

Résumés des communications

Communications orales	Pages
H. W. Siesler. Near-Infrared Spectroscopy: Analytical Applications, Research and Process Control.	2
Y. Gut et al. Mesure en continu d'une production pharmaceutique – Comment contrôler la totalité d'une production par spectroscopie proche infrarouge et analyse multipoints ?	2
P. Dubuc et al. La spectroscopie proche infrarouge sur la ligne de production dans l'industrie chimique.	3
M. Dupont et al. Etude comparative de mesure de la teneur en caoutchouc et en résines par spectroscopie proche infra-rouge (NIRS) au champ et en laboratoire sur plants de Guayule (<i>Parthenium argentatum</i>)	4
P. Dardenne. Présentation d'un spectromètre portable pour l'analyse des fourrages et des aliments à la ferme	5
S. Trupin et al. Comparaison de spectromètres proche infrarouge embarqués sur moissonneuse-batteuse pour l'analyse des céréales à paille.	5
J.C. Boulet. CheMOOCs : la chimiométrie pour tous, principes et outils.	6
A. Garrido-Varo et al. Moving smoothly from the NIR lab to the agri-food plant.	7
M. Nouri et al. La prédiction du taux d'argile du sol sur une image hyperspectrale aéroportée par transfert des modèles d'étalonnage construits au laboratoire	8
S. Jay et al. Optical remote sensing of canopy nitrogen content in sugar beet crops for phenotyping applications	9
Posters	
L. Bonnal et al. Prédiction de la composition des grandes graminées: des étalonnages multi-espèces peuvent-ils être utilisés pour l'extrapolation ?	10
D. Brunet et al. Utilisation de la spectrométrie proche infrarouge pour évaluer la teneur des sols de Martinique en chlordécone (insecticide organochloré).	11
J. Lallemand et al. Evaluation of "Ente" plum maturity by infrared spectroscopy	13
S. Prey et al. Flash BMP®: Calibration for the biochemical methane potential (BMP) of solid organic waste using NIRS.	14
H. Rebiere et al. Use of near infrared spectroscopy and Raman chemical imaging to investigate the composition of anabolic tablets.	16
P. Vermeulen et al. Evaluation de la qualité des aliments pour animaux par spectroscopie infrarouge sur site.	16

Near-Infrared Spectroscopy: Analytical Applications, Research and Process Control

Heinz W. Siesler

*Department of Physical Chemistry, University of Duisburg-Essen
D 45117 Essen, Germany
hw.siesler@uni-due.de*

Increasing cost pressure and legal requirements regarding quality control, processing conditions and environmental compatibility of chemical, pharmaceutical, petrochemical, food and agricultural products have enforced the consideration of non-destructive and rapid measurement techniques to meet these demands. Despite its uncontested importance for exactly these issues near-infrared (NIR) spectroscopy is still not unanimously ranked in the spectroscopic community as an equivalent scientific technique to mid-infrared and Raman spectroscopy. The root causes are the underestimation of the structural selectivity of NIR spectra and the fact that the majority of the agro- and food-oriented users often apply the technique without scrutinizing the structural origin of their NIR spectra.

In order to emphasize the potential of NIR spectroscopy for industrial quality and process control and to address the above minus development this presentation will on the one hand focus on the successful implementation of NIR spectroscopy as real-time control technique into production processes and will on the other hand report case studies that demonstrate its potential for structural interpretation and discrimination.

Finally, the recent developments in miniaturization of instrumentation demonstrate that the NIR technique has also become a competitive technique for on-site and in-the-field measurements.

Mesure en continu d'une production pharmaceutique – Comment contrôler la totalité d'une production par spectroscopie proche infrarouge et analyse multipoints ?

Yoann Gut¹, Mathieu Boiret¹, Fabien Chauchard²

¹ *Technologie SERVIER, 27 rue Eugène Vignat, Orléans, France*

² *INDATECH, 4 rue Georges Besse, Clapiers, France*

La spectroscopie proche infrarouge (NIR) est régulièrement utilisée dans l'industrie pharmaceutique pour répondre aux problématiques d'analyse de procédés en continu [1]. Cette technique de mesure permet, par exemple, d'effectuer du suivi de mélange, de granulation ou d'extrusion à chaud [2].

Afin de contrôler en temps réel une production pharmaceutique complète, un système innovant de tri en continu a été développé et équipé d'une sonde NIR SRS (Spatially Resolved Spectroscopy). Plusieurs laboratoires ont déjà démontré l'intérêt d'une telle technologie pour obtenir de l'information chimique et physique à partir d'un seul système de mesure [3, 4].

Dans ces travaux, la sonde a été configurée pour collecter plusieurs spectres par acquisition et ainsi analyser la répartition du principe actif (PA) au sein de deux lots de comprimés. Le système a également été capable d'effectuer le dosage en PA de ces deux lots à l'aide d'une modélisation PLS (Partial Least Squares).

Cette nouvelle machine pourrait donc être un atout en production pharmaceutique. Les comprimés sortant des limites réglementaires seraient éliminés pendant la production.

References

1. US Food and Drug administration. Center for Drug Evaluation and Research: *Guidance for Industry PAT – A framework for Innovative Pharmaceutical Manufacturing and Quality Assurance*. 2004.
2. Simon L. L., et al. *Assessment of Recent Process Analytical Technology (PAT) Trends: A Multiauthor Review*. *Org Process Res Dev* 2015;19:3–62.
3. Kurki L., Marbackj R. *Radiative Transfer studies and Next Generation NIR probe prototype*. VTT publication 2009;703.
4. Nguyen D.T N., *Spatially resolved spectroscopy for non-destructive quality inspection of foods*. Thesis KU Leven 2013.

La spectroscopie proche infrarouge sur la ligne de production dans l'industrie chimique

Dubuc P¹, Montagnier S. ¹, Guilment J.¹, Lallemand J.² et Roussel S. ²

¹ ARKEMA - CERDATO / Laboratoire d'Étude des Matériaux (LEM), Route du Rilsan, 27470 Serquigny – France
jean.guilment@arkema.com

² Ondalys, 4 rue Georges Besse, 34830 Clapiers, France.
jlallemand@ondalys.fr

La maintenance des modèles en ligne est un problème majeur pour le développement des applications de spectroscopie proche infrarouge, notamment lors de l'apparition de perturbations. L'utilisation d'une méthode d'orthogonalisation peut s'avérer un moyen efficace de résoudre le problème et sera illustré dans le cadre d'une application industrielle.

Le suivi en ligne de la polymérisation des polyamides par spectrométrie proche infrarouge est un sujet bien connu qui donne d'excellents résultats. La mesure peut s'effectuer at-line sur des poudres ou des granulés mais aussi directement en ligne sur les poudres ou en milieu fondu. Un modèle PLS peut permettre d'avoir accès directement aux fins de chaînes ou plus indirectement à la viscosité du produit. Dans le cas de notre étude, la prédiction de la viscosité par spectroscopie proche infrarouge permet le contrôle du procédé en temps réel. Mais, après plusieurs années de fonctionnement, une perturbation non identifiée est survenue, rendant le modèle inapplicable pendant plusieurs mois avant que la perturbation ne disparaisse à nouveau.

Afin de rendre le modèle indépendant de cette perturbation, un modèle robuste, utilisant la méthode Dynamic Orthogonal Projection (DOP), a été développé. Les prédictions en étalonnage (année N) et en test (année N+2) du modèle sont données en Figure 1 (à gauche). Une partie des prédictions est correcte, mais il existe une dispersion importante et un biais négatif sur un lot d'échantillons de l'année N+2. Après correction du modèle par DOP, les prédictions en test montrent une variabilité proche de celle d'étalonnage (Figure 1, à droite).

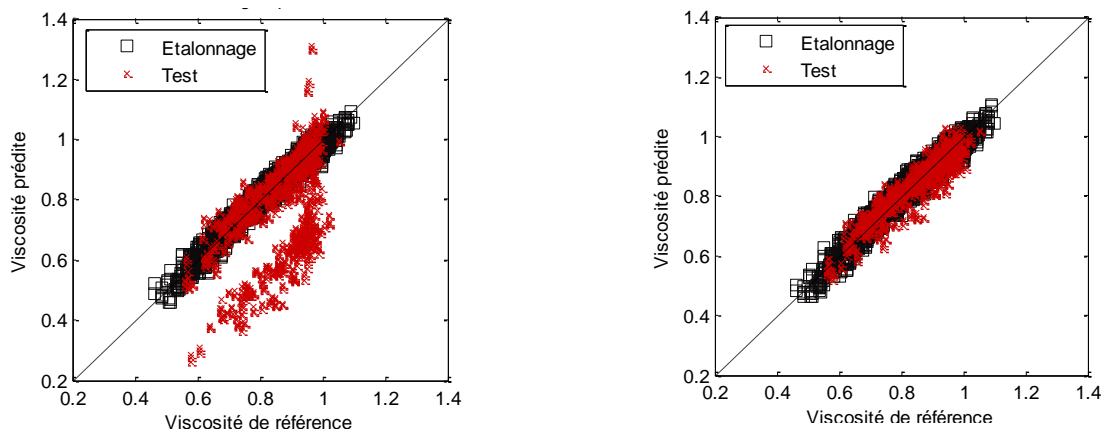


Figure 1. Prédiction de la viscosité : étalonnage année N et test année N+2
Avant correction du modèle (à gauche) et après correction du modèle par DOP (à droite).

Les problèmes de maintenance et de robustesse des modèles prédictifs en spectroscopie proche infrarouge sont un vrai frein à son expansion dans le monde industriel. La méthode Dynamic Orthogonal Projection (DOP) est une solution mathématique élégante qui permet de s'affranchir de l'impact de l'apparition et de la disparition de perturbations avec seulement quelques échantillons de recalage.

Etude comparative de mesure de la teneur en caoutchouc et en résines par spectroscopie proche infra-rouge (NIRS) au champ et en laboratoire sur plants de Guayule (*Parthenium argentatum*)

M. Dupont¹, N. Boutahar¹, P. Sartre², L. Brancheriau³, E. Tardan¹, D. Pioch¹, S. Palu¹

¹ UR BioWoob

² INRAMontpellierSupAgro-Melgueil

³ UMR AMAP

Le caoutchouc naturel commercial est produit essentiellement à partir d'hévéa *brasiliensis*. Des alternatives de production de caoutchouc naturel se développent en Europe et en Amérique du Nord à partir de deux plantes : le guayule (*Parthenium argentatum*) et le pissenlit Kazakhe (*Taraxacum kok saghyz*). La demande croissante en caoutchouc naturel avec un risque de pénurie notamment pour l'industrie du pneumatique est le moteur de l'intérêt de ces deux plantes. Pour la sélection de lignées variétales, le suivi de la culture agronomique et la détermination de la teneur moyenne en caoutchouc (polyisoprène) et en résines de guayule, une méthode d'utilisation du NIRS en laboratoire a été développée dans le cadre d'un projet européen (EU-PEARLS). Les chercheurs du CIRAD et de l'INRA continuent à travailler à la mise au point d'une méthode de mesure directe par NIRS portable au champ sur branche de plants de guayule et en laboratoire sur poudres sèches pour déterminer les corrélations entre les deux types de mesures par NIRS (champ et laboratoire). Les premiers essais sur champ ont permis de mettre au point une méthode de mesure au champ avec un NIRS portable, de définir une corrélation entre NIRS portable et NIRS de laboratoire. L'étude sera poursuivie sur plus d'échantillons pour élargir la base de données et s'assurer d'une méthode plus efficace pour établir une calibration et un modèle de passage plus fiable entre NIRS de laboratoire et NIRS de champ.

Présentation d'un spectromètre portable pour l'analyse des fourrages et des aliments à la ferme.

P. Dardenne,

Centre wallon de Recherches agronomiques, Gembloux, Belgique

Un nouveau spectromètre miniaturisé développé par Viavi (ex JDSU) est actuellement commercialisé par NIR4Farm, une filiale de ABVista (<http://www.nir4farm.com/>). Le spectromètre pesant moins de 60 gr couvre la gamme spectrale 950-1650 permettant d'analyser efficacement les denrées agricoles. L'appareil est prêt à l'emploi. Les étalonnages et les acquisitions spectrales sont téléchargés de et vers un site internet dédié. Via une tablette Android connectée par WiFi sur le serveur, le spectromètre dispose des étalonnages pour l'ensilage d'herbe et de maïs et pour les rations totales mélangées (TMR) et détermine les paramètres nutritionnels principaux : matière sèche, protéines, fibres, amidon, sucres, coefficient de digestibilité, pH, acide lactique. L'appareil NIR4Farm analyse en temps réel un fourrage en moins de 5 minutes et permet ainsi d'optimiser les rations et donc de maximiser les profits. Des tests indépendants de validation permettent d'évaluer les performances de l'instrument.

Comparaison de spectromètres proche infrarouge embarqués sur moissonneuse-batteuse pour l'analyse des céréales à paille

Séverine TRUPIN, Bruno MOULINIER, Brigitte MAHAUT

ARVALIS – Institut du végétal, Station expérimentale – 91720 Boigneville, France

L'objectif de cette étude est de comparer 3 spectromètres proche infrarouge aujourd'hui commercialisés pour l'analyse en ligne des céréales, des oléagineux et des fourrages, qu'ils soient équipés ou non de calibrations.

Tous les échantillons de blé et d'orge analysés dans cette étude ont été référencés par espèce selon la méthode Dumas (XP CEN ISO/TS 16634-2) pour la teneur en protéines et par InfratecTM 1241 FOSS pour la teneur en eau. Les échantillons proviennent de différentes zones géographiques de la Métropole. Ils sont issus des essais ARVALIS des récoltes de 2002 à 2013. Les échantillons ont été récoltés par le biais d'une moissonneuse-batteuse d'expérimentation. Ils n'ont pas été nettoyés avant analyse. La masse minimale de chaque échantillon est de 500 g et de 1 kg au maximum. Pour chacune des espèces, 300 échantillons ont été sélectionnés et analysés en simple. Un échantillon témoin a été introduit chaque jour d'utilisation pour contrôler la stabilité du système et déceler une éventuelle dérive. De façon à pouvoir reproduire les mêmes conditions de mesure pour chacun des appareils, les tests ont été effectués en laboratoire à température contrôlée. Une trémie avec une ouverture de trappe d'écoulement fine a permis de simuler l'écoulement de l'intégralité de chaque échantillon sur moissonneuse-batteuse. Des essais en température ont également été réalisés sur 9 échantillons pour évaluer ou intégrer la robustesse des calibrations.

Pour les appareils dotés de calibrations constructeurs, une comparaison directe des performances a pu être réalisée. Cependant, les conditions de test ne correspondant pas aux conditions de développement des calibrations, il s'est avéré nécessaire de construire de nouveaux modèles.

Ainsi, un appareil a atteint les performances habituelles des spectromètres proche infrarouge de type labo ou organisme stockeur, à savoir une SEP de 0.3 %MS pour la teneur en protéines quelle que soit l'espèce. Les 2 autres capteurs ont une erreur légèrement inférieure à 0.5 % MS.

CheMOOCs : la chimométrie pour tous, principes et outils.

J.C. Boulet

INRA, UMR Sciences pour l'œnologie, Montpellier)

1. Historique

A l'origine, un petit groupe s'est formé autour de D. Bertrand, N. Dupuy, J.M. Roger et D. Rutledge, afin d'échanger sur des problèmes et d'être force de proposition. Deux axes se sont rapidement dessinés : (1) un axe « enseignement » avec l'idée d'un master en chimométrie, et un axe « fondation » sur le modèle de ChemoAC en Belgique. Ces axes ont été discutés, évalués, mais sans déboucher. Ils ont néanmoins fait avancer la réflexion en commun.

De son côté, D. Bertrand entretenait depuis longtemps une boîte à outils de chimométrie nommée Saisir, écrite pour Matlab. Puis J.C. Boulet et J.M. Roger ont adapté Saisir à Scilab pour lui donner un accès libre complet, et l'ont dénommé Fact (Free Access Chemometric Toolbox).

Au printemps 2014, un appel d'offres orienté "enseignement du futur" a été lancé par Agropolis Fondation. Le groupe des chimométriciens de Montpellier y a répondu : J. C. Boulet et M. Ecarnot (INRA), J.M. Roger (IRSTEA), S. Preys (Ondalys), R. Sabatier (Université de Montpellier) et B. Barthès (HéliosPIR). Et ce projet a été accepté ! Le financement est issu de l'ANR au titre des Investissements d'Avenir, référence ANR-10-LABX-0001-01 du Labex-Agro.

2. Le projet

Le projet CheMOOCs comporte trois volets : (1) un MOOC en chimométrie ; (2) une boîte à outils de chimométrie ; (3) une base de données. L'idée de ce triptyque est de fournir une ressource complète : connaissances, outils et données. Seuls les deux premiers points seront présentés ici. Le troisième point est encore en discussion.

Les MOOCs (Massive Open Online Courses) sont des cours en ligne gratuits et destinés au plus grand nombre. Le nombre d'inscrits ou apprenants se compte en milliers. Ils sont diffusés via une plateforme, sous forme de sessions de 4 à 6 semaines. Nous avons choisi la plateforme FUN (France Université Numérique).

CheMOOCs est subdivisé en 21 grains ou unités d'apprentissage. Un grain traite d'un sujet, par exemple l'ACP. Il est constitué de plusieurs éléments, typiquement une vidéo de 10 minutes présentant le cours, des exercices corrigés, un forum permettant aux apprenants d'échanger. La vidéo sera présentée en français, sous-titrée en anglais.

La boîte à outils Fact avait été proposée à l'origine pour appuyer le MOOC mais on pouvait s'attendre à des problèmes : les apprenants auraient à apprendre à la fois les concepts de la chimométrie et ceux de la programmation en Scilab (le même problème se serait posé avec Matlab ou R). Nous avons donc cherché une autre option permettant de supprimer les lignes de commande afin de concentrer l'apprentissage sur la chimométrie. Le choix s'est porté sur Galaxy, reconfiguré uniquement avec des outils de chimométrie. D'autres avantages de Galaxy sont : (1) un fonctionnement en mode serveur, par le web, permettant un accès via une tablette ou un smartphone ; (2) la possibilité d'utiliser tous types de langages (Matlab, Scilab, R, Python, Pearl ou C, par exemple), et toujours de manière transparente pour l'utilisateur ; (3) une grosse communauté de développeurs assurant la pérennité de l'outil.

3. Les partenaires

Le contrat avec Agropolis-Fondation ne peut financer que des unités membres du Labex-Agro, néanmoins il a été nécessaire de développer des collaborations sur Montpellier et hors Montpellier. Le projet CheMOOCs est en effet l'occasion de faire collaborer des chimométriciens francophones. Plusieurs

d'entre eux ont souhaité participer à la construction des grains du MOOC ou à sa validation : L. Duponchel (Univ. Lille), D. Rutledge (AgroParisTech, Paris), Y. Lijour (Univ. Brest), M. Boiret (Servier, Orléans), D. Bertrand (Data-Frame, Nantes), M. Hanafi et P. Courcoux (ONIRIS, Nantes), B. Jaillais (INRA, Nantes), S. Rudaz et P. Boccard (Univ. Genève), N. Dupuy et S. Amat (Univ. Aix-Marseille).

Techniquement, la mise en place d'un MOOC demande des connaissances et moyens en communication et en audiovisuel. Plusieurs personnes ont été sollicitées pour leur expertise dans ces domaines : C. Lebegue (formation permanente INRA Montpellier), l'équipe TICE de SupAgro Florac représentée par C. Resche, et C. Trédaniel (INRA Montpellier et SupAgro Florac).

Le projet bénéficie également de la participation et du soutien du CATI-CODEX (Centre Automatisé de Traitement de l'Information – Connaissance et Données Expérimentales) de l'INRA (P. Neveu, E. Latrille et V. Rossard). F. Gogé (IRSTEA) est chargé de l'implémentation du logiciel.

4- Les échéances

Le lancement du MOOC est prévu en Septembre 2016. D'ici là, les principales étapes sont : (1) l'enregistrement des vidéos, de décembre 2015 à février 2016 ; (2) le montage des vidéos, en mars-avril 2016 ; (3) les premiers tests du MOOC sur le "bac à sable" de FUN, en mai-juin 2016 ; (4) les dernières corrections, en juillet-août 2016. L'implémentation des fonctions, leur vérification, l'optimisation des calculs, seront réalisées de novembre 2015 à avril 2016, de manière à suivre les procédures de test et de correction en même temps que le MOOC.

5. Et après ?

Le MOOC sera réédité périodiquement, à une fréquence à ajuster en fonction des besoins. Une version en anglais est envisagée. La participation à la mise à jour des futures éditions restera ouverte à toute personne souhaitant s'impliquer.

Le logiciel, basé sur Galaxy (le nom est à trouver) a pour première mission d'être un support de cours pour le MOOC. Mais il a une seconde mission, celle d'accueillir de nouvelles méthodes proposées en chimométrie, non proposées dans le MOOC. Accessibles à tous, ces méthodes seront mises en œuvre à grande échelle, les utilisateurs les compareront à d'autres méthodes plus connues. Leur retour d'expérience, que nous espérons, nous informerait sur les performances réelles de ces nouvelles méthodes.

Moving smoothly from the NIR lab to the agri-food plant

Ana GARRIDO-VARO, Dolores PÉREZ-MARIN

Université de Cordoue (Espagne)

Résumé non disponible

La prédiction du taux d'argile du sol sur une image hyperspectrale aéroportée par transfert des modèles d'étalonnage construits au laboratoire

Nouri M.¹, Gomez C.², Gorretta N.¹, Roger JM¹

¹ IRSTEA, UMR ITAP, BP 5095 34196 Montpellier Cedex 5, France (maroua.nouri@irstea.fr)

² IRD, UMR LISAH (INRA-IRD-SupAgro), F-34060 Montpellier, France

La prédiction du taux d'argile des sols sur des bassins versants entiers consiste à construire des modèles d'étalonnage à partir de spectres extraits d'une image hyperspectrale aéroportée Vis-NIR. Cette approche coûteuse (travail de terrain) assure des performances de prédiction modérées. Notre étude propose une nouvelle méthode se basant sur des modèles d'étalonnage construits à partir de spectres Vis-NIR acquis au laboratoire. Elle nécessite l'établissement d'un transfert d'étalonnage entre les données de laboratoire et celles extraites de l'image hyperspectrale aéroportée.

Pour tester cette approche nous recourons à un contexte optimal : la base laboratoire utilisée est compatible avec une image hyperspectrale aéroportée acquise sur le bassin versant de la Peyne en France. Elle est composée de 147 échantillons de sol collectés dans la zone prise en image hyperspectrale. 147 spectres de laboratoire ont été acquis à partir des échantillons broyés et séchés de ce sol. 96 spectres ont été extraits de l'image hyperspectrale aux endroits dans lesquels les échantillons du sol ont été collectés et les teneurs d'argile ont été mesurées. Deux tiers de 147 spectres de laboratoire (115 spectres) ont été utilisés pour établir le modèle d'étalonnage laboratoire en utilisant une approche PLSR. Un tiers de 96 spectres de l'image a été utilisé pour la validation du modèle final. Les deux tiers restants ont été utilisés comme des standards pour établir le transfert d'étalonnage. La performance de chaque modèle a été évaluée selon la qualité des résultats de prédiction des teneurs d'argile (le coefficient de détermination R^2_{test} et l'erreur standard de prédiction SEP). Ces résultats de prédiction ont été comparés aux résultats de prédiction obtenus par le modèle d'étalonnage image classique (modèle construit et testé à partir des spectres extraits de l'image : $R^2_{\text{test}} = 0.72$, SEP = 42g/kg). Trois méthodes de transfert de modèle d'étalonnage construit au laboratoire ont été testées avec et sans tenir compte de la stratification pédologique du sol : la standardisation PDS, le modèle update et refile, afin de prédire le taux d'argile du sol.

Le transfert d'étalonnage permet d'améliorer les performances de prédiction comparées à celles obtenues par l'application directe du modèle d'étalonnage laboratoire sur l'image hyperspectrale sans transfert et aussi à celles obtenues par le modèle d'étalonnage image classique. De plus, tenir compte de la stratification du sol lors de la sélection des standards des modèles de transfert assure les meilleurs résultats de prédiction spécifiquement en utilisant les deux méthodes de transfert : modèle update et refile. En utilisant respectivement 20 et 25 standards, modèle update ($R^2_{\text{test}} = 0.80$, SEP = 35g/kg) et refile ($R^2_{\text{test}} = 0.79$, SEP = 38g/kg) assurent des résultats de prédiction meilleurs que les prédictions du modèle d'étalonnage image classique.

Selon notre étude, le modèle d'étalonnage laboratoire pourra être utilisé pour prédire les propriétés du sol sur l'image hyperspectrale aéroportée. L'établissement d'un transfert d'étalonnage de ce modèle sur l'image est une approche efficace permettant d'avoir des cartographies spatiales des propriétés du sol.

Optical remote sensing of canopy nitrogen content in sugar beet crops for phenotyping applications

S. Jay¹, F. Maupas², N. Gorretta¹

¹ UMR ITAP, Irstea, 361 rue J.F. Breton, 34196 Montpellier, France

² ITB, 45 rue de Naples, 75008 Paris, France

Nitrogen content is one of the most important limiting key nutrients in sugar beet crops, so plant nitrogen status has to be carefully monitored throughout the plant life. In particular, for phenotyping applications, it is essential to better understand why genotypes differ in the use of nitrogen sources so as to create new cultivars that consume less nitrogen. For this purpose, following up the nitrogen status of crops using optical remote sensing has appeared as a powerful tool because it allows a high throughput and non-destructive vegetation characterization.

In this study, we evaluated the potential of ground-based spectro-radiometric measurements to estimate canopy nitrogen content. Along the 2015 growing season, 44 reflectance spectra of sugar beet canopies and the associated canopy nitrogen contents were measured, encompassing three cultivars and two locations with different soil and weather conditions. Numerous vegetation indices originally designed for retrieving the chlorophyll content (which is known to be correlated with the nitrogen content) and computed from the visible and near-infrared spectral range were compared based on their correlation with nitrogen content.

Overall, the MERIS Terrestrial Chlorophyll Index (MTCI) obtained the best correlation ($R^2=0.90$) and a cross-validated error of prediction of 0.805 g/m^2 (i.e., 19% of the mean canopy nitrogen content). As expected, the nitrogen content was strongly correlated to the chlorophyll content when integrated at the canopy level. This relationship was much more robust among development stages and cultivars, thus proving that optical remote sensing is a promising tool for sugar beet phenotyping.

Posters

Prédiction de la composition des grandes graminées: des étalonnages multi-espèces peuvent-ils être utilisés pour l'extrapolation ?

Bonnal L., Bastianelli D.

CIRAD-SELMET, Montpellier, France

INTRODUCTION

Les grandes graminées comme le sorgho, le mil ou la canne à sucre sont largement cultivées dans les régions tropicales, où leurs sous-produits (pailles, tiges ...) sont souvent utilisés pour l'alimentation animale mais ont aussi un potentiel comme sources de matière organique pour les sols, ou d'énergie. Il est important de pouvoir déterminer leur composition chimique, leur dégradabilité et leur valeur nutritive.

Des étalonnages SPIR spécifiques existent pour les espèces majeures (e.g. maïs). Les sous-produits et les espèces moins communes ont un potentiel d'utilisation dans certains contextes, mais il n'y a souvent pas d'étalonnage robuste pour prédire leur composition. Cette étude a été réalisée pour évaluer la possibilité de prédire des échantillons peu typiques à partir d'une base de données rassemblant plusieurs espèces.

MATERIELS ET METHODES

Une base d'étalonnage a été créée en rassemblant des spectres de diverses grandes graminées: sorgho, mil, canne à sucre, maïs, pennisetum, miscanthus de plusieurs pays tropicaux et du Sud de la France. La plupart des 750 échantillons était constituée de sous-produits, ou de plantes récoltées à maturité. Les spectres ont été acquis sur les échantillons séchés et broyés, sur un spectromètre FOSS 5000, en mode réflectance. Les étalonnages ont été réalisés par régression PLS à partir des spectres prétraités mathématiquement (dérivée seconde, SNV et correction de la ligne de base).

Les paramètres mesurés étaient : Matière sèche (MS), Matières minérales (MM), Protéines brutes (MAT), Cellulose brute (CB), fractions Van Soest (NDF, ADF et ADL), digestibilité in vitro de la matière organique (DIVMO).

La première approche a été l'établissement d'un étalonnage global. Une base de validation a été créée en retirant 100 échantillons au hasard et en effectuant l'étalonnage sur les 650 échantillons restants. La seconde approche a été de retirer les échantillons d'une espèce botanique (ou partie de plante) de la base d'étalonnage et de les utiliser en validation des équations établies sans eux, pour en tester la capacité d'extrapolation.

RESULTATS ET DISCUSSION

La distance statistique entre les espèces a montré un groupe assez homogène rassemblant le sorgho, la canne à sucre, le mil et le maïs. Le miscanthus était plus proche de la canne à sucre que du maïs et du sorgho. Le pennisetum, récolté à des stades végétatifs plus précoces, était plus proche du mil et du maïs que du sorgho ou du miscanthus.

L'étalonnage réalisé avec la base multispécifique a produit des erreurs de validation croisée (SECV) proches des valeurs classiques pour les mêmes constituants dans des bases végétales. Toutefois les erreurs de prédiction (SEP) supérieures aux SECV montraient que l'étalonnage n'était pas totalement robuste. Toutefois les valeurs de RPD (=écart-type/SEP) étaient assez élevées, grâce à la variabilité

importante existant dans la base. Ces résultats indiquent que pour des échantillons de même nature que ceux présents dans la base, la composition peut être prédite avec une précision acceptable. Les essais d'extrapolation ont produit des résultats variables selon l'espèce retirée de la base, et le paramètre analytique considéré. Ainsi la prédiction de la teneur en protéines a été généralement bonne, même en extrapolation, avec des SEP variant entre 0.5% et 1.5% selon l'espèce. Pour certaines espèces (e.g. Panicum), un biais de prédiction notable a été observé. Pour des critères plus agrégatifs comme NDF ou DIVMO, on a observé des valeurs de SEP plus élevées pour certaines espèces, notamment le sorgho ou la canne à sucre. Pour DIVMO la régression globale était correcte ($R^2=0.86$; pente = 0.91) mais les pentes étaient significativement différentes de 1 en intra-groupe. D'un point de vue pratique l'expérience a montré qu'il existe une certaine capacité d'extrapolation dans la base de données des "grandes graminées", permettant d'estimer la composition d'échantillons provenant d'espèces végétales non présentes dans la base d'étalonnage (e.g. canne de Provence). L'inclusion d'un nombre limité d'échantillons d'une nouvelle espèce dans la base permet la prédiction d'échantillons de cette espèce, sans avoir besoin de développer un étalonnage spécifique.

Référence. Bonnal L., et al., 2015. Prediction of the composition of large poaceae: can multi-species calibrations can be used for extrapolation to new species ? 17th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, 18-23 Oct. 2015, Foz do Iguassu (Brazil).

Utilisation de la spectrométrie proche infrarouge pour évaluer la teneur des sols de Martinique en chlordécone (insecticide organochloré)

Didier Brunet¹, Bernard Barthès¹, Magalie Lesueur-Jannoyer², Raphaël Achard², Thierry Woignier³

¹ IRDUMR Eco&Sols, Montpellier SupAgro, 34060 Montpellier Cedex 1

² CIRAD, PRAM, Petit Morne, 97232 Le Lamentin (Martinique)

³ UMR IMBE, PRAM, Petit Morne, 97232 Le Lamentin (Martinique).

Le chlordécone est un insecticide organochloré qui a été largement utilisé pour traiter les bananeraies des Antilles françaises contre le charançon, jusqu'à son interdiction en 1993. Du fait de sa toxicité et de sa persistance, la contamination des sols des Antilles par le chlordécone constitue aujourd'hui un problème de santé publique, puisque on en retrouve dans les tubercules, les eaux de sources, et même dans le lait maternel. Les méthodes conventionnelles d'analyse des pesticides dans le sol sont souvent longues et coûteuses, notamment pour le chlordécone, et il existe un réel besoin en méthodes alternatives permettant d'évaluer rapidement et à faible coût la contamination des sols. La littérature a largement montré l'intérêt de la spectrométrie proche infrarouge (SPIR) pour déterminer précisément, rapidement et à faible coût de nombreuses propriétés du sol. Des travaux récents montrent aussi son intérêt pour prédire la sorption des pesticides sur le sol (expériences de sorption/désorption). L'objectif du travail présenté ici était d'évaluer la capacité de la SPIR à prédire la teneur en chlordécone de sols de Martinique contaminés lors de traitements des cultures.

L'étude a porté sur 236 échantillons prélevés à 0-30 et 30-60 cm de profondeur : 169 provenant d'andosols, 12 de sols brun-rouille à halloysite, et 55 de ferrisols, trois types de sol largement cultivés en banane aux Antilles. L'analyse conventionnelle de la teneur du sol en chlordécone comportait une extraction au chlorure de méthylène et à l'acétone, puis un dosage par chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (GC-MS). Cette méthode est relativement longue (plusieurs heures, extraction comprise), coûteuse (plusieurs dizaines d'euros par échantillon), et utilise plusieurs réactifs toxiques ; son seuil de détection est bas (0.01 mg kg^{-1}) mais sa précision n'est pas très bonne (les résultats sont donnés avec un intervalle de confiance de 30%). Les teneurs en chlordécone mesurées sur les échantillons étudiés sont :

- de 0.0 à 19.8 mg kg⁻¹ pour les andosols (moyenne 4.7 mg kg⁻¹) ;
- de 0.0 à 2.3 mg kg⁻¹ pour les sols brun-rouille (moyenne 0.8 mg kg⁻¹) ;
- de 0.1 à 6.2 mg kg⁻¹ pour les ferrisols (moyenne 2.2 mg kg⁻¹).

Par ailleurs, environ 5 g de chaque échantillon broyé (< 0.2 mm) ont été irradiés dans le domaine proche infrarouge 1100-2500 nm avec un spectromètre Foss NIRSystems 5000. Chaque spectre de réflectance, automatiquement moyenné à partir de 32 spectres élémentaires, est converti en absorbance (logarithme de l'inverse de la réflectance). Environ 200 spectres d'absorbance sont acquis par jour, sans utilisation de consommable. L'analyse des données est réalisée avec le logiciel WinISI, fourni avec le spectromètre. En SPIR, cette analyse débute souvent par un prétraitement mathématique des spectres pour réduire le bruit; dans le cas présent, les spectres d'absorbance ont été dérivés puis éventuellement centrés-réduits (prétraitement SNV, pour Standard normal variate) ou corrigés de la réflexion diffuse (prétraitement MSC, pour Multiplicative scatter correction). Une ACP est ensuite réalisée sur les spectres pour identifier les échantillons atypiques, qui sont écartés de la suite de l'analyse. L'ajustement des données spectrales aux teneurs en chlordécone est réalisé par régression des moindres carrés partiels (PLS, la plus utilisée en SPIR actuellement), avec étalonnage par validation croisée sur une sous-population, puis test de validation sur les échantillons restants. La qualité de l'étalonnage est évaluée par l'erreur standard de validation croisée (SECV) et le coefficient de détermination Q² (= R² de validation croisée). Cet étalonnage est ensuite testé sur la sous-population de validation, la précision des prédictions étant évaluée par l'erreur standard de prédiction (SEP), par R² (de validation), ainsi que par RPD (ratio de l'écart type sur SEP, classique en SPIR). Deux populations ont été étudiées : la population totale (236 échantillons, dont 150 pour l'étalonnage) et les andosols (169 échantillons, dont 100 pour l'étalonnage) ; les populations de sols brun-rouille et de ferrisols avaient chacune un effectif insuffisant pour être analysées statistiquement.

Prédiction par SPIR de la teneur du sol en chlordécone (mg kg⁻¹) sur la population totale et les andosols seuls.

Prétraitement mathématique	Etalonnage			Validation			
	n ₁	SECV	Q ²	n ₂	SEP	R ²	RPD
Population totale							
Dérivée première	136	1.3	0.73	73	2.4	0.82	2.2
Dérivée première et SNV	130	0.9	0.75	80	3.3	0.77	1.6
Dérivée première et MSC	138	1.3	0.70	82	2.5	0.81	2.1
Andosols							
Dérivée première	90	0.9	0.91	60	2.4	0.82	2.2
Dérivée première et SNV	88	1.2	0.82	62	2.4	0.81	2.2
Dérivée première et MSC	92	1.2	0.82	60	2.4	0.80	2.2

n₁ est l'effectif d'étalonnage après élimination des échantillons atypiques d'étalonnage / n₂ est l'effectif de la sous-population de validation / SECV et SEP, en mg.kg⁻¹, sont les erreurs standard de validation croisée et de prédiction, respectivement / Q² et R² sont les coefficients de détermination de la validation croisée et de la prédiction, respectivement / RPD est le ratio entre écart-type (de la sous-population de validation) et SEP.

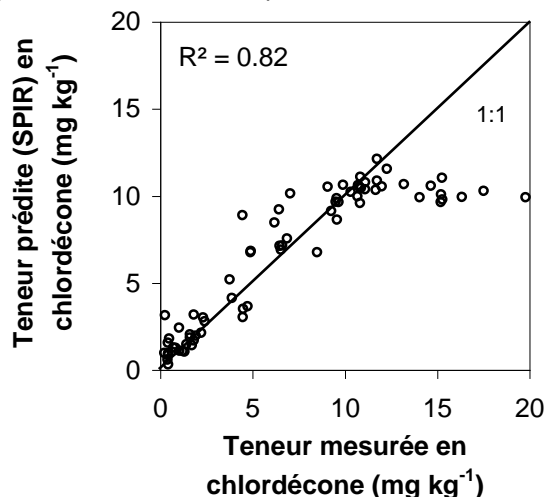
La qualité globale des prédictions de la teneur en chlordécone du sol par SPIR est satisfaisante (cf. tableau) : Q², R² et RPD atteignent respectivement 0.75, 0.82 et 2.2 pour la population totale (relativement hétérogène), et 0.91, 0.82 et 2.2 pour les andosols ; d'après la littérature, RPD > 2 témoigne de prédictions correctes. Le meilleur étalonnage sur les andosols résulte probablement de la plus grande homogénéité de cette population par rapport à la population totale. Par ailleurs, SEP représente 35 à 47% de la moyenne pour la population totale, et 30 à 32% pour les andosols. Toutefois, la SPIR ne prédit pas de valeur au-dessus de 12.4 mg kg⁻¹, alors que des valeurs sont mesurées jusqu'à 20 mg kg⁻¹ (cf. figure), sans qu'on sache exactement s'il s'agit d'une sous-estimation par SPIR ou d'une surestimation par la méthode conventionnelle. Quoi qu'il en soit, cette incertitude aux valeurs élevées n'est pas trop gênante, les échantillons en question pouvant être considérés comme très fortement contaminés.

Quand on divise la sous-population totale de validation en quatre classes (< 5, 5-10, 10-15 et > 15 mg kg⁻¹), 77% des échantillons sont bien classés par SPIR, dont 88%, 80%, 82% et 0% pour les échantillons de

teneur mesurée < 5, 5-10, 10-15 et > 15 mg kg⁻¹, respectivement. Quand trois classes seulement sont distinguées (< 5, 5-10 et > 10 mg kg⁻¹), 81% des échantillons sont bien classés, dont 71% des échantillons de teneur mesurée > 10 mg kg⁻¹.

La SPIR apparaît ainsi comme une approche prometteuse pour évaluer rapidement et à faible coût la contamination des sols par les pesticides.

Figure 1 : Relation entre prédictions et mesures de la teneur du sol en chlordécone (validation).



Evaluation of “Ente” plum maturity by infrared spectroscopy

LALLEMAND Jordane¹, Sylvie ROUSSEL¹, RASHIDI Salim², CAPELLE Monique²,

¹ ONDALYS, 4 rue Georges Besse, 34 830 Clapiers, FRANCE

² B.I.P., Bureau national Interprofessionnel du Pruneau, 2 rue des Magnolias, B.P. 130, 47303 VILLENEUVE SUR LOT CEDEX

1. INTRODUCTION

For several years, B.I.P. team has conducted measurements on Ente plums in the aim of better characterizing the fruit maturity at harvest. The final objective is to be able to adapt the transformation process from the plum to the prune in optimizing the drying step.

The quality parameters identified are the sugar content and the acidity which are both linked to the maturity state of the plum. These parameters are currently quantified by laboratory methods that require time and the destruction of the sample. These constraints are not adapted to real field applications.

Thus, the project aims at using fast and nondestructive methods to predict the sugar content and the acidity of plums. Among them, several instruments delivering one single measurement have been tested (calculation of maturity indices, volumetric mass,...). However, due to the complexity of the biological samples, a solution based on visible/near infrared spectroscopy which provides a rich multivariate signal seemed to be more adapted.

2. MATERIAL AND METHODS

The experiment has been conducted by the B.I.P. for 2 years in 2013 and 2014. 2500 fruits have been collected during the maturation phase, on thirteen different orchards to include the biological variability. Each fruit has been scanned on both faces by the Labspec4 from ASDi (ville, USA), in the spectral range 350nm - 2500nm.

After spectral measurement, each plum has been analyzed for sugar content and acidity by the standard laboratory methods.

Ondalys has then conducted the data analysis by means of chemometrics methods. Principal component analysis has been used to observe the influence factors such as orchard, location of the measurement and year. Then, Partial Least Squares Regression models have been implemented for the prediction of brix and acidity. The model robustness was assessed and optimized by applying different pre-processing techniques.

3. RESULTS AND DISCUSSION

A first study has been conducted in 2013, assessing the ability of near infrared spectroscopy to predict plum quality. The models have been successfully developed with very good results for sugar and satisfactory ones for acidity. These models have then been tested on 2014 campaign in order to test the model robustness from one year to another one. Again, better results were obtained with sugar than with acidity, for which, a slope has been observed. Models have then been updated and re-optimized with both years.

Good performances have been obtained to evaluate the sugar content for each fruit. For acidity, the task was more complex. The model gives a satisfactory tendency on each fruit, and a very good estimation of the orchard averaged acidity at a given time.

The next step will be to finalize the study in validating models on a third campaign which will be conducted in November 2015.

4. ACKNOWLEDGEMENTS

We wanted to thank Mr Eric Becourt for his collaboration and his loan of the ASDi spectrometer for the experimentation, and FranceAgriMer for the financial support.

5. NOVELTY

Drying step is a critical phase for which the duration depends on fruit quality. The quality is defined by fruit's shape and maturity. The current non-destructive way to evaluate the fruit maturity is done by densitometry, which has been found to be a non-satisfactory tool. New methods were then needed to optimize the sorting and then the drying step. Near infrared spectroscopy has been found to be a good way to evaluate fruit maturity by predicting sugar and acidity contents. The use of this technology will result in time optimization for B.I.P. team and in better prune quality.

Flash BMP®: Calibration for the biochemical methane potential (BMP) of solid organic waste using NIRS

Sébastien Preys, Jordane Lallemand, Sylvie Roussel

Ondalys, 4 rue Georges Besse, 34830 Clapiers, France
spreys@ondalys.fr

Anaerobic digestion is more and more used as renewable energy sources. It has the double advantages to reduce the waste quantities but also to produce renewable energy as electricity and/or heat using biogas. Anaerobic digestion as an industrial process has to be optimized to increase the production of methane. One method to improve the optimization is to characterize and control the substrates which are fed in the digester.

The Biochemical Methane Potential (BMP) is a commonly used parameter for substrate characterization before to use them in industrial anaerobic digester. It determines the quantity of methane (ml CH₄.g-1 Volatile Solid) a substrate can potentially produce in anaerobic conditions. Thus, it is used to know if the feedstock does not change, or to optimize the co-digestion. More than 30 days are necessary to obtain the BMP value. As a consequence, this test is not suitable as a management tool at industrial scale for anaerobic digestion optimization.

Our proposal is to use near infrared spectroscopy (NIRS) to analyze the organic matter of several kinds of substrates and thus to predict the methane potential faster than the biochemical approaches.

The novelty statement of this study is the use of a wide range of substrates in a unique and global PLS model. More than 600 substrates as agro-industrial waste, green waste, energy crops, municipal solid waste, sludges and digestates were used together leading to build a robust and accurate model.

Samples were frozen and dried to allow their easy grinding (between 1 and 2 mm) which improved the homogeneity of the final sample.

The BMP values were determined in duplicate for each sample using the method described in detail in Angelidaki et al., (2009). Spectra were measured with a BUCHI NIRFlex N-500 (Buchi, Switzerland), with Petri Dish add-on, allowing the direct analysis of an important and representative quantity of waste.

Due to the big data set, it has been decided to use calibration/validation/test sets, 50/25/25% respectively. Different pretreatments were tested in order to reduce scattering effect: Standard Normal Variate (SNV), first and second Savitzky-Golay derivatives. Chemometrics methods were carried out using Matlab (The Mathworks, Inc, MA).

The best model gave a RMSEP and a R² ranges of 40-60 ml CH₄.g-1 VS and 0.7-0.8 respectively, depending on the kind of substrate considered. The Flash BMP[®] performance is therefore similar to the reproducibility of the reference BMP test.

The advantages of such a calibration are numerous:

- Fast measurement, only a couple of minutes for the spectral measurement and less than two days for sample preparation (freeze-drying and grinding)
- Larger sampling than the reference method, more than 10 g of dry matter against 1g with the reference method
- No costs for solvents, reagents, pipettes, consumables, ...
- The validation is made on a large database which makes the model robust in respect of waste variability
- The possibility to measure other parameters simultaneously with the same sample with the same instrument (ex: organic matter characterization).

Acknowledgements:

The INRA Research Institute in Narbonne (LBE), France, Veolia Environnement, France, the IRSTEA Research Institute in Montpellier, France, and EMA in Alès, France have contributed to this work.

Novelty:

Regarding previous works on this topic, the novelty of this calibration lies mainly in its operational aspect, since Flash BMP[®] has now released and is regularly updated with additional kinds of solid waste. The performance of the calibration is therefore getting better, and its validation domain is increasing by including more and more real samples of waste.

Use of near infrared spectroscopy and Raman chemical imaging to investigate the composition of anabolic tablets

Hervé Rebiere, Céline Ghyselinck, Laurent Lempereur, Charlotte Brenier

Agence Française de Sécurité du Médicament et des produits de santé, ANSM, Direction des contrôles –
635 rue de la garenne – 34740 Vendargues, France

L'utilisation de produits anabolisants pour améliorer les performances est très répandue dans le sport professionnel et amateur. La sécurité de ces produits sans contrôle qualité n'est pas garantie, et de nombreux cas d'effets secondaires ont été signalés. Le laboratoire de l'ANSM reçoit régulièrement de tels échantillons des services des douanes ou de saisies policières.

Une étude spectroscopique sur des comprimés anabolisants mentionnant la présence de méthandiénone à la teneur de 5 mg/comprimé a été réalisée afin de conclure sur leur composition. L'approche analytique est basée sur une méthodologie en deux étapes: l'analyse non destructive rapide d'un grand nombre de comprimés à l'aide de la spectroscopie proche infrarouge (NIR) afin d'évaluer l'homogénéité des échantillons en fonction de leur composition globale, puis l'imagerie chimique Raman d'un échantillon par profil NIR afin d'obtenir des informations sur la formulation des échantillons.

La spectroscopie NIR assistée de l'analyse en composantes principales (ACP) a permis la discrimination rapide de quatre profils différents sur huit échantillons de comprimés anabolisants, basée sur la formulation en excipient. L'imagerie hyperspectrale Raman et la méthode MCR-ALS (multivariate curve resolution – alternating least square) a donné des images chimiques de la distribution de la substance active et des excipients dans les comprimés, et a identifié les substances actives. Certains échantillons contiennent un composé stéroïde anabolisant, (méthandiénone ou méthyltestostérone), et un ne contient pas de substance active. Les autres composants sont le saccharose, le lactose, l'amidon ou le talc.

Les deux techniques de spectroscopie de vibration sont rapides et non destructives, et peuvent être mises en œuvre en tant que méthodes d'exploration préalablement à d'autres méthodes d'essais destructives. Ils sont des outils idéaux pour l'analyse des échantillons de composition inconnue

Référence : H. Rebiere, C. Ghyselinck, L. Lempereur, C. Brenier, Investigation of the composition of anabolic tablets using near infrared spectroscopy and Raman chemical imaging, Drug Testing Analysis (2015) DOI 10.1002/dta.1843

Evaluation de la qualité des aliments pour animaux par spectroscopie infrarouge sur site

Philippe Vermeulen¹, Bernard Lecler¹, Denis Biemar², Werner Reuter², Pierre Dardenne¹ et Vincent Baeten¹

¹ Unité Qualité des produits, Département Valorisation des productions, Centre wallon de Recherches agronomiques (CRA-W), 24, chaussée de Namur, 5030 Gembloux, Belgique. FoodFeedQuality@cra.wallonie.be

² Dumoulin SA, 18, parc industriel, 5300 Seilles, Belgique

Depuis une dizaine d'années, la société Dumoulin a innové dans de nouveaux produits, notamment dans les aliments extrudés et floconnés destinés à des applications alimentaires à destination animale et à des

marchés cibles bien spécifiques, en Belgique et à l'exportation. Pour répondre à son besoin de suivi du processus de fabrication et de contrôle qualité des produits finis, la société Dumoulin a fait appel au CRA-W pour son expertise en développement de solutions analytiques basées sur la spectroscopie infrarouge (SPIR). L'objectif du projet consistait à évaluer par SPIR, au labo et en ligne, la qualité des aliments produits par la société.

Le choix de l'instrument s'est porté sur un spectromètre Polytec couvrant une gamme de longueurs d'onde de 850 à 1650 nm. Il est combiné à un multiplexeur qui permet d'alterner les analyses en utilisant soit une sonde offline pour le laboratoire (analyse à distance) soit une sonde online pour la ligne de fabrication (analyse de contact). Les principaux critères de choix étaient la capacité à réaliser les analyses en ligne dans un délai très court (1500 scan/sec) et la robustesse de l'appareil équipé d'une technologie « barrette à diodes » réduisant le nombre de pièces mobiles.

Dans une première étape, l'instrument était installé au laboratoire du CRA-W en utilisant un dispositif expérimental de simulation de flux d'aliments. Les valeurs de référence ont été obtenues par mesure en double sur le spectromètre FOSS XDS des échantillons des différents types de produits (aliments composés granulés ou extrudés) et par application des équations de calibration du CRA-W. Ceci a permis un gain de temps et financier important. Certains échantillons étaient en outre analysés par les méthodes de référence en laboratoire agréé afin de contrôler les valeurs prédites. Tous ces échantillons étaient également analysés sur le spectromètre Polytec en utilisant les 2 sondes. Des courbes de calibration étaient développées sous Unscrambler pour 4 types d'aliments (bovin, porc, correcteur protéique, extrudé) et pour 6 paramètres : l'humidité, la protéine brute, la matière grasse, la cellulose brute, l'amidon et les cendres. La majorité des équations présentaient un R2 en cross-validation supérieur à 0.9 et un RPD supérieur à 3.

Après la phase de calibration et de validation en laboratoire au CRA-W, le spectromètre était déplacé chez Dumoulin avec ses 2 sondes. La sonde d'analyse online était installée dans la trémie après la mélangeuse de matières premières permettant d'analyser toutes les gammes de produits fabriqués au sein de la société. Une phase de programmation et d'automatisation était nécessaire afin de stocker les résultats de prédiction dans la base de données et de les exploiter pour le contrôle en ligne. Une mise à jour des équations était également nécessaire pour tenir compte de la forme du produit (farine avant compression ou extrusion). Pour les mesures avec la sonde offline, les équations labo développées au CRA-W étaient utilisées.

L'appareil aujourd'hui installé sur le site de Seilles (Belgique) permet d'analyser en ligne toutes les gammes de produits (sous forme de farine) et de fournir au client les valeurs prédites moyennes de chaque lot. La sonde d'analyse installée au laboratoire permet d'une part de contrôler la qualité des matières premières à la réception et la qualité des produits finis (sous forme de granulé ou d'extrudé). L'amélioration de la qualité des produits finis est bénéfique pour l'image de la société et la diminution d'expéditions de produits non conformes permet de réduire les coûts liés aux litiges avec la clientèle.

Remerciements

L'étude rapportée dans ce résumé était financée par la Région wallonne dans le cadre d'un projet First Entreprise de 2 ans (Projet 7047), qui permet de répondre aux besoins d'une entreprise wallonne (Dumoulin) en mobilisant l'expertise nécessaire d'une institution de recherche (CRA-W).