

Qualité des pommes de terre : nouvelles méthodes d'évaluation calibrées sur l'analyse sensorielle

Gaëtan Van de Laer ⁽¹⁾, Jean-Louis Rolot ⁽¹⁾, Pierre Dardenne ⁽²⁾, Richard Agneessens ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Centre de Recherches agronomiques. Section Systèmes agricoles. Rue du Serpont, 100. B-6800 Libramont (Belgique). E-mail : vandelaer@cragx.fgov.be

⁽²⁾ Centre de Recherches agronomiques. Département Qualité des Productions agricoles. Chaussée de Namur, 24. B-5030 Gembloux (Belgique). E-mail : dptqual@cragx.fgov.be.

Reçu le 16 janvier 2001, accepté le 17 août 2001.

Dans le secteur de la pomme de terre, la qualité de la matière première est devenue un critère déterminant car elle conditionne le type d'utilisation et l'aptitude à la transformation des tubercules. Il est primordial de pouvoir identifier le niveau de qualité d'un lot par des méthodes fiables et objectives. Les critères qualitatifs des pommes de terre sont pour la plupart évalués via des tests sensoriels. Durant cette étude, nous avons mesuré plusieurs descripteurs de texture (déitement, farinosité, granulation), la couleur de la chair, le noircissement après cuisson, l'intensité du goût et la coloration des échantillons à la friture. Afin de s'affranchir de la subjectivité humaine, nous avons étudié les potentialités de la spectrométrie proche infrarouge (SPIR) et de l'analyse d'images pour prédire ou mesurer ces comportements sensoriels. Les corrélations entre valeurs réelles et valeurs prédites par les modèles SPIR sont élevées, principalement pour les descripteurs de texture et de couleur de chair. La prédiction de l'index de friture par SPIR est acceptable, mais moins précise que la mesure de celui-ci par analyse d'images.

Mots-clés. Pomme de terre, analyse sensorielle, spectrométrie proche infrarouge, SPIR, analyse d'images, texture, index de friture, qualité.

Quality of potatoes: new assessment methods calibrated by means of sensory analysis. For the potato sector, raw material quality became an important criterium because it determines the type of use and the transformation ability of the tubers. It is now primordial to be able to identify the quality level of a share by reliable and objective methods. The qualitative criteria of potatoes are for the most estimated via sensory tests. During this survey, we measured several texture descriptors (desintegration, flouriness, granulation), the flesh colour, the after-cooking blackening susceptibility, the taste intensity and the after-frying coloration of the samples. In order to get rid of the human subjectivity, we studied the potentialities of near infrared spectrometry (NIRS) and of image analysis to predict or to measure these sensory behaviours. We observed high correlation between real values and values predicted by NIRS models, mainly for texture descriptors and flesh colour. Frying index prediction by NIRS is acceptable, but less precise than its measurement by image analysis.

Keywords. Potato, sensory analysis, near infrared spectrometry, NIRS, image analysis, texture, frying index, quality.

1. INTRODUCTION

La qualité est devenue un thème central dans beaucoup de secteurs d'activité. En effet, il s'agit d'une variable stratégique essentielle, aussi bien pour les négociants et les industriels que pour les agriculteurs. Mais de quoi s'agit-il ? De quel type de qualité parlons-nous ? Dans le secteur de la pomme de terre, parler de qualité est relativement complexe. En effet, contrairement à d'autres denrées alimentaires, la pomme de terre peut se préparer de nombreuses manières (salade de pommes de terre, cuisson vapeur, au four, friture, extrusion, etc.). Or, chaque type d'utilisation exige des critères qualitatifs distincts.

D'autre part, le secteur de la pomme de terre belge se divise en deux grands marchés : le marché du frais et le marché de la transformation. Si les critères qualitatifs des pommes de terre destinées au marché du frais se mesurent en termes de satisfaction des consommateurs, les tubercules voués à la transformation doivent en plus répondre aux exigences technologiques du process de fabrication. Il n'existe donc pas un type de pomme de terre correspondant à un idéal, mais bien des exigences qualitatives différentes suivant l'utilisation des tubercules et le marché sur lequel ils seront écoulés.

Cette segmentation de la demande et des marchés s'est traduite par une nette augmentation du nombre de

variétés disponibles. Cependant, choisir une variété ne suffit pas à garantir la qualité escomptée car les facteurs culturaux et les conditions de conservation sont déterminants. Il est donc primordial de pouvoir identifier le niveau de qualité d'un lot de pommes de terre par des méthodes fiables et objectives.

De nombreux critères qualitatifs tels que la coloration à la friture, les endommagements internes, le délitement ou la sensibilité au noircissement après cuisson sont évalués par des analyses sensorielles. Bien que celles-ci puissent donner des résultats objectifs et répétables lorsque réalisées dans un environnement bien maîtrisé, le problème de la subjectivité intervient lors de tests exécutés par un seul expert, ce qui est souvent le cas lors du contrôle à la réception des lots. De plus, l'analyse sensorielle est coûteuse, demande une préparation d'échantillons fastidieuse, de même qu'un temps de réponse assez long.

Le développement de techniques pouvant se substituer aux analyses sensorielles actuellement en vigueur permettrait de s'affranchir de la subjectivité humaine lors des étapes de contrôle. En cela, l'analyse d'images (évaluation de la coloration à la friture) semble être un outil intéressant. De plus, la mise en place d'un système analytique global regroupant l'ensemble des paramètres à mesurer faciliterait l'uniformisation et la standardisation des analyses et serait un atout majeur pour la maîtrise de la qualité. Dans cette optique, la spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) présente de nombreux avantages. Il s'agit d'une technique d'analyse rapide et non destructive permettant de prédire simultanément les concentrations de divers constituants présents dans les substrats végétaux (Martens, Martens, 1986; Young *et al.*, 1997). Notre propos sera de montrer que cette méthode peut également prédire des comportements sensoriels.

2. LE MARCHÉ DU FRAIS

2.1. Critères qualitatifs évalués par analyse sensorielle

La texture des tubercules est un critère déterminant lors de l'évaluation de la qualité des pommes de terre destinées au marché du frais. Suivant l'utilisation, on préférera des pommes de terre à chair ferme pour la cuisson à l'eau ou à la vapeur, alors qu'on choisira des tubercules plutôt farineux pour la confection de purée. En dehors de l'aspect pratique relatif à la préparation des plats, le délitement des pommes de terre a également un impact sur la qualité de présentation.

Le noircissement après cuisson est un autre facteur qualitatif pouvant déprécier fortement l'aspect visuel du produit (Gravouelle, 1996). Il résulte de

l'oxydation du complexe formé à partir d'acide chlorogénique et de fer (Silva *et al.*, 1991; Griffiths, Bain, 1997). Cette oxydation non-enzymatique évolue au cours du temps et est surtout dommageable pour les produits de type salade.

D'une variété à l'autre, la couleur de la chair des tubercules peut fortement changer. En Belgique, les consommateurs préfèrent généralement des pommes de terre à chair jaune. Cette préférence dépend des habitudes culinaires et varie suivant les régions ou les pays. Ainsi, les pommes de terre à chair blanche sont préférées dans les pays anglo-saxons. D'autre part, certaines variétés anciennes à chair mauve, telle la Vitelotte, réapparaissent et trouvent un débouché dans le secteur HORECA pour leur originalité de présentation.

Nous évaluons également l'intensité du goût des pommes de terre. Cette cotation a pour but essentiel de déceler la présence de goûts inhabituels. Pour avoir plus d'informations sur les arômes présents dans les pommes de terre, le lecteur se référera à l'étude menée par Gravouelle *et al.* (1999).

Pour l'évaluation de la texture, nous avons retenu 3 descripteurs : le délitement des tubercules après cuisson, leur farinosité et la granulation en bouche. Ces descripteurs sont évalués après une heure de cuisson à la vapeur par un panel de 6 sujets entraînés, et cotés sur des échelles d'intervalles à 11 points. Il en va de même pour la couleur de la chair. L'évaluation du noircissement après cuisson est quant à elle effectuée par 2 juges attribuant une cotation à chacun des 20 tubercules composant l'échantillon.

Comme souligné précédemment, ces critères de qualité sont liés à la variété de pomme de terre considérée (**Figure 1**). Cependant, ceux-ci sont également influencés par des facteurs extérieurs tels

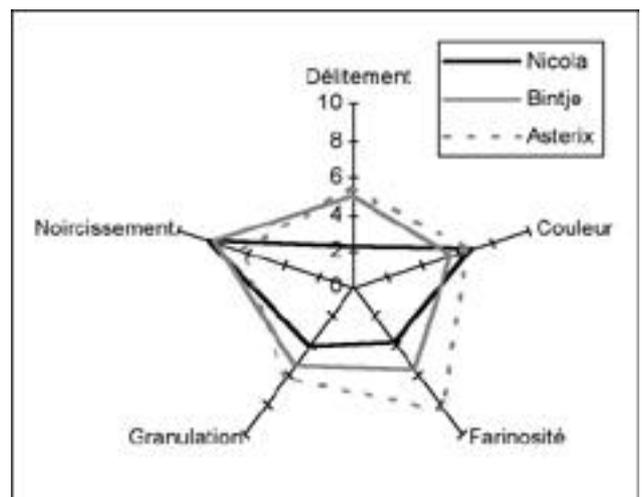


Figure 1. Évaluation de critères sensoriels pour trois variétés de pommes de terre — *Sensory descriptor evaluation for three potato varieties.*

que les conditions phytotechniques, le type de sol, le climat ou les conditions de stockage. C'est ce qu'illustre la **figure 2**, représentant l'axe 1 et l'axe 2 des scores obtenus par analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur 6 variétés de pommes de terre (3 variétés "chair ferme" : Charlotte, Nicola, Franceline, et 3 variétés farineuses : Bintje, Astérix, Agria). Bien que les échantillons d'une même variété se regroupent dans le plan, on observe de nombreux recouvrements entre les groupes.

2.2. La spectrométrie proche infrarouge (SPIR)

La spectrométrie dans le proche infrarouge (SPIR) est une technique d'analyse fiable, rapide, et non polluante. Elle est basée sur la capacité qu'ont certains composés à absorber la lumière proche infrarouge. L'absorption d'énergie par l'échantillon aux différentes longueurs d'onde dépend de la composition chimique de celui-ci. La SPIR étant une méthode indirecte, elle nécessite un étalonnage préalable de l'appareil. Pour ce faire, il est nécessaire d'établir un modèle reliant les spectres infrarouges à une série de valeurs de références (calibrage) (**Figure 3**). Lorsque le modèle est créé, il reste à le tester sur un set d'échantillons indépendants (validation) avant de pouvoir l'utiliser en prédiction pure.

Les spectres infrarouges ont été enregistrés à partir de tubercules non pelés et hachés, mesurés dans des cellules de type transport (permettant plusieurs prises de spectres à divers endroits de la cellule et convenant pour les mesures sur matériel frais) à l'aide de l'appareil NIRSystems 6500 (Perstorp Analytical Co.). Dans notre expérimentation, nous avons utilisé les analyses sensorielles comme valeurs de référence

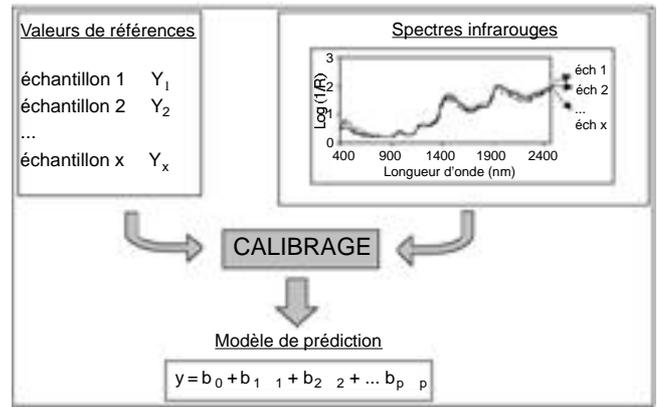


Figure 3. Description des étapes nécessaires à l'obtention d'un modèle de prédiction SPIR — *Description of the different steps necessary to obtain a NIRS predicting model.*

et le traitement des données de même que l'élaboration des modèles de prédiction ont été réalisés via le logiciel ISI NIR3 (Perstorp Analytical Co.).

La méthode de calibrage utilisée est celle du "modified PLS (Partial Least Squares)" et le nombre de termes intervenant dans le modèle de prédiction est déterminé par validation croisée. Cette méthode permet de tester la robustesse des modèles de prédiction. Pour estimer les performances de prédiction des modèles SPIR, les termes statistiques les plus intéressants sont le coefficient de détermination de validation croisée (R^2_{cv}) exprimant la proportion de variation des valeurs sensorielles reprise par les valeurs prédites et l'erreur standard de validation croisée (SECV). Les performances de prédiction des modèles SPIR sont illustrées à la **figure 4**.

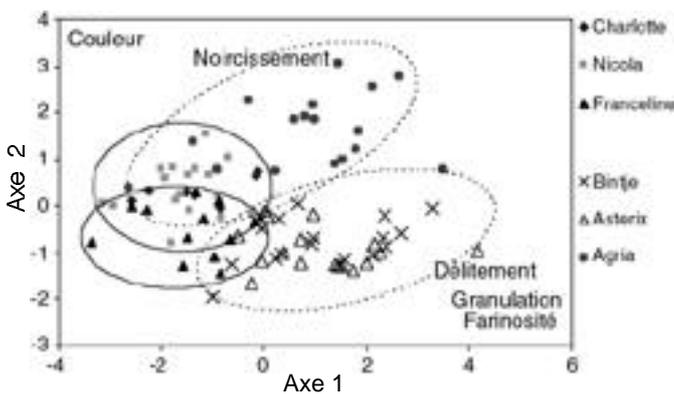


Figure 2. Axes 1 et 2 des scores obtenus par analyse en composantes principales réalisée sur six variétés de pommes de terre récoltées en 1998. — Variétés de type "chair ferme" ; ----- variétés farineuses — *Axes 1 and 2 of principal component analysis performed on six potato varieties harvested in 1998. — Firm flesh varieties ; ----- mealy varieties.*

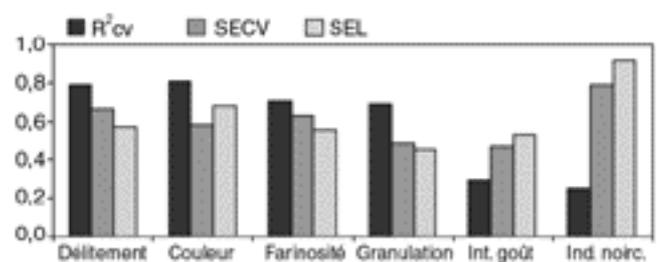


Figure 4. Performances des équations de prédiction SPIR. R^2_{cv} et SECV : coefficient de détermination et erreur standard de validation croisée entre valeurs réelles et valeurs prédites obtenus lors du calibrage ; SEL : erreur standard des analyses de référence — *Performances of NIRS predictions. R^2_{cv} and SECV: determination coefficient and Standard Error of Cross Validation between real values and predicted values obtained during the calibration; SEL: Standard error of sensory analysis for several repetitions.*

La prédiction des descripteurs de texture par SPIR est bonne. En effet, on observe des coefficients de détermination (R^2) entre valeurs sensorielles et valeurs prédites de l'ordre de 0,8. De plus, on constate que leur SECV est proche de leur SEL (erreur standard des descripteurs), ce qui signifie que l'erreur de prédiction est du même ordre de grandeur que la répétabilité des descripteurs sensoriels. Il en va de même pour la prédiction de la couleur de la chair.

Par contre, les prédictions de l'intensité du goût et du noircissement après cuisson donnent de moins bons résultats : les corrélations entre valeurs prédites et valeurs réelles sont faibles. L'intensité du goût est un descripteur ne se rattachant pas à un phénomène bien précis. En effet, un goût intense peut provenir de divers facteurs : caractéristique variétale, sucrage lors de la conservation, mauvais goût lié au conditionnement (sac en toile de jute), etc. De ce fait, il est difficile d'établir un modèle de prédiction.

3. LE MARCHÉ DE LA TRANSFORMATION

Bien qu'il s'agisse d'un secteur produisant une grande diversité de produits, une part importante du chiffre d'affaires réalisé par le marché de la transformation provient des produits frits. Pour ce type de production, la qualité de la matière première est primordiale. Deux critères sont déterminants quant à l'aptitude à la transformation des tubercules : le pourcentage de matière sèche (% MS) et la coloration à la friture. Le % MS influence la texture et le croustillant des produits frits, alors que la coloration à la friture aura un impact sur leur aspect de présentation.

Le brunissement des produits frits provient de réactions se produisant entre les sucres réducteurs (glucose et fructose) présents dans les tubercules et les acides aminés libres ou certaines protéines (réactions de Maillard). Les sucres réducteurs sont les composés limitants de ces réactions et proviennent soit d'un manque de maturité des tubercules à la récolte, soit d'une dégradation de l'amidon suite à une conservation des pommes de terre à trop basse température ou encore d'un sucrage de sénescence dû à l'âge physiologique des tubercules.

3.1. Évaluation d'un index de coloration

L'évaluation de la coloration à la friture d'un lot de pommes de terre est réalisée à l'aide du protocole décrit par l'association "Vereeniging ter Behartiging van den Nederlandschen Aardappelhandel" (VBNA). Pour ce faire, on prend un échantillon de 20 frites qui sont cuites de manière standardisée. Après cuisson, chaque frite est classée dans une catégorie de couleur par comparaison à la carte de référence développée par le "United States Department of Agriculture" (USDA)

(Anonyme, 1997). À partir du nombre de frites appartenant à chaque classe de couleur, on calcule un index de coloration à la friture.

3.2. Évaluation de la coloration par des techniques physiques

Nous avons tenté de prédire l'index de coloration à la friture par spectrométrie proche infrarouge (SPIR). Le coefficient de détermination (R^2_{cv}) entre valeurs réelles et valeurs prédites obtenues par validation croisée est de 0,74. Il y a donc une partie de la variation incluse dans le set d'échantillons qui n'est pas reprise lors de la prédiction SPIR. Cependant, on obtient également une erreur standard de validation croisée (SECV) proche de la répétabilité de l'évaluation visuelle.

Nous nous sommes également tournés vers l'analyse d'images pour affiner les mesures de coloration et essayer de déterminer un index de friture via une caméra vidéo, afin d'obtenir des résultats plus standardisés et reproductibles, supprimant les variations d'appréciations entre différents opérateurs. Pour ce faire, une image de 20 frites est prise par échantillon à l'aide d'une caméra couleur (JVC TK-C1381). L'acquisition et l'analyse d'images se font à l'aide du logiciel Micro Image 3.0 (Olympus Optical Co., Hamburg, Germany).

Toute couleur peut-être représentée dans un système à trois dimensions (trois coordonnées). Le système Hue (teinte), Saturation and Intensity possède l'avantage de donner une idée de la couleur rien qu'en connaissant ses coordonnées (ce qui n'est pas le cas du système RGB). On remarque que dans chaque coordonnée la répartition des pixels est différente pour les frites claires et les frites foncées (**Figure 5**).

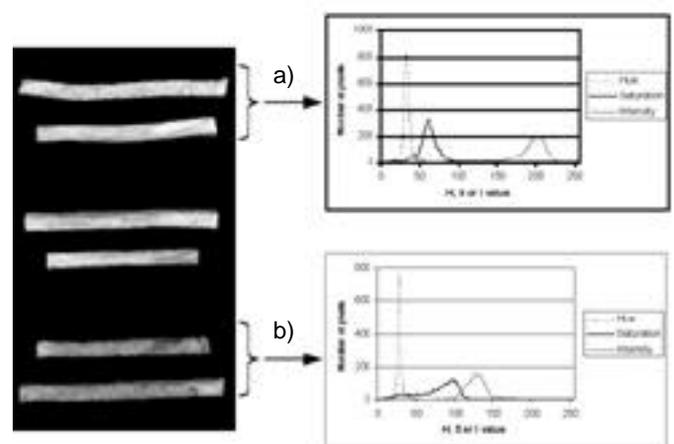


Figure 5. Fréquence des pixels pour chaque coordonnée pour a) frites claires et b) frites foncées — *Pixel frequency for each channel a) lighty coloured French fries and b) dark French fries.*

En analyse d'images, nous avons imité la démarche du juge lors de la détermination de l'index de friture c'est-à-dire que chaque frite est classée dans une des catégories de la carte de référence. Afin d'établir des critères de classification, nous avons mesuré les H, S et I de 460 frites et réalisé une analyse discriminante linéaire où 84,8 % des frites furent classées correctement par l'algorithme. Cette nouvelle approche de mesure de l'index de friture permet d'obtenir une erreur standard de prédiction (SEP) très faible (0,272) de même qu'une très bonne relation entre la classification visuelle et les valeurs mesurées par analyse d'image ($R^2 = 0,932$).

4. CONCLUSIONS

Nous avons souligné en guise d'introduction l'importance de la qualité dans le secteur de la pomme de terre. Il s'agit d'un légume pouvant se cuisiner sous de nombreux aspects, chacun possédant ses exigences qualitatives propres. Nous avons également remarqué que la qualité de la pomme de terre est étroitement liée aux conditions dans lesquelles elle est produite.

Bien que les méthodes instrumentales ne soient pas prêtes à supplanter l'évaluation sensorielle dans des domaines tels que la description de produits ou la mise en évidence de différences, elles ont un rôle à jouer dans les opérations de contrôle. En effet, les méthodes instrumentales sont souvent plus faciles à mettre en place (après avoir été mises au point), sont rapides et moins coûteuses. D'autre part, elles permettent une standardisation plus aisée des protocoles d'analyse.

Nous avons présenté les potentialités de la spectrométrie proche infrarouge pour la prédiction des comportements sensoriels, notamment pour les critères de texture (délitement, farinosité, granulation), de couleur de chair et de coloration des produits à la friture. Bien que pour ces descripteurs, les coefficients de détermination (R^2) entre valeurs prédites et valeurs sensorielles soient acceptables, on constate qu'une part de la variation du set d'échantillons n'est pas reprise par les modèles de prédiction. La SPIR est une méthode indirecte nécessitant des valeurs de référence pour être calibrée. Les performances de prédiction seront donc toujours limitées par la répétabilité de ces valeurs. Dans notre étude, on remarque que l'erreur de prédiction est du même ordre de grandeur que la répétabilité des valeurs sensorielles. L'amélioration des modèles de prédiction SPIR nécessitera donc une amélioration préalable de la fiabilité des valeurs sensorielles servant au calibrage du spectromètre.

L'analyse d'images est un outil intéressant pour la mesure de la coloration à la friture. En effet, on

observe une corrélation élevée entre les valeurs mesurées par caméra vidéo et les classifications visuelles. Il faut cependant remarquer que contrairement à la SPIR qui fait une prédiction (mesure sur matériel frais), l'analyse d'images mesure une coloration. En outre, contrairement à la SPIR ou à certains colorimètres, l'analyse d'images présente l'avantage de pouvoir tenir compte de l'hétérogénéité de coloration au sein de l'échantillon. À ce titre, une étude est menée pour pouvoir déterminer la proportion de bouts vitreux des tubercules.

Remerciements

Les recherches faisant l'objet de la présente communication sont financées par le Ministère des Classes Moyennes et de l'Agriculture - DG6.

Bibliographie

- Anonyme (1997). *Standaardmethode voor het bepalen van de kleur van pommes frites - de kleurenkaart*. 's Gravenhage, Nederland: V.B.N.A.
- Gravouelle JM. (1996). Utilisation pour l'alimentation humaine. In Rouselle P., Robert Y., Crosnier JC. (éds.) *La pomme de terre*. Paris: INRA éditions, p. 451–498. ISBN 2-7380-0676-0.
- Gravouelle JM., Leblanc I., Causté M., Laborde C. (1999). Étude de l'incidence de la température de conservation sur la qualité culinaire et organoleptique de différentes variétés destinées au marché du frais. In *14th Triennial Conference of the European Association for Potato Research - Abstracts of Conference Papers, Posters and Demonstrations, Sorrento, Italy, May 1999*. Piedimonte Matese, Italy: Societa Editricà Imago Media, p. 637–638.
- Griffiths DW., Bain H. (1997). Photo-induced changes in the concentrations of individual chlorogenic acid isomers in potato (*Solanum tuberosum*) tubers and their complexation with ferric ions. *Potato Res.* **40**, p. 307–315.
- Martens M., Martens H. (1986). Near-infrared reflectance determination of sensory quality of peas. *Appl. Spectrosc.* **40** (3), p. 303–309.
- Silva GH., Chase RW., Hammerschmidt R., Cash JN. (1991). After-cooking darkening of Spartan Pearl potatoes as influenced by location, phenolic acids, and citric acid. *J. Agric. Food Chem.* **39**, p. 871–873.
- Young MW., Mackerron DKL., Davies HV. (1997). Calibration of near infrared reflectance spectroscopy to estimate nitrogen concentration in potato tissues. *Potato Res.* **40**, p. 215–220.

(7 réf.)