

## Mesure de l'indice de surface foliaire et incidence agronomique sur le pommier

Ph. MONNEY et C. HENRIOT, Station fédérale de recherches en production végétale de Changins, Centre des Fougères, CH-1964 Conthey

@ E-mail: philippe.monney@rac.admin.ch  
Tél. (+41) 27 345 35 11.

### Résumé

En principe, et bien que d'autres facteurs entrent également en jeu, l'indice de surface foliaire (ou LAI pour *Leaf Area Index*) de différents vergers peut être corrélé à leur potentiel de production dans la mesure où l'énergie lumineuse reçue par leurs feuilles est comparable. Associé ou non à la notion d'éclairement moyen du feuillage, le LAI est un élément indispensable à l'évaluation du potentiel agronomique du verger. Une méthode de mesure du LAI appliquée à deux thèmes de recherche est exposée en détail.

Dans le cadre d'une comparaison de systèmes de verger de conception différente, on observe une exposition du feuillage et une qualité des fruits comparables, pour autant que la taille vise à faire disparaître les branches ombrées. A cette condition, chaque système atteint en quelques années un seuil de LAI considéré comme critique pour le maintien de la qualité des fruits. Associé à un rapport feuilles/fruits spécifique, le LAI permet de calculer le rendement optimal de chaque système qui augmente de 10 à 30% pour les formes en V par rapport à une conception axiale traditionnelle.

La surface foliaire du pommier se développe rapidement à partir du stade de la pleine floraison. Lorsque l'extinction artificielle est pratiquée, une partie du potentiel d'interception de lumière est virtuellement supprimée. L'arbre compense cette perte par une augmentation de la vigueur moyenne de ses organes. Concrètement, on observe une élévation du pourcentage des catégories les plus développées aux dépens des plus chétives.

### Introduction

Le potentiel de production du verger dépend étroitement de la surface foliaire de ses arbres. Concrètement, c'est leur surface foliaire rapportée à l'unité de surface de sol occupé (indice de surface foliaire ou LAI pour *Leaf Area Index*) et l'arrangement de leur canopée dans l'espace qui déterminent la quantité de lumière interceptée. De cette quantité d'énergie lumineuse indispensable à la photosynthèse dépendent les processus vitaux de la plante et, dans une problématique agronomique, la quantité de matière sèche élaborée en particulier au profit des fruits. On peut donc dire que la base du rendement est le produit d'une certaine surface de feuillage et de l'intensité lumineuse moyenne qu'il reçoit.

A ce bilan très simplifié, il faudrait ajouter de nombreux paramètres, car

les organes qui bénéficient du produit de la photosynthèse sont nombreux. Les méthodes de conduite modernes visent justement à limiter au strict nécessaire le gaspillage d'énergie, en particulier celui qui est dû à la croissance végétative excessive résultant d'une vigueur et d'une taille inadaptées. La stratégie de conduite a pour objectif d'obtenir des arbres «calmes» à partir du moment où ils remplissent l'espace qui leur est réservé, espace déterminé par la vigueur et la forme. La fonction végétative peut alors se résumer au renouvellement de la fructification.

Ces conditions étant, la caractéristique d'un système de verger bien conçu peut être définie comme la meilleure utilisation possible de l'espace par une architecture de la canopée aux qualités suivantes: éclairement maximal de toutes ses parties, bonne accessibilité et volume important. La première qualité

est garantie de manière empirique par la conduite qui vise à orienter correctement les éléments de structure et par ce qu'il est convenu d'appeler «l'art de la taille», qui se limite concrètement à éliminer les organes surnuméraires et mal exposés à la lumière. La deuxième implique des éléments de nature économique et oppose deux visions différentes de l'arboriculture: la rationalisation des coûts, obtenue autant que possible par la mécanisation, ou la limitation de la hauteur des arbres qui améliore l'efficacité des interventions manuelles, à ce jour encore indispensables pour une production de qualité. Reste le volume des arbres, dont on sait qu'il est finalement l'élément déterminant pour l'aspect quantitatif de la récolte et que sa conception intelligente ne s'oppose pas à la qualité des fruits.

Nous proposons la description d'une méthode de mesure de la surface foliaire

des arbres. Progressivement mise au point depuis 1997, elle fournit un outil de travail efficace pour déterminer le LAI des types de vergers de pommiers conduits en taille longue. A ce jour, nous l'avons appliquée à deux domaines d'expérimentation:

- l'estimation du LAI de différents systèmes de verger. Le suivi de l'évolution de ce LAI sur plusieurs années permet de déterminer un seuil maximal au-delà duquel l'éclaircissement et l'homogénéité de qualité des fruits deviennent insuffisants. Le seuil critique et la charge spécifique exprimée en kg de fruits par m<sup>2</sup> de feuillage indiquent la charge maximale autorisée pour chaque système dans nos conditions;
- l'évolution saisonnière de la surface foliaire sur plusieurs variétés, en particulier en fonction de l'extinction manuelle.

## Matériel et méthode

### Principe général et dispositifs expérimentaux

L'étude en relation avec le développement du LAI des systèmes de verger a été réalisée sur un essai mis en place en 1992 au Centre des Fougères de la RAC à Conthey (Valais central). Les résultats de l'expérimentation ont été présentés dans un bilan intermédiaire (MONNEY *et al.*, 1999) et dans un dossier consacré à la description des systèmes de conduite recommandés pour le pommier (MONNEY et EVÉQUOZ, 2002).

L'observation a porté sur les variétés Golden et Arlet pour les systèmes dont le schéma de conduite est présenté à la figure 1. Les quatre systèmes représentent le facteur principal d'un dispositif en split-plot à trois répétitions. Dans chaque bloc, les systèmes apparaissent sur deux portions de rangs contigus avec les deux variétés (facteur secondaire). Selon le procédé de conduite, l'échantillon mesuré porte sur deux à cinq arbres par bloc pour chacune des deux variétés.

La dynamique saisonnière du LAI est illustrée par un essai de régulation de la charge (MONNEY et EVÉQUOZ, 2001). Quatre variétés sont cultivées en Solaxe aux distances de plantation de 3,8 × 1,6 m, en rangs parallèles de 48 individus. Nous analysons le comportement variétal et l'extinction artificielle comme facteurs susceptibles d'influencer le développement de la surface foliaire en cours de végétation. Pour les variétés Gala, Braeburn, Fuji et Maigold, l'extinction manuelle est comparée au témoin sur la base des 24 arbres de chaque procédé. Les mesures réalisées en 2002 sont répétées à l'intervalle d'un mois environ au cours de la phase de développement initial du feuillage, soit à la floraison (19 au 22 avril), à fin mai puis une dernière fois à fin septembre. Les valeurs de fin juin et fin juillet sont obtenues à partir d'estimations.

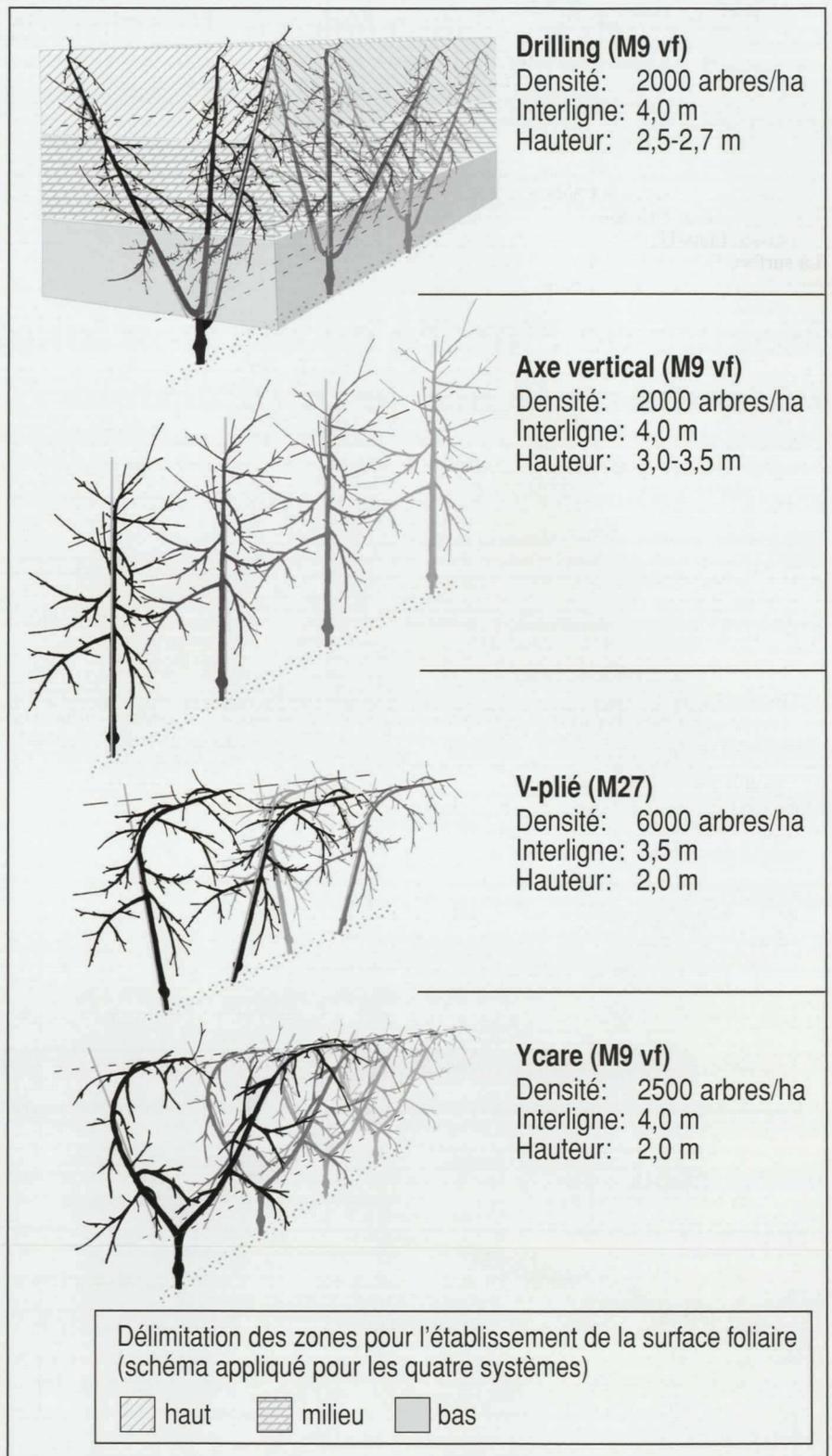


Fig. 1. Schéma des systèmes de verger et délimitation des zones en fonction de l'éclaircissement et de la croissance végétative.

### Méthodologie de mesure de la surface foliaire

L'ensemble du processus de mesure repose sur un principe décrit par HOLLAND (1968). Il s'appuie sur la relation existant entre surface foliaire et section de la branche, relativement constante pour une variété et pour un

stade de développement saisonnier donné. Différents tests ont montré que la taille pouvait constituer un facteur d'imprécision important. La taille longue, systématiquement appliquée dans nos essais, donne des échantillons relativement homogènes.

La procédure de mesure se fait en trois étapes.

## Organes de la branche

La première étape consiste à définir la surface foliaire moyenne de six types d'organes représentatifs de l'expression végétative du pommier (fig. 2) et faciles à distinguer. Selon la période, la taille d'un échantillon est de 15 à 30 organes dont toutes les feuilles sont mesurées à l'aide d'un analyseur de surface (Modèle LI-3100, Li-cor, Nebraska, Etats-Unis).

La surface foliaire de chaque type d'organe évolue rapidement au cours des premières semaines suivant le débournement de la végétation et se stabilise progressivement vers la fin du printemps (CRABBE, 1987). Les **rosettes** ont une longueur de quelques centimètres et une douzaine de feuilles au maximum. **Mixtes** et **pousses** correspondent respectivement à des rameaux issus de bourgeons génératifs et de bourgeons végétatifs. Les premières présentent un nombre de feuilles et une surface foliaire légèrement supérieures, dus à la présence de la bourse. Pour les trois types, nous avons défini deux sous-catégories représentées par un développement respectivement restreint (petites rosettes; mixtes et pousses courtes ou «brindilles» d'environ 10 à 20 feuilles) et important (grandes rosettes; mixtes et pousses de 20 feuilles et plus).

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes mesurées dans plusieurs essais en cours, toutes variétés confondues. Le nombre moyen de feuilles par organe donne un ordre de grandeur et la fourchette peut servir de point de repère pour l'attribution à chaque catégorie. Cependant, lors des contrôles et pour des raisons d'efficacité, l'attribution à chaque catégorie se fait en fonction d'une appréciation visuelle rapide, ce qui explique un léger recouvrement des valeurs extrêmes. Les valeurs sont assez constantes pour un site de production donné, mais on observe des variations d'un verger à l'autre. Pour



Fig. 2. Représentation des catégories d'organes servant à l'établissement de la surface foliaire. R1 = petite rosette, R2 = grande rosette, M1 = petite mixte, M2 = grande mixte, P1 = petite pousse, P2 = grande pousse.

Tableau 1. Nombre moyen\* de feuilles par type d'organe.

	Rosettes		Mixtes		Pousses	
	petites	grandes	petites	grandes	petites	grandes
Nombre de feuilles	5,6	8,8	15,7	24,7	15,3	24,3
Ecart-type	0,7	0,8	2,1	3,3	1,7	3,2
Nombre de feuilles min.-max. pour l'appréciation visuelle	3-7	6-12	10-22	> 17	8-23	> 16

\*Moyenne de 12 échantillons (taille éch. n > 20) représentant la totalité des variantes expérimentales observées en 2002 sur six variétés (Golden, Arlet, Gala, Braeburn, Fuji, Maigold).

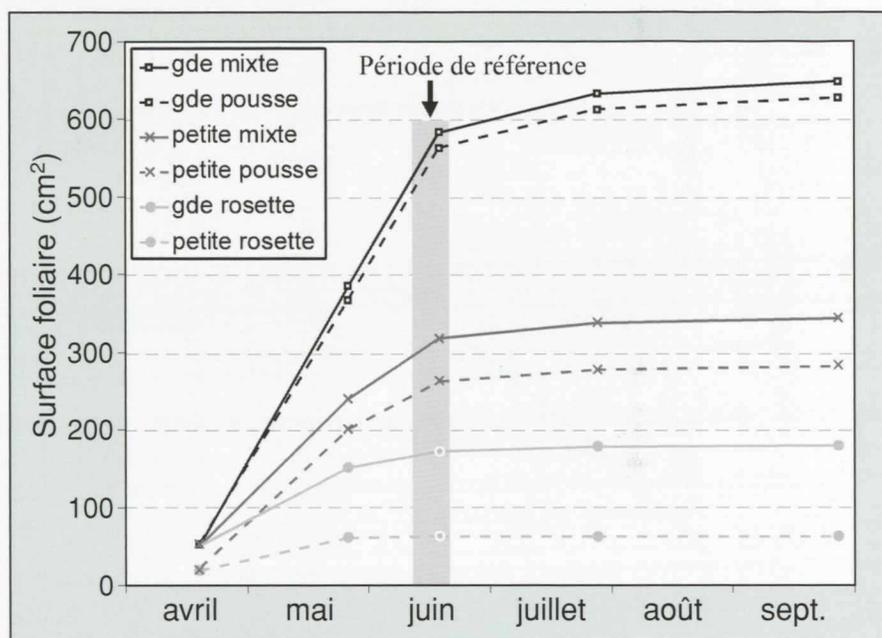


Fig. 3. Croissance saisonnière des organes de référence.

chaque groupe d'arbres caractérisé par une variété, une intensité de floraison, un porte-greffe ou un mode de conduite influençant significativement la vigueur ou la taille des feuilles, il est recommandé de déterminer des valeurs spécifiques.

L'allongement de certains rameaux peut reprendre après un bref arrêt et se poursuivre durant tout l'été. On parle alors de pousses à deux vagues de croissance ou de pousses à croissance continue. Dans les deux cas, le développement peut dépasser 40 feuilles. Ce constat démontre l'importance d'un repère phénologique constant permettant de suivre l'évolution du développement végétatif d'un groupe d'arbres défini sur plu-

sieurs années. L'arrêt de l'activité végétative correspond à la phase finale de croissance de la partie préformée de la pousse (partie matérialisée par les ébauches contenues dans le bourgeon). C'est à cette période que nous avons défini le stade repère pour les mesures (fig. 3).

Une évaluation plus tardive de la surface foliaire pose le problème suivant: la période de fin juin est caractérisée par une forte activité d'allongement de certaines pousses. C'est souvent le moment choisi pour l'ébourgeonnage, destiné à supprimer un excédent de végétation et pratiqué avec une intensité variable selon les cas. Notons que le végétal réagit souvent à cette opération par une reconstitution quasi totale de la surface foliaire ôtée, soit par l'émergence de nouvelles pousses, soit par l'allongement de rameaux existants (deuxième cycle de croissance ou néoformé).

## Surface foliaire de la branche

La deuxième étape est l'établissement du rapport entre l'épaisseur du bois à la base de la branche et la surface foliaire totale de cette dernière. Pour chaque groupe spécifique (variété, porte-greffe, niveau de floraison), un échantillon représentatif d'environ 25 branches est nécessaire pour obtenir l'équation du 2<sup>e</sup> degré définissant la surface foliaire en fonction de la section. L'échantillon doit couvrir une plage de diamètres représentatifs des éléments le plus couramment rencontrés dans le verger. Au-delà de 3 cm, les branches présentent souvent une surface réelle fluctuante en raison des interventions de taille. L'établissement de la relation s'obtient par la régression entre les valeurs de section des branches et leur surface foliaire respective, obtenue par la somme des valeurs individuelles de chaque organe. On obtient une équation du type suivant:

$$S_{fol_b} = as^2 + bs$$

où  $S_{fol_b}$  représente la surface foliaire de la branche et  $s$  sa section calculée à partir du diamètre.

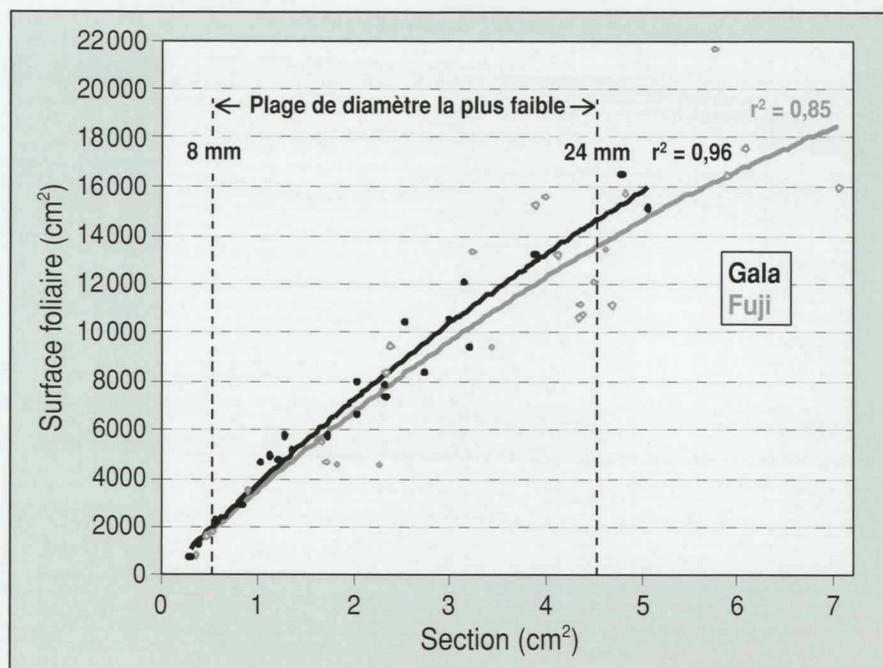


Fig. 4. Représentation graphique de la relation entre épaisseur de la branche et surface foliaire pour deux variétés.

Le diamètre (transformé en section) est mesuré à la hauteur d'un entre-nœud lisse, le plus près possible de la première ramification en partant de la base de la branche. Pour des branches très épaisses ou ayant subi trop de corrections à la taille, il est recommandé de considérer les ramifications secondaires comme des entités individuelles.

L'exemple de la figure 4 à partir de deux échantillons des variétés Gala et Fuji illustre un cas de très bonne corrélation pour la première et juste acceptable pour la seconde. Dans les deux cas, l'échantillon a pourtant été réalisé à partir d'arbres issus d'un même verger, homogènes quant à leur vigueur et leur niveau de floraison. La plage de diamètre plus large avec Fuji explique en partie le moins bon coefficient de corrélation. Cela démontre la nécessité d'établir des courbes aussi spécifiques que possible, en évitant le mélange d'individus aux caractéristiques agronomiques différentes.

sure où une localisation dans la partie basse de l'arbre est souvent liée à un éclaircissement réduit et inversement pour le haut. A cela s'ajoute l'effet d'une acrotonie plus ou moins importante selon les variétés et accentuée par les effets de la taille. Pour trois des quatre systèmes les plus représentatifs,

Tableau 2. Branches et organes isolés dont la somme représente la surface foliaire pour les quatre systèmes de verger en 11<sup>e</sup> année.

	Branches		Organes isolés (n)				Surface foliaire par arbre (m <sup>2</sup> )
	(n)	Diamètre moyen (cm)	Rosettes	Mixtes	Pousses	TOTAL	
Axe M9	19,8	12,0	50,9	9,5	4,0	64,4	8,7
Drilling M9	34,5	11,5	152,1	16,9	10,1	179,1	15,7
Ycare M9	25,8	10,8	58,6	12,4	6,5	77,5	10,1
V-plié M27	9,8	11,4	28,4	4,5	3,0	35,9	3,4

Moyenne réalisée sur un échantillon de six arbres par système avec la variété Golden.

## Surface foliaire de l'arbre

La surface foliaire de l'arbre est établie par addition des valeurs de toutes ses branches. On y ajoute le cas échéant les organes isolés, issus directement de la structure primaire, et qui ne sont pas pris en compte dans la mesure d'une branche. Le tableau 2 donne un aperçu des valeurs obtenues pour quatre systèmes de conduite avec la variété Golden.

Dans le cas d'arbres d'un certain âge, en particulier pour les canopées de grand volume, la relation surface foliaire/section de la branche n'est pas constante dans toutes les parties de l'arbre. Deux facteurs sont susceptibles d'influencer la surface foliaire de la branche selon son emplacement: l'éclaircissement, dont le rôle sur la croissance végétative n'est plus à démontrer, et la position sur la structure primaire selon un axe haut/bas. Les deux facteurs se recoupent dans la me-

le tableau 3 expose les effets de ce phénomène qui s'exprime par une relation surface foliaire/section de la branche différente selon la zone de l'arbre. Plus la vigueur et l'effet de l'ombrage dû au volume des couronnes sont importants, plus le contraste est élevé. Pour une vigueur donnée, la plage des valeurs est sensiblement identique, comme dans le cas des deux systèmes cultivés sur porte-greffe M9. Un rapport surface/section notablement plus faible dans le haut chez l'axe vertical est dû à l'effet de l'éclaircissement favorable et à une taille plus sévère qui diminue le nombre global d'organes par unité de section de la branche. Les rameaux longs issus de réactions végétatives induites par la taille sont proportionnellement plus fréquents que les organes courts.

La conduite de chaque système implique une occupation de l'espace et une répartition différentes. Le rôle principal de la taille étant d'éliminer progressivement les parties ombrées, chacun des quatre systèmes analysés présente une répartition haut/bas spécifique. Ainsi, dans les deux systèmes piétons (Ycare, V-plié), où les superpositions entraînent l'apparition de zones d'ombres très marquées, peu de branches basses ont pu être conservées. La surface foliaire de l'arbre s'obtient à partir de l'équation des branches de la partie médiane, caractérisées par un éclaircissement non limitant et de faibles contraintes de taille. Un facteur de pondération prend en compte le développement et la fréquence des branches de la zone du haut, du milieu et du bas de la couronne (tabl. 4).

Tableau 3. Caractéristiques des branches en fonction du système de conduite et de leur position dans l'arbre.

	Position de la branche dans la couronne	Surface foliaire/section de branche (m <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup> )	Organes/section de branche	Fréquence des organes en % du total		
				Rosettes (nbre/cm <sup>2</sup> )	Mixtes et pousses courtes	Mixtes et pousses longues
Axe M9	haut	0,28	16,0	56,9	29,7	13,5
	milieu	0,34	24,3	75,5	19,1	5,4
	bas	0,31	23,4	84,8	14,3	0,9
Drilling M9	haut	0,31	17,3	57,2	31,1	11,7
	milieu	0,32	23,0	72,6	21,0	6,5
	bas	0,29	23,4	84,8	14,3	0,9
V-plié M27	haut	0,28	18,1	63,6	28,7	7,6
	milieu	0,27	20,2	71,7	26,3	2,0
	bas	0,26	20,2	80,4	17,0	2,6

Moyenne réalisée sur un échantillon de six arbres par système avec la variété Golden en 2002. L'Ycare ne diffère pas notablement du Drilling.

**Tableau 4. Importance relative de la surface foliaire des branches en fonction de leur emplacement dans l'arbre et facteur de pondération pour le calcul du LAI des quatre systèmes de verger.**

	Surface foliaire des branches en % du total			Equation de la relation section - surface foliaire	Facteur de pondération	LAI moyen et écart-type
	haut	milieu	bas			
Axe M9	43,4	37,7	18,9	$Sfol_b = -110,6 s^2 + 3705,4 s$	0,91	1,74 ± 0,22
Drilling M9	40,7	32,4	25,1	$Sfol_b = -286,3 s^2 + 4043,8 s$	0,93	3,13 ± 0,39
Ycare M9	57,1	26,4	16,7		0,94	2,53 ± 0,39
V-plié M27	54,9	32,5	12,5	$Sfol_b = -24,4 s^2 + 2691,6 s$	1,05	2,03 ± 0,21

Données de l'année 2002, à partir d'un échantillon de six arbres par système avec la variété Golden.

### Calcul du LAI

Le LAI est calculé à partir de la surface foliaire par arbre et de la densité de plantation. L'indice exprime une surface de feuillage par unité de surface de sol cultivé selon la formule suivante:

$$LAI = \frac{Sfol_a}{l \cdot i}$$

où  $Sfol_a$  représente la surface foliaire de l'arbre,  $l$  la largeur de l'interligne et  $i$  l'intervalle entre les arbres. Si la valeur moyenne par arbre est de 12 m<sup>2</sup> et les distances de plantation de 4 m × 1,5 m, le LAI du verger est le suivant:

$$\frac{12}{4 \cdot 1,5} = 2, \text{ soit } 2 \text{ m}^2 \text{ de feuilles/m}^2 \text{ de sol cultivé.}$$

### Résultats et discussion

#### LAI critique en fonction du système de verger

Dans tous les systèmes, on observe un accroissement continu du volume de végétation. Dans certains cas, le rythme d'accroissement se ralentit avec l'entrée en pleine production. Dans le cas du système Ycare, trop dense dans l'essai, la réduction (Arlet) ou la stagnation du LAI (Golden) sont dues à des élagages sévères destinés à maintenir un éclairage correct dans les zones basses des arbres. Dans un cas seulement, la densité de plantation aurait pu être légèrement supérieure, celui de l'axe vertical avec Arlet, où les arbres n'augmentent plus de volume depuis la 6<sup>e</sup> année sans que leur volume critique ait été atteint (fig. 5).

Dans l'optique de notre essai, la forme des arbres s'adapte à une conduite de la branche affinée au fil de notre expérience pour obtenir un équilibre végétation/fructification optimal. La taille s'inspire de principes bien documentés par de nombreux auteurs (LESPINASSE et DELORT, 1994). La conduite des structures secondaires ne constitue donc pas une variable supplémentaire susceptible d'influencer le microclimat lumineux à l'intérieur des arbres.

Selon les systèmes choisis (CARBONNEAU et LESPINASSE, 1989; ROBINSON et LAKSO, 1991), la conception de certaines formes génère obligatoirement des plans de vé-

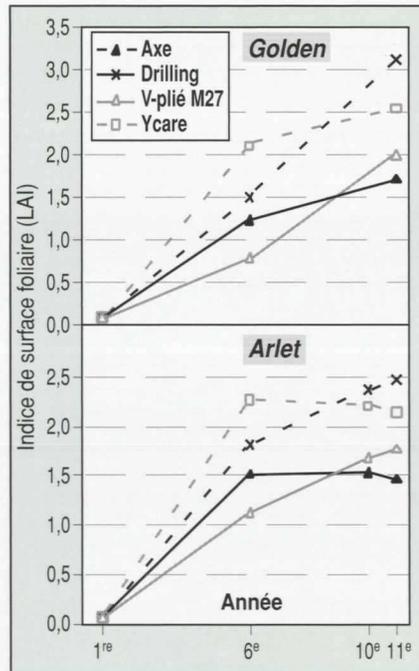


Fig. 5. Evolution du LAI de la plantation à la 11<sup>e</sup> année de culture pour quatre systèmes de verger. Les mesures ont été réalisées à deux reprises pour Golden et trois pour Arlet. La progression d'une année à l'autre est présumée constante.

gétation étroits et relativement compacts (Tatura treillis), voire conçus pour une taille mécanisée dans certains cas, comme le mur fruitier développé par Alain Masseron (BRU, 2003). Ces auteurs relèvent des écarts importants dans la proportion mal éclairée du feuillage pro-

venant en partie de différences de densité de la végétation imputables au système. Dans le cadre d'une comparaison de modes de conduite très différents, seule la surface foliaire éclairée (SFE), définie par le produit du LAI et de l'éclairage moyen de la canopée (E%), exprime correctement le potentiel de production.

Dans notre cas, ni la densité de la canopée ni l'éclairage moyen ne permettent de distinguer significativement les systèmes. Pour chacun d'eux, les mesures effectuées se situent à près de 40%, ce qui traduit une bonne distribution de la lumière. Si ces valeurs permettent d'affirmer que l'éclairage n'est pas limitant pour la production, elles ne suffisent pas dans notre cas à expliquer les différences de qualité des fruits entre les différentes zones des quatre procédés expérimentés.

#### Evolution de la qualité

Pour une variété bicolore comme Arlet, que le marché exige colorée sur un tiers de sa surface, l'évolution au cours des années constitue le meilleur critère de détermination du seuil critique de LAI. Ce caractère permet une discrimination plus fine que la moyenne d'intensité de coloration des fruits. L'apparition de la coloration fluctue en effet assez fortement d'une année à l'autre.

La proportion de fruits bien exposés et récoltés en première cueillette, tous systèmes confondus, tend toutefois à diminuer à partir de la 9<sup>e</sup> année (fig. 6) en fonction de l'accroissement du LAI.

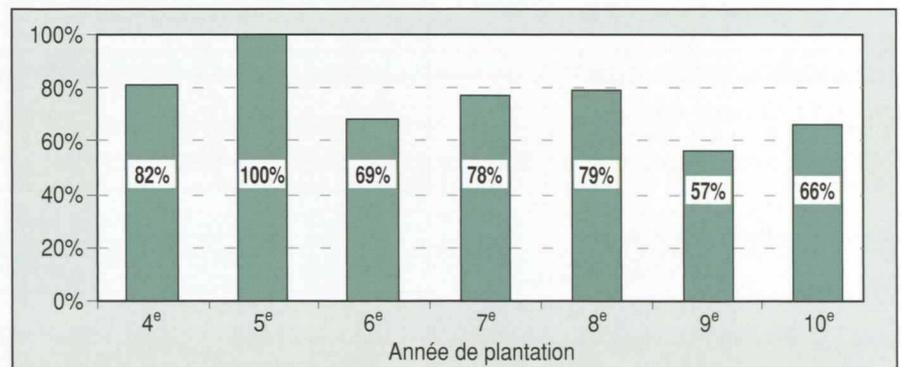


Fig. 6. Evolution du pourcentage de fruits cueillis au premier passage de récolte pour la variété Arlet, tous systèmes confondus.

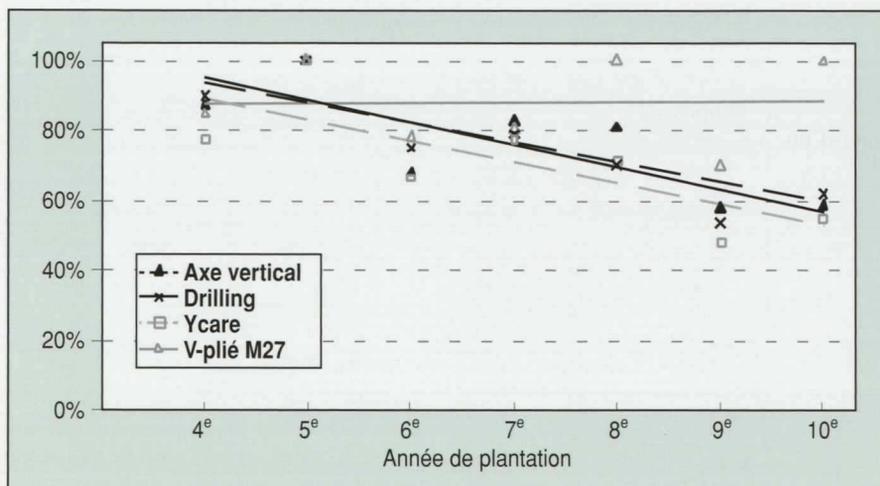


Fig. 7. Evolution du pourcentage de fruits cueillis au premier passage de récolte en fonction du système, pour la variété Arlet.

L'influence du système illustrée à la figure 7 est perceptible mais en partie masquée par les conditions climatiques de l'année, plus ou moins favorables. Seul le procédé V-plié sur M27 se distingue par des caractéristiques nettement supérieures.

Avec Golden, nous avons choisi la teneur en sucres des fruits comme indicateur du seuil de qualité des fruits. Dès que les fruits prélevés dans les zones exposées à des éclaircissements extrêmes diffèrent de plus de 1 °Brix entre eux (fig. 8), le manque de lumière des zones ombrées de la canopée est considéré comme trop important pour pouvoir y remédier par la taille sans stimuler la végétation de manière exagérée.

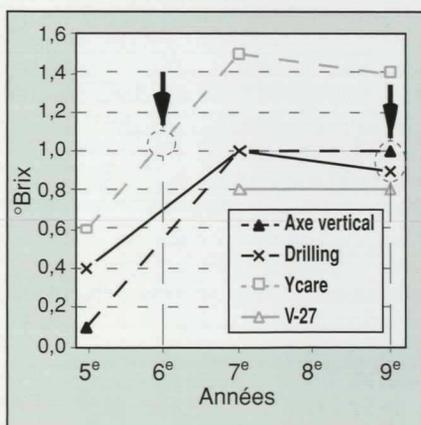


Fig. 8. Evolution de l'écart des teneurs en sucres des fruits des deux zones extrêmes en termes d'éclaircissement, pour la variété Golden.

### Seuil maximal de LAI

Le seuil est atteint à des âges différents pour tous les systèmes, mais à peu près en même temps pour les deux variétés. Le système Ycare atteint un potentiel critique en 6<sup>e</sup> année, le Drilling en 9<sup>e</sup> année (fig. 9). Dans les autres systèmes, on re-



Fig. 9. Drilling avec la variété Golden en 9<sup>e</sup> année. La figure illustre le développement correspondant au seuil critique de LAI 2,5 maximum pour assurer une récolte de bonne qualité. Deux ans plus tard, le LAI atteint 3,1 (tabl. 4), ce qui témoigne d'une densité de plantation trop élevée. En adoptant des distances de 4,5 × 1,5 m (soit 1500 arbres/ha) au lieu de 4 × 1,25 m (2000 arbres/ha), il aurait sans doute été possible de maîtriser le volume de végétation.

Tableau 5. Calcul du rendement optimal en fonction du LAI maximal et de la productivité.

Variété	Système	Indice de surface foliaire (LAI) critique			Production	
		Année	LAI expérimental	LAI max. théorique	Productivité (kg fruits/m <sup>2</sup> de feuilles)	Rendement optimal (t/ha)
Arlet	Axe vertical	11 <sup>e</sup>	1,6	1,8	3,1	56
	Drilling	10 <sup>e</sup>	2,3	2,3	3,1	71
	Ycare	6 <sup>e</sup>	2,2	2,2	2,9	64
	V-plié M27	—	1,8	2,0	3,6	72
Golden	Axe vertical	11 <sup>e</sup>	1,7	1,8	3,3	59
	Drilling	9 <sup>e</sup>	2,5	2,5	2,9	73
	Ycare	6 <sup>e</sup>	2,2	2,2	2,9	64
	V-plié M27	11 <sup>e</sup>	2,0	2,0	4,0	80

Remarque: l'année indique l'âge correspondant au LAI s'approchant le plus du LAI jugé maximal sur la base d'une qualité optimale des fruits.

tient la valeur atteinte en 11<sup>e</sup> année (âge actuel de l'essai) ou, exceptionnellement, une valeur légèrement supérieure lorsque les arbres n'occupent pas la totalité de l'espace qui leur est réservé.

### Rendement optimal pour chaque système

En multipliant le LAI et la charge spécifique mesurée en kg de fruits/m<sup>2</sup> de surface foliaire (moyenne d'au moins deux années consécutives à la période correspondant au LAI maximal), on obtient le rendement optimal pour chaque système (tabl. 5). Les deux paramètres varient en apparence d'une manière assez limitée. Le produit des deux exprimé en tonnes/ha donne toutefois la mesure du gain qu'il est pos-

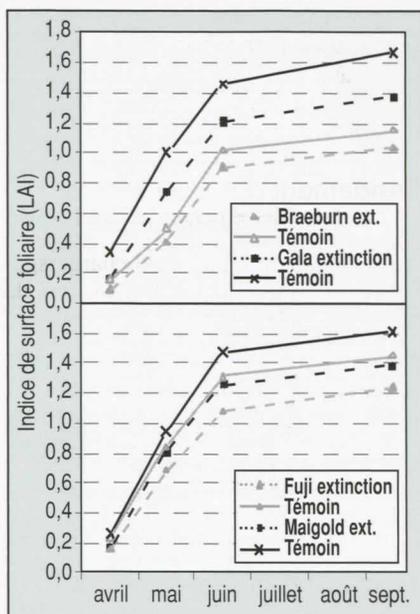


Fig. 10. Evolution saisonnière du LAI pour le procédé extinction en comparaison avec le témoin pour quatre variétés.

sible d'obtenir par le choix d'un système performant, gain qui avoisine 30 à 35% par rapport au témoin axe vertical dans le meilleur des cas.

Le rendement n'étant qu'une des composantes de la rentabilité d'un système, il va de soi qu'il ne détermine celle-ci que dans le cas de systèmes identiques. Dans l'idéal, pour un investissement donné, plus le LAI maximal est atteint rapidement, plus la culture est rentable, pour autant que le développement végétatif correspondant puisse être maintenu sans taille excessive durant toute la période d'amortissement. Il est donc risqué de rechercher une évolution rapide du LAI par le biais de densités de plantation élevées, qui conduisent à terme à une dégradation de la qualité des fruits et à un raccourcissement de la période d'exploitation.



Fig. 11. Solaxe de la variété Maigold en 7<sup>e</sup> année. Sur une variété vigoureuse et capable de produire une floraison extrêmement abondante, l'absence d'extinction conduit à une fructification compacte dans un feuillage très dense.

## Surface foliaire et extinction

L'extinction suppose l'arrachage manuel d'une proportion importante d'inflorescences à un stade précoce du développement saisonnier de l'arbre. Pour les variétés Gala et Braeburn, cette proportion avoisinait 50% en 2002 (7<sup>e</sup> année) et s'apparente aux chiffres obtenus en 3<sup>e</sup> année (respectivement 43 et 51%). L'extinction a été pratiquée sur une population d'arbres tous caractérisés par une floraison massive et homogène. L'incidence d'une telle limitation de points fructifères sur le développement saisonnier de la surface foliaire de l'arbre a été examinée.

## Surface foliaire et stade de développement

Mesurée à l'époque de la floraison, la surface foliaire des arbres soumis à l'extinction enregistre une diminution correspondant à peu près au pourcentage d'organes supprimés (fig. 10). Elle est de 48 et 46% pour Gala et Braeburn et de 30 à 40% pour Fuji et Maigold. Un mois plus tard, la surface foliaire «manquante» n'est plus que de 17 à 27% et de 10 à 17% en fin de saison. Les arbres ayant subi l'extinction compensent donc assez rapidement la perte des organes supprimés en renforçant la croissance végétative des organes restants (fig. 11 et 12).

## Fréquence des organes

Dès la mi-juin, les organes peuvent être attribués à leur catégorie définitive. Leur fréquence par cm<sup>2</sup> de section de branche, exprimée en pourcentage du total des organes, donne une image de la vigueur induite par l'extinction. La figure 13 explique le mécanisme de ce phénomène

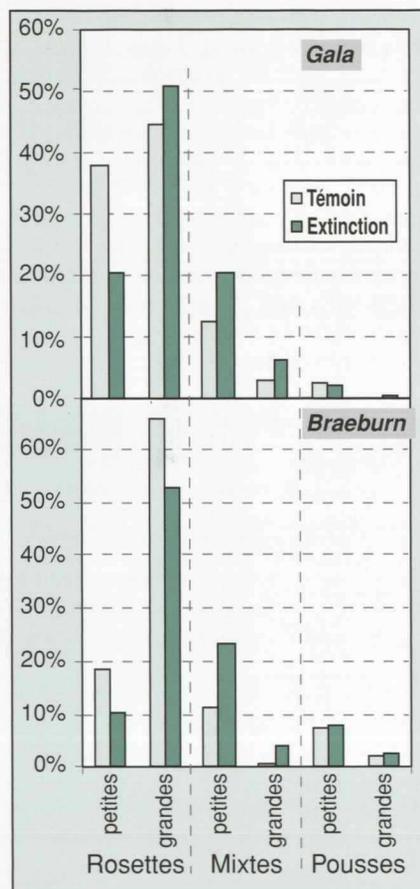


Fig. 13. Fréquence relative des organes de référence pour deux variétés. Comparaison entre le procédé avec extinction et le témoin.

qui s'exprime par une réduction de près de la moitié des petits organes (petites rosettes) au profit de ceux possédant une surface foliaire plus importante (rameaux courts et longs). Pour l'arboriculteur, l'augmentation du nombre de brindilles dans une proportion de 1 à 2 est un résultat positif. Ces dernières terminent leur développement très tôt et possèdent pratiquement une surface suffisante pour alimenter un fruit. Elles ne



Fig. 12. Dans les mêmes conditions, l'extinction favorise la perméabilité de la canopée et ne diminue qu'assez peu la surface foliaire. On distingue les trous ménagés par la suppression des inflorescences et la formation de rameaux plus ou moins longs issus des organes restants.

constituent pas une concurrence végétative pour les processus d'induction florale et d'alimentation du fruit. Leur bourgeon terminal constitue un site privilégié de retour à fleur.

Les rameaux longs en revanche sont plutôt indésirables, non seulement par la concurrence qu'ils exercent sur les fruits et le déséquilibre qu'ils induisent, mais également par l'ombrage qu'ils portent sur l'intérieur de l'arbre. Ils sont plus rarement fructifères et pour cette raison demandent à être supprimés en cours de saison. Dans le cas inverse, leurs bourgeons latéraux, lorsqu'ils ne fructifient pas l'année suivante, constituent une année plus tard le support d'une fructification dense (bourgeons floraux sur bois de 2 ans) et donc un surcroît de travail lors de l'extinction.

## Conclusions

- A condition d'éviter les tailles trop contraignantes, il existe une relation fiable entre l'épaisseur de la branche de pommier et sa surface foliaire. Cette relation est spécifique à la variété et aux paramètres susceptibles d'influencer la vigueur.
- L'équation définissant la relation entre la section de la branche et sa surface foliaire sert de base au calcul de la surface foliaire de l'arbre et du LAI.
- A qualité de récolte comparable, il existe un seuil de LAI critique propre à chaque système de verger. Pour les systèmes en V, ce LAI est supérieur de 10 à 30% à un système axial standard (axe vertical).
- A partir de données expérimentales de charge spécifique (kg de fruits/m<sup>2</sup> de feuille), il est possible de calculer le rendement optimal des systèmes Axe vertical, Drilling, Ycare et V-plié sur porte-greffe M27.
- L'extinction artificielle – méthode de régulation de la charge en fruits par la suppression d'une partie des bourgeons floraux – entraîne une diminution de la surface foliaire de l'arbre pouvant atteindre près de 50%. Un mois plus tard, cet écart n'est en moyenne plus que de 20% puis de 15% en fin de saison. L'aptitude de la plante à compenser la perte d'une partie de son potentiel repose sur sa capacité à produire des rosettes et des rameaux de plus grande dimension. Le choix des sites fructifères les mieux constitués ainsi que l'augmentation localisée de la vigueur entraînent une forte réduction du nombre d'organes insignifiants au profit de rosettes bien constituées et de rameaux courts, mais aussi de pousses longues, plutôt indésirables.

## Remerciements

Nous remercions M<sup>lle</sup> Ines Christen, MM. Noël Evéquo, David Bigler et Fabrizio Semadeni pour leur précieuse collaboration aux très nombreuses mesures nécessaires à la réalisation de ce travail.

## Bibliographie

- BRU M., 2003. Mur fruitier, le défi d'une technique aux enjeux économiques. *Fruits & Légumes* **215**, 54-56.
- CARBONNEAU A., LESPINASSE J.-M., 1989. Influence of canopy management on microclimate and photosynthesis - first consequences on apple production. *Acta Horticulturae* **243**, 185-194.
- CRABBE J., 1987. Aspects particuliers de la morphogénèse caulinaire des végétaux ligneux et introduction à leur étude quantitative. Ed. I.R.S.I.A Bruxelles, 116 p.
- HOLLAND D. A., 1968. The estimation of total leaf area on a tree. Rep. E. Malling Res. Stn for 1967, 101-104.
- LESPINASSE J.-M., DELORT F., 1994. Le verger de pommier: conduire ou tailler? *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **26** (4), 256-273.
- MONNEY Ph., EVÉQUOZ N., BLASER C., 1999. Etude de nouveaux systèmes de verger pour le pommier. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **31** (3), 153-158.

## Riassunto

### Metodo di misurazione dell'indice di superficie fogliare e incidenza agronomica sul melo

In principio, anche se altri fattori entrano ugualmente in gioco, l'indice di superficie fogliare LAI (per *Leaf Area Index*) di differenti frutteti può essere correlato al loro potenziale produttivo nella misura in cui l'energia luminosa ricevuta dalle foglie è confrontabile.

Il LAI, che sia o no associato alla nozione d'illuminazione media del fogliame, è un elemento indispensabile alla valutazione del potenziale agronomico del frutteto. In questo articolo viene esposto un metodo di misura della LAI applicata a due temi di ricerca.

In un confronto di sistemi di frutteto di concezione diversa, si osserva un'esposizione del fogliame e una qualità dei frutti confrontabili, a condizione che con la potatura si eliminino i rami situati nelle zone ombreggiate. In questo modo, ogni sistema raggiunge in qualche anno una soglia di LAI considerata come critica per il mantenimento della qualità. Il LAI, associato ad un rapporto foglie-frutto specifico, permette di calcolare la resa ottimale di ogni sistema, che aumenta del 10 al 30% per le forme a V in rapporto ad una concezione assiale tradizionale.

La superficie fogliare del melo si sviluppa rapidamente dallo stadio di piena fioritura. Allorquando viene praticata la soppressione artificiale delle rosette con infiorescenze, una parte del potenziale d'intercettazione della luce è virtualmente soppressa. L'albero ha la capacità di compensare questa perdita incrementando il vigore medio dei suoi organi. Concretamente, si osserva un aumento della percentuale delle categorie di rosette più sviluppate a scapito di quelle più deboli.

## Zusammenfassung

### Bestimmung des Blattflächenindex und dessen Einfluss auf die Produktionseigenschaften beim Apfelbaum

Obwohl viele Faktoren den Ertrag beeinflussen ist der Blattflächenindex (BFI oder LAI für *Leaf Area Index*) von verschiedenen Obstanlagen mit dem Ertragspotential korreliert. Dies unter der Voraussetzung, dass die einfallende Lichtmenge vergleichbar ist. Mit oder ohne Verbindung mit der durchschnittlichen Blattbelichtung ist der BFI ein Schlüsselfaktor für die Bestimmung des Produktionspotentials einer Obstanlage. Wir stellen in diesem Beitrag eine Methode zur BFI-Messung in zwei unterschiedlichen Forschungsgebieten vor.

Bei verschiedenen Anbausystemen sind die Blattbeleuchtung und die Fruchtqualität vergleichbar solange beim Schnitt die schattenspendenden Aeste entfernt werden. Unter dieser Voraussetzung erreicht jedes System einen für die Fruchtqualität als kritisch erachteten BFI-Schwellenwert innerhalb weniger Jahre. In Kombination mit einem Frucht-Blatt Verhältnis erlaubt der BFI die Berechnung eines optimalen Ertrages für jedes System. Im Vergleich mit einer traditionellen Obstanlage ist ein Ertragszuwachs von 10 bis 30% mit einem V-förmigen Anbausystem möglich.

Die Apfelblattfläche entwickelt sich rasch nach dem Vollblütstadium. Durch das Entfernen von Fruchtspießen (*artificial extinction*) wird ein Teil der potenziellen Lichtaufnahme eingeschränkt. Der Baum ist in der Lage diesen Verlust durch eine Erhöhung der Wuchskraft der Triebe auszugleichen. Ganz konkret nimmt der Anteil von stärker entwickelten Trieben auf Kosten von schwächeren Trieben zu.

- MONNEY Ph., EVÉQUOZ N., 2001. Détermination de la charge optimale pour le pommier. Influence de différentes méthodes de régulation manuelle sur l'alternance de production des variétés Gala, Braeburn, Fuji et Maigold. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **33** (4), 185-191.
- MONNEY Ph., EVÉQUOZ N., 2002. Les systèmes de vergers, nouveaux développements. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **34** (4), 253-267.
- ROBINSON, LAKSO, 1991. Bases of yield and production efficiency in apple orchard systems. *J. of Amer. Soc. Sci.* **116** (2), 188-194.

## Summary

### Leaf area index measurement and its agronomical incidence in apple trees

Although many factors will influence yield, Leaf Area Index (LAI) of different orchards can be correlated with their fruit production as long as the light energy received is comparable. Related to average light exposition or not, LAI is a key factor for evaluating the agronomical potential of an orchard. In this paper, a LAI measurement method used for two different research scopes is presented.

With orchard systems based on different shapes, canopy illumination and fruit quality may be similar if pruning is used to remove shaded branches. Such systems will reach the critical LAI level for fruit quality preservation within a few years. Combined with fruit-leave relationship, LAI allows to estimate optimal yield for each system. A yield increase of 10 to 30% with V-shaped systems is possible when compared to traditional axis orchard design.

Apple leaf area develops quickly after full bloom stage. When removal of complet fruiting spurs (artificial extinction) is practised, part of the light interception potential is virtually eliminated. The tree is able to compensate this loss by an increased average vigor of spurs and extinction shoots. The frequency of more developed elements such as strong spurs and shoots increases to the costs of undersized spurs.

**Key words:** apple, leaf area index, LAI measurement, orchard system, yield efficiency.

## Informations agricoles

### Rencontre nationale MAFCOT à Agen (F)

Le groupe MAFCOT (Maîtrise de la fructification – Concept et techniques) organise une journée d'information sur le thème «*Mieux connaître l'arbre pour mieux le conduire*» le **20 novembre 2003** à Agen (France).

Les exposés et les interventions font appel à des témoignages de producteurs, conseillers et techniciens. Ils porteront sur les fondements physiologiques de la conduite de l'arbre au verger. Les orateurs baseront leurs présentations sur des résultats d'essais en stations expérimentales et sur des réalisations en vergers.

Pour obtenir le programme ainsi que le bulletin d'inscription, veuillez vous adresser directement à l'adresse suivante.

#### Renseignements:

CIREA, Lanxade-Franchemont, F-24130 Prigonrieux,  
Monsieur Didier MERY,  
tél. 0033 553 73 07 32, fax 0033 553 61 66 45  
ou mail: [cirea-lanxade@wanadoo.fr](mailto:cirea-lanxade@wanadoo.fr)

## NOUVEAU EN SUISSE

### Paillages 100% naturels



**Paillages en fibres de coco contre les mauvaises herbes pour:**

- la viticulture
- l'arboriculture fruitière
- le paysagisme
- existent en rouleaux et en dalles

**Substrats 100% à base de coco pour:**

- l'horticulture

NANCHEN  
PIERRE

Ch. de la Tuftière 9  
2088 Cressier  
032 757 26 36 - 079 227 50 86

## Landini REX

La nouvelle série  
de tracteur  
"vigneron"  
de 50 à 80 CV avec  
un équipement  
bénéficiant  
des dernières  
innovations



**Samuel Stauffer & Cie**  
**1607 Les Thioleyres**

Tél. 021 908 06 00 Fax 021 908 06 01  
[info@stauffer-cie.ch](mailto:info@stauffer-cie.ch)