

Pommiers digitalisés pour mesurer l'influence du microclimat lumineux sur la qualité des fruits

Philippe MONNEY¹, Hervé SINOQUET², Gabrielle SONOHAT³, Anne-Marie POTEL¹ et Pierre-Eric LAURI⁴

¹Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW

²UMR547 PIAF, INRA, Univ. Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France

³ENITAC, Site de Marmillhat, BP35, Lempdes, France

⁴UMR DAP, INRA-SupAgro-CIRAD-Université Montpellier II, Montpellier, France

Renseignements: Philippe Monney, e-mail: philippe.monney@acw.admin.ch, tél. +41 27 345 35 45, www.agroscope.ch



Arbres conduits en système axe, dont certains arbres ont été modélisés en 3D pour la mesure du microclimat lumineux.

Introduction

La production et la qualité des fruits dépendent largement de la lumière interceptée par la couronne des arbres, en particulier les éléments issus de bourgeons floraux (Wünsche *et al.* 1996). Les processus impliqués à

l'échelle locale (bourses et pousses de bourses) pourraient être l'assimilation carbonée, l'éclairement et la température du fruit (Abbott 1984). L'objectif de la conduite des arbres fruitiers ne consiste ainsi pas seulement à maximiser l'interception de la lumière à l'échelle de l'arbre, mais également aux points de fructification

(Lakso et Corelli-Grappadelli 1992). Pour étudier l'interception de la lumière dans les vergers, certaines méthodes mesurent l'intensité lumineuse à l'intérieur et au-dessous des canopées (Robinson *et al.* 1991). Un autre procédé utilise des modèles informatiques 3D constitués à partir de plantes réelles pour simuler le microclimat (Adam *et al.* 2002).

Cette méthode a déjà été décrite en détail dans un premier article (Potel *et al.* 2005) qui portait plus particulièrement sur les surfaces foliaires et la distribution des organes végétatifs et génératifs.

Les résultats présentés ici traitent de l'influence du microclimat lumineux des bourses (B), des pousses de bourses (PDB) et des fruits sur la qualité de ces derniers.

Matériel et méthodes

Matériel végétal et dispositif expérimental

L'étude a été réalisée au Centre de recherche de Conthey d'Agroscope Changins-Wädenswil ACW dans le Valais central. La figure 1 donne une représentation schématique des trois systèmes de conduite étudiés A (axe vertical), D (Drilling) et Y (Ycare) (fig.1).


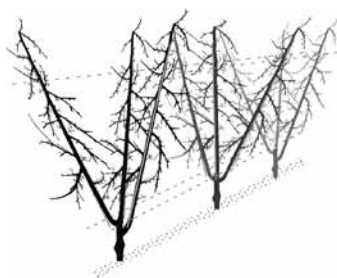

<p>Axe vertical Distance interligne: 4,0 m Intervalle sur le rang: 1,25 m Hauteur: 3,3 m</p>	
<p>Drilling Distance interligne: 4,0 m Intervalle sur le rang: 1,25 m Hauteur: 2,6 m</p>	
<p>Ycare Distance interligne: 3,75 m Intervalle sur le rang: 1,0 m Hauteur: 2,0 m</p>	

Figure 1 | Conception et caractéristiques des trois modes de conduite étudiés.

Résumé

L'analyse informatique de maquettes 3D obtenues à partir d'arbres adultes, représentant des individus conduits en axe vertical, Drilling et Ycare et âgés de 13 à 14 ans, a servi à étudier l'influence du microclimat lumineux sur la qualité, en particulier la teneur en sucres totaux (°Brix) chez la variété Golden Delicious. A l'échelle intra-arbre, le °Brix est bien corrélé au STAR (ratio surface foliaire éclairée/surface foliaire totale) de l'organe feuillé associé au fruit (bourse + pousse de bourse). Une corrélation élevée ($r^2 = 0,75$ et $> 0,88$ respectivement en 2004 et 2005) est obtenue pour la moyenne du °Brix par classe d'éclairage (STAR $< 0,05$ à $> 0,4$, par pas de 0,05) et très faible pour les valeurs individuelles ($r^2 < 0,2$ pour 50 % des arbres en 2004 et 2005), démontrant ainsi que la lumière ne détermine pas à elle seule la qualité du fruit. La longueur de la pousse de bourse, qui conditionne directement la surface foliaire, influence également le °Brix. Cette observation est utile pour orienter une stratégie de taille visant à améliorer la qualité des récoltes. Aucun critère lié au microclimat lumineux n'a permis d'expliquer les différences de qualité observées entre les arbres et donc de prouver une influence de la conduite. Seule la charge exprimée en nombre de fruits/m² de surface foliaire totale permet d'expliquer en partie les variations de °Brix moyen d'un arbre à l'autre et d'une année à l'autre.

Pour chaque système, six arbres de la variété Golden Delicious, répartis en deux blocs, ont été analysés. L'étude a été conduite en 2004 et 2005, soit en 13^e et 14^e années depuis la plantation.

Les arbres n'ont subi aucune intervention de taille entre 2004 et 2005 afin de permettre un bilan de l'évolution quantitative et qualitative de toutes les pousses durant la période considérée.

Limitation de la charge

Les opérations d'éclaircissage, présentées dans Potel *et al.* (2005), avaient pour but d'éviter l'alternance de production entre les deux années et l'impact négatif d'une éventuelle surcharge en fruits sur la qualité. La charge visée par arbre était de 20 à 25 fruits/m² de surface foliaire totale.

Digitalisation

Le principe de la digitalisation (Adam, 1999), utilisé par l'INRA (France) pour des études portant sur l'interception de lumière par les canopées d'arbres fruitiers (Génard *et al.* 2000), a été précisé par Potel (2005) et Sinoquet (2008) pour les aspects spécifiques à cette étude. La figure 2 donne un aperçu des maquettes d'arbres obtenues.

Les arbres ont été digitalisés en 2004 et 2005 en utilisant les coordonnées spatiales de toutes les pousses formées durant la saison. Les feuilles associées à chaque pousse ont été reconstituées en 3D avec les données d'un échantillon d'une trentaine de pousses, restituant ainsi tous les paramètres de distribution et d'orientation des feuilles (longueur des entre-noeuds, angle phyllotaxique, longueur et orientation des pétioles et des limbes, forme et dimension des limbes). La reconstitution du feuillage est calculée à partir de ces données en fonction de la longueur de la pousse. Les fruits sont ramenés à une sphère et placés juste à côté de la bourse dont ils sont issus.

Chaque unité de croissance codifiée lors de la digitalisation se rattache à l'un des six types d'organes identifiés (Potel *et al.* 2005). Sont mentionnées ici les pousses reliées à une bourse comportant au moins un fruit (BF + PBF), celles ne comportant aucun fruit (BA + PBA) ainsi que les pousses végétatives (PV). L'éclaircissement est mesuré de manière globale, à l'échelle de l'arbre entier, ou à celle des catégories évoquées ci-dessus.

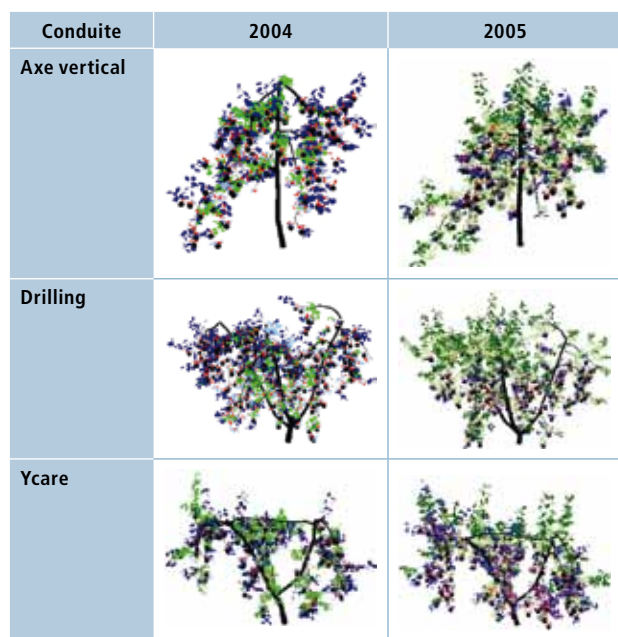


Figure 2 | Représentation numérique d'un arbre représentatif de chaque conduite pour les deux années d'observation. Les points fructifères sont représentés en bleu (feuilles des bourses et pousses de bourses) et en rouge (fruits).

Détermination du STAR

Le STAR (*Silhouette to Total Area Ratio*) mesure l'éclaircissement par le biais du rapport entre la surface projetée et la surface totale de l'organe (pousse ou fruit). Pour simuler les variations d'éclaircissement liées à la course journalière du soleil (éclairage direct) ainsi que celui produit par la voûte céleste (éclairage indirect), le logiciel Vegestar (Adam *et al.* 2002) analyse l'arbre cible au milieu d'un verger de 23 individus, selon plusieurs angles. Les valeurs les plus courantes pour les complexes BF + PBF se situent entre 0,1 et 0,4, soit une proportion de 10 à 40 % de SFE (surface éclairée). Ce critère a servi aux analyses de relation entre éclaircissement et qualité.

Qualité des fruits

En 2004, 10 % des fruits pour les conduites axe (A) et Ycare (Y) et 20 % pour la conduite Drilling (D) ont été prélevés à la récolte et analysés séparément avec l'automate Pimprenelle (Giraud Technologie, 84300 Cavailon, France). Cet échantillon s'étant avéré insuffisant dans certains cas, tous les fruits ont été analysés en 2005. Les valeurs obtenues sont le poids, la teneur en sucres totaux (°Brix) et la fermeté (kg/cm²).

Résultats et discussion

Production de fruits

En 2004, une charge supposée optimale exprimée en nombre de fruits/m² de surface foliaire a été conservée après éclaircissage. En 2005, l'augmentation importante de la surface foliaire par arbre sans changement significatif du nombre de fruits par arbre (tabl.1) fait chuter notablement le nombre de fruits/m² de

Tableau 1 | Surface foliaire totale et rendement par arbre

Année	Conduite	Surface foliaire totale/arbre (m ²)	Rendement (fruits/arbre)	Rendement (kg/arbre)
2004	Axe	7,6 b	177 b	35,6 b
	Drilling	10,9 a	280 a	53,5 a
	Ycare	7,5 b	142 b	26,8 b
2005	Axe	14,4 b	195 a	29,4 a
	Drilling	21,5 a	263 a	38,9 a
	Ycare	14,1 b	185 a	27,4 a
2004	Moyenne	8,7 B	200 A	38,5 A
2005	Moyenne	16,4 A	212 B	31,5 B

Les valeurs suivies de la même lettre ne se distinguent pas significativement à P < 5 %.

(Test de Newman-Keuls sur le facteur conduite, séparément pour les deux années.)

feuillage (tabl. 2). L'augmentation de la surface foliaire d'une année à l'autre provient principalement de la recrudescence de pousses végétatives due à l'absence de taille entre 2004 et 2005.

La conduite D se distingue significativement de A et Y pour la production en fruits (en nb de fruits et en kg de production). D enregistre également un fort accroissement de la surface foliaire issue des pousses végétatives, symptomatique d'une alternance de production à l'échelle des points de fructification, mentionné précédemment par Potel *et al.* (2005). Ces auteurs relèvent le très faible taux de retour à fruits sur PBF dans la conduite D, se soldant également par une alternance de l'arbre entier. Dans notre essai, le nombre d'inflorescence/arbre chute ainsi de 461 en 2004 à 282 en 2005,

Tableau 2 | Intensité de la floraison, de l'expression végétative et charge en fruits

Année	Forme	Floraison (inflorescences/arbre)	Végétation (pousses végétatives/arbre)	Charge (fruits/m ² de feuillage)
2004	Axe	282 b	376 a	23,4 a
	Drilling	461 a	247 a	26,0 a
	Ycare	190 c	283 b	18,9 b
2005	Axe	249 a	869 a	13,6 a
	Drilling	282 a	1217 b	12,2 a
	Ycare	282 a	729 a	13,6 b
2004	Moyenne	311 A	302 B	22,8 A
2005	Moyenne	270 A	922 A	13,2 B

Les valeurs suivies de la même lettre ne se distinguent pas significativement à $P < 5\%$.

(Test de Newman-Keuls sur le facteur conduite, séparément pour les deux années.)

soit près de 40 %. La légère diminution observée sur A se mue en augmentation sur Y. Pour la conduite D qui présente des niveaux de charge moins homogènes que A et Y (tabl. 2), cette alternance est assez bien corrélée avec la charge. Les individus avec des valeurs >26 enregistrent en effet nettement plus d'alternance que les autres (Potel *et al.* 2005). Par ailleurs, la charge très homogène et significativement plus faible dans la conduite Y des six arbres en 2004 conduit à une augmentation du nombre d'inflorescences (BF) en 2005.

Eclaircissement

Le tableau 3 expose les valeurs d'éclaircissement en STAR et en SFE à l'échelle de l'arbre entier de la fraction BF + PBF et BA + PBA ainsi que pour la composante végétative. La figure 2 montre l'augmentation très significative de la SFE des PV ainsi que celle de leur fréquence dans la périphérie des couronnes, en particulier dans la conduite D. Cette évolution explique la diminution de l'éclaircissement observée sur tous les organes génératifs (BF + PBF et BA + PBA). Ainsi, entre 2004 et 2005, la progression de 40 % de la SFE totale s'accompagne d'une chute de plus de 70 % de la SFE des organes génératifs et de plus de 50 % de leur éclaircissement (tabl. 3). Dans le même temps, l'ombrage produit par les PV situées au sommet et en périphérie des couronnes est confirmé par leur éclaircissement stable d'une année à l'autre et notablement élevé en 2005. L'incidence de ce phénomène est nettement visible en termes de fréquence du STAR des BF + PBF entre 2004 (fig. 3a) et 2005 (fig. 3b) et la quasi-disparition des organes dont le STAR dépasse 0,3. A noter également la progression très importante de la classe 0,1 pour la conduite D durant la même période.

Tableau 3 | Surface foliaire éclairée (SFE) et proportion de la surface éclairée (STAR) de l'arbre entier, des bourses avortées (BA) et pousses issues de bourses avortées (BPA), des bourses avec fruit (BF) et pousses issues de bourses avec fruit (BPF), ainsi que des pousses végétatives (PV)

Année	Conduite	Arbre		BA+PBA		BF+PBF		PV	
		SFE (m ²)	STAR	SFE (m ²)	STAR	SFE (m ²)	STAR	SFE (m ²)	STAR
2004	Axe	2,26 b	0,28 a	0,39 b	0,22 a	1,32 b	0,32 a	0,55 b	0,26 a
	Drilling	3,19 a	0,29 a	0,61 a	0,22 a	2,11 a	0,34 a	0,47 b	0,22 a
	Ycare	2,11 b	0,27 a	0,27 b	0,20 a	1,01 b	0,31 a	0,83 a	0,26 a
2005	Axe	3,09 b	0,21 a	0,08 a	0,11 a	0,40 a	0,16 a	2,61 b	0,23 a
	Drilling	4,86 a	0,22 a	0,08 a	0,08 a	0,37 a	0,11 a	4,41 a	0,25 a
	Ycare	2,90 b	0,21 a	0,16 a	0,09 a	0,42 a	0,16 a	2,32 b	0,24 a
2004	Moyenne	2,52 B	0,28 A	0,42 A	0,21 A	1,48 A	0,32 A	0,62 B	0,25 A
2005	Moyenne	3,54 A	0,21 B	0,11 B	0,09 B	0,40 B	0,15 B	3,04 A	0,24 A

Les valeurs suivies de la même lettre ne se distinguent pas significativement à $P < 5\%$.

(Test de Newman-Keuls sur le facteur conduite, séparément pour les deux années.)

Qualité des récoltes

Les différences de teneur en sucres des fruits, de poids moyen et de fermeté se marquent plus selon l'année que selon la conduite (tabl. 4). Ces écarts se traduisent par une augmentation de 1 °Brix, une baisse de plus de 20 % du poids moyen des fruits et une augmentation significative de la fermeté de près de 1 kg/cm². La relation entre poids et fermeté du fruit a déjà été observée dans d'autres études (De Salvador *et al.* 2006). L'augmentation du °Brix peut être attribuée à un effet de concentration, la charge n'ayant globalement pas été un facteur limitant pour la teneur en sucres en 2005.

Tableau 4 | Qualité analytique des fruits: teneur en sucres totaux, poids moyen et fermeté

Année	Forme	Teneur en sucres (°Brix)	Poids moyen des fruits (g/fruit)	Fermeté des fruits (kg/cm ²)
2004	Axe	11,8 b	201 a	7,0 a
	Drilling	12,1 a	191 a	7,0 a
	Ycare	12,4 a	187 a	7,3 a
2005	Axe	12,8 b	151 a	8,0 a
	Drilling	13,1 a	148 a	8,1 a
	Ycare	13,4 a	148 a	7,9 a
2004	Moyenne	12,1 B	193 A	7,1 B
2005	Moyenne	13,1 A	149 B	8,0 A

Les valeurs suivies de la même lettre ne se distinguent pas significativement à P < 5 %.

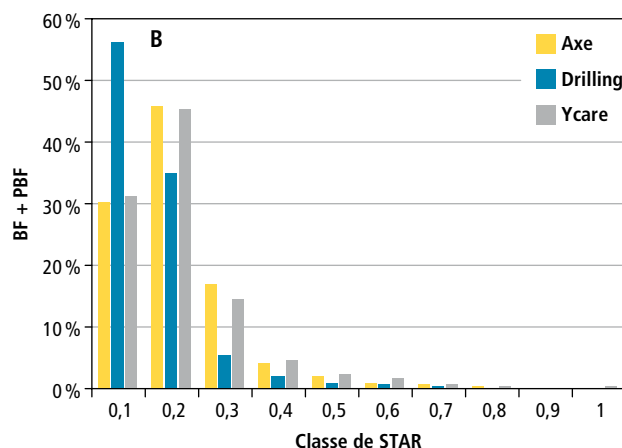
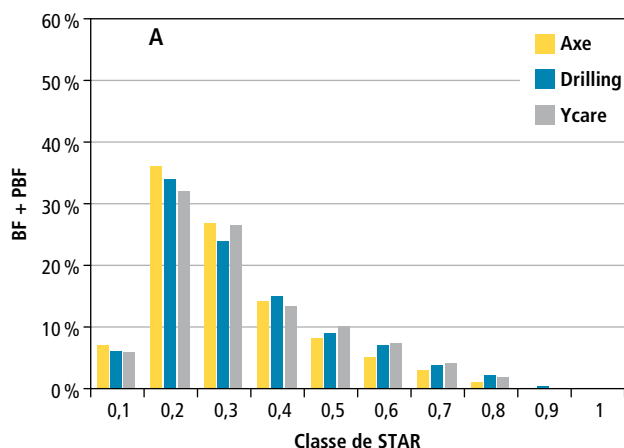
(Test de Newman-Keuls sur le facteur conduite, séparément pour les deux années.)

Qualité à l'échelle locale

La corrélation entre le STAR des complexes BF + PBF et la qualité du fruit associé est relativement peu élevée en considérant les fruits individuellement. Sinoquet *et al.* (2008) ont démontré que cette relation est bonne si l'on utilise la valeur moyenne du °Brix pour les classes de STAR les mieux représentées (0,05 à 0,3 ou 0,4 selon les arbres). Cette moyenne des r² atteint 0,75 et 0,88 respectivement pour 2004 et 2005. La figure 4, obtenue à partir des fruits d'un même arbre, illustre bien la relation entre teneur en sucres et éclaircissement, mais l'importance des écarts-types montre également une variabilité non négligeable entre fruits d'une même catégorie de STAR. Il existe donc d'autres facteurs influençant la teneur en sucres des fruits, parmi lesquels la longueur des PBF joue également un rôle car elle détermine en bonne partie la surface foliaire reliée au fruit. La figure 5 montre que, globalement, le taux de sucre augmente avec la longueur de la pousse. L'écart est flagrant entre les PBF de 20 cm, souvent préconisées dans les interventions de conduite et de taille des arbres, et les PBF inférieures à 4 cm qui produisent des fruits nettement moins sucrés (-0,5 °Brix en moyenne).

Qualité à l'échelle globale

Pour établir l'influence des facteurs expérimentaux sur la qualité des fruits, les relations obtenues à l'échelle de l'arbre ont été analysées selon les conduites et les années. Pour l'ordonnée à l'origine de la relation STAR/BF + PBF, les conduites ne se distinguent pas significativement. Les années se distinguent en revanche significativement avec une moyenne de 11,1 pour 2004 contre 12,1 en 2005 (tabl. 4). Dans un essai réalisé en 2003 sur le même verger, Monney et Henriot (2004) ont obtenu



Figures 3a et 3b | Fréquence en % du total des complexes bourse + pousse de bourse (BF + PBF) en fonction de la classe d'éclaircissement (STAR) pour 2004 et 2005.

une valeur sensiblement inférieure pour les fruits mal éclairés, donc dépendants de zones distantes et mieux exposées à la lumière pour leur alimentation carbonée. La teneur moyenne en sucres de 10,2 °Brix de fruits issus de branches ombrées à 97 % représente tout de même 80 % de celle des fruits normalement éclairés, du même ordre de grandeur que celle obtenue en 2004 et 2005.

La charge semble ainsi être le seul critère pour caractériser l'influence du microclimat lumineux sur la qualité des fruits, quel que soit le paramètre de qualité considéré. Ainsi, la relation entre l'éclairement et le °Brix à l'échelle de l'arbre est d'autant meilleure que la charge globale est proche de l'optimum, soit 60–80 fruits/m² de SFE (fig. 6a et 6b).

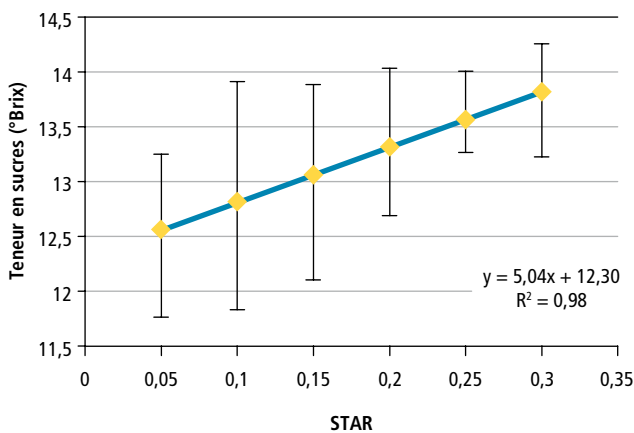


Figure 4 | Relation entre la teneur en sucres des fruits et l'exposition du feuillage des BF + PBF associées et écart-type pour les valeurs de sucres calculées pour chaque classe de STAR. Exemple à l'échelle d'un arbre conduit en axe vertical pour 2005.

Appréciations générales sur les trois conduites

Les résultats de quatorze années de production montrent que la qualité commerciale des fruits a été très similaire pour les trois conduites. D se situe au premier rang avec une moyenne de 50 t/ha, Y au deuxième rang avec 49 t/ha et enfin A en dernière position avec 38 t/ha. Ce résultat est directement lié à la SF/arbre si on compare A et D, plantés à la même densité. Y a en revanche une densité de plantation plus favorable par rapport à A (+500 arbres/ha), pour une SF/arbre pratiquement identique (tabl.1).

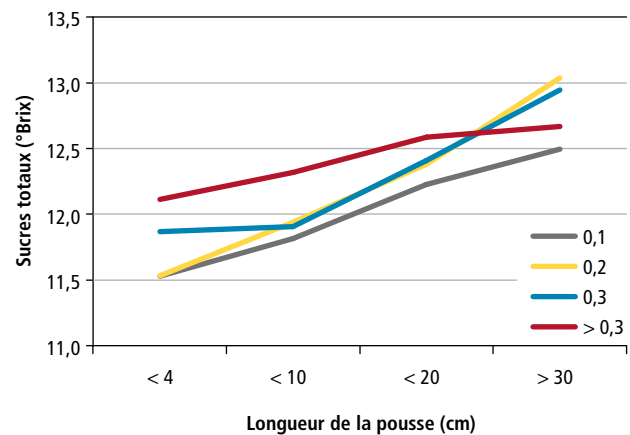
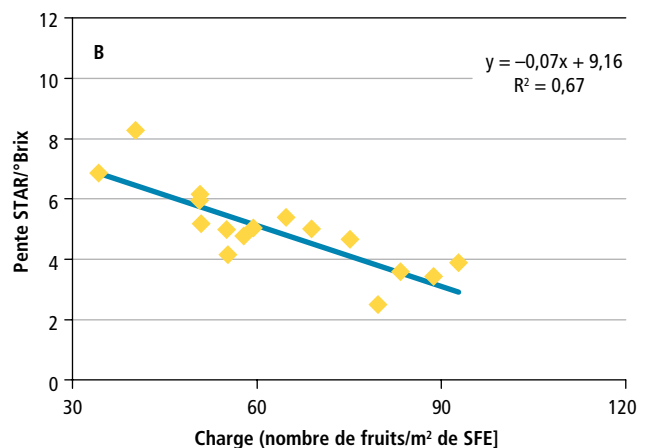
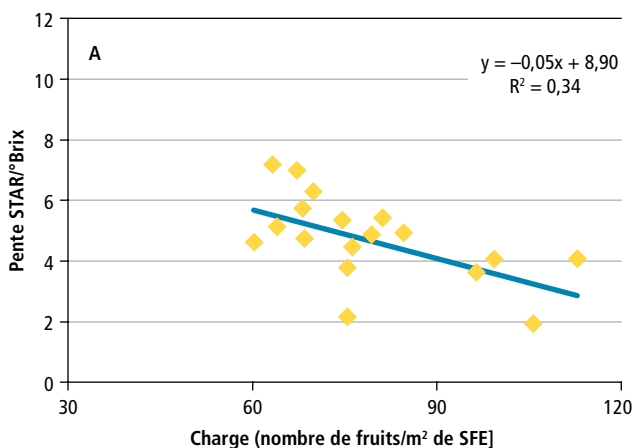


Figure 5 | Relation entre la teneur en sucres des fruits et la longueur de la pousse de bourse pour quatre classes d'éclairement, de très faiblement éclairé (< 0,1) à très bien éclairé (> 0,3).

Moyenne calculée sur les fruits de 18 arbres, toutes conduites confondues, pour l'année 2004.



Figures 6a et 6b | Relation entre pente de la relation STAR/°Brix et charge en fruits (nombre de fruits/m² de SFE) à l'échelle de l'arbre pour 2004 (n = 18) et 2005 (n = 16).



Figure 7 | Malgré sa forme en V, le système Drilling ne fournit pas un microclimat lumineux significativement plus favorable à la qualité des fruits, même si sa surface éclairée est de 40 % plus élevée que celle de l'axe et permet une augmentation de rendement du même ordre.

Conclusions

- La qualité des fruits est influencée par le microclimat lumineux à l'échelle du fruit ou de l'organe associé (BF + PBF), par la charge de l'arbre qui influence à la fois le °Brix moyen et l'écart entre fruits bien et mal éclairés dans leur teneur en sucres et par les conditions de l'année: facteurs climatiques ou alternance de production.
- Les formes des arbres étudiées ont une influence négligeable sur la qualité des fruits.
- Une bonne corrélation entre éclairage et teneur en sucres est obtenue pour les valeurs moyennes des fruits classés par catégories d'éclairage. Il en va de même pour l'influence de la longueur de la PB sur la teneur en sucre des fruits.
- La position du fruit dans l'arbre, la surface foliaire à proximité et son éclairage déterminent en grande partie sa qualité. Ces observations peuvent orienter la stratégie de taille vers l'amélioration de la qualité des récoltes. ■

Remerciements

Ce projet n'aurait pu être réalisé sans l'aide financière de la Fruit-Union Suisse et de la Fédération valaisanne des producteurs. Les auteurs leur adressent ici leurs chaleureux remerciements pour leur contribution.

Bibliographie

- Abbott D. L., 1984. *The Apple Tree: Physiology and Management*. Grower Books, London.
- Adam B., 1999. POL95 – Software to drive a Polhemus Fastrak 3 SPACE 3D digitizer. Version 1.0. UMR PIAF INRA-UBP, Clermont-Ferrand.
- Adam B., Donès N. & Sinoquet H., 2002. VegeSTAR – Software to Compute Light Interception and Canopy Photosynthesis from Images of 3D Digitised Plants. Version 3.0. UMR PIAF INRA-UBP, Clermont-Ferrand.
- Blaser C., Monney P., Evéquoz N. & Amsler P., 1996. Analyse comparative des performances économiques de différents systèmes de verger. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **28** (2), 117–128.
- Correli-Grappadelli L. & Lakso A. N., 2007. Is maximizing orchard light interception always the best choice? *Acta Hort.* **732**, 507–518.
- De Salvador F. R., Fisichella M. & Fontanari M., 2006. Correlations between fruit size and fruit quality in apple trees with high and standard crop load levels. *J. Fruit ornam. Plant Res.* **14** (Suppl. 114 2), 113–122.
- Génard M., Baret F. & Simon D., 2000. A 3D peach canopy model used to evaluate the effect of tree architecture and density on photosynthesis at a range of scales. *Ecological Modelling* **128**, 197–209.
- Lespinasse J.-M. & Delort J.-F., 1994. Le verger de pommier: conduire ou tailler? *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **26** (4), 256–273.
- Monney P. & Evéquoz N., 2002. Les systèmes de verger: nouveaux développements. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **34** (4), 253–267.
- Monney P. & Henriot C., 2004. Effet de la lumière sur la teneur en sucres des pommes. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **36** (3), 177–182.
- Potel A.-M., Monney P., Sinoquet H., Sonohat G. & Lauri P.-E., 2005. Digitalisation tridimensionnelle des arbres pour l'analyse des systèmes de verger de pommier. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hort.* **37** (6), 351–359.
- Sinoquet H., Sonohat G., Potel A.-M., Monney P. & Lauri P.-E., 2008. Using Virtual Plants to Estimate Light Distribution at Intra-Canopy Scale in Apple Trees: Method Presentation and Assessment. Proc. VIIIth IS on Modelling in Fruit Research, *Acta Hort.* **803**, ISHS 2008, 225–234.
- Wünsche J. N., Lakso A. N., Robinson T. L., Lenz F. & Denning S. S., 1996. The bases of productivity in apple production systems: the role of light interception by different shoot types. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **121**, 886–893.

Summary**Light conditions measurement in 3D digitized apple trees to evaluate their influence on fruit quality**

3D plant models of 13 to 14 year-old apple trees were created with computer programs, considering the variety Golden Delicious and three training systems (Vertical Axis, Drilling, Ycare). These models helped calculating light conditions within a tree and consequently their influence on sugar content of individual fruits. Within a tree, the sugar content was related to the STAR (*Silhouette to Total Area Ratio*, i.e. the ratio of exposed to total leaf area during a day) of the leaf area near the fruit. High correlation coefficients ($r^2 = 0.75$ in 2004 and > 0.88 in 2005) could be achieved between STAR categories and sugar content of the respective fruits. However, for individual fruits the correlation coefficients were rather low ($r^2 < 0.2$ for over a half of the trees in 2004 et 2005), suggesting that light conditions nearby fruit were not sufficient to explain alone its sugar content. Other factors, such as shoot lengths which affects the leaf area, may also play a role. This information is useful for trailing and pruning the trees to improve fruit quality. Differences in average sugar content of the fruits between training systems and apple trees could not be related to light conditions. The fruit to leaf area ratio was better suited to explain those differences in fruit sugar content between the trees.

Key words: *Malus domestica*, three-dimensional, plant digitising, modelling, tree training.

Zusammenfassung**Lichtbedingungen in Apfelbäumen gemessen mittels 3D-Digitalisierung und deren Einfluss auf die Qualität der Früchte**

Mittels Informatikprogrammen konnten 3D-Modelle von 13 bis 14 jährigen Apfelbäumen erstellt und grafisch dargestellt werden. Dabei wurden die Sorte Golden Delicious und drei Erziehungsformen (Spindel, Drilling, Ycare) berücksichtigt. Mit Hilfe der 3D-Modelle konnten die Lichtbedingungen über die Zeit innerhalb des Baumes berechnet werden und somit deren Einfluss auf den Zuckergehalt der Einzel Früchte bestimmt werden. Innerhalb eines Baumes standen die Zuckergehalte der Früchte in Beziehung zum STAR (*Silhouette to Total Area Ratio*, d.h. das Verhältnis der belichteten zur totalen Blattfläche während eines Zeitraumes) der Blattfläche der entsprechenden Frucht (Rosettenblätter und Blätter an Fruchtruten). Hohe Korrelationskoeffizienten ($r^2 = 0,75$ und $> 0,88$ im 2004 bzw. 2005) konnten zwischen den STAR-Stufen und dem Zuckergehalt der entsprechenden Früchte erzielt werden. Werden aber die Einzel Früchte berücksichtigt so sind die Korrelationskoeffizienten eher tief ($r^2 < 0,2$ für mehr als die Hälfte der untersuchten Bäume im 2004 et 2005). Dies deutet darauf hin, dass nicht nur die Lichtbedingungen in Fruchtnähe einen Einfluss haben. Faktoren wie die Länge der Fruchtriebe, was die Blattfläche beeinflusst, spielen wohl auch eine Rolle. Die Bedeutung dieser Informationen für einen angepassten Schnitt der Bäume zur Verbesserung der Qualität werden diskutiert. Unterschiede zwischen Apfelbäumen und Erziehungssystemen betreffend des durchschnittlichen Zuckergehaltes der Früchte konnten mit unterschiedlichen Lichtbedingungen nicht erklärt werden. Das Frucht-Blattflächenverhältnis der Bäume war besser geeignet, um Unterschiede zwischen Bäumen im Zuckergehalt der Früchte zu erklären.

Riassunto**Microclima luminoso misurato attraverso alberi digitalizzati e la sua influenza sulla qualità dei frutti**

L'analisi informatica di modelli 3D ottenuti partendo da alberi adulti, ossia la rappresentazione grafica di individui condotta secondo tre forme (asse verticale, Drilling e Ycare) e d'età compresa tra 13 e 14 anni, è servita come metodo per studiare l'influenza del microclima luminoso sulla qualità, in particolare sul contenuto totale zuccherino ($^{\circ}$ Brix) della varietà Golden Delicious. Alla scala della pianta, il tenore $^{\circ}$ Brix è ben correlato allo STAR (ratio superficie fogliare illuminata/superficie fogliare totale) dell'organo fogliare associato al frutto (borsa+brindillo). Un'elevata correlazione ($r^2 = 0,75$ nel 2004 e $> 0,88$ nel 2005) è ottenuta attraverso la media del $^{\circ}$ Brix per classe d'illuminazione ($STAR < 0,05$ a $> 0,4$, con valori d'incremento di 0,05). Se consideriamo i valori individuali, la correlazione risulta molto debole ($r^2 < 0,2$ per 50 % degli alberi nel 2004 e 2005), dimostrando che non è unicamente la luce che determina la qualità del frutto. La lunghezza del brindillo che determina direttamente la superficie fogliare del complesso borsa + brindillo, influenza allo stesso modo i $^{\circ}$ Brix.

Quest'osservazione è utile per orientare una strategia di potatura, mirante al miglioramento della qualità dei raccolti. Nessun criterio relativo al microclima luminoso ha potuto essere evidenziato per spiegare le differenze in termini di qualità osservati alla scala d'alberi di una stessa forma di potatura e a fortiori per evidenziare un'influenza della forma d'allevamento. Unicamente il carico espresso in numero di frutti/m² di superficie fogliare totale permette di spiegare, in parte, le differenze del $^{\circ}$ Brix medio osservato tra un albero e l'altro e da un anno all'altro.