



## Qualité des fruits: mesure non destructive par spectroscopie proche infrarouge portable

C. CAMPS, J.-P. SIEGRIST et D. CHRISTEN, Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, Centre de recherche Conthey, 1964 Conthey  
N. BERTHOD et J. ROSSIER, Service cantonal de l'agriculture du Valais, Office d'arboriculture, 1950 Châteauneuf/Sion

@ E-mail: [cedric.camp@acw.admin.ch](mailto:cedric.camp@acw.admin.ch)  
Tél. (+41) 27 34 53 556.

### Introduction

La spectroscopie proche infrarouge est un outil moderne qui permet de mesurer la qualité de nombreux produits alimentaires sans les détruire. L'application de cette technique à la mesure de la qualité des fruits frais est en cours de développement. A terme, elle pourrait constituer une aide à la récolte de certains fruits et permettre de minimiser les problèmes d'échantillonnages au verger.

En laboratoire, la mesure est déjà performante pour un grand nombre de produits alimentaires, dont certains fruits. Des travaux ont permis de mettre en évidence l'efficacité de cette technique sur la pomme (Camps *et al.*, 2005; 2007; McGlone *et al.*, 2002b; Mehinagic, 2003; Peirs *et al.*, 2004), le kiwi (McGlone *et al.*, 2002a; McGlone et Kawano, 1998; Schaare, 2000) ou encore sur la mangue (Schmilovitch *et al.*, 2000).

Récemment, l'intérêt de l'application de cette technique au champ a conduit au développement d'outils mobiles et moins onéreux. Ces derniers sont certes moins performants que leurs cousins de laboratoire mais doivent constituer une aide pratique pour mesurer la qualité des fruits en extérieur.

Les résultats obtenus à l'aide d'un tel outil sont peu nombreux dans la littérature scientifique. Une étude visant à prédire la teneur en sucre et la fermeté de deux variétés d'abricot a toutefois permis de souligner les capacités prometteuses de la spectroscopie proche infrarouge portable (Costa *et al.*, 2004).

Les essais présentés ici visaient à étendre la technique à la poire et à confir-

### Résumé

A l'heure actuelle, la qualité des fruits frais est toujours mesurée à l'aide d'outils manuels dont le principal défaut est d'être destructifs. Les essais présentés avaient comme objectif la mesure non destructive par spectroscopie proche infrarouge de la qualité (sucre, fermeté et acidité) de deux variétés d'abricots et de deux variétés de poires. Pour cela, des modèles de prédiction de divers critères de qualité ont été élaborés. Dans un premier temps, des modèles globaux ont été construits sans tenir compte de la variété des fruits. Ensuite, afin d'affiner la prédiction des différents critères de qualité, des modèles propres à chaque variété ont été élaborés. Les résultats montrent que la teneur en sucre est déterminée avec une précision atteignant 0,67 °Brix sur abricot et 0,78 °Brix sur poire. Concernant la fermeté, l'erreur sur la prédiction est inférieure à 3,5 indices Durofel (DI) sur poire et de l'ordre de 5 à 8 DI sur abricot. La confirmation de ces résultats permettrait d'espérer le développement d'une mesure non destructive de la qualité des fruits au verger.



Spectromètre proche infrarouge portable utilisé pour l'analyse de la qualité interne des fruits.

mer ou améliorer les résultats obtenus sur abricot. Plus précisément, la spectroscopie proche infrarouge portable a été testée sur sa capacité à prédire les valeurs de certains critères de qualité de deux variétés d'abricots et de deux variétés de poires.

## Matériel et méthodes

### Matériel végétal

Les essais ont été réalisés sur deux variétés d'abricots (Harostar et Kioto) et sur deux variétés de poires (Harrow-Sweet et Valérac). Les fruits sont issus de la récolte 2007 des vergers expérimentaux du centre de recherche de Conthey d'Agroscope Changins-Wädenswil (ACW). Toutes les analyses ont été réalisées au centre de recherche de Conthey.

### Expérimentation

Au cours de ces essais, 66 fruits par variété d'abricot et 150 fruits par variété de poire ont été analysés. Deux mesures de spectroscopie proche infrarouge ont été effectuées sur la partie équatoriale de chaque fruit. Sur ces deux mêmes faces équatoriales, la fermeté a ensuite été mesurée à l'aide d'un appareil Durofel muni d'une sonde métallique de 0,10 cm<sup>2</sup> (Durofel, COPA-Technologie SA/CTIFL). Le jus filtré de chaque fruit a été utilisé pour la mesure de la teneur en sucre à l'aide d'un réfractomètre digital (ATAGO, C.O., LTD, Model PR-1). L'unité de mesure de la fermeté est l'indice Durofel (DI) et celle de la teneur en sucre est le °Brix. Enfin, l'acidité des jus de poire a été mesurée par titration de 10 ml de jus à l'aide d'un titrimètre (Metrohm, 719S, Titrimètre). L'acidité est exprimée en g/l d'acide malique.

### Spectroscopie proche infrarouge

Les mesures non destructives par spectroscopie proche infrarouge ont été effectuées à l'aide d'un spectromètre portable développé par l'Université de Bologne (Italie) (Costa *et al.*, 2000). Cet outil permet de mesurer l'absorbance dans le proche infrarouge de 652 à 1265 nm. La mesure s'effectue en réflexion diffuse, c'est-à-dire que le rayonnement de la lumière infrarouge pénètre de quelques millimètres dans la chair du fruit avant de ressortir (fig.1). L'intensité du rayonnement sortant est fonction de la composition chimique de l'échantillon analysé. Il est alors possible de lier une signature spectrale infrarouge à la teneur en eau, en sucre ou encore en protéines du fruit.

### Pré-traitement du signal

Les spectres mesurés sur les fruits ne sont pas utilisables à l'état brut et doivent subir certaines corrections ou transformations afin de pouvoir être analysés. Deux problèmes doivent être résolus. Le premier impératif

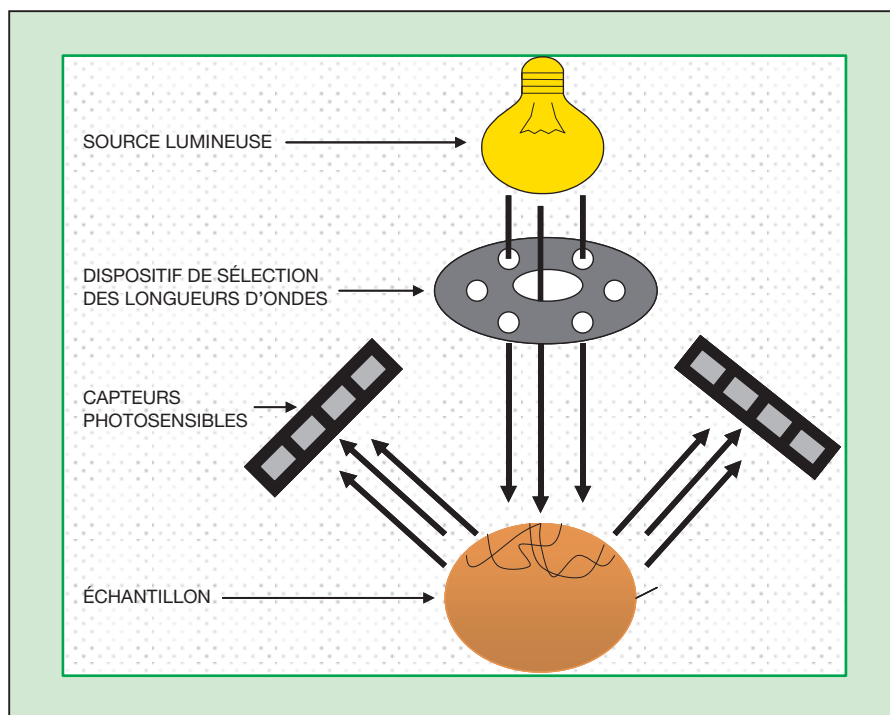


Fig. 1. Principe de la mesure par spectroscopie proche infrarouge.

est d'établir une ligne de base à la collection de spectres jusqu' alors inexistante. Afin de remédier à ce problème, une correction des signaux appelée Standard Normal Variate ou SNV a été opérée (Barnes *et al.*, 1988). Ensuite, afin de minimiser le chevauchement des bandes d'absorption, une dérivée seconde de ces mêmes spectres corrigés a été calculée.

### Statistique

A l'aide d'outils statistiques, les mesures destructives de référence (pour le sucre, la fermeté et l'acidité) et les spectres proches infrarouges sont mis en relation. Il s'agit d'établir des modèles de prédiction des valeurs de sucre, de fermeté et d'acidité en fonction de l'absorption à certaines longueurs d'ondes du spectre proche infrarouge. La relation est opérée par la méthode de régression des moindres carrés partiels (PLSR). Dans un premier temps, les modèles ont été calibrés puis une validation de ces derniers a été effectuée. Les résultats sont alors discutés d'après les valeurs du coefficient de corrélation (R), l'erreur commise sur la calibration (RMSEC, éq.1) et celle commise sur la validation des modèles (RMSEV, éq. 2).

$$RMSEC = \sqrt{\frac{\sum (y_{cal} - y_{act})^2}{n}} \quad [1]$$

$$RMSEV = \sqrt{\frac{\sum (y_{pred} - y_{act})^2}{n}} \quad [2]$$

où  $n$  est le nombre de mesures de spectres,  $y_{act}$  les valeurs de paramètres de qualité mesurées (sucre, fermeté ou acidité),  $y_{cal}$  les valeurs calculées des paramètres de qualité et  $y_{pred}$  les valeurs prédites des paramètres de qualité.

## Résultats

### Variabilité de la qualité des fruits

La réalisation de modèles de prédiction mathématiques pour déterminer la qualité des fruits demande d'analyser une gamme de fruits dont la qualité est la plus variable possible. Le premier objectif du travail a donc été de s'assurer que les fruits analysés présentaient une variabilité suffisante de leur qualité.

Concernant les abricots, la variabilité mesurée à la récolte pour une variété donnée est souvent suffisante. Les valeurs de sucres des deux variétés d'abricots étudiées couvrent une gamme de valeurs comprises entre 10,1 et 16,3 °Brix. Pour ces mêmes variétés, la fermeté offre une gamme de valeurs comprises entre 38 et 88 DI. La figure 2 donne les valeurs moyennes de chacun de ces paramètres.

La variabilité des poires à la récolte est souvent moindre que celle des abricots. Afin d'augmenter celle-ci, des mesures de qualité ont été effectuées à la récolte et après diverses périodes de stockage en chambre froide. Les fruits ont été stockés en partie sous atmosphère normale (2 °C, 95% HR) et en partie sous atmosphère contrôlée (2 °C, 95% HR, 2% CO<sub>2</sub>, 1% O<sub>2</sub>). Cette dernière condition de stockage, où le taux de CO<sub>2</sub> a été volontairement augmenté par rapport aux normes de conservation recommandées, a permis d'obtenir une

Fig. 2. Mesures de la teneur en sucre, de la fermeté et de l'acidité des variétés de poires Harrow-Sweet et Valérac stockées en chambre froide. AN: atmosphère normale (2 °C, 95% HR), AC: atmosphère contrôlée (2 °C, 95% HR, 2% CO<sub>2</sub>, 1% O<sub>2</sub>).

accélération de la maturité des fruits, dont les critères de qualité ont pu grandement évoluer. La variabilité ainsi créée a généré une gamme de valeurs de sucre comprise entre 9,1 °Brix et 15,8 °Brix, des valeurs de fermeté de 70 à 96 DI et des valeurs d'acidité de 1,726 à 4,59 g/l. La figure 1 permet d'observer les valeurs moyennes de chacun des paramètres mesurés en fonction de la durée et des conditions de stockage des fruits.

### Modèles pour l'abricot

Les résultats de la modélisation sur abricot sont rapportés dans le tableau 1. Dans un premier temps, les fruits des deux variétés ont été regroupés dans un même lot afin de construire des modèles utilisables quelle que soit la variété analysée (modèle global). Ensuite, des modèles spécifiques à chaque variété ont été réalisés (modèles variétaux).

Le modèle global permet une prédiction correcte des valeurs de **sucre** (R=0,87). Dans ce cas, la teneur en sucre est déterminée avec une précision de 0,81 °Brix.

Le modèle variétal permet d'améliorer la précision de la prédiction pour la variété Kioto. La teneur en sucre est alors déterminée avec une erreur de 0,67 °Brix. Pour Harostar, le niveau de prédiction est moyen avec une précision de 0,97 °Brix. La figure 3A permet d'observer la relation linéaire entre les valeurs de sucre mesurées au réfractomètre et celles prédites par spectrométrie proche infrarouge.

La détermination de la **fermeté** des abricots par spectroscopie proche infrarouge est un exercice difficile tant la mesure de référence au Durofel est approximative. Toutefois, certains résultats sont prometteurs et relativement précis (tabl.1, fig. 3B). La prédiction de la fermeté par le modèle global est moyennement précise avec des valeurs de R = 0,85 et une erreur de l'ordre de 7,83 DI. Une amélioration significative de la précision est notée lorsque cette même détermination est spécifique à la variété Harostar. L'erreur sur la mesure est alors de 4,87 DI. Pour la variété Kioto, le modèle demande encore à être affiné.

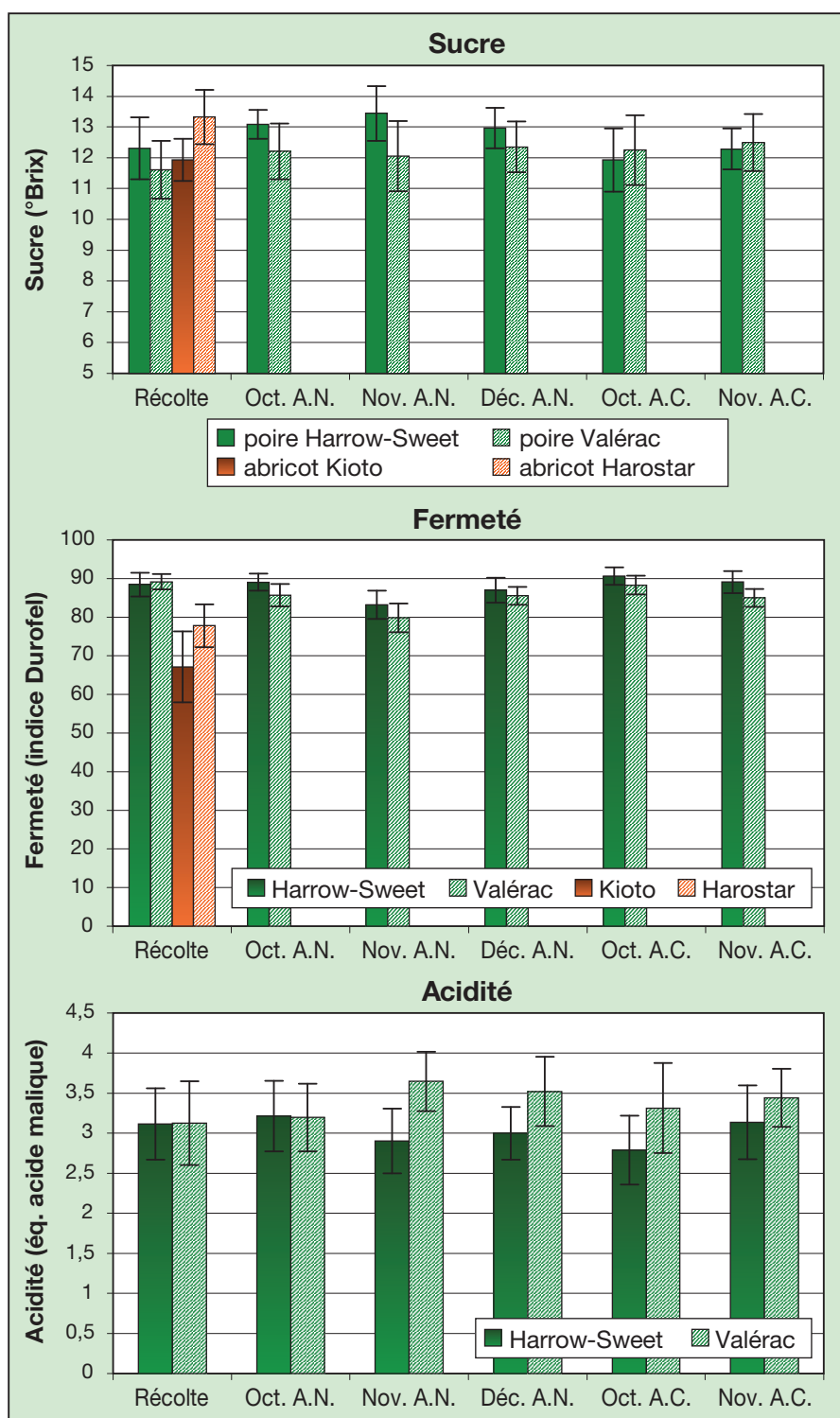


Tableau 1. Données des modèles PLS de prédiction de sucre et de fermeté pour les abricots.

Variétés	Sucre			Fermeté		
	R	Erreur de la calibration (°Brix)	Erreur de la validation (°Brix)	R	Erreur de la calibration (indice Durofel)	Erreur de la validation (indice Durofel)
Harostar	0,88	0,38	0,97	0,85	2,7	4,87
Kioto	0,90	0,29	0,67	0,92	3,9	8,9
Harostar + Kioto2	0,87	0,51	0,81	0,85	5,15	7,83

PLS = méthode statistique des moindres carrés partiels. R = coefficient de corrélation.

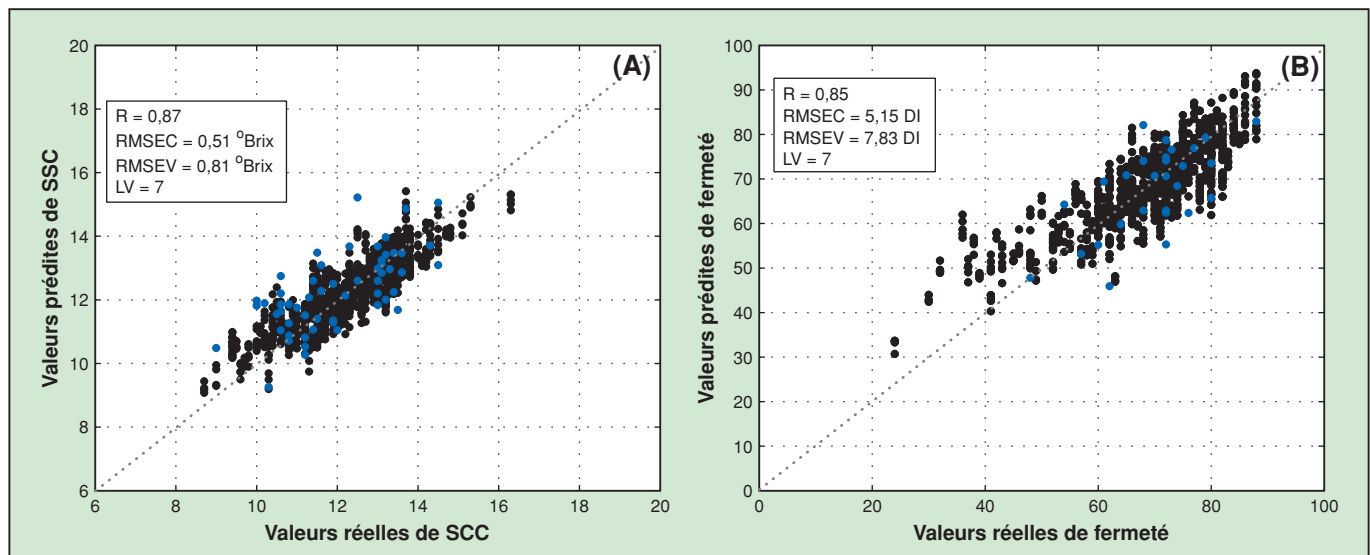


Fig. 3. Détermination de la teneur en sucre (A) et de la fermeté (B) des deux variétés d'abricots regroupées dans un même lot (modèle global). L'axe des abscisses donne les valeurs mesurées avec les outils de référence (réfractomètre et Durofel) et l'axe des ordonnées donne les valeurs prédites par les mesures infrarouges. R: coefficient de corrélation, RMSEC: erreur de la calibration, RMSEV: erreur de la validation, LV: nombre de dimensions du modèle.

## Modèles pour la poire

Les résultats de la modélisation sur poires sont rapportés dans le tableau 2. La prédiction des valeurs de **sucre** du modèle variétal est particulièrement précise pour Harrow-Sweet. L'erreur commise est alors de 0,78 °Brix. Pour la variété Valérac, la prédiction de la teneur en sucre est tout juste correcte. Le modèle global permet d'obtenir une précision de 0,99 °Brix. Dans ce cas, les limites du modèle sont essentiellement dues au manque de précision obtenu avec Valérac. Afin d'affiner ce dernier modèle, il sera nécessaire d'augmenter le nombre de fruits analysés et d'étendre la gamme de qualité de ces derniers.

L'**acidité** des fruits est prédite avec une précision comprise entre 0,46 et 0,49 g/l. Le modèle global permet de maintenir ce même ordre de précision.

La **fermeté** est déterminée de manière précise par les deux modèles variétaux avec une erreur inférieure à 3,5 DI. Les résultats montrent aussi qu'il est possible de conserver cette précision avec

le modèle global, l'erreur est alors de 3,46 DI. La figure 4 permet de visualiser les valeurs mesurées en fonction des valeurs prédites de la variété Harrow-Sweet. L'étirement du nuage de points dans la grande diagonale confirme la précision du modèle.

## Discussion

La précision de la prédiction non destructive de la qualité des fruits par spectroscopie proche infrarouge dépend de nombreux facteurs, principalement du type de fruit analysé, du niveau de sophistication de l'appareil infrarouge et du traitement mathématique des données par le scientifique.

Dans notre cas, l'objectif est de développer une mesure non destructive avec un appareil infrarouge portable dont la technologie a été simplifiée à l'extrême. Celui-ci est moins puissant qu'un appareil de laboratoire mais possède l'avantage d'être moins onéreux et d'être mobile, ouvrant de ce fait des perspectives pour des applications au

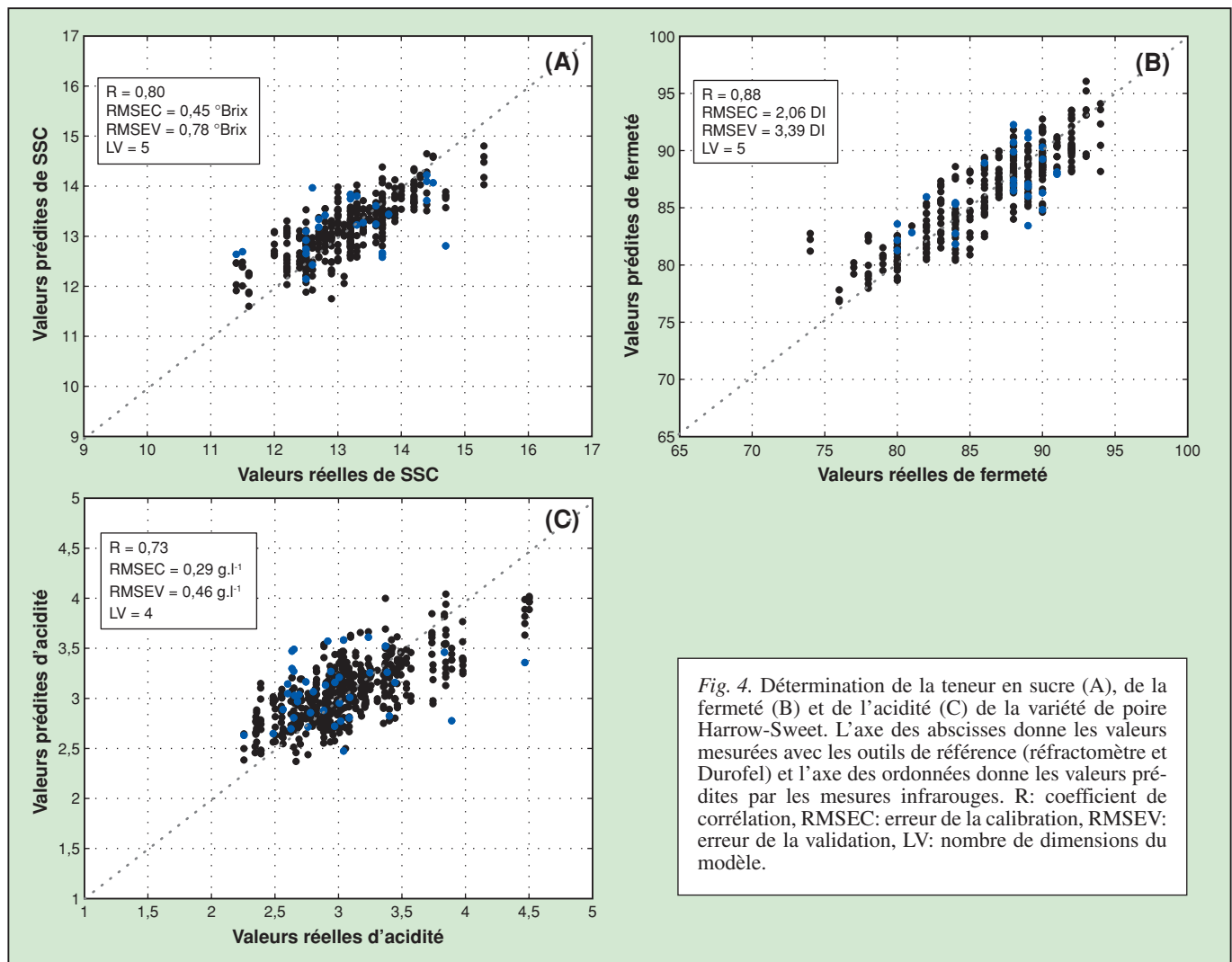
verger. D'autres équipes de recherches, qui réalisent le même type de travaux mais sur d'autres fruits, ont obtenu des résultats divers (tabl. 3). La pomme est le fruit modèle sur lequel la mesure a été principalement développée et l'objet de la plupart des travaux actuels. La teneur en sucre de la pomme a pu être déterminée avec une précision atteignant 0,7 °Brix à 1,95 °Brix (McGlone *et al.*, 2001; Ventura *et al.*, 1998; Renfu *et al.*, 2000; Costa *et al.*, 2003). D'autres fruits, tels le kiwi, la mangue, la mandarine, le raisin ou la tomate, ont aussi fait l'objet de recherches avec des fortunes diverses quant à la précision de la détermination du taux de sucre (Schaare et Fraser, 2000; McGlone *et al.*, 2002; Schmilovitch *et al.*, 2000; Gomez *et al.*, 2006; Nazarov *et al.*, 2005; Shao *et al.*, 2007).

Concernant la poire, et à plus forte raison l'abricot, les travaux réalisés jusqu'ici sont peu nombreux et ont été faits en laboratoire à l'aide d'appareils infrarouges puissants. Ainsi, la teneur en sucre des poires a déjà pu être déterminée avec une précision de 0,44 °Brix;

Tableau 2. Données des modèles PLS de prédiction de sucre, de fermeté et d'acidité pour les poires.

Variétés	Sucre			Fermeté			Acidité		
	R	Erreur de la calibration (°Brix)	Erreur de la validation (°Brix)	R	Erreur de la calibration (indice Durofel)	Erreur de la validation (indice Durofel)	R	Erreur de la calibration (g/l)	Erreur de la validation (g/l)
Harrow-Sweet	0,80	0,45	0,78	0,88	2,06	3,39	0,73	0,29	0,46
Valérac	0,72	0,70	1,05	0,86	2,52	3,42	0,72	0,32	0,49
Harrow-Sweet + Valérac	0,70	0,74	0,99	0,78	2,86	3,46	0,62	0,37	0,49

PLS = méthode statistique des moindres carrés partiels. R = coefficient de corrélation.



**Tableau 3. Comparaison des résultats des modèles avec ceux de modèles réalisés en laboratoire sur d'autres fruits et par d'autres équipes de recherche.**

Fruit	Paramètre prédit par spectroscopie PIR	Précision du modèle	Moyenne ou valeurs min.-max. du paramètre déterminé	Source
Pomme	sucré	0,70 °Brix	11,3 °Brix	McGlone <i>et al.</i> , 2001
	sucré	1,14 °Brix	12,7 °Brix	Ventura <i>et al.</i> , 1998
	sucré	1,95 °Brix	13,6 °Brix	Renfu <i>et al.</i> , 2000
	sucré	0,90 °Brix	13,6 °Brix	Costa <i>et al.</i> , 2003
	acidité	1,60 ml [NaOH]	8,99 ml [NaOH]	McGlone <i>et al.</i> , 2001
	fermeté	7,1 N	80,7 N	McGlone <i>et al.</i> , 2001
	fermeté	9,5 N	53,4 N	Renfu <i>et al.</i> , 2000
Poire	sucré	0,44 °Brix	10,4-15,4 °Brix	Nocolai <i>et al.</i> , 2008
Abricot	sucré	0,84 °Brix	8-17 °Brix	Carlini <i>et al.</i> , 2000
	sucré	1,89 °Brix	7,8-20,2 °Brix	Manley <i>et al.</i> , 2007
Kiwi	sucré	1,18 °Brix	7-17 °Brix	Schaare et Fraser, 2000
	sucré	0,54 °Brix	11,0 °Brix	McGlone <i>et al.</i> , 2002
Mangue	sucré	1,44 °Brix	8-24 °Brix	Schmilovitch <i>et al.</i> , 2000
Mandarine	fermeté	8,574 N	9,77-54,16 N	Gomez <i>et al.</i> , 2006
	acidité pH	0,11	2,93-3,77	Gomez <i>et al.</i> , 2006
Raisin	sucré	0,80 °Brix	5-30 °Brix	Nazarov <i>et al.</i> , 2005
Tomate	sucré	0,19 °Brix	2,02-4,82 °Brix	Shao <i>et al.</i> , 2007

ce modèle n'est toutefois valable que pour la variété Conférence (Nicolai *et al.*, 2008). Concernant l'abricot, la teneur en sucre a pu être déterminée avec une précision de 0,84 °Brix à 1,89 °Brix (Carlini *et al.*, 2000; Manley *et al.*, 2007). En 2004, deux variétés d'abricots ont été analysées par Costa *et al.* avec le même appareillage infrarouge que celui de notre étude. Dans cette analyse, la précision de la mesure était de 1,5 °Brix. Nos essais ont donc permis d'améliorer cette précision, en l'amenant entre 0,67 et 0,97 °Brix (tabl.1). Toutefois, les valeurs de coefficient de corrélation (R) obtenues par Costa (2004) sont supérieures à celles des résultats. Cette apparente contradiction met en lumière l'influence du traitement statistique sur la précision du modèle: en effet, un modèle de prédiction de la teneur en sucre ou d'un autre paramètre est fonction du nombre de dimensions qui le constitue. De façon simplifiée, plus un modèle comporte de dimensions, plus la valeur de son coefficient de corrélation sera élevée; mais, lors de la validation de ce modèle, l'er-

reur sur la mesure sera plus grande, car certaines dimensions introduites auront moins d'influence sur la variabilité de la qualité des fruits que le bruit créé. Dans notre étude, nous avons toujours privilégié le plus petit nombre de dimensions possible afin de construire des modèles plus précis, même s'ils présentaient des valeurs de R plus faibles.

Concernant la mesure de la fermeté, la prédiction reste généralement imprécise et peu de travaux rapportent de bons résultats. Pour justifier ce manque de précision des modèles, la raison la plus fréquemment invoquée est le résultat aléatoire des mesures de fermeté par les outils classiques du type Durofel ou pénétromètres manuels. Les résultats sur pommes ont permis de déterminer la fermeté avec une précision de 7 à 10 N (Newton) pour des gammes de valeurs moyennes de 53,4 à 80,7 N (McGlone *et al.*, 2001; Renfu *et al.*, 2000). A la vue de ces résultats, l'étude présentée ici montre une bonne détermination de la fermeté pour les poires, avec une précision de l'ordre de 3-4 indices Durofel, et une détermination correcte pour les abricots, avec une précision de 4-8 indices Durofel.

Toutefois, ces résultats devraient pouvoir être affinés par l'analyse d'un plus grand nombre de fruits au fil des saisons. De plus, une plus grande variabilité génétique devra être introduite dans les essais à venir afin d'étendre les résultats à d'autres variétés de fruits. Enfin, des essais devront être mis en place afin de transférer la méthode de mesure infrarouge au verger.

## Conclusions

- ❑ Les résultats obtenus confirment que la spectroscopie proche infrarouge dans sa configuration portable permet une détermination correcte de la teneur en sucre et de la fermeté sur abricot.
- ❑ La teneur en sucre est prédite avec une précision de 0,6-0,97 °Brix sur abricot et de 0,78 °Brix sur poire.
- ❑ La fermeté est prédite avec une précision de l'ordre de 7-8 indices Durofel sur abricot et 3-4 indices Durofel sur poire.
- ❑ Certains des modèles établis sont valables indépendamment de la variété.

## Bibliographie

- Camps C., Guillermin P., Mauget J. C. & Bertrand D., 2005. Measurement of textural properties of apple and their prediction by near infrared reflectance spectroscopy. Information and technology for sustainable fruit and vegetable production – FRUTIC 05, 12-16 September 2005, Montpellier France.
- Camps C., Guillermin P., Mauget J. C. & Bertrand D., 2007. Discrimination of storage duration of apples stored in a cooled room and shelf-life by visible-near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spec.* **15** (3), 169-177.
- Carlini P., Massantini R. & Mencarelli F., 2000. Valutazione «non distruttiva» mediante spettroscopia Vis-NIR e regressione PLS dei solidi solubili in alcune drupacee. *Frutticoltura* **7/8**, 63-66.
- Costa G., Noferini M., Fiori G., Rossier J. & Pfammatter W., 2004. Application de la technique du NIR à l'analyse de la qualité de deux variétés d'abricots: Bergarouge® (Arvine) et Goldrich. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **36**, 71-75.
- Costa G., Noferini M., Fiori G., Orlandi A. & Miseroocchi O., 2003. Non-destructive technique to assess internal fruit quality. *Acta Hort.* **604**, 571-576.
- Gomez A. H., He Y. & Pereira A. G., 2006. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of satsuma mandarin using Vis/NIR spectroscopy techniques. *J. Food Engin.* **77**, 313-319.
- Manley M., Joubert E., Myburgh L., Lotz E. & Kidd M., 2007. Prediction of soluble solids content and post-storage internal quality of bulida apricots using near infrared spectroscopy. *J. Near Infrared Spec.* **15**, 179-188.
- McGlone V. A. et Kawano S., 1998. Firmness, dry-matter and soluble solids assessment of postharvest kiwifruit by NIR spectroscopy. *Postharv. Biol. Technol.* **13**, 131-141.
- McGlone V. A., Jordan R. B., Seelye S. & Martinsen J., 2002a. Comparing density and NIR methods for measurement of Kiwifruit dry matter and soluble solids content. *Postharv. Biol. Technol.* **26**, 191-198.
- McGlone V. A., Robert L., Martinsen J. & Martinsen P., 2002b. Vis/NIR estimation at harvest of pre- and post-storage quality indices for 'Royal gala' apple. *Postharv. Biol. Technol.* **25**, 135-144.
- Mehinagic E., 2003. Relationship between sensory analysis, penetrometry and visible-NIR spectroscopy of apples belonging to different cultivars. *Food Quality and Preference* **14**, 473-484.
- Nazarov I., Robert L., Kaye O., Santos A. O. & Goulart K., 2005. «Near Infrared Laboratory on shoulder» Portable NIR Solutions. Information and technology for sustainable fruit and vegetable production. FRUTIC 05, 12-16 September 2005, Montpellier France.
- Nicolai B., Verlinden B. E., Desmet M., Saevels S., Saeys W., Theron K., Cubbedu R., Pifferi A. & Torricelli A., 2008. Time-resolved and continuous wave NIR reflectance spectroscopy to predict soluble solids content and firmness of pear. *Postharv. Biol. Technol.* **47**, 68-74.
- Peirs A., Schenk A. & Nicolai B., 2005. Effect of natural variability among apples on the accuracy of VIS-NIR calibration models for optimal harvest date predictions. *Postharv. Biol. Technol.* **35**, 1-13.
- Renfu L., Guyer D. E. & Beaudry R. M., 2000. Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance. *J. Text. Stud.* **31**, 615-630.

## Summary

### Non destructive measurement of fruit quality by portable near infrared spectroscopy

Today, the quality of fresh fruits is always measured using manual tools, a measure which remains destructive for the fruit. The aim of the presented study was to measure the quality (sugar, firmness and acidity) of two apricot and two pear varieties with non destructive near-infrared spectroscopy method. Models of prediction of various features of fruit quality were therefore elaborated. At first, global models that do not take into account the genetic variability were built. Then, models dedicated to each variety were elaborated to improve the precision of prediction. Soluble solids content could be determined with a precision of 0.67 °Brix on apricot and 0.78 °Brix on pear. Concerning firmness, the precision was about 3.5 DI on pear and between 5 DI and 8 DI (Durofel Index) on apricot. The confirmation of such results would allow to hope the development of a non destructive measure of the fruit quality in orchard.

**Key words:** NIR-infrared spectroscopy, abricot, pear, quality, PLS-regression.

## Zusammenfassung

### Nicht destruktive Messung der Qualität von Früchten mittels Nahinfrarotspektroskopie

Zur Zeit wird die innere Qualität der Früchte noch mit Methoden gemessen, mit denen die Früchte zerstört werden. Mit dem Ziel die Möglichkeiten der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS), eine nicht destruktive Analysemethode, auszuloten, wurde diese Technologie getestet, um die innere Qualität (Zucker, Säure und Festigkeit) von zwei Aprikosen- und zwei Birnensorten zu bestimmen. Dabei wurden Kalibriermodelle für diese Qualitätsparameter erarbeitet. In einem ersten Schritt wurden dieses Modelle pro Fruchtart bestimmt ohne die Sorten zu berücksichtigen. In einem zweiten Schritt wurden dann die Kalibriermodelle an die jeweilige Sorte angepasst. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aussagegenauigkeit für den Zuckergehalt mittels der NIRS für Aprikosen 0,67 °Brix und für Birnen 0,78 °Brix erreichte. In Bezug auf die Festigkeit betrug der Validierungsfehler 5 bis 8 DI (Index Durofel) für Aprikosen und 3,5 DI für Birnen. Die Bestätigung dieser Ergebnisse würde die Möglichkeit eröffnen, die NIRS auf Sortieranlagen zu verwenden und somit die Früchte nach innerer Qualität zu sortieren.

- Schaare P. N. & Fraser D. G., 2000. Comparison of reflectance, interactance and transmission modes of visible-near infrared spectroscopy for measuring internal properties of Kiwifruit (*Actinidia chinensis*). *Postharv. Biol. Technol.* **20**, 175-184.
- Schmilovitch Z., Mizrach A., Hoffman A., Egozi H. & Fuchs Y., 2000. Determination of mango physiological indices by near-infrared spectroscopy. *Postharv. Biol. Technol.* **19**, 245-252.
- Shao Y., Ying Y., Gomez H., Pereira A.G., Qiu F. & Zhang Y., 2007. Visible/NIR infrared spectroscopic technique for non-destructive assessment of tomato 'Heatwave' (*Lycopersicon esculentum*) quality characteristics. *J. Food Engen.* **81**, 672-678.
- Ventura M., De Jager A., De Putter H. & Roelofs P. M. M., 1998. Non-destructive determination of soluble solids in apple fruit by near infrared spectroscopy (NIRS). *Postharv. Biol. Technol.* **14**, 21-27.

## RIASSUNTO

### Misura non distruttiva della qualità dei frutti tramite spettrometria prossima all'infrarosso

Attualmente, la qualità dei frutti freschi è misurata tramite strumenti manuali il cui principale difetto di essere distruttivi. Le sperimentazioni presentate avevano come obiettivo la misurazione non distruttiva per spettrometria prossima all'infrarosso della qualità (zuccheri, consistenza e acidità) di due varietà d'albicocco e di due di pero. Per questo, sono stati elaborati dei modelli predittivi dei diversi criteri di qualità. In un primo tempo sono stati costruiti dei modelli globali che non consideravano le varietà e in seguito, per affinare la previsione dei diversi criteri di qualità, si sono elaborati modelli propri a ogni varietà. I risultati mostrano che il tenore in zuccheri è determinato con una precisione dell'ordine di 0,67 °Brix su albicocco e di 0,78 °Brix su pero. Per quel che concerne la consistenza, l'errore sulla previsione è inferiore a 3,5 D1 su pero e dell'ordine da 5 a 8 D1 (indice Durofel) su albicocco. La conferma di questi risultati permetterebbe di sperare il sviluppo di una misura non distruttiva della qualità dei frutti nel frutteto.