

Prédiction de la charge des pommiers

Simon Schweizer¹, Lena Neumann³, Peter Braun³, Sonja Kuttig², Daniel Baumgartner² et Albert Widmer¹

¹Agroscope, Institut des sciences en production végétale IPV

²Agroscope, Institut des sciences en denrées alimentaires IDA, 8820 Wädenswil, Suisse

³Hochschule Geisenheim, Institut für Obstbau, 65366 Geisenheim, Allemagne

Renseignements: Simon Schweizer, e-mail: simon.schweizer@agroscope.admin.ch



Figure 1 | Marquage des fleurs pour les mesures de croissance du fruit sur Nicoter le 2.5.2013.

Introduction

La qualité du fruit ainsi que le rendement de l'année en cours et de la suivante dépendent du nombre de pommes par arbre (voir encadré en p. 424). Les procédés culturaux de régulation de la charge sont effectués du stade de ballonnet (quelques jours avant la floraison) jusqu'à un calibre de fruit de 12 mm. La difficulté réside dans le fait que de multiples facteurs ont une influence sur la chute des fruits ainsi que sur l'efficacité de l'éclaircissage chimique. Les stratégies et l'intensité de l'éclaircissage doivent donc être adaptées à chaque parcelle et année de culture. Toutefois, puisque la charge est diffi-

cile à évaluer au moment de l'éclaircissage, ceci n'est que partiellement réalisable. La planification de l'éclaircissage se base actuellement sur les connaissances de la variété, du système de culture, de la parcelle et des différentes stratégies.

Il est nécessaire pour les productrices et producteurs de pouvoir mieux estimer la charge afin de planifier l'éclaircissage de façon optimale. Agroscope, en collaboration avec des membres du groupe de travail international pour la conduite des cultures de fruits à pépins (Lena Neumann, Hochschule Geisenheim; Michael Clever, OVA Jork; Gottfried Lafer, Versuchsstation Haidegg; Philipp Brunner, Versuchszentrum Laimburg), s'est pen-

chée sur trois techniques de prédiction de la charge: la mesure de la croissance du fruit de Duane W. Greene, la modélisation du bilan d'hydrates de carbone (MaluSim) d'Alan N. Lakso ainsi que la méthode non destructive de détermination des éléments par spectroscopie proche infrarouge (NIR).

Modèles de prévision

Les trois méthodes de prévision suivent deux stratégies distinctes:

- Prévion de la charge en fonction des propriétés mesurables des fruits. Elle se base sur l'hypothèse que la chute du fruit ou son arrivée à maturité est déterminée bien avance pour chaque fruit. Ce qui est invisible à l'oeil peut être déterminé par les mesures de la croissance du fruit (méthode de Greene) ou de ses éléments constituants (NIR).
- Prévion de la charge définitive et de l'efficacité d'un éclaircissage au moyen du calcul du bilan d'hydrates de carbone (MaluSim).

Méthode de Greene

La méthode de Greene se base sur sa propre observation selon laquelle chaque fruit destiné à chuter jusqu'en juin a ralenti sa croissance déjà quelques jours après l'éclaircissage chimique (Greene *et al.* 2005). En mesurant la croissance des fruits d'un échantillon représentatif, la charge attendue devrait pouvoir être estimée déjà quelques jours après l'éclaircissage chimique. Si une surcharge est pronostiquée, un éclaircissage supplémentaire peut encore être effectué à ce stade. Après concertation avec le groupe de travail pour la conduite des cultures, la méthode de Greene a été évaluée pendant plusieurs années sur différentes parcelles en Europe. Les mesures se sont révélées différentes de ce qui était attendu après analyse des publications américaines (Greene *et al.* 2005; McArtney et Obermiller 2010): les prévisions divergeaient du nombre effectif de fruits, parfois de façon extrême. Au départ, des adaptations du modèle mathématique étaient très prometteuses (Gölles *et al.* 2012), mais par la suite elles ne se sont pas montrées satisfaisantes.

Afin de réduire les divergences, la croissance précoce du fruit a été analysée en détail. Ces analyses devraient déterminer quelles sont les adaptations de la méthode de Greene qui permettraient des prévisions fiables de la charge.

Spectroscopie proche infrarouge (NIR)

Les fruits destinés à chuter subissent des modifications physiologiques. Greene mesure ces modifications au moyen du ralentissement de croissance. En se basant sur

Résumé

L'éclaircissage est l'un des procédés culturaux les plus importants en arboriculture. Un bon rendement et une bonne qualité ne perdurent que si le nombre de fruits par arbre correspond à la charge optimale. Différents facteurs ont une influence sur la charge, qui peut être contrôlée par des mesures d'éclaircissage. Cependant, l'intensité de l'éclaircissage est difficile à évaluer étant donné qu'il doit être effectué avant que la chute physiologique des fruits du début de l'été ne soit terminée. Trois méthodes de prédiction précoce de la charge ont été développées, adaptées et évaluées sur des vergers en Suisse, Allemagne, Autriche et Italie: la mesure de la croissance du fruit selon D. W. Greene, la détermination des composants du fruit par spectroscopie proche infrarouge et la modélisation du bilan d'hydrates de carbone (MaluSim). Les résultats ont montré que la chute des fruits n'était pas déterminée à un moment précis mais qu'elle pouvait être induite à plusieurs reprises. C'est pourquoi la qualité et la fiabilité des prévisions étaient encore insuffisantes pour pouvoir l'appliquer dans la pratique. Toutefois l'estimation de l'efficacité de l'éclaircissage chimique au moyen du bilan d'hydrates de carbone MaluSim pourrait s'avérer prometteuse. Le dosage du traitement pourrait être adapté de façon précise aux conditions.

Charge optimale

Le rendement, la qualité ainsi que la rentabilité des cultures sont essentiellement déterminés par la charge (nombre de fruits par arbre). Une charge trop élevée implique une réduction de la qualité: les fruits restent petits et ne mûrissent pas bien. De plus, les coûts de main-d'œuvre pour l'éclaircissage manuel sont plus élevés et la floraison sera réduite l'année suivante (alternance). Une charge trop faible implique une perte de rendement, empêche un éclaircissage manuel sélectif (éliminer les fruits mal développés) et réduit également la qualité (taches amères, brunissement de sénescence, propriétés de conservation). La charge optimale en arboriculture définit le nombre de fruits par arbre qui permet le meilleur rendement tout en obtenant la qualité requise. Souvent, la charge optimale ne représente que 5 à 10 % de toutes les fleurs, en fonction de l'arbre et de l'intensité de floraison.

Chute des fruits et éclaircissage

Au début de l'été, le pommier évacue une partie des jeunes fruits pour s'adapter aux ressources disponibles. L'ampleur de la chute est déterminée essentiellement

en fonction de la disponibilité en assimilats (concurrence en éléments) et du processus hormonal. Eux-mêmes sont influencés par plusieurs facteurs, en particulier les conditions météorologiques, la variété et le porte-greffe, mais aussi le système de culture, la disponibilité en éléments nutritifs, la pollinisation et les conditions de l'année précédente. La chute de juin met un terme à la chute du début de l'été. Bien que plusieurs fruits soient déjà tombés, la charge est généralement supérieure à la charge optimale et les mesures d'éclaircissage devraient y remédier. L'éclaircissage devrait être effectué le plus tôt possible, c'est-à-dire bien avant la fin de la chute des fruits, afin d'améliorer la qualité de la récolte et la floraison l'année suivante.

Les stratégies d'éclaircissage agissent de différentes manières sur les processus physiologiques et favorisent ainsi la chute des fruits. Cependant, l'impact de ces techniques est fortement influencé par différents facteurs, ce qui rend l'efficacité de l'éclaircissage difficile à évaluer. Après la chute de juin, au moment où la charge définitive peut être évaluée correctement, la charge est adaptée manuellement (éclaircissage manuel) (Schumacher *et al.* 1989; Winter *et al.* 2002).

l'hypothèse que les composants du fruit se modifient simultanément, des essais ont été menés afin de déterminer si la méthode NIR permettait de mesurer les différences entre les fruits destinés à chuter et ceux qui resteront sur l'arbre. La spectroscopie proche infrarouge se base sur le fait que les composants du fruit interagissent avec un spectre de longueur d'onde donnée (Baumgartner *et al.* 2007; Nicolai *et al.* 2007).

Une calibration est nécessaire à l'obtention de prévisions avec la méthode NIR. De plus, à l'aide d'outils statistiques, les spectres mesurés (fig. 2) sont mis en corrélation avec la chute ou non du fruit avant fin juin. L'avantage de cette méthode sur celle de Greene serait que les mesures peuvent être effectuées rapidement et efficacement. Les bouquets ne doivent pas être marqués (fig. 1) et une seule mesure par fruit est suffisante.



Figure 2 | Utilisation de l'appareil NIR. Pour cette étude, les fruits ont été mesurés avec le spectromètre proche infrarouge Phazir (PZ1018, Polychromix). Cet appareil permet d'obtenir un spectre d'absorption de 930 à 1800 nm.

MaluSim

Le modèle de bilan d'hydrates de carbone pour les pommiers MaluSim a été développé aux USA par Lakso *et al.* (Lakso et Johnson 1990; Lakso *et al.* 2001). A l'aide de données météorologiques actuelles, la photosynthèse ainsi que la respiration d'un arbre standard sont entre autres calculés. Les calculs permettent de définir le bilan d'hydrates de carbone et la répartition des assimilats (produits de la photosynthèse) dans les différents organes du végétal. Afin d'utiliser MaluSim en Europe également, certains principes du modèle ont été étudiés et adaptés ces dernières années par l'institut d'arboriculture de la Haute Ecole de Geisenheim. En ce moment, des essais sont menés afin de déterminer si ce modèle peut être utile pour prendre des décisions en ce qui concerne la régulation de la charge.

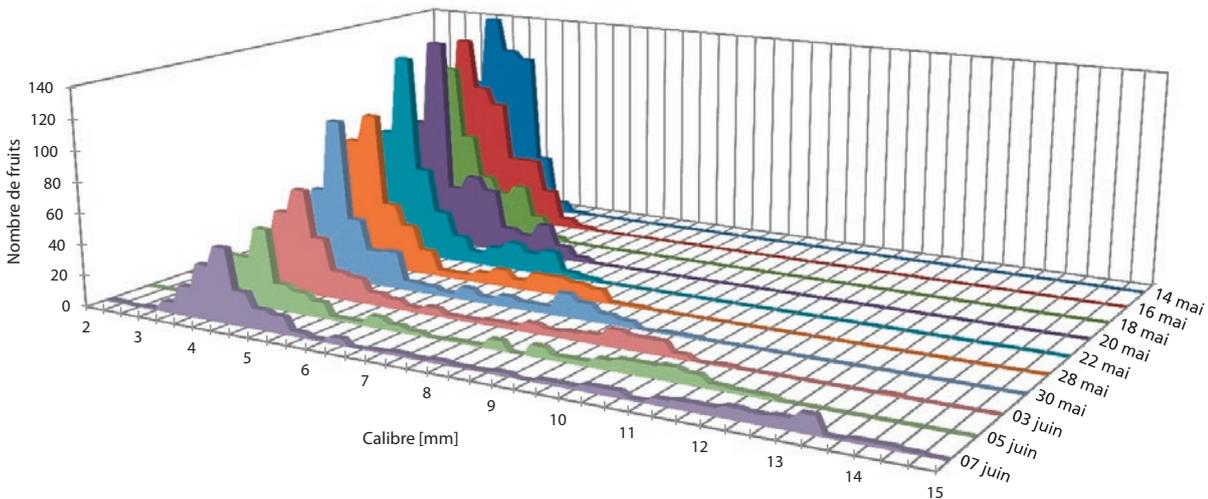


Figure 3 | Mesures du calibre sur Nicoter (Kanzi®), après application de naphtylacétamide (NAD), 2013. Echantillon n=529 fruits (1^{er} mesure). 10 mesures en 24 jours, toujours sur les mêmes fruits. Pleine floraison le 11.5, application de NAD le 13.5.

Deux méthodes existent pour utiliser MaluSim :

- Calcul de la charge par le modèle de la chute des fruits : la chute des fruits escomptée est calculée au moyen de la simulation de l'assimilation ainsi que des besoins actuels des fruits en assimilats. Le nombre de fruits est adapté quotidiennement suivant les données météorologiques actualisées. Ce modèle est comparé avec les résultats d'essais de différentes régions de précédentes années (essai décrit plus bas).
- Préviation de l'efficacité de l'éclaircissage chimique (utilisation aux USA) : le bilan d'hydrates de carbone actuel est calculé pour une charge spécifique. Couplée aux prévisions météorologiques, la tendance en ce qui concerne l'efficacité des produits d'éclaircissage peut être établie pour les jours suivants. Ainsi, en cas d'excès d'hydrates de carbone, l'éclaircissage est plus difficile ; en cas de carence en hydrates de carbone, un traitement sera très efficace et il s'agira de doser prudemment. Une description plus détaillée se trouve dans la publication de Robinson et Lakso (2011), ainsi que sur le site internet de Cornell University (2014).

Méthode et résultats

Greene: croissance précoce et chute du fruit

Afin de déterminer plus précisément la relation entre le processus de chute du fruit et sa croissance, des mesures de croissance du fruit ont été effectuées sur Nicoter et Golden Delicious à Wädenswil. Dix mesures ont été effectuées en l'espace de 24 jours, avec des calibres de 4 à 15 mm (travail de bachelor V. Leschenne 2013). Déjà onze jours après la pleine floraison, des groupes se démarquaient au sein de l'échantillon. Certains fruits présentaient clairement un développement continu, tandis que d'autres sta-

gnaient dans leur croissance (fig. 3, mesures du 22 mai).

Ces groupes correspondaient très bien aux prévisions de chute établies en mesurant la croissance selon la méthode de Greene : les fruits se développant bien arriveront à maturité, ceux présentant une mauvaise croissance tomberont. Cependant, la charge effective après la chute de juin était nettement plus faible que ce qui était attendu. Les fruits s'étant bien développés jusqu'à la deuxième mesure ne sont pas tous arrivés à maturité (fig. 4, 17 jours après éclaircissage). Les fruits qui ont chuté en dépit de prévisions favorables (fig. 4, violet) ont été observés dans tout le groupe de fruits à forte croissance (violet et bleu). Contrairement à ce qui pouvait être attendu en se basant sur l'hypothèse de Greene, ils ne se concentrent pas dans la zone de croissance inférieure : ceux qui sont tombés (violet) malgré une forte croissance initiale ne présentaient – au moment de la prévision – aucune corrélation entre la croissance et la probabilité de chute.

La comparaison avec d'autres mesures effectuées sur différentes variétés et dans d'autres endroits en Suisse, ainsi qu'aux stations de recherche de Laimburg, Haidegg et Jork de 2007 à 2013 (86 prévisions), confirme le résultat : le nombre de fruits ayant chuté malgré une forte croissance initiale variait fortement et de façon aléatoire. Divers facteurs et combinaisons susceptibles d'exercer une influence ont été analysés : position sur l'arbre (au centre, aux extrémités), position au sein de l'inflorescence (fruit central ou latéral, nombre de fruits par inflorescence), évolution phénologique entre la pleine floraison, le(s) traitement(s) et les mesures du fruit (degrés-jours), la technique d'éclaircissage, la situation et la variété. Toutefois, malgré la prise en considération de ces facteurs, les prévisions n'ont pu être optimisées. ➤

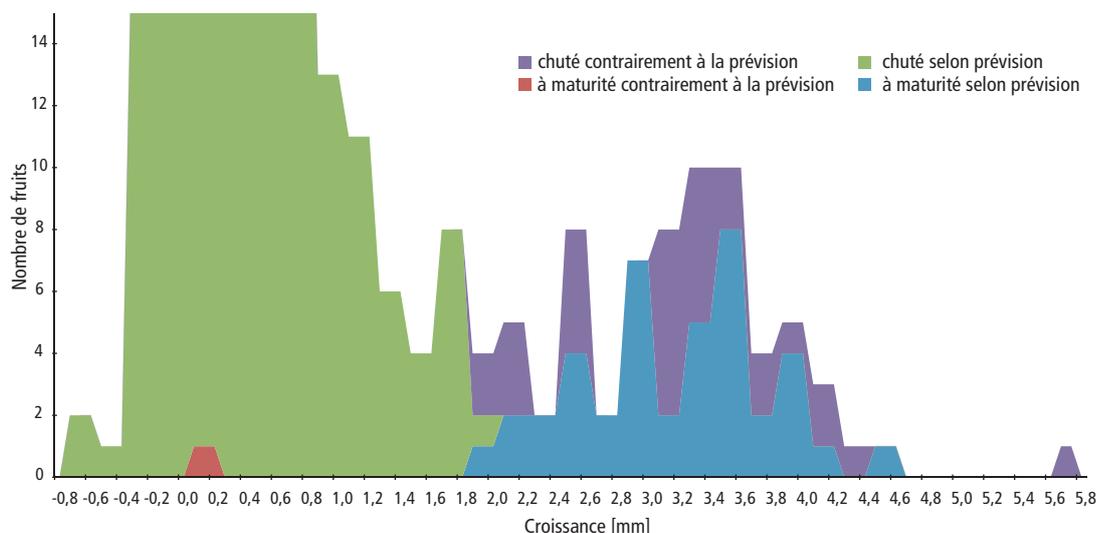


Figure 4 | Comparaison des prévisions de chute selon Greene avec la charge effective en fruits après la chute de juin (4.7.2013). Nicoter après application de naphtylacétamide (NAD), croissance du 16.5 au 30.5, pleine floraison le 11.5, traitement au NAD le 13.5.

Spectroscopie proche infrarouge (NIR)

De 2011 à 2013, des mesures NIR ont été effectuées sur des bouquets de fruits préalablement marqués sur différentes parcelles de Gala, Golden Delicious, Braeburn et Nicoter. Au moyen de l'analyse discriminante linéaire – un procédé de calibration à variables multiples – les pommes ont été classées en fonction de leur spectre mesuré: les pommes destinées à chuter et celles qui arriveront à maturité.

Le modèle NIR n'est valable que pour les fruits correspondant au set d'étalonnage. Ainsi, il faut autant que possible mesurer des fruits d'années, de parcelles et de variétés différentes. Plus la variabilité des fruits est grande au sein du set d'étalonnage, plus la calibration est robuste. Afin de vérifier la robustesse d'un modèle de calibration, l'exactitude des prévisions est testée avec

des fruits qui ne sont pas compris dans le set d'étalonnage. Cette validation externe est un instrument essentiel pour vérifier si le modèle est transposable dans la pratique.

Des modèles NIR ont été développés permettant de prédire à $67\% \pm 1\%$ (fig. 5A) la chute (ou non) des 1040 fruits intégrés au modèle. Cependant, la validation externe avec 260 fruits supplémentaires permettait d'atteindre un pourcentage de seulement $58\% \pm 2\%$. Ce taux est supérieur de seulement 8% à une prévision aléatoire. L'interprétation des spectres est rendue plus difficile par les facteurs externes - comme l'année de récolte, la situation géographique, les conditions météorologiques ou la position du fruit sur l'arbre – qui exercent une plus grande influence sur le spectre NIR que les modifications physiologiques conduisant à la chute.

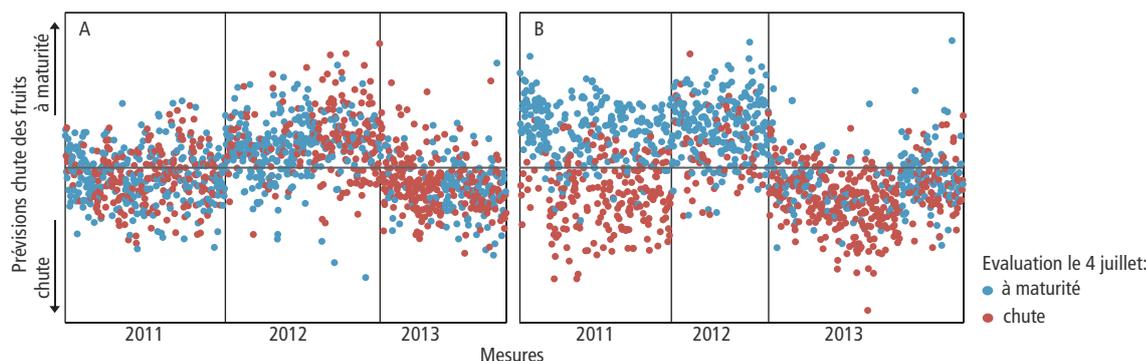


Figure 5 | Comparaison des prévisions du modèle NIR avec la chute des fruits effective. (A) Modèle des fruits qui ont chuté ou qui sont restés sur l'arbre. (B) Modèle des fruits qui sont tombés les jours suivants ou pas du tout.

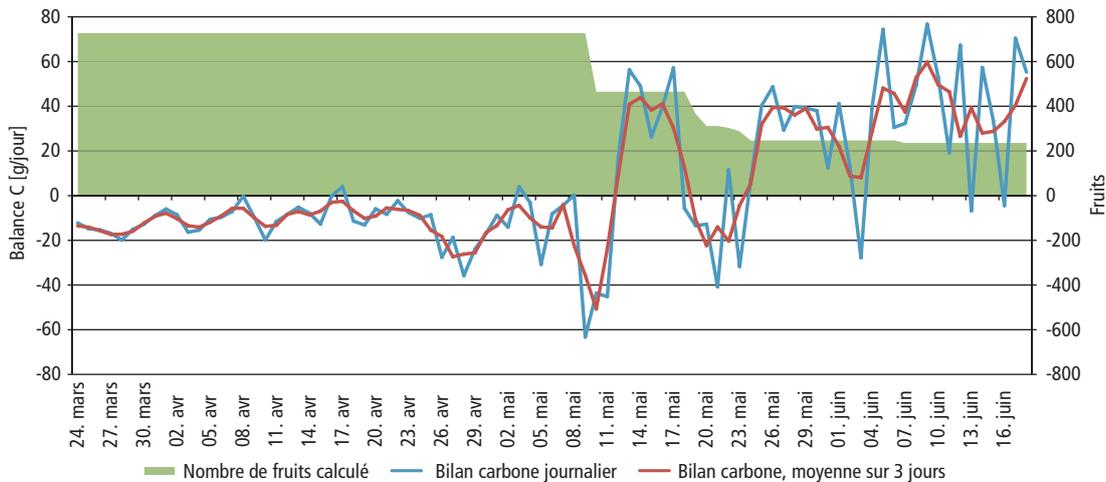


Figure 6 | Simulation du bilan d'hydrates de carbone et de la chute des fruits avec MaluSim sur un arbre Gala standard à Zornheim, 2012 (727 fleurs/arbre, débourrement le 24.3, période de floraison 17.4 – 3.5, pleine floraison 25.4).

Les résultats indiquent que les prévisions de chute des fruits qui sont tombés une à deux semaines après les mesures NIR sont meilleures ($75\% \pm 5\%$) que celles des fruits qui sont tombés plus tard ($55\% \pm 6\%$).

C'est pourquoi, un nouveau modèle a été développé en se basant uniquement sur les fruits qui chutent durant les deux semaines suivant les mesures, ou qui arrivent à maturité. De meilleurs résultats sont ainsi obtenus: $76\% \pm 0,3\%$ des fruits du set d'étalonnage et $71\% \pm 2\%$ des fruits de la validation externe ont obtenu des prévisions correctes (fig. 5B).

Avant que ces fruits ne tombent, la modification de leurs composants est donc clairement mesurable. Toutefois, comme la méthode NIR ne permet de constater cette modification que quelques jours avant la chute effective, la pertinence des mesures reste faible.

MaluSim

Afin d'adapter et de valider la méthode MaluSim, des mesures et des comptages ont été effectués sur une exploitation à Zornheim sur des arbres Gala non éclaircis (travail de master T. Pfeifer 2012). L'une des adaptations du modèle MaluSim a particulièrement convaincu. La simulation (fig. 6) effectuée sur un arbre Gala standard avec 727 fleurs a donné une charge définitive de 237 fruits. Après la chute de juin, ce sont effectivement en moyenne 236 pommes par arbre qui restaient dans le verger.

La première chute dans le processus de simulation (fig. 6) se base sur l'hypothèse (paramètre prédéfini dans le modèle) qu'un tiers des fleurs ne sera pas pollinisé et tombera. Les autres chutes de fruit sont prévues en fonction du calcul du bilan d'hydrates de carbone et

de la croissance du fruit. Une dernière chute de quelques fruits a été prédite pour le 6. 6. 2012, en dépit d'un bilan d'hydrates de carbone positif. Ces fruits présentaient une carence suite au besoin croissant en assimilats des fruits se développant. D'autres comparaisons de simulations et de nombres effectifs de fruits ont été menées sur différentes variétés et parcelles non éclaircies à Jork. Les résultats ainsi que la simulation de MaluSim à Jork sont présentés dans le tableau 1. En 2012, le nombre de fruits calculé par rapport au nombre effectif correspondait bien. En revanche en 2010 et 2011 (année de gel tardif), le nombre de fruits calculé différait du nombre effectif. La différence de charge des variétés se justifie par le fait que la simulation de la quantité de fruits devrait être adaptée à la variété ou au groupe variétal. En comparant avec les résultats d'essais menés en Suisse en 2012 (diverses variétés, sans éclaircissage chimique), il est apparu que pour obtenir une bonne simulation de la chute des fruits, il était nécessaire de prendre en compte l'estimation de l'intensité de la floraison. Le nombre de fruits calculé provenant d'une simulation avec des para- ➤

Tableau 1 | Moyenne du nombre de fruits/arbre de parcelles non éclaircies à Jork, ainsi que le nombre de fruits calculé selon la simulation (arbre standard Gala, donnée: 727 fleurs)

| | 2010 | 2011 (gel tardif) | 2012 |
|----------|---------|-------------------|---------|
| Braeburn | 157/141 | 130 | 144 |
| Elstar | 306 | 136 | 134 |
| Kanzi | 160 | 141 | 134/140 |
| MaluSim | 181 | 180 | 137 |

mètres de Zornheim (727 fleurs) était très éloigné du nombre effectif (écart moyen de $46\% \pm 20\%$). En introduisant le nombre de fleurs sur l'arbre, la simulation s'est fortement améliorée ($20\% \pm 7\%$).

Conclusions

Les trois méthodes se basent sur des valeurs se mesurant facilement sur l'arbre, ou dans son environnement proche pour MaluSim. Les analyses physiologiques de laboratoire ont été évitées afin de promouvoir l'application de la méthode dans la pratique. Aucune des méthodes de prédiction n'a convaincu en présentant des prévisions de charge fiables après la chute de juin. Cependant, les analyses ont permis de se pencher sur le comportement des pommiers durant les premiers stades du développement du fruit: elles montrent clairement que différents facteurs peuvent influencer la chute des fruits avant la chute physiologique en juin.

Processus de la chute du fruit

Les mesures approfondies de la croissance du fruit après la floraison ont permis de déterminer avec certitude quels fruits allaient chuter, mais pas ceux qui allaient arriver à maturité. La quantité de fruits tombés avant la chute de juin malgré un bon développement initial a beaucoup varié. Ainsi, les résultats des mesures de croissance peuvent être aussi trompeurs que les contrôles visuels sur l'arbre. On observe une incompatibilité avec les conclusions de publications précédentes (Handschar 1997; Greene *et al.* 2005; McArtney et Obermiller 2010), qui présentent la croissance du fruit et son calibre comme bases des prédictions de chute. Les conditions telles que la situation, le système de culture, la variété ou l'année de culture peuvent expliquer ces différences. Les mesures NIR ont confirmé les modifications présumées des composants du fruit destiné à chuter. Elles étaient d'autant meilleures que la mesure était effectuée juste avant la chute effective du fruit. La méthode NIR ne permet donc de déterminer les modifications physiologiques du fruit que quelques jours avant sa chute. Une prévision précoce de la charge n'est donc pas possible.

Les résultats des simulations avec MaluSim et la situation sur l'arbre présentaient de fortes correspondances, montrant ainsi que la disponibilité existante en

assimilats a été estimée correctement. Cependant, MaluSim n'a pas non plus permis d'obtenir des prévisions précoces de la charge. Le bilan d'hydrates de carbone est un procédé essentiel à la détermination de la charge, mais il ne permet pas d'établir des prévisions à plus long terme à cause de sa dépendance aux conditions météorologiques.

Les trois méthodes permettent de conclure que la chute des fruits des parcelles analysées s'est effectuée de manière continue ou en plusieurs phases (voir Schumacher *et al.* 1989). Le taux de chute n'étant pas déterminé à un instant précis, des prévisions précoces de charge de récolte en fonction du développement de l'arbre ou du fruit n'étaient donc pas possibles. Des essais sur l'efficacité de l'éclaircissage en ombrant les arbres sur une courte période ont été menés par Kockeroles *et al.* (2008). Il en est ressorti qu'un ombrage effectué même 33 jours après la pleine floraison favorise la chute des fruits d'un calibre de 22 – 24 mm. Par conséquent, même 33 jours après la floraison, une diminution de la disponibilité en assimilats peut à nouveau induire une chute.

Prédictions d'efficacité pour l'éclaircissage

La disponibilité existante en assimilats d'un arbre (bilan d'hydrates de carbone) a une influence directe et non négligeable sur l'efficacité de l'éclaircissage chimique. En se basant sur les prévisions météorologiques (température et rayonnement global), le modèle MaluSim permet de calculer la disponibilité à court terme en assimilats pour un arbre standard et ainsi livrer de précieuses informations concernant le choix et l'intensité d'un éclaircissage chimique (Robinson et Lakso 2011). Cette méthode de prévision est déjà utilisée aux USA en tant que support de conseil. Selon les analyses effectuées dans cette étude, MaluSim pourrait aussi être appliquée en Europe. Toutefois, des recherches supplémentaires sont nécessaires afin de pouvoir utiliser MaluSim comme instrument de conseil. ■

Remerciements

Charles Amstein, Antoine & Christophe Betrisey, Luc Magnollay, Adrien Mettaz, Reynald Pasche, Peter Widmer et Thomas Zimmermann pour les mesures sur leurs parcelles, l'Union Fruitière Lémanique, le Strickhof et le canton du Valais pour leur collaboration.

Riassunto

Previsione del carico in melicoltura

La regolazione del carico produttivo rappresenta una misura culturale decisiva nella melicoltura. Solo se il numero di frutti per albero corrisponde all'obiettivo prefissato di quantità da produrre saranno garantiti negli anni buoni livelli di resa e qualità. Il carico produttivo è influenzato da diversi fattori e viene ridotto in modo mirato tramite interventi di diradamento dei frutti. È tuttavia difficile valutare quale sia la necessaria intensità del diradamento, in quanto questa operazione deve avvenire prima del termine della caduta fisiologica dei frutti all'inizio dell'estate. In appezzamenti destinati alla frutticoltura in Svizzera, Germania, Austria e Italia sono stati sviluppati, adeguati e valutati tre metodi per la previsione precoce del carico produttivo: il monitoraggio della crescita dei frutti secondo D.W. Greene, la misurazione della composizione dei frutti tramite la spettroscopia nel vicino infrarosso e la modellizzazione del bilancio del carbonio (MaluSim). In base ai risultati delle ricerche, tuttavia, la caduta dei frutti non viene determinata in un preciso momento, ma può essere indotta più volte. Allo stato attuale degli sviluppi, la qualità e l'attendibilità delle previsioni non si sono dunque rivelate sufficienti per l'applicazione nella pratica. Promettente è invece la valutazione dell'efficacia attesa di un trattamento di diradamento, che può essere ricavata sulla base del bilancio del carbonio, come previsto nel modello MaluSim. Il dosaggio del trattamento potrebbe così essere adeguato in modo mirato alle esigenze.

Bibliographie

- Baumgartner D., Gabioud S., Gasser F. & Höhn E., 2007. Zerstörungsfreie Messung innerer Qualitätsmerkmale beim Apfel. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* **143** (12), 10–13.
- Cornell University, 2014. Cornell Apple Carbohydrate Thinning Model. 2014. Accès: <http://newa.cornell.edu/index.php?page=apple-thin>
- Göllès M., Widmer A. & Baumgartner, D., 2012. Pomme: prédire la fructification pour paramétrer la régulation chimique de la charge. *Recherche Agronomique Suisse* **3** (10), 478–485.
- Greene D. W., Krupa J., Vezina M. & Lakso A. N., 2005. A Method to Predict Chemical Thinner Response on Apples. *FruitNotes* **70** (2), 12–17.
- Handschak M., 1997. Fruchtfall beim Apfel. *Obstbau* **6**, 286–290.
- Kockerols K., Widmer A., Göllès M., Bertschinger L. & Schwan S., 2008. Ausdünnung von Äpfeln durch Beschattung. *Agrarforschung* **15** (6), 258–263.
- Lakso A. N. & Johnson R. S., 1990. A simplified dry matter production model for apple using automatic programming simulation software. *Acta Horticulturae* **276**, 141–148.

Summary

Forecasting crop load in apple trees

Crop-load management is a vital cultural measure in apple-growing. Only when the number of fruits per tree corresponds to target crop-load levels do yield and quality match over the years. Crop load is influenced by various factors, and is deliberately reduced through thinning measures. The necessary intensity of thinning, however, is difficult to gauge, since the process must take place before the physiological fruit drop is over in early summer. Three approaches to early forecasting of crop load were refined, adapted and evaluated on fruit plots in Switzerland, Germany, Austria and Italy: fruit-growth measurement according to D.W. Greene; determination of the material composition of the fruit by means of near-infrared spectroscopy; and carbon-balance modelling (MaluSim). According to the investigations, fruit drop is not induced at a specific time, but can be induced repeatedly. Because of this, with the current state of developments, the quality and reliability of the forecasts were insufficient for application in practice. Nevertheless, the estimation of the expected effectiveness of a thinning treatment which can be derived using the carbon balance from MaluSim is promising, and would allow the dosage for the treatment to be specially adapted to the conditions in question.

Key words: fruitdrop, predicting fruitset, fruit thinning, carbon balance, MaluSim, near-infrared spectroscopy, NIRS, *Malus domestica*.

- Lakso A. N., White M. D. & Tustin D. S., 2001. Simulation modelling of the effects of short and long-term climatic variations on carbon balance of apple trees. *Acta Horticulturae* **557**, 473–480.
- McCartney S. J. & Obermiller J. D., 2010. Evaluation of a Model to Predict the Response of 'Gala' Apples to Chemical Thinners. XIth IS on Plant Bio-regulators in Fruit Production, *Acta Horticulturae* **884**, 581–586.
- Nicolai B., Beullens K., Bobelyn E., Peirs A., Saey W., Theron K. & Lammerlynt J., 2007. Nondestructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology* **46**, 99–118.
- Robinson T. L. & Lakso A. N., 2011. Predicting Chemical Thinner Response with a Carbohydrate Model. *Acta Horticulturae* **903**, 743–750.
- Schumacher R., Kellerhals M. & Fankhauser F., 1989. Die Fruchtbarkeit der Obstgehölze: Ertragsregulierung und Qualitätsverbesserung. Ulmer, Stuttgart. 242 p.
- Winter F., Link H. & Autorenkollektiv, 2002. Lucas' Anleitung zum Obstbau. Ulmer, Stuttgart. 488 p.