

La quantité de grain prélevé constitue une perte. Elle doit être réduite tout en respectant les contraintes 2 et 6 énoncées précédemment.



◀ Figure 1 – Circulation des informations et des échantillons prélevés.



► Photo – Implantation du dispositif de prélèvement et de conditionnement des échantillons sur la moissonneuse-batteuse.

Pour obtenir des prélèvements représentatifs de l'ensemble de la surface récoltée, il faut éviter une accumulation de grain au sein du dispositif entre deux prises d'échantillons ; un prélèvement en continu à faible débit a donc été privilégié par rapport à un prélèvement discontinu plus complexe à mettre en œuvre et plus encombrant.

Sur cette base, un prélèvement avec durée de réalisation d'un échantillon constante (30 s) a été envisagé. La durée correspond à une surface récoltée d'environ 200 m², soit 44 m parcourus par la moissonneuse à une vitesse de 1,5 m/s et pour 4,5 m de largeur moyenne effective de travail. Le principe autorise une synchronisation des prélèvements avec les mesures de rendements instantanés mais nécessite une régulation du débit prélevé pour obtenir des échantillons de taille constante.

Pour simplifier la mise en œuvre, on lui a préféré un dispositif sans régulation. En conditions d'utilisation stable (vitesse d'avancement, largeur de coupe), seul le rendement risque d'influencer le débit et donc de faire varier légèrement la durée de réalisation des échantillons.

Le prélèvement est réalisé par un système de dosage rotatif motorisé, complété par une trappe à guillotine réglable.

Avec un réglage de la trappe permettant d'obtenir un échantillon pour 200 m² et pour une masse moyenne constatée de 40 g par échantillon, le prélèvement total atteint 2 kg/ha, soit environ 0,02 % d'une récolte de 10 t/ha. La perte pour l'agriculteur est alors comprise entre 1 et 2 F par hectare.

- **Mode de conditionnement des échantillons**
Cette partie du dispositif a motivé une demande de brevet enregistrée le 23/11/99. Pour des questions d'autonomie, de coût et de simplicité du dispositif, le choix s'est porté sur un principe de conditionnement assurant la réalisation de petits échantillons en forme de saucisses dans un boyau perméable disponible dans le commerce.

Cette solution, plus simple et moins coûteuse qu'un conditionnement en récipients séparés, permet un stockage suffisant de contenants sur le dispositif. Le chapelet conserve l'ordre de création des échantillons et autorise leur récupération dans un bac par gravité.

Durant la campagne de récolte 1999, nous avons utilisé du boyau alimentaire transparent (boyau collagénique réf. NE 01 034 235 du fournisseur Soussana) laissant respirer les grains contenus. Ce boyau est conditionné par tronçons de 24 cm, comprimés en accordéon. Il est placé sur un tube cylindrique du dispositif de prélèvement et reçoit le grain prélevé par le système de dosage. Un système d'embossage à poussoir assure le remplissage et l'avancement du boyau (figure 2). Une pince lieuse crée une striction entre chaque échantillon en aval du système d'embossage pour former le chapelet de « saucisses ».

La longueur des échantillons est définie par un système de mesure linéaire qui commande la pince lieuse. Le réglage du débit du système de prélèvement définit la fréquence d'échantillonnage.

Déployé, un tronçon de boyaux pré-conditionné atteint une longueur de 10,67 m et un diamètre de 38 mm. Cela permet de réaliser environ 100 échantillons, et donc de couvrir environ 2 ha dans le cas d'un prélèvement pour 200 m² récoltés.

Sur ces bases, un conditionnement spécifique des boyaux en tronçons de 70 cm (longueur

actuelle du tube support) assurera une autonomie d'environ 6 ha.

• Identification des échantillons

L'identification de chaque échantillon est assurée par une étiqueteuse placée en aval de la pince lieuse (figure 2) et asservie au nouage de séparation. Pour le référencement géographique, à chaque liage, une impulsion est envoyée au dispositif informatique de géoréférencement.

• Asservissements et automatismes

Le cycle de fonctionnement est géré par un automate électromécanique placé dans le boîtier de commande. En version finale, il pourra évoluer vers un système électronique plus compact et plus économique.

Dispositif informatique de géoréférencement des échantillons

• Matériel utilisé

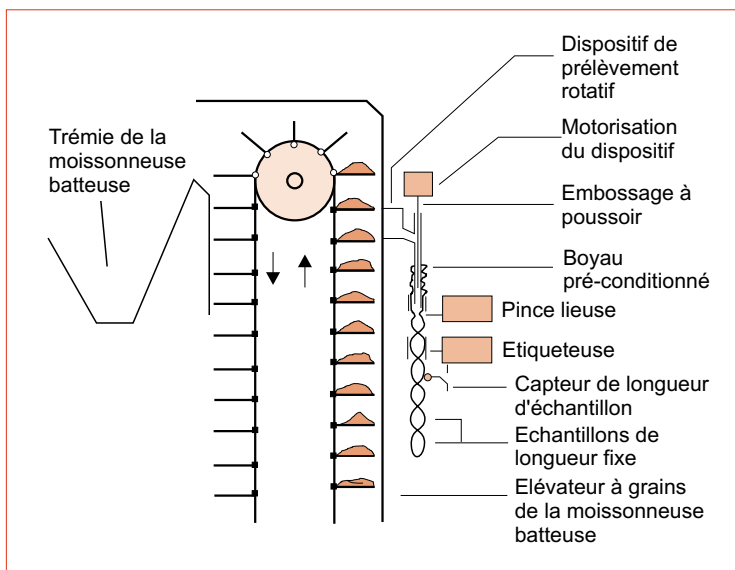
Un ordinateur (PC 486 100 MHz) embarqué dans le poste de conduite de la moissonneuse-batteuse assure l'enregistrement des couples de données constitués d'un numéro d'échantillon et d'une position GPS. Il est équipé d'une carte d'acquisition DAP (Digital Acquisition Processor) réalisée par Microstar Laboratories. À chaque échantillon prélevé, l'impulsion générée par le système de conditionnement incrémente un compteur supporté par la carte DAP et déclenche l'acquisition. La position géographique de la moissonneuse est communiquée à l'ordinateur par la seconde série du système DGPS déjà utilisé pour le système de mesure des rendements.

• Logiciel d'acquisition

développé pour l'application

La partie informatique est constituée d'une application en langage C++. Ce logiciel gère l'acquisition des données GPS et des numéros d'échantillons enregistrés dans un fichier compatible avec le logiciel Agromap (Agrocom/Claas), prévu à l'origine pour la réalisation des cartes de rendement. Il permet d'établir des cartes des paramètres analysés en laboratoire (notamment le taux de protéines) après remplacement des numéros d'échantillons par les valeurs mesurées correspondantes.

Outre la réalisation des fichiers de données, le logiciel offre une interface à l'utilisateur, d'une part, pour la saisie des paramètres

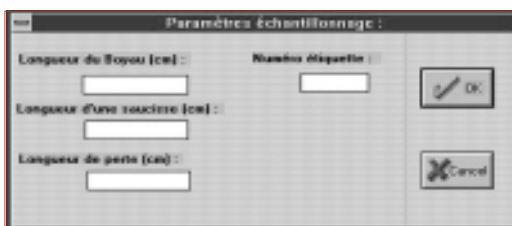


d'initialisation de l'échantillonnage (figure 3), et d'autre part pour le suivi du fonctionnement du dispositif (figure 4).

L'analyse des échantillons en laboratoire

Au laboratoire, nous avons analysé les échantillons géoréférencés par spectrométrie proche infrarouge (SPIR) sur un appareil NIRS 5000 (Perstorp Analytical). Les spectres ont été pris sur les grains « entiers » non broyés, chaque échantillon étant au préalable conditionné en petite coupelle (moins de 40 g de blé).

▲ Figure 2 – Principe du dispositif de prélèvement et de conditionnement d'échantillons.



◀ Figure 3 – Écran de paramétrage initial.



◀ Figure 4 – Écran de suivi du fonctionnement.

Méthode d'analyse et critères analytiques mesurés

Bien qu'indirecte, puisqu'elle nécessite l'établissement d'un étalonnage préalable, cette technique de mesure permet d'estimer différents critères indicateurs de la qualité des grains ou des farines. L'étalonnage de l'appareil conditionne la précision des mesures réalisées.

D'un point de vue technologique, la teneur en protéines du blé est l'un des principaux critères pris en compte pour juger de sa qualité (Onic, Canadian Grain Commission). Nous avons donc retenu ce paramètre comme indicateur de la qualité à mesurer. Il est exprimé en pourcent de matière sèche du grain.

Pour ce critère, l'écart-type de prédiction observé par rapport à la méthode de référence (en l'occurrence, méthode Kjeldahl avec coefficient de conversion = 5,7) est de 0,2 à 0,3 % de protéines. Ces valeurs sont proches de celles mentionnées dans la littérature (Osborne *et al.*, 1993).

■ **La mesure de la qualité en temps réel**

Nous avons mis en œuvre le spectromètre DA-7000 (Pertin Instrument) en réflexion sur grains entiers. Le domaine spectral du modèle utilisé s'échelonne de 950 à 1 700 nm. Nous nous sommes intéressés à la teneur en protéines. Au laboratoire, nous avons procédé à l'étalonnage de ce spectromètre avec 82 échantillons de blé dont la gamme des teneurs en protéines s'étalait de 8 % à 17 %. Une validation de l'étalonnage effectuée sur 16 nouveaux échantillons a donné les résultats suivants : coefficient de détermination (R^2) = 0,95, écart-type de prédiction (RMSEP) = 0,43.

L'embarquement du capteur spectrométrique dans la trémie de la moissonneuse-batteuse a été réalisé selon le principe décrit sur la figure 5 : le flux de grain est canalisé au-dessus de la fenêtre de mesure du spectromètre, l'écoulement du flux se faisant par gravité. La trémie est conçue de sorte que seule une partie du flux de grains passe devant le capteur.

Contraintes liées à l'utilisation embarquée

Les conditions particulières régnant dans la trémie des moissonneuses-batteuses nécessitent une protection du capteur spectrométrique. Afin de le protéger de la poussière, d'éventuels

chocs ainsi que de l'abrasion liée à l'écoulement du grain, il a été placé dans un conteneur en métal étanche (figure 6). La fenêtre de mesure est apparente, mais reste à l'abri de la lumière extérieure grâce au couloir métallique canalisant le flux de grain. Compte tenu des conditions d'embarquement (conteneur étanche) et des températures élevées des mois de juillet et août, le capteur était ventilé avec de l'air propre.

Le système capteur, avec le micro-ordinateur situé en cabine, était totalement indépendant du système enregistrant les rendements (ACT d'Agrocom/Claas) et de celui destiné au géoréférencement des échantillons. Il enregistrait la mesure prédite en temps réel, le spectre et l'horaire correspondant (hh:mm:ss) à une fréquence de 0,5 hz. Pour réaliser les cartes de taux de protéines, l'affectation des positions géographiques aux valeurs mesurées a été réalisée en différé par jointure sur les valeurs de temps enregistrées respectivement dans le fichier de mesure délivré par le spectromètre et dans le fichier créé par l'enregistreur de rendements (ACT).

■ **Moyens logiciels mis en œuvre pour la réalisation des cartes**

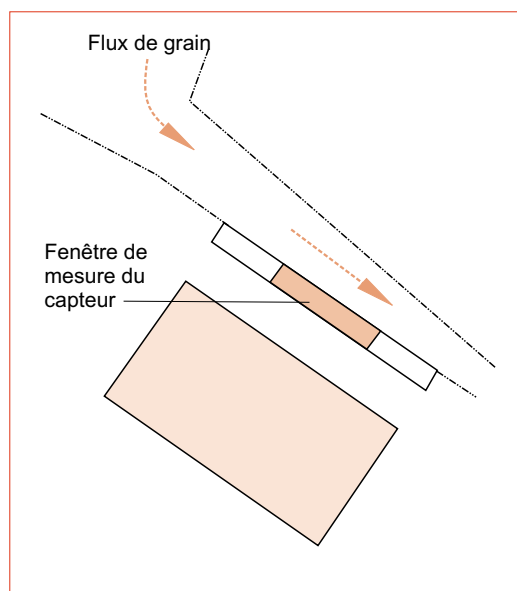
Les contours de parcelles ont été réalisés sous le logiciel Agromap® puis importés sous le logiciel Loris® de Kemira. Afin de simplifier le traitement des fichiers générés à la fois par l'ACT et par les deux systèmes dédiés à la mesure de la variabilité intraparcellaire de la qualité, les cartes ont été réalisées à l'aide du logiciel Loris®. Pour les cartes de qualité, ce logiciel s'est avéré plus adapté à l'importation de fichiers que la version du logiciel Agromap® à notre disposition.

Résultats

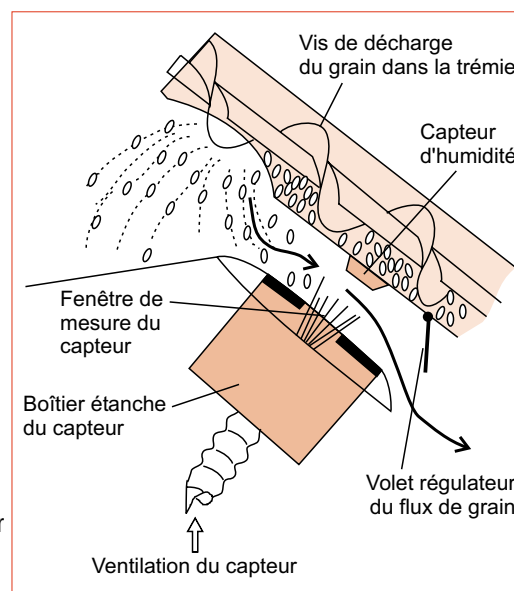
■ **L'échantillonnage à la récolte avec mesure de la qualité en différé**

Le point essentiel de l'innovation, à savoir le conditionnement en boyaux, a pu être validé après quelques mises au point. Le liage entre échantillons nécessite encore d'être fiabilisé. Pour l'identification, des solutions de remplacement de l'étiqueteuse, insensibles à la poussière, sont à prévoir.

Le géoréférencement des échantillons par la position courante de la moissonneuse en début



◀ Figure 5 – Principe de la mesure avec le capteur embarqué.



▶ Figure 6 – Principe de l'implantation du capteur spectrométrique pour la mesure du taux de protéines du grain.

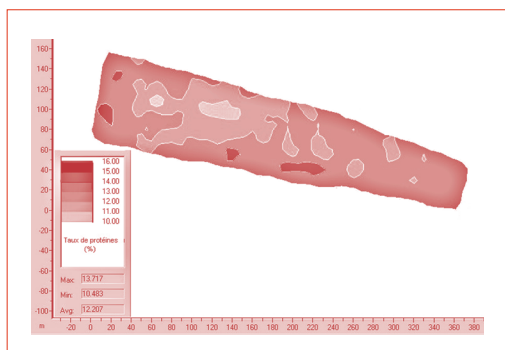
ou en fin de leur constitution, laisse apparaître, sur les cartes obtenues (cartes 1 et 2), des contours de zones à taux de protéines de même classe relativement similaires. Une affectation de la position à mi-parcours entre début et fin d'échantillon, a priori plus pertinente, ne semble pas indispensable. Ce point peut être discutable pour les parcelles nécessitant de nombreuses manœuvres. Les cartes 1 et 2 sont réalisées avec les mêmes paramètres géostatistiques de Krigeage : cercle de 20 m de rayon découpé en 4 secteurs, 0 à 6 points par secteur.

■ La mesure du taux de protéines en temps réel

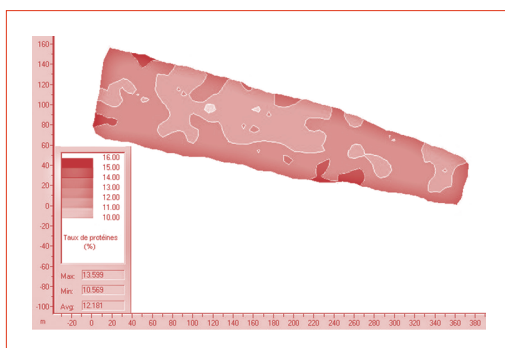
Les résultats des tests préalables réalisés en laboratoire ont montré que l'écart-type de prédiction de la teneur en protéines sur flux de grains est incontestablement plus élevé que ce que l'on obtient en statique pour des analyses par spectrométrie infrarouge de blé (RMSEP = 0,4 vs 0,2-0,3). Cependant, eu égard à la variabilité intraparcellaire de la teneur en protéines (taux variant de 11 % à 19 %) ; (Dawson cité par Thylen *et al.*, 1999), la précision des mesures sur flux avec le spectromètre nous a semblé assez satisfaisante pour embarquer le capteur.

Sur le terrain, nous n'avons pas rencontré de difficultés particulières à faire fonctionner le spectromètre. Avec des flux de grains simulés

manuellement sur le capteur embarqué, nous avons vérifié la bonne qualité des spectres enregistrés et des prédictions associées. Pourtant, le fonctionnement en conditions réelles a ré-



◀ Carte 1 – Taux de protéines mesurés sur échantillons affectés des positions géographiques de début de prélèvement.



◀ Carte 2 – Taux de protéines mesurés sur échantillons affectés des positions géographiques de fin de prélèvement.

vélé une surestimation significative des teneurs en protéines des grains. La comparaison avec les résultats d'analyse des échantillons a montré des écarts irréguliers allant jusqu'à plus de deux points sur près de la moitié de la parcelle.

Les dérives peuvent provenir des causes suivantes :

- une ventilation insuffisante du spectromètre. L'utilisation du capteur en-dessous des températures maximales admissibles pour son bon fonctionnement (40 à 50° C environ) laisse penser que le problème est ailleurs ;

- le manque de robustesse de l'étalonnage élaboré à partir d'un faible nombre d'échantillons ;

- la consistance du flux. En cours d'essai, nous avons constaté que le flux de grain réel n'était pas identique à celui simulé préalablement en laboratoire. En effet, lorsque la trémie du dispositif est pleine, le grain passe devant la fenêtre de mesure sous forme de nappe sans être ralenti et compacté comme lors de la simulation. On peut donc penser qu'en cours de récolte, la densité et la vitesse du grain étaient différentes de celles obtenues par simulation.

Les nouvelles mesures seront réalisées en renforçant l'étalonnage de l'appareil et en augmentant la densité du produit à son passage devant la fenêtre de mesure sans modifier le débit pour ne pas risquer de décaler dans le temps les valeurs mesurées.

Conclusions

Les travaux menés durant la campagne de récolte 1999 ont montré la faisabilité du prélèvement et du conditionnement automatisés d'échantillons géoréférencés de céréales récoltées avec un système embarqué sur moissonneuse-batteuse.

La modularité et les différentes possibilités de réglage du dispositif permettent une adaptation à la demande, notamment pour une utilisation dans le cadre de suivis expérimentaux et de recherches quand la réalisation de prélèvements manuels en quantités suffisantes pour caractériser la variabilité intraparcellaire des paramètres qualitatifs devient un frein à la multiplication des expériences.

Outre le taux de protéines, d'autres paramètres qualitatifs méritent d'être analysés pour apprécier leur variabilité intraparcellaire (poids de mille grains, dureté...). Ces travaux sont en cours à partir des expérimentations menées sur demande du groupe EPIS-Centre (partenaire d'Ulice). À cette fin, le dispositif de prélèvement et de conditionnement d'échantillons géoréférencés est un nouveau moyen d'investigation permettant :

- d'évaluer l'intérêt d'une mesure intraparcellaire de ces paramètres ;

- de qualifier ultérieurement de nouveaux capteurs capables de mesurer ces paramètres en continu lors de la récolte.

Dans le domaine de la spectrométrie proche infrarouge (SPIR), la miniaturisation des composants ouvre de nouvelles perspectives d'utilisation, notamment avec l'apparition des appareils à barrette de diodes. Avec moins de pièces en mouvement, ces capteurs deviennent embarquables.

Pour valider les mesures sur flux de grain en phase expérimentale de ce type de capteur, notre expérience confirme cependant l'intérêt d'un dispositif de prélèvement d'échantillons embarqué.

Le passage à une phase d'industrialisation du dispositif intégrera des solutions aptes à assurer sa fiabilité en utilisation intensive. 

Remerciements

Outre les différentes personnes des équipes du Cemagref et d'Ulice sollicitées pour ces travaux, nous tenons à remercier les sociétés Claas, Agromom, Perten et Kemira pour la mise à disposition de leurs matériels et logiciels (Moissonneuse-batteuse MEGA 218, Système ACT de mesure et d'enregistrement des rendements

géoréférencés, Spectromètre DA 7000, logiciels de cartographie Agromap® et Loris®), ainsi que Messieurs Pierre Dardenne (Centre de recherches agronomiques de Gembloux, Département « qualité des productions agricoles » – Belgique) et Noël Féminias (Limagrain Génétiques), pour leur aide en matière de mesure des taux de protéines des grains par spectrométrie proche infrarouge.

Résumé

Les nouvelles possibilités d'intégration de capteurs sur des matériels de récolte ouvrent la voie de mesures de qualité intraparcellaires en temps réel. Comment valider les mesures ainsi réalisées ?

Pour répondre à cette question, nous avons mis au point un dispositif de prélèvement d'échantillons géoréférencés. L'analyse en laboratoire de ces échantillons permet d'établir des cartes intraparcellaires de référence afin de contrôler les mesures en temps réel. Une première utilisation a concerné la mesure intraparcellaire de la teneur en protéines.

Abstract

The new possibilities given by the sensors integration on harvest equipment open the way of real time site-specific quality measurement. How to validate the measurement done by this way ?

To answer this question, we have developed a georeferenced sampling system. The laboratory analyses of these samples allows to create reference site-specific maps usable to control real time measurement. A first use was about site-specific proteins level measurement.

Bibliographie

OSBORNE, B.G., FEARN, T., HINDLE, P.H., 1993, *Practical NIR Spectroscopy with Applications in Food and Beverage Analysis*, Harlow (GBR), Longman Scientific & Technical, second edition, 227 p.

REYNS, P., DE BARDEMAEKER, J., RAMON, H., 1999. Site specific relationship between quality and yield. *2nd European conference on Precision agriculture*, p. 665-675.

STAFFORD, J.V., 1999. An investigation into the within-field spatial variability of grain quality. *2nd European conference on Precision agriculture*, p. 353-359.

THYLEN, L., ALGERBO, P.A., PETTERSON, C.G., 1999. Grain quality variations within field of malting barley. *2nd European conference on Precision agriculture*, p. 287-295.

VIGIER, F., BOFFETY, D., MARIONNEAU, A., OLLIVIER, E. et VIALIS, B., 2000. Technique d'échantillonnage et mesure de qualité du grain sur moissonneuse – batteuse, Agriculture de précision. *Actes du colloque Cemagref – Enesad, Dijon 29-30 Mai 2000*, Educagri éditions, p. 287-295.

VIGIER, F., BOFFETY, D., MARIONNEAU, A. et OLLIVIER, E., 2000. Automated on board system for geo-referenced grain sampling on combine harvester. *IAMFE/AAB UK 2000, 11th International Conference and Exhibition on Mechanization of Field Experiments*, p. 133-138.