

Application de la technique du NIRs à l'analyse de la qualité de deux variétés d'abricots: Bergarouge® (Arivine) et Goldrich

G. COSTA, M. NOFERINI et G. FIORI, Département des cultures arboricoles, Université de Bologne, I-40127 Bologne
J. ROSSIER, Service cantonal de l'agriculture, Office d'arboriculture, CH-1950 Châteauneuf/Sion
W. PFAMMATTER, Agroscope RAC Changins, Centre des Fougères, CH-1964 Conthey

@ E-mail: werner.pfammatter@rac.admin.ch
Tél. (+41) 27 34 53 560.

Introduction

De nos jours, la qualité des fruits est principalement déterminée par des critères visuels et analytiques. Les critères de type visuel (forme, grosseur, couleur, absence de défaut sur l'épiderme, etc.) présentent la caractéristique d'être non destructifs et sont de ce fait potentiellement applicables à une large palette de fruits différents. Cependant, les critères visuels ne donnent pas des indications suffisantes sur les aspects biochimiques et physiologiques qui caractérisent un fruit à maturité. Le recours à des critères analytiques devient nécessaire pour déterminer les caractéristiques internes des fruits (teneurs en sucres solubles et amidon, acidité, fermeté). Pour le triage en classes de calibre commercial, non destructif, un grand nombre de fruits peuvent être examinés, tandis que tous les autres paramètres doivent nécessairement être extrapolés d'un échantillon restreint, compte tenu du coût des analyses, en temps et en argent. Cela limite fortement l'ampleur du champ de référence pour la description analytique des fruits. En outre, cette limite constitue une contrainte opérationnelle et méthodologique non négligeable compte tenu de la variabilité extrême de ces paramètres, déjà entre fruits provenant du même arbre et à plus forte raison lorsqu'ils proviennent d'arbres différents à l'intérieur d'un même verger (SMITH *et al.*, 1994). C'est pourquoi des méthodes non destructives, capables d'évaluer les caractéristiques externes et internes des produits horticoles, sont proposées de-

Résumé

Le but de l'expérimentation présentée ici consistait à mesurer de manière non destructive la qualité interne des abricots du Valais des variétés Bergarouge® (Arivine) et Goldrich. Un appareil d'analyse portable, développé par l'Université de Bologne, a été utilisé à cette fin. La méthode de mesure repose sur le principe de la spectroscopie du rayonnement proche de l'infrarouge (NIRs). Les valeurs obtenues pour les paramètres de la teneur en matières solubles (IR), de la fermeté de la chair et de la teneur en extraits secs (% de matière sèche) ont été comparées à celles résultant des méthodes classiques destructives. Des corrélations supérieures à 0,81 ont été obtenues. Ces résultats démontrent que cette méthode peut être utilisée à l'avenir pour déterminer la qualité des fruits d'une manière non destructive.

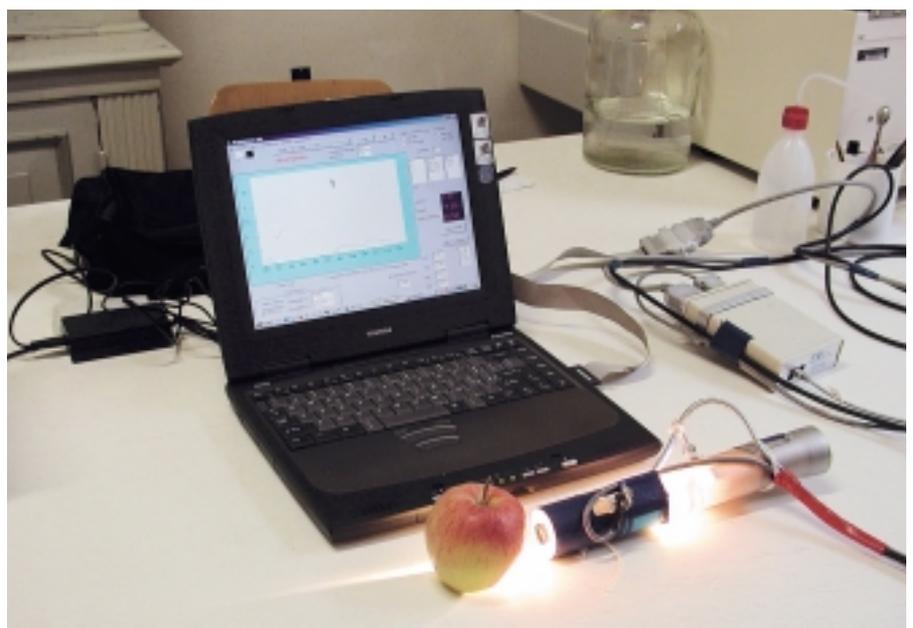


Fig. 1. Spectromètre portable NIRs développé par l'Université de Bologne.

puis peu; la spectroscopie du rayonnement proche de l'infrarouge (abrégiée NIRs pour *Near Infra Red Spectroscopy*), en particulier, se révèle l'une des plus prometteuses pour chacun des paramètres précités et peut être utilisée en laboratoire ou en verger (CHUMA *et al.*, 1976; KAWANO, 1994a et 1994b, LAMMERTYN *et al.*, 1998; COSTA *et al.*, 1999a et 1999b; ANDREOTTI *et al.*, 2000). La technique NIRs est en mesure d'opérer à grande vitesse et peut donc également être installée en ligne sur les calibreuses à fruits.

L'expérimentation présentée ici avait pour objectif d'établir la performance de la technique NIRs dans la détermination des stades de maturité des abricots pendant la période de récolte, sur la base de quelques paramètres: teneur en matières solubles (indice réfractométrique), fermeté de la chair et teneur en extraits secs (taux de matière sèche).

Matériel et méthode

Instrumentation

L'appareil utilisé (fig. 1) est un spectromètre portable (NIRs) mis au point par le Département de la culture fruitière de la Faculté d'agronomie de l'Université de Bologne et déjà décrit dans des recherches analogues avec diverses espèces (COSTA *et al.*, 2000, 2001; 2002; NOFERINI et ANDREOTTI, 2000; DI NATALE *et al.*, 2002).

Matériel végétal

L'essai a été conduit avec les variétés d'abricots Bergarouge® et Goldrich cultivées en Valais. La variété Goldrich a déjà fait l'objet de plusieurs expérimentations relatives à la culture (MONNEY, 2000; RAPILLARD, 2001) et à la qualité (JAY, 2000). Tous les fruits ont été cueillis le 22 juillet 2002 et analysés à Bologne le lendemain. De manière à disposer d'un éventail suffisamment large de maturation, trois catégories de maturité (fig. 2) ont été définies sur une base empirique par les techniciens de l'Office d'arboriculture du Valais: récolte anticipée, récolte pour consommation différée, récolte pour consommation rapide (tabl. 1). Les critères de coloration CTIFL (PLANTON, 1994) et de fermeté (Durofel 10) ont servi de repères à la classification.

Tableau 1. Caractéristiques des cultures d'abricotiers et des fruits cueillis le 22 juillet 2002.

Variété	Localité	Année de plantation	Système de culture	Distance de plantation	Stade de maturité ¹	Coloration (code CTIFL)	Durofel 10 visé
Bergarouge®	Martigny	1999	Buisson	5 × 5 m	1 2 3	5 6-7 8	> 75 65-75 50-65
Goldrich	Sion	1990	Buisson	6 × 5 m	1 2 3	4-5 6-7 8	> 75 65-75 50-65

¹Légende: 1 = récolte anticipée; 2 = récolte pour consommation différée; 3 = récolte pour consommation rapide.

Méthode expérimentale

Pour chacune des variétés considérées et pour chaque catégorie de maturité, 10 fruits ont été analysés avec l'instrument NIRs pour l'acquisition des spectres d'absorbance. La zone d'apposition de la sonde a toujours été la partie la plus colorée des fruits afin d'effectuer la détermination destructive des paramètres concernés sur le même point. Les analyses destructives ont été faites pour la teneur en matières solubles (effectuées avec un réfractomètre ATAGO), la fermeté de la chair (effectuées avec un pénétromètre muni d'un embout de 8 mm) et l'extrait sec (échantillon de 10 g de pulpe chauffé à 60-70 °C pendant 48 heures).

Modèle statistique: calibration et prédiction

Un modèle de calibration a été construit pour chaque variété et pour chacun des paramètres pris en considération sur la base d'un échantillon de 10 fruits récoltés à chacun des stades de maturité. Ce choix a été imposé par la nécessité d'inclure dans le modèle des spectres d'absorbance magnétique correspondant à des fruits extrêmement hétérogènes. En effet, ces valeurs peuvent présenter des écarts correspondant à 15 jours entre la première et la dernière récolte.

Cette procédure permet donc d'obtenir un modèle de calibration fiable, pouvant être appliqué avec succès pour la prédiction de chacun des indices de maturation. Pour chacun des échantillons choisis dans les modèles de calibration, les valeurs d'absorbance ont été transformées en valeurs de dérivée première ou secondaire et utilisées comme variable indépendante dans la régression. La variable dépendante est représentée par les valeurs des paramètres de maturation (matières solubles totales, fermeté de la

chair et extraits secs), ces derniers étant déterminés de manière destructive.

La prédiction des critères de qualité est obtenue par le calcul de la corrélation entre les valeurs d'absorbance à longueur d'onde spécifique et les paramètres qualitatifs déterminés de manière destructive. La qualité de la calibration s'exprime par la longueur d'onde sélectionnée, par le coefficient de corrélation multiple R² et par l'erreur standard de calibration.

Résultats et discussion

Les données du tableau 2 sur la teneur en matières solubles, la fermeté de la chair et l'extrait sec de la variété Bergarouge®, provenant des 30 fruits utilisés, permettent de reconstituer la variabilité de maturation correspondant aux trois stades de récolte. Les valeurs des teneurs en matières solubles sont comprises entre 7,6 et 18 °Brix, les valeurs de la fermeté de la chair oscillent entre 0,3 et 2,2 kg/cm² et les valeurs d'extrait sec varient entre 9,4 et 15,5%. Les coefficients de corrélation entre les valeurs déterminées avec la méthode traditionnelle et avec le spectromètre NIRs s'élèvent à 0,81, 0,83 et 0,83 pour les trois paramètres considérés. Les valeurs d'erreur standard de calibration et d'erreur standard de prédiction sont extrêmement intéressantes pour les trois paramètres considérés. La fermeté de la chair est le paramètre qui a été déterminé avec la plus grande précision, atteignant une valeur de 0,34 dans la prédiction. La qualité de la prédiction obtenue est également illustrée

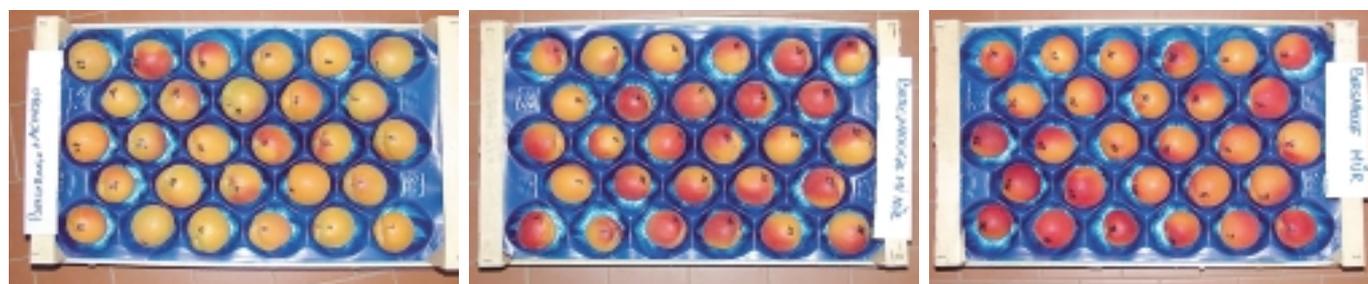


Fig. 2. Fruits de la variété Bergarouge® utilisés pour la prédiction des teneurs en matières solubles, de la fermeté de la chair et des extraits secs. Caractéristiques des stades de maturité, de gauche à droite: «récolte anticipée (= acerbe)», «récolte pour consommation différée (= mi-mûr)» et «récolte pour consommation rapide (= mûr)».

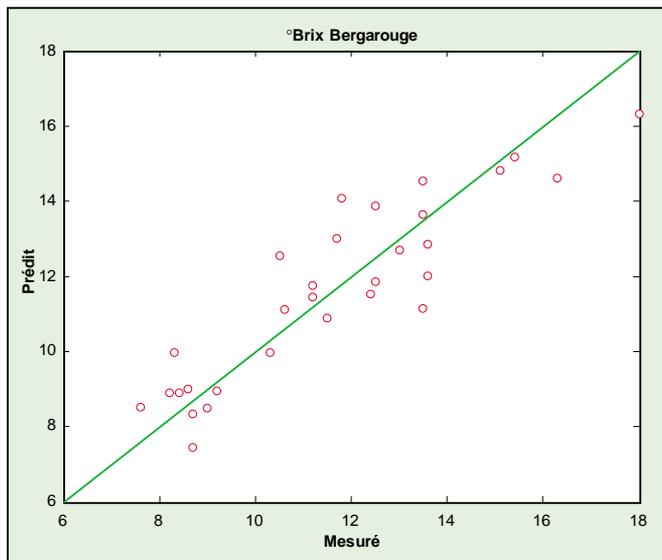


Fig. 3. Régression entre les teneurs en matières solubles déterminées avec le NIRs et au réfractomètre avec la variété Bergarouge®.

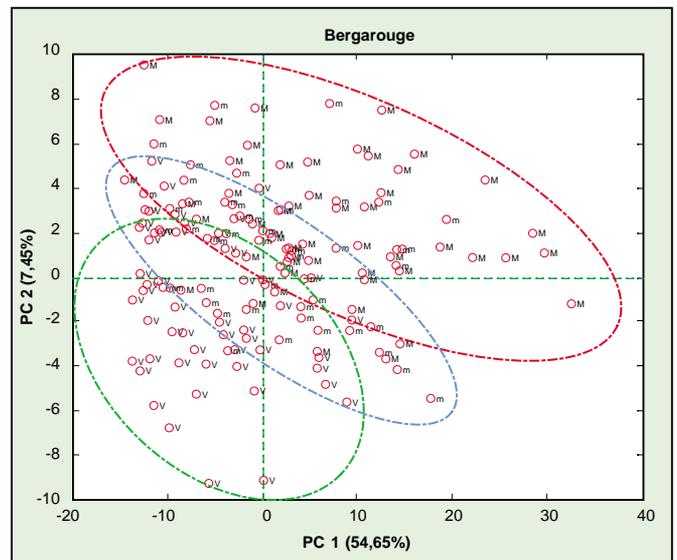


Fig. 4. Séparation des données obtenues sur la variété Bergarouge® sur la base du seul critère de la maturité: «récolte anticipée (= acerbe = v)», «récolte pour consommation différée (= mi-mûr = m)» et «récolte pour consommation rapide (= mûr = M)».

par la figure 3, montrant la calibration de la teneur en matières solubles déterminée d'une part avec la méthode réfractométrique et d'autre part avec le NIRs. Concernant la prédiction, comme on le voit dans la figure 4, l'analyse avec le NIRs a permis de séparer les fruits appartenant aux différents stades de maturité. Les modèles de prédiction ainsi obtenus devraient donc être applicables à d'autres échantillons de fruits. La figure 5 montre la possibilité de séparer les fruits en relation avec leur stade de maturité et de les caractériser par les trois différents paramètres de

Tableau 2. Résultats des analyses statistiques effectuées pour la variété Bergarouge®.

Critères	Nbre	Min.	Max.	Moyenne	R ²	Ecart-type	Erreur standard calibration	Erreur standard prédiction
°Brix	30	7,6	18,0	11,61	0,81	2,65	1,11	
°Brix prédit	30	7,4	16,3	11,61		2,39		1,50
Fermeté (kg/cm ²)	30	0,3	2,2	1,29	0,83	0,57	0,22	
Fermeté prédite (kg/cm ²)	30	0,2	2,2	1,29		0,52		0,34
Extraits secs (%)	30	9,4	15,5	12,18	0,83	1,64	0,57	
Extrait secs prédits (%)	30	9,8	15,2	12,18		1,54		0,94

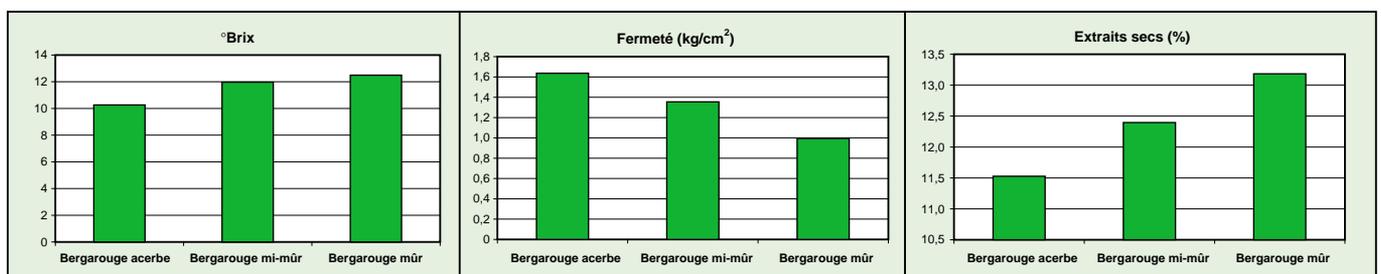


Fig. 5. Prédiction des valeurs de teneurs en matières solubles, de la fermeté de la chair et des extraits secs obtenues pour les trois catégories de maturité en appliquant les modèles de calibration décrits dans le tableau 1.



Fig. 6. Fruits de la variété Goldrich utilisés pour la prédiction des teneurs en matières solubles, de la fermeté de la chair et des extraits secs. Caractéristiques des stades de maturité, de gauche à droite: «récolte anticipée (= acerbe)», «récolte pour consommation différée (= mi-mûr)» et «récolte pour consommation rapide (= mûr)».

Tableau 3. Résultats des analyses statistiques effectuées pour la variété Goldrich.

Critères	N°	Min.	Max.	Moyenne	R ²	Ecart-type	Erreur standard calibration	Erreur standard prédiction
°Brix	30	6,3	16,3	11,87	0,87	2,7	1,1	
°Brix prédit	30	5,0	15,0	11,87		2,8		1,50
Fermeté (kg/cm ²)	30	0,2	3,8	1,41	0,85	1,33	0,5	
Fermeté prédite (kg/cm ²)	30	0,1	3,8	1,41		1,31		0,58
Extraits secs (%)	30	7,9	14,9	11,32	0,91	1,87	0,3	
Extraits secs prédits (%)	30	7,9	13,6	11,32		1,80		1,13

qualité: les teneurs en matières solubles et en extraits secs des deux stades de maturité les plus avancés sont supérieures à celles du stade précoce, contrairement à la fermeté de la chair dont la valeur diminue chez les fruits les plus mûrs.

Des résultats similaires ont été obtenus avec la variété Goldrich (tabl. 3). Pour cette variété également, les modèles de calibration créés se sont révélés adéquats; en effet le coefficient de corrélation a toujours été supérieur à 0,8 pour les trois paramètres considérés et l'erreur standard de prédiction est compri-

se entre 0,58 pour la fermeté de la chair et 1,5 pour la teneur en matières solubles. La régression relative à la teneur en matières solubles entre les méthodes de réfractométrie et de NIRs (fig. 7) indique la qualité des mesures effectuées sur cette variété. Par contre, pour les fruits de Goldrich, il n'a pas été possible de séparer de manière claire les trois catégories de maturité. En effet, seuls les fruits des catégories «récolte anticipée» et «récolte pour consommation rapide» ont pu être discriminés distinctement, ceux de la catégorie intermédiaire se répartissant dans les zones

de distributions des deux autres catégories (fig. 8). L'analyse de la figure 9 illustre cette impossibilité d'une distinction nette entre les fruits de la variété Goldrich. En effet, les fruits des deux catégories de maturité les plus avancées présentent des valeurs similaires pour les trois paramètres considérés.

Ajoutons que la technique NIRs permet de déterminer d'autres paramètres plus sophistiqués comme la teneur en sucres simples, en acides organiques et également en substances phénoliques responsables de la coloration de l'épiderme des fruits (ORLANDI, 2003; BIONDI, 2003). Ces paramètres, combinés à ceux qui sont normalement considérés (substances solubles, fermeté de la chair), pourraient contribuer à déterminer de manière plus pointue le moment optimal de la récolte. Enfin, il est utile de préciser que l'utilisation de ce type de technologie ne se limite pas à la détermination des paramètres de qualité des fruits mais sert également à l'identification de molécules particulières (détection de maladies, par exemple) ou à la reconnaissance de caractéristiques spécifiques permettant d'assurer

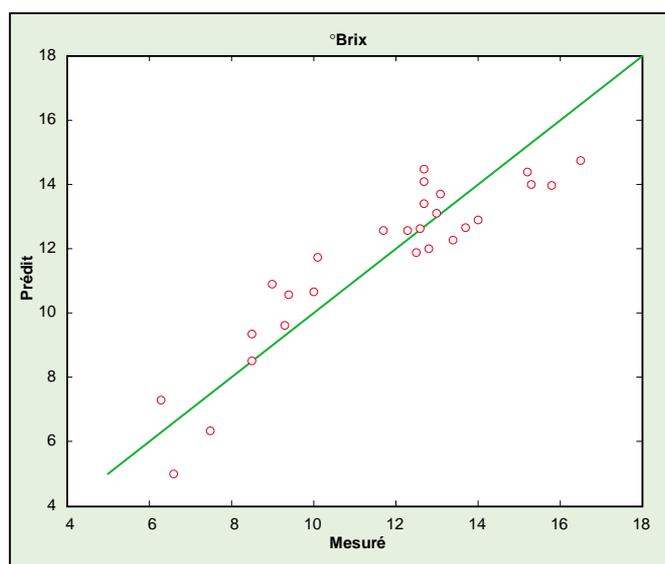


Fig. 7. Régression entre les teneurs en matières solubles déterminées avec le NIRs et au réfractomètre avec la variété Goldrich.

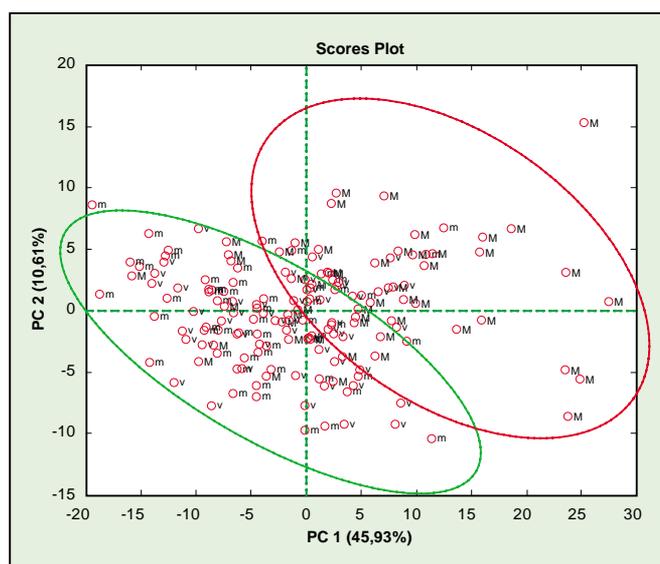


Fig. 8. Séparation des données obtenues avec la variété Goldrich sur la base du seul critère de la maturité: «récolte anticipée (= acerbe = v)», «récolte pour consommation différée (= mi-mûr = m)» et «récolte pour consommation rapide (= mûr = M)».

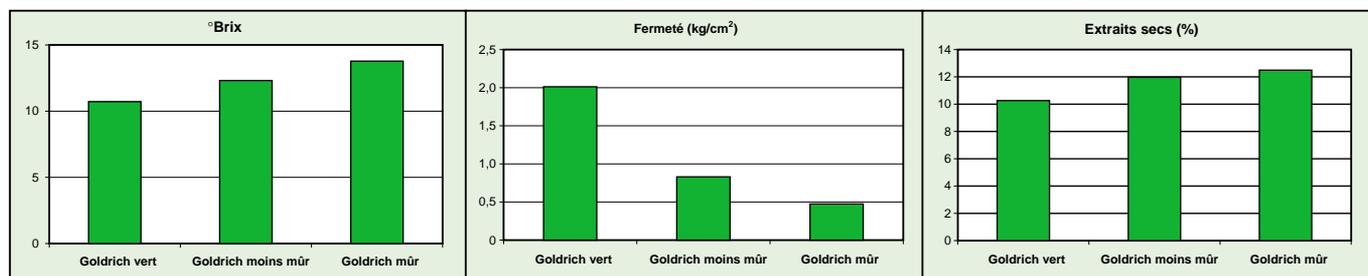


Fig. 9. Prédiction des valeurs de teneurs en matières solubles, de la fermeté de la chair et des extraits secs obtenues pour les trois catégories de maturité en appliquant les modèles de calibration décrits dans le tableau 2.

la tracciabilità dei prodotti, una nozione che sta prendendo sempre più importanza crescente nella produzione e nella commercializzazione di prodotti alimentari.

Conclusions

- I risultati ottenuti confermano che l'apparecchio NIR portatile sviluppato dal Dipartimento di Agricoltura dell'Università di Bologna si presta alla definizione dei parametri di qualità dell'abricot.
- I frutti possono essere selezionati sulla base delle loro caratteristiche interne, in campo o in magazzino.
- I tre parametri (contenuto di sostanze solubili, consistenza della polpa e contenuto di estratti secchi) analizzati per le varietà Bergarouge® e Goldrich hanno permesso di ottenere una buona distinzione dei frutti in relazione al loro grado di maturazione, migliore talvolta per la varietà Bergarouge® rispetto a Goldrich.

Bibliografia

- ANDREOTTI C., NOFERINI M., COSTA G., 2000. Monitoraggio in condizioni di «pieno campo» di alcuni parametri della maturazione dei frutti attraverso la tecnica NIR. XXIV Convegno peschicolo, Cesena, 24-25 Febbraio, 193-197.
- BIONDI C., 2003. Maturazione dei frutti di *Actinidia deliciosa*: evoluzione dei principali parametri qualitativi e determinazione dell'epoca di raccolta. Tesi di laurea, Dipartimento Colture Arboree Università di Bologna A.A., 2001-2002.
- CHUMA Y., KAWANO S., KYAW S., 1976. Optical properties of fruits to serve the automatic selection in the packinghouse line (2). Light reflectance of Satsuma orange. *J. Japan Soc. Agr. Machinery* **37**, 587-592.
- COSTA G., ANDREOTTI C., MISEROCCHI O., NOFERINI M., SMITH G. S., 1999 a. Near-Infrared (NIR) methods to determine kiwifruit field harvest date and maturity parameters in coolstore. *Acta Horticulturae* **498**, 231-237.
- COSTA G., NOFERINI M., ANDREOTTI C., MAZZOTTI F., 1999b. Non-destructive determination of soluble solids and flesh firmness in nectarine by NIR (near infrared) spectroscopy. NIR99, 14-19 June, Verona, 863-866.
- COSTA G., NOFERINI M., ANDREOTTI C., 2000. La determinazione dell'epoca di raccolta dei frutti attraverso sistemi di lettura NIRs (near infrared spectroscopy). Atti V Giornate Scientifiche SOI, Sirmione (BS), 28-30 Marzo, 519-520.
- COSTA G., NOFERINI M., FIORI G., BREGOLI A. M., 2001. L'impiego della spettroscopia all'infrarosso vicino per la valutazione del grado di maturazione delle pesche in pre-raccolta. *Frutticoltura* **6**, 45-50.
- COSTA G., NOFERINI M., MONTEFIORI M., BRIGATI S., 2002. Non-destructive methods of assessment of kiwifruit quality. Int. Symp. on Kiwifruit, Wuhan, China, 15-20 September. *Acta Hort.* (in press).
- DI NATALE C., MARTINELLI E., PENNAZZA G., D'AMICO A., NOFERINI M., COSTA G., 2002. Stima della qualità dei frutti di mele e actinidia tramite la «data fusion» di spettroscopia NIR e naso elettronico. Workshop sui metodi

Summary

Application of the NIRs technique to analyse internal quality of 2 apricot varieties: Bergarouge® (Arivine) and Goldrich

This experiment aimed to measure internal quality of apricot varieties Bergarouge® (Arivine) and Goldrich, grown in Valais, in a non-destructive way by using the portable spectrometer NIRs developed by the University of Bologna. The measurement method is based on the principle of radiance spectroscopy close to infra-red. The values obtained about the parameters of soluble contents (IR), flesh firmness and content of dry matter (%) were compared to those obtained with usual methods (destructive analysis). Correlation values superior to 0,81 were obtained. These results show an interesting potential of this method to determine the quality of fruits in a non-destructive way.

Key words: apricot, internal fruit quality, NIRs technique, non-destructive analysis.

Zusammenfassung

Anwendung der NIRs-Technik bei Qualitätsanalyse von zwei Aprikosensorten: Bergarouge® (Arivine) und Goldrich

Die Untersuchung hatte zum Ziel, die innere Qualität bei den Aprikosensorten Bergarouge® (Arivine) und Goldrich aus dem Wallis zu messen, ohne dass hierbei die Früchte zerstört werden. Um dieses Ziel zu erreichen kam das tragbare NIRs-Gerät, das an der Universität von Bologna entwickelt wurde, zum Einsatz. Die Messmethode beruht auf dem Prinzip der Strahlenspektroskopie im Infrarotbereich.

Die gemessenen Werte bezüglich des Zuckergehaltes (Refraktometerwert), der Fruchtfestigkeit und dem Gehalt an Trockensubstanz wurden mit den Resultaten, die mittels klassischer Analysemethoden (fruchtzerstörend) erhalten wurden, verglichen. Es wurden Korrelationswerte von über 0,81 erreicht. Die Ergebnisse zeigen, dass es in Zukunft möglich sein sollte die innere Fruchtqualität zu bestimmen, ohne dass hierbei die Früchte zerstört werden.

Riassunto

Applicazione della tecnica NIRs all'analisi di qualità di due varietà di albicocche: Bergarouge® (Arivine) e Goldrich

Questa sperimentazione mirava a misurare la qualità interna delle albicocche vallesane delle varietà Bergarouge® (Arivine) e Goldrich, in modo non distruttivo. A questo scopo è stato utilizzato il spettrometro portatile NIRs, sviluppato presso l'Università di Bologna. Il metodo di misurazione si basa sul principio della spettroscopia di irradiazione vicina all'infrarosso. I valori ottenuti sui parametri del contenuto in materia solubile (IR), della consistenza della polpa e del tenore in estratto secco (% di sostanza secca), sono stati confrontati a quelli realizzati con l'ausilio di metodi classici (analisi distruttiva). Si sono ottenuti dei valori di correlazione superiori a 0,81. Questi risultati dimostrano la possibilità, nel futuro, di determinare la qualità dei frutti in modo non distruttivo.

non distruttive per la determinazione della qualità della frutta. Giornate Scientifiche SOI, 23-25 Aprile, Spoleto, 45-46.

JAY M., LANCELIN N., LICHOU J., BRUNNING M., CHAPON J. F., GUINOT E., 2000. Qualité des abricots. Analyse sur les variétés Goldrich et Hargrand. *Infos-Citfl* **161**, 34-38.

KAWANO S., 1994a. Present condition of non-destructive quality evaluation of fruits and vegetables in Japan. *JARQ* **28**, 212-216

KAWANO S., 1994b. Quality Inspection of Agricultural Products by Nondestructive techniques in Japan. *Farming Japan, Special issue* **28** (1), 14-19.

MONNEY Ph., EVÉQUOZ N., 2000. Abricotier: Intérêt et conditions de cultures d'un nouveau cultivar à gros fruits. Expérimentation avec la variété Goldrich. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **32** (4), 219-223.

LAMMERTYN J., NICOLAI B., OOMS K., DE SMED V., DE BAERDEMAEKER J., 1998. Non-destructive measurement of acidity, soluble solids, and firmness of Jonagold apples using NIR-

Spectroscopy. *Transactions of ASAE* **41**, 1089-1094.

NOFERINI M., ANDREOTTI C., 2000. Il sistema NIRs (near infrared spectroscopy) per la determinazione non-distruttiva della qualità della frutta. Atti V Giornate Scientifiche SOI, Sirmione (BS), 28-30 Marzo, 517-518.

ORLANDI A., 2003. Nuove prospettive di utilizzo della metodologia NIRs: comparazione con i risultati ottenuti mediante gascromatografia e spettrofotometria. Tesi di laurea, dipartimento colture Arboree Università di Bologna A.A., 2001-2002.

PLANTON G., 1994. Abricot: un code de couleur au service de la qualité. *Infos-Citfl*, 101.

RAPILLARD Ch., DESSIMOZ A., 2001. Essais de variétés d'abricotiers. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **33** (5), 239-242.

SMITH G. S., GRAVETT I. M., EDWARDS C. M., CURTIS J. P., BUWALDA J. G., 1994. Spatial analysis of the canopy of kiwifruit vines as it relates to the physical, chemical and postharvest attributes of the fruit. *Annals Bot.* **73**, 99-111.