

Les systèmes de verger: nouveaux développements

Ph. MONNEY, N. EVÉQUOZ, 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 34 53 511.

Introduction

Le dossier **systèmes de verger** s'enrichit de quatre nouveaux volets qui introduisent un système inédit et les récentes évolutions apportées à trois autres, déjà présentés dans la première édition (MONNEY *et al.*, 1993). Par rapport à celle-ci et dans le cas de systèmes de référence, la terminologie adoptée se veut plus précise et respectueuse de leur origine, abandonnant les désignations régionales ou inexactes. Par exemple, l'appellation **axe vertical** remplace celle de **fuseau**, terme générique utilisé pour toutes les formes axiales hautes, mais qui renvoie également à une conception rigide et dépassée de la formation des arbres. Nous nous rallions ainsi à la terminologie couramment acceptée dans le monde francophone.

Le **Solaxe** représente un progrès par rapport au **Solen** qu'il tend à remplacer chez les praticiens. Il présente deux avantages majeurs: premièrement, une nette réduction des contraintes de formation et, deuxièmement, une plus grande souplesse d'adaptation à la vigueur des différentes combinaisons de variétés et porte-greffe. Son succès s'explique également par la possibilité de moduler la hauteur des arbres. Le verger n'est plus obligatoirement «piéton» avec 2 m au maximum, mais peut se concevoir à 2,5 m ou plus.

Le **V-plié** représente une évolution du **V-Güttingen**, d'après une étude réalisée au Centre des Fougères de la RAC. Leurs conceptions sont très similaires, en particulier dans les armatures et les distances de plantation. Les deux diffèrent cependant par le fait que les arbres du V-plié sont conduits comme des Solaxes.

Ycare constitue un système original,

déjà sommairement décrit par MONNEY *et al.* (1999) sous le nom de **V-double**. La conception et la conduite sont basées sur la combinaison d'éléments empruntés à des systèmes existants: dédoublement de la vigueur comme chez le Tatura treillis, armature de soutien et hauteur de palissage identiques au V-plié et enfin formation des deux structures primaires sur le modèle du Solaxe.

Dans le cas de l'axe vertical, du V-plié et de l'Ycare, la majorité des résultats proviennent d'un même essai mis en place au Centre des Fougères en 1992. Ce choix offre l'avantage de pouvoir comparer les performances techniques sur la base de résultats précis. Dans la mesure où ces derniers reposent sur une expérience unique et limitée à un seul site, ils ne peuvent évidemment pas servir de norme régionale et ne peuvent être extrapolés qu'avec prudence. Certaines modifications sont nécessaires après la phase d'expérimentation; elles sont discutées et prises en compte dans les recommandations.

Pour l'évaluation du Solaxe, les résultats sont issus d'autres essais. Nous avons veillé autant que possible à faire référence à un système témoin, de manière à permettre des recoupements entre les quatre systèmes.

Plusieurs thèmes n'ont pas été réactualisés, traitant des systèmes traditionnels (palmette) ou en voie d'abandon (Tatura, superfuseau), qui n'ont pas évolué depuis la précédente édition.

Discussion

A nouveau, notre présentation aborde les systèmes qui concernent essentiellement la culture du pommier. Au terme d'une génération d'essais de conduite

avec cette espèce, la somme des résultats obtenue renforce notre propos et permet de préciser les estimations sur les aspects généraux de la conduite des pommiers et la rentabilité des systèmes de verger, précédemment décrits. Quelques éléments concernant les autres espèces sont toutefois donnés ici ou là. Cependant, en dépit de leur importance économique secondaire, la description de systèmes adaptés à la culture des autres espèces fruitières reste nécessaire et constitue un objectif à moyen terme. Ce document veut répondre à la nécessité de disposer de solutions techniques diverses pour s'adapter à la variabilité des situations. Le choix d'un système repose ainsi avant tout sur les critères suivants:

❑ **La complexité de réalisation** limite les chances de succès d'un système. Ce critère est fondé sur la technicité nécessaire à la mise en place des armatures, la formation et la conduite des arbres ainsi que sur les contraintes liées à la qualité du matériel végétal. Des travaux de formation propres au système tels que taille en vert, arcure et pliage demandent des compétences techniques et de la disponibilité. Mis à part le volume de main-d'œuvre nécessaire à la mise en place et à la formation des arbres, la sophistication implique des compétences techniques et, dans le cas de grandes exploitations, un encadrement professionnel assidu. Sur ce plan, un domaine familial où tous les travaux sont réalisés sous le contrôle direct de l'exploitant possède un avantage indéniable. Maîtriser une certaine sophistication, si celle-ci est pertinente, constitue aussi une valorisation de la compétence profession-

nelle, qui se traduit par une meilleure rationalisation de la main-d'œuvre, une meilleure qualité de la production et de meilleurs rendements.

- ❑ **L'investissement de création** est un facteur limitant pour le producteur, mais il va de pair avec un **temps de récupération court** (BLASER *et al.*, 1996). Le choix d'un système intensif se justifie ainsi le plus souvent pour des variétés nouvelles, dont la cote commerciale est élevée pendant les quelques années suivant leur lancement. L'amortissement est

d'autant plus rapide que le prix de vente s'applique à des rendements précoces et supérieurs à ceux des systèmes courants. Au-delà d'une durée de vie relativement courte (10 à 12 ans), la qualité tend à se dégrader assez vite.

- ❑ **Les frais d'entretien** constituent une question relativement complexe: une diminution des coûts allant de pair avec une augmentation des performances est encore du domaine de l'utopie. En revanche, il est tout à fait réalisable de concevoir un verger

piéton compétitif sur le plan quantitatif et qualitatif. Ce choix implique une mise en place et une phase de formation des arbres particulièrement soignées et donc un effort financier comparable à un investissement initial. Au terme des quatre à cinq ans nécessaires pour obtenir un verger conçu dans les règles de l'art, des économies substantielles sont réalisées lors de l'éclaircissage manuel et de la cueillette en particulier. On échappe également à l'achat de machines d'assistance à la récolte relativement coûteuses.



Le système axe vertical (axial haut)

Description

Sa conception est très simple, car la structure primaire se limite à un seul élément vertical: l'axe. La taille étant réduite au strict minimum, l'arbre est appelé à se développer avec peu de contraintes et à prendre naturellement une forme élancée qui s'élargit et adopte un port plus ou moins pleureur avec les années (fig. 1 et 2).

Cette simplicité de réalisation est à l'origine de son succès chez les praticiens. Dans la plupart des régions productrices de fruits, l'axe vertical ou l'une de ses nombreuses variantes dérivées constituent les systèmes de référence. Les plus récents sont issus des travaux de LESPINASSE (1994), qui a largement contribué au processus de modernisation des concepts de conduite du pommier en France, et plus récemment en Suisse romande. Actuellement, on distingue deux types de formes

Tableau 1. Densité de plantation conseillée selon la vigueur des variétés.

Vigueur	Exemple de variété	Densité (arbres/ha)	
		M9 vf (indice vig. 100)	PG faibles (indice vig. 60-80)
Faible	Braeburn, Idared	2500-3000	> 4000 ⁽²⁾
Moyenne	Gala, Golden	1700-2000	3500-4000
Forte	Fuji, Jonagold	1500-1700	2500-3000
Très forte	Maigold, Boskoop	1200-1500 ⁽¹⁾	2000-2500

Combinaisons peu recommandées en raison d'une vigueur trop élevée ⁽¹⁾ ou trop faible ⁽²⁾.

axiales: un modèle haut ($\geq 2,5$ m), comme l'axe vertical, et un modèle à hauteur limitée par pliage de l'axe, comme le Solen ou le Solaxe.

Matériel végétal

Pour le pommier, l'axe vertical est utilisable avec la grande majorité des variétés sur porte-greffe M9. Dans les

rare cas où un excès de vigueur est à craindre, on aura recours à un type plus faible (fig. 6). Dans l'assortiment, on trouve désormais quelques sélections prometteuses dont la vigueur se situe entre celle du M9 et du M27: Supporter 1, J-TE-E, J-TE-G, P22. Cette gamme permet une meilleure souplesse face aux conditions de sol, à la vigueur des variétés et dans le choix de la densité de plantation (tabl. 1).



Fig. 1. et 2. Les mêmes arbres photographiés à quatre ans d'intervalle illustrent l'évolution de la silhouette due au poids des récoltes successives.

Tableau 2. Aperçu des possibilités de culture en axe vertical pour les autres espèces que le pommier.

Espèce	Porte-greffe	Densité (arbres/ha)	Facteurs limitants
Poirier	EMC, Adams, greffe intermédiaire	1200-2000	Affinité avec certaines variétés, sensibilité à la chlorose ferrique
Cerisier	Tabel® Edabriz, Giesela 5, P-HL-A	1200-1500	Adaptation au sol, peu d'expérience
Prunier	Saint-Julien GF 655-2, Jaspi® Fereley	1200-1500	Drageonnement (655-2), peu d'expérience
Abricotier	Citation®	env. 1200	Adaptation au sol, affinité avec certaines variétés

✂ Pour les autres espèces fruitières, souvent plus vigoureuses et traditionnellement conduites en forme libre (buisson, vase, etc.), la possibilité d'un système axial est conditionnée par l'existence de porte-greffe faibles. De nombreuses expérimentations ont été entreprises en Europe dans ce sens, souvent dans une optique de densification. Le tableau 2 donne un aperçu de quelques conceptions possibles avec le matériel végétal existant.

Densités de plantation

L'axe vertical est un système bien connu, car expérimentateurs et producteurs possèdent une longue expérience à son sujet. De nombreuses combinaisons de distances de plantations, de variétés et de porte-greffe ont ainsi été testées dans toutes les régions. Pour le pommier, la densité idéale peut

être considérée comme celle qui offre le meilleur compromis entre un investissement avantageux et une dimension raisonnable des couronnes, qui se situe à un diamètre de 1,5 m environ. Au-delà, les risques de baisse de la qualité des fruits liés à une mauvaise pénétration de la lumière et la hausse des coûts d'exploitation résultant d'une hauteur excessive pénalisent la rentabilité du verger. Des différences non négligeables existent néanmoins selon les régions. Elles s'expliquent principalement par les conditions pédoclimatiques mais également par la tradition, elle-même influencée par le contexte économique. Les régions moyennes et septentrionales de l'Europe, où le climat favorise une croissance végétative modérée et où la lumière peut s'avérer limitante pour la qualité, privilégient des densités proches de 3000 arbres par hectare. En Suisse romande comme dans les zones méridionales irriguées, la moyenne se situe plutôt autour de 2000.

✂ A l'exception du poirier et du pêcher, l'adaptation de systèmes axiaux à d'autres espèces reste limitée malgré les nombreuses tentatives expérimentales liées à la sélection de porte-greffe nanisants. Pour le cerisier, le prunier et l'abricotier, nettement plus vigoureux, les possibilités de densification dépassent rarement 1500 arbres par hectare (tabl. 2).

Formation et conduite
Formation

Son succès dépend en bonne partie de l'utilisation d'un matériel végétal de bonne qualité. Une croissance rapide et équilibrée sera favorisée par le bon développement des scions et la présence de quelques anticipés à une hauteur convenable, soit à 80 cm du point de greffe au minimum. La présence de deux à trois anticipés là où se situeront les premières branches fruitières (1 à 1,2 m) est infiniment préférable à une forte ramification latérale issue de la base du scion, inutile pour la formation de l'arbre. La formation (fig. 3) se déroule en plusieurs étapes sur une durée de deux à trois ans, certaines opérations se pratiquant pendant le repos de la végétation, d'autres en vert. Une attention particulière sera accordée aux secondes, afin de ne pas avoir à compenser des travaux d'été lacunaires par une taille d'hiver trop contraignante.

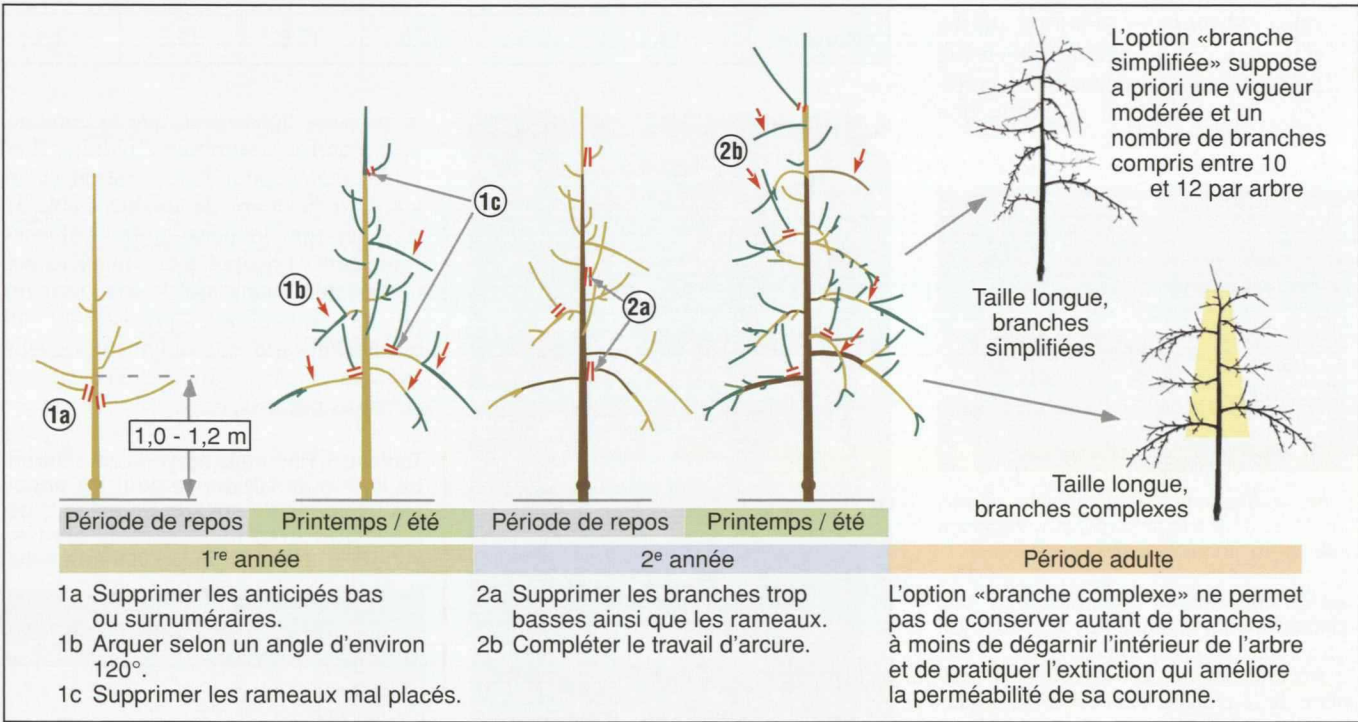


Fig. 3. Schéma de formation de l'axe vertical.

✎ L'emploi de scions structurés demandant le rabattage du scion à la plantation, comme le présentait la première édition (MONNEY *et al.*, 1993), n'est pratiquement plus recommandé pour le pommier. En revanche, il se pratique encore pour les autres espèces – pêcher excepté – dont la forte acrotonie et la faible garniture en anticipés provoquent une dominance de la croissance en hauteur et une insuffisance de la ramification latérale.

La conduite en phase de production

À l'entrée de la période adulte, deux options s'offrent au praticien.

1. Une conduite de la branche par simplification de sa structure (fig. 3 et 4, **branche simplifiée**), qui stimule l'axe de croissance dominant et limite graduellement les ramifications les plus concurrentes.
2. Une liberté quasi totale dans le développement de la branche (fig. 3 et 5, **branche complexe**), qui suppose le dégarnissement progressif de la zone ombrée située à l'intérieur de l'arbre. Les superpositions partielles étant inévitables, pour améliorer la pénétration de la lumière, il faut choisir entre un élagage qui limite le nombre de branches ou la pratique de l'extinction (CRESPEL *et al.*, 1999). Vu la courte expérience dont nous disposons dans ce domaine et les résultats décevants obtenus sur de jeunes arbres en taille longue classique (MONNEY et EVÉQUOZ, 2001), cette dernière technique est encore proposée avec prudence, de préférence sur des arbres en production et fortement ramifiés.



△ Fig. 4. Illustration d'une branche simple, constituée d'un axe de croissance dominant et de ramifications latérales courtes.

Fig. 5. Illustration d'une branche dite «complexe». La pratique de l'extinction est utilisée ici à titre expérimental. Les points de fructification se répartissent à la périphérie de la branche pour favoriser la perméabilité à la lumière, ce qui lui donne cet aspect dégarni. ▷

Tableau 3. Rendements (résultats d'essais) de deux variétés greffées sur M9 vf, clone B984, pour une densité de 2000 arbres/ha.

Variété	Rendement (t/ha)		
	Moyenne 2 ^e -5 ^e année	Moyenne 6 ^e -10 ^e année	Maximum atteint en 9 ^e année
Golden	19,6	45,7	60,2
Arlet	21,8	46,4	52,1

Précocité et niveau de rendement (tabl. 3)

La conception de l'axe vertical impliquant une taille très réduite, l'entrée en production intervient en 2^e année déjà chez le pommier. Il faut veiller à obtenir un rapport fruits/feuillage correct, garantissant à la fois une qualité optimale et un retour à fruit suffisant. La plupart du temps, la limitation du nombre de fruits est nécessaire pour éviter que la charge ne dépasse 3 à 3,5 kg ou 20 fruits par m² de feuillage. Dans ces conditions, le rendement est directement lié au développement végétatif du

verger. Un LAI (*Leaf Area Index* = indice de surface foliaire) de 1,8 à 2, considéré comme optimal pour ce système, est obtenu entre la 7^e et la 10^e année selon les cas. Il permet alors d'envisager une production maximale de 55 à 70 t/ha selon les variétés.

Qualité des fruits

La qualité de la production varie en grande partie en fonction de l'éclairement de l'organe porteur, donc de sa position dans l'arbre. Par conséquent, la moyenne du verger sera influencée par la proportion de fruits mal éclairés qui augmente sur des arbres de grand volume ou trop touffus. Des tests ont montré que la qualité variait d'une manière relativement importante d'une année à l'autre mais que l'écart entre zones ombrées et bien éclairées restait constant en ce qui concerne les teneurs en sucres (tabl. 4). En moyenne, un système axe vertical offre des performances qualitatives plutôt bonnes – légèrement inférieures toutefois à celles des meilleurs systèmes en V – avec des écarts moyens dus à un éclair-

Tableau 4. Teneur en sucre des fruits de la variété Golden en fonction de l'éclairement de la zone de prélèvement et comparaison avec un système en V.

Eclairement	Teneur en sucre (°Brix)					
	Axe vertical			Drilling		
	1998	2000	Moyenne	1998	2000	Moyenne
Elevé	13,6	13,1	13,4	14,1	12,9	13,5
Moyen	12,9	12,3	12,6	13,5	12,7	13,1
Faible	12,6	12,1	12,4	13,1	12,0	12,6
Moyenne	13,0	12,5	12,8	13,6	12,5	13,1



ment assez hétérogène que la conduite peut toutefois contribuer à réduire. Il en va de même pour la coloration et les autres indicateurs de qualité (tabl. 5). À noter que le porte-greffe influence également la qualité d'une manière non négligeable, sans qu'il soit toujours possible d'expliquer précisément les mécanismes qui entrent en jeu (viguer, exploitation des ressources en eau ou en éléments nutritifs, etc.).

Tableau 5. Résultats moyens obtenus entre la 4^e et la 10^e année pour les principaux critères de qualité. Données expérimentales avec deux variétés greffées sur M9 vf, clone B984, à 2000 arbres/ha.

Variété	Calibre (g/fruit)	Coloration $\geq 1/2$ (%)	Sucres (°Brix)	Fermeté (kg/cm ²)
Golden	194	–	13,2	7,5
Arlet	185	78,2	12,3	7,5

Armatures

La conception des armatures doit remédier au faible ancrage des porte-greffe peu vigoureux. L'ensemble doit être suffisamment solide pour soutenir des arbres d'une hauteur de 3 à 3,5 m durant au moins quatorze ans, période nécessaire à l'amortissement de la culture. Pour cela, on privilégie l'utilisation de piquets de 3,5 m, enfoncés de 70 cm dans le sol et distants de 7 m au plus (fig. 6). Les bambous sont peu adaptés; on leur préfère des tuteurs individuels métalliques, plus solides et durables. L'utilisation de deux fils se répand dans la pratique car elle garantit mieux la rigidité de l'ensemble de la structure.

Investissement et performance économique

L'évaluation globale de la performance économique exige l'appréciation d'un nombre élevé de critères dont nous présentons ici une vue sommaire (tabl. 6). L'investissement et le temps de récupération sont évalués à partir du modèle de calcul «Arboflux» proposé par BLASER *et al.* (1996). Dans le cas de l'axe vertical, la complexité de réalisation est réduite par rapport aux trois autres systèmes présentés. Les frais d'entretien dépendent de la hauteur du verger qui influence directement la durée des travaux; les plus coûteux peuvent toutefois être partiellement diminués par la mécanisation: une plate-forme automotrice améliore le rendement de la main-d'œuvre mais occasionne un surcoût de 3 ct/kg de fruits récoltés. La simplicité de réalisation de l'axe



Fig. 6. Verger à densité élevée (4000 arbres/ha) sur porte-greffe très faible. Aperçu des armatures souvent renforcées par un second fil, tendu à environ 1 m sous le premier.

Tableau 6. Evaluation de la performance économique de l'axe vertical pour une densité de 2000 arbres/ha.

Critère d'appréciation	Evaluation de la performance économique			
	Modéré	Moyen	Elevé	
Complexité de réalisation				
Investissement				
Frais d'entretien				
Temps de récupération				

Investissement: modéré < 40 000 CHF; modéré-moyen 40 000 à 50 000 CHF; moyen 50 000 à 60 000 CHF; moyen-élevé 60 000 à 70 000 CHF; élevé > 70 000 CHF.
Temps de récupération: respect. < 12 ans; 12 à 13; 13 à 15; 15 à 17; > 17 ans.

vertical s'explique par la conception de la forme, mais également par la maîtrise acquise au fil des années. De même, l'investissement assez modéré pour un rendement satisfaisant justifie en grande

partie le succès de ce système. A l'heure actuelle, seules les formes apparentées, donc de conception simple (Solaxe, Spindle), peuvent rivaliser en popularité avec l'axe vertical.



Le système Solaxe (axial bas)

Description

Le Solaxe s'inspire de la conception de l'axe vertical. D'un point de vue «historique», l'image d'un axe que l'on plie (le nom d'**axe plié** est également utilisé) a d'ailleurs servi aussi bien de base de réflexion que d'illustration didactique (LESPINASSE, 1994).

La taille est également très limitée dans ce système, car l'arbre est appelé à se développer avec peu de contraintes et à prendre naturellement un port pleureur, favorisé par la liberté de conduite des branches et par leur arcure (fig. 7). Le pliage de l'axe détermine un maximum dans la hauteur de l'arbre, selon le choix du praticien. Cette intervention délimite clairement une zone verticale comparable à la partie inférieure d'un axe et son prolongement horizontal, similaire au bras d'un Solen (fig. 8).

Matériel végétal

Pour une formation efficace et rationnelle, les scions doivent bénéficier de conditions de départ favorisant une croissance vigoureuse. Un porte-greffe trop faible doit être évité; dans la plupart des cas, un type M9 indemne de virus est bien approprié: une sélection de vigueur modérée comme FL 56,



Fig. 7. Solaxe en fin de formation (4^e année). La partie basse (axiale) est encore prédominante et son prolongement (bras horizontal) n'a pas achevé son développement.



Fig. 8. Vue d'une culture en Solaxe piéton avec la variété Fuji.

Lancep ou NAKB sera réservée aux variétés très vigoureuses et une plus forte comme EMLA, Burgmer 984, KL 29 ou Cepiland à toutes les autres. Les différences qui subsistent sont compensées par une densité de plantation adaptée.

Densités de plantation

(tabl. 7)

Les distances de plantation sont en principe de 4 m entre les rangs et varient de 1,1 à 1,8 m sur le rang selon la combinaison porte-greffe variété et la hauteur de pliage (fig. 9). Quelques tentatives expérimentales visant à réduire l'espace interligne ont conduit rapidement à des difficultés pour la mécanisation. Seule une configuration garantissant une haie fruitière étroite (sol peu poussant, va-

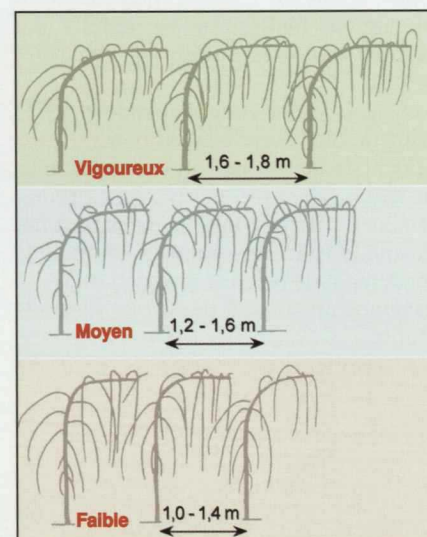


Fig. 9. Densité de plantation du Solaxe en fonction de la vigueur des variétés (d'après LESPINASSE, 1994).

Tableau 7. Distances de plantation conseillées en fonction de la variété et de la hauteur de pliage.

Vigueur	Exemple de variété	Distances de plantation	
		Pliage à 2 m (verger piéton)	Pliage à 2,5 m (verger mi-haut)
Faible	Braeburn, Idared	4 × 1,2 à 1,4 m	3,5 à 4 × 1 à 1,2 m
Moyenne	Gala, Golden	4 × 1,4 à 1,6 m	4 × 1,2 à 1,4 m
Forte	Fuji, Jonagold	4 × 1,6 à 1,7 m	4 × 1,5 à 1,7 m
Très forte	Maigold, Boskoop	4,5 × 1,8 m	4 × 1,7 à 1,8 m

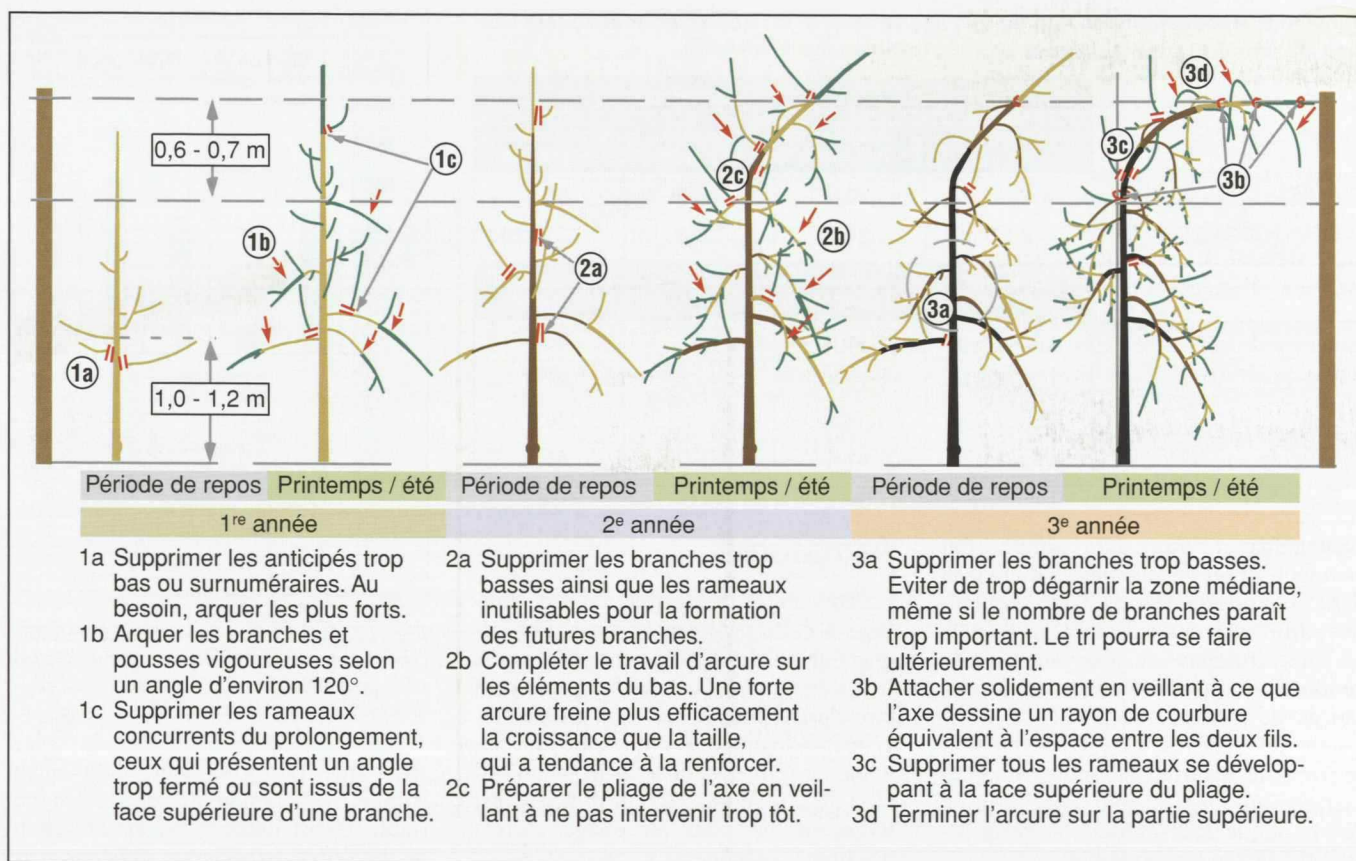


Fig. 10. Schéma de formation du Solaxe.

riété faible, pliage haut) pourrait exceptionnellement justifier une distance inférieure. Contrairement à l'axe vertical qui laisse le surplus de puissance végétative s'exprimer en hauteur, la marge de sécurité se calcule dans la largeur de l'interligne. En cas de doute, il convient donc plutôt d'augmenter les distances recommandées.

Formation et conduite

Formation

Son succès dépend en bonne partie de l'utilisation d'un matériel végétal de bonne qualité. Une croissance rapide et équilibrée est favorisée par le bon développement des scions, mais la présence d'anticipés n'est pas indispensable. La formation (fig. 10) se déroule en plusieurs étapes sur une durée de quatre à cinq ans, avec des travaux à effectuer pendant le repos de la végétation et en vert. Une attention particulière sera accordée aux seconds, afin de ne pas avoir à compenser des travaux d'été lacunaires par une taille d'hiver trop contraignante. Dans certaines phases de la formation, deux passages sont nécessaires, au printemps et en été, en particulier à l'approche du pliage qui intervient généralement en 3^e année.

Il n'est pas aisé de définir la fin de la période de formation. On peut la considérer comme terminée au moment de la mise en place définitive de la structure primaire. Cela ne signifie pas que certaines opérations, notamment d'arcure ou d'ébourgeonnage, ne se poursuivront pas au-delà de la 5^e année (fig. 11). A défaut d'expérience, la maîtrise de l'équilibre haut/bas de l'arbre demande une observation attentive des réactions de la plante et un certain sens de l'anticipation. Il faut à la fois favoriser une croissance acrotone soutenue et éviter de trop dégarnir la zone basale qui se renforce inévitablement dès le pliage



Fig. 11. Illustration partielle de la partie haute d'un arbre en début de 7^e année. Le pliage est correctement réalisé. La présence de poids pour l'arcure des dernières branches montre qu'un léger travail de formation peut encore s'avérer nécessaire durant la phase adulte.

de l'axe, au détriment de la partie supérieure. On accentue encore ce phénomène en cas de pliage trop précoce, d'arcure insuffisante des branches basses ou de leur taille excessive.

La conduite en phase de production

Les deux stratégies décrites au sujet de l'axe vertical sont également valables pour le Solaxe.

1. branche simplifiée.
2. branche complexe.

Précocité et niveau de rendement

La conception du Solaxe impliquant une taille très réduite, l'entrée en production intervient en 2^e année déjà chez le pommier. Le rendement est directement lié au développement végétatif du verger, qui, dans le cas de ce système, dépend de la hauteur de pliage choisie. Avec un pliage haut (env. 2,5 m), le rendement est similaire à celui d'un axe vertical haut. En revanche, en verger piéton, il faut s'attendre à une diminution du rendement de 10 à 25%.

Tableau 8. Rendements comparés de l'axe vertical et du Solaxe pour la variété Golden/M9 EMLA et pour plusieurs variétés greffées sur M9 NAKB.

	Distances de plantation	Rendement (t/ha)		
		Moyenne 2 ^e -5 ^e année	Moyenne 6 ^e -9 ^e année	Maximum atteint en 8 ^e année
Golden – Axe vertical	4 × 1,5 m	30,4	44,2	50,1
Golden – Solaxe	4 × 1,5 m	27,2	39,3	51,1
	Distances de plantation	Moyenne 2 ^e -5 ^e année		Maximum atteint en 5 ^e année
Gala	3,8 × 1,6 m	31,0		40,1
Braeburn	3,8 × 1,6 m	19,4		27,2
Fuji	3,8 × 1,6 m	34,9		49,7
Maigold	3,8 × 1,6 m	41,4		51,1

Neuf années d’observation cumulées ont permis d’observer une baisse d’environ 10% avec une hauteur de 2,3 m (tabl. 8). La partie inférieure du tableau 8, plus qu’une différence de leur potentiel de production, illustre la nécessité de distances de plantation adaptées à la vigueur des variétés. Ces distances sont légèrement insuffisantes pour Maigold et trop importantes pour Braeburn, ce qui explique leur production respectivement élevée et trop faible.

Qualité des fruits

La qualité de la production n’est pas très différente de celle qui est obtenue avec l’axe vertical. Les différences exposées au tableau 9 ne sont pas significatives. Contrairement à une crainte souvent exprimée, le calibre des fruits n’est pas diminué par la conduite en Solaxe.

Tableau 9. Qualité moyenne (3^e-8^e année) pour les principaux critères de qualité. Données expérimentales obtenues avec Golden/M9 EMLA à 4 × 1,5 m.

Système	Calibre (g/fruit)	Sucres (°Brix)	Acidité (g/l ac. mal.)	Fermeté (kg/cm²)
Axe vertical ⁽¹⁾	193	13,3	8,2	7,8
Solaxe ⁽²⁾	198	13,2	8,6	7,7

Hauteur des arbres: ⁽¹⁾ 3,5 m; ⁽²⁾ 2,3 m.

Tableau 10. Evaluation des performances économiques du Solaxe pour une densité de 1800 arbres/ha.

Critère d'appréciation	Evaluation de la performance économique		
	Modéré	Moyen	Elevé
Complexité de réalisation			
Investissement			
Frais d'entretien			
Temps de récupération			

Investissement: modéré < 40 000 CHF; modéré-moyen 40 000 à 50 000 CHF; moyen 50 000 à 60 000 CHF; moyen-élevé 60 000 à 70 000 CHF; élevé > 70 000 CHF.
Temps de récupération: respect. < 12 ans; 12 à 13; 13 à 15; 15 à 17; > 17 ans.

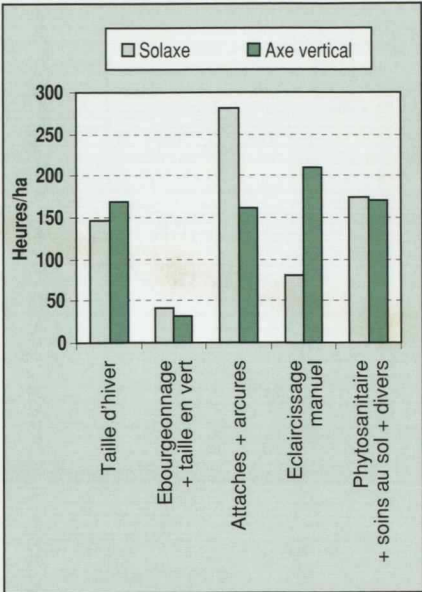


Fig. 12. Répartition des coûts d’entretien par activité au cours des six premières années pour Golden M9 vf sur un verger de la Côte lémanique (BLASER, 2001).

Bien que la forme soit relativement simple, la complexité de réalisation (tabl. 10) est jugée moyenne en regard de la faible expérience existant dans la pratique, des subtilités de la formation d’une variété à l’autre et des nombreuses interventions à accomplir ponctuellement à tous les stades de la formation.

L’investissement initial est très variable, en grande partie à cause de la large fourchette des distances de plantation recommandées (1200 à 2800 arbres/ha).

Le choix de la hauteur du verger influence également les coûts d’entretien (fig. 12). Le travail de formation exige plus d’attention pour un verger piéton, mais pas forcément plus d’argent puisque le travail peut se réaliser au sol. En revanche, la comparaison avec l’axe vertical met bien en évidence la durée différente des travaux pour certaines opérations sensibles. Le travail d’attache et d’arcure, spécifique à la formation du Solaxe, est d’environ 75% plus long alors qu’il est diminué de plus de 60% pour l’éclaircissage manuel. A l’issue de la formation, tous les travaux d’entretien, récolte comprise, doivent se trouver nettement allégés avec le Solaxe et, malgré des rendements plus bas, permettre un temps de récupération similaire à celui de l’axe vertical.



Le système V-plié



Fig. 13. Disposition des arbres en V-plié.

Description

Le V-plié s'apparente aux systèmes en V pour la disposition ouverte de la haie fruitière (fig. 13) et au superfuseau en double rang pour les densités de plantation élevées. Le pied des arbres est aligné (fig. 14), mais peut être légèrement décalé en quinconce.

Comme pour le Solaxe, la hauteur de pliage est théoriquement modulable entre 2 et 2,5 m. Le bon volume des couronnes atteint grâce à la conception en V permet cependant d'atteindre des rendements nettement supérieurs à ceux du Solaxe. De ce fait, l'augmentation de la hauteur en vue d'une production supplémentaire ne se justifie pas. En effet, la forme des arbres rendant impossible l'utilisation de plates-formes automotrices pour les travaux en hauteur (éclaircissage manuel, palissage, récolte, etc.), la perte du caractère piéton provoque inéluctablement une diminution de la rentabilité.

La hauteur recommandée pour la pose des fils est de 2,1 m, afin d'anticiper le léger affaissement des structures qui ramène la hauteur totale à 2 m après quelques années.

Matériel végétal

Le comportement de deux variantes est observé depuis une dizaine d'années: la première sur un type M9 vf (Burgmer 984), l'autre sur un porte-greffe très faible (M27). Dans le premier cas, malgré une très forte densité (6000 arbres/ha), la surface foliaire maximale est atteinte assez lentement. Dans le second, la vigueur alliée à une densité de 4000 arbres/ha permet d'atteindre un LAI très élevé avant que les arbres n'aient exprimé la totalité de leur potentiel de croissance (fig. 15). L'excédent de végétation qui s'exprime sous forme de réitérations est systématiquement supprimé en été alors que la variante M27 ne subit aucune taille en vert.

Tableau 11. Densités de plantation conseillées en fonction de la variété et du porte-greffe. Dans chaque catégorie de vigueur, les porte-greffe sont cités en partant du plus faible au plus fort. En gras, la combinaison avec les porte-greffe de référence pour chaque gamme de vigueur.

Vigueur	Exemple de variété	Porte-greffe	Vigueur (% d'EMLA)	Distances de plantation (m)
Faible	Braeburn, Idared	M9 vf NAKB, Lancep, EMLA	85-100	3,5 à 4 × 0,7 à 0,9
Moyenne	Gala, Golden	M9 FLF 56	70-80	3,5 à 4 × 0,7 à 0,9
Forte	Fuji, Jonagold	J-TE-E, Supporter 1	55-70	3,5 à 4 × 0,6 à 0,8
Très forte	Maigold, Boskoop	P22, J-TE-F, J-TE-E M27, J-TE-G, P22	35-55	3,5 × 0,6 à 0,8



Fig. 14. Vue d'une jeune culture en V-plié permettant de distinguer la conception des armatures.

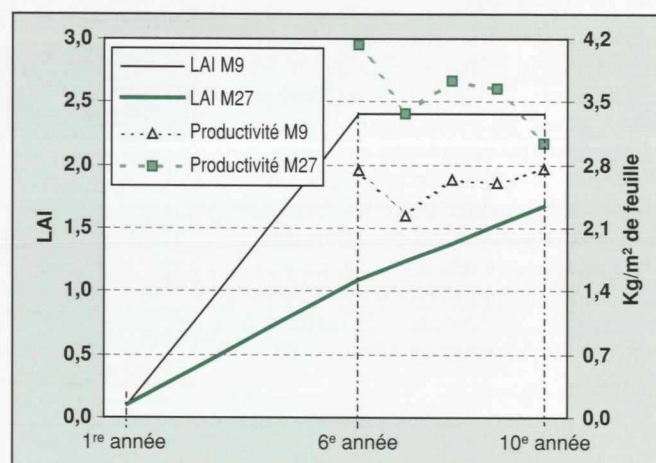


Fig. 15. Evolution du LAI (indice de surface foliaire) et de la productivité en fruits par unité de surface foliaire pour la variété Arlet.

Ce constat met en évidence l'importance de bien maîtriser la végétation à l'aide de porte-greffe de vigueur modérée, autorisant des densités de plantation de 2800 à 4700 arbres par hectare. Dans la plupart des cas, un porte-greffe plus faible que le M9 se justifie même si la croissance végétative au cours des trois premières années s'en trouve ralentie. Cela constitue d'ailleurs plutôt un avantage puisqu'une pousse annuelle modérée limite les travaux d'arcure, tandis que l'usage du M9 en haute densité génère des coûts de formation disproportionnés.

Densités de plantation

Les distances de plantation sont de 3,5 à 4 m pour l'interligne en fonction de la vigueur du matériel végétal (tabl. 11), la distance inférieure étant réservée aux porte-greffe les plus faibles pour chaque catégorie. D'une manière générale, l'espace ré-

servi au passage des machines est plutôt restreint et requiert une mécanisation adaptée.

Sur le rang, les intervalles varient entre 0,6 et 0,9 m. Faute d'expérience pour toutes les combinaisons de porte-greffe et de variétés, chaque nouvelle sélection (Supporter 1, série J-TE) n'est citée que dans une seule catégorie de vigueur, selon le développement végétatif obtenu expérimentalement avec une ou deux variétés standard. Les niveaux de vigueur indiqués se réfèrent en partie à des travaux étrangers (MASSERON et SIMARD, 2001) ou à des observations communiquées par une entreprise privée (DICKENMANN, comm. pers.).

Formation et conduite

La formation

La formation des arbres (fig. 16) est réalisée sur le même modèle que le Solaxe. Elle en diffère toutefois quelque peu à cause de l'inclinaison des axes (un peu moins de 20° par rapport à la verticale) qui provoque une légère asymétrie de croissance entre les faces inférieures et supérieures des plans du V. On anticipe cette réaction en appliquant une sélection plus rigoureuse des rameaux puis des branches, de manière à éviter une mauvaise pénétration de la lumière.

La conduite en phase de production

Hormis les densités élevées, le choix de porte-greffe plutôt faibles se justifie également parce que la taille peut être un peu plus sélective que dans un système moins intensif sans provoquer de réactions végétatives gênantes. Dans le cas de la variété Arlet, type IV retombant à la canopée relativement peu dense, la taille longue avec limitation partielle de la ramification latérale des branches permet d'obtenir rapidement un arbre calme, même sur M9 à 4000 arbres/ha (fig. 17). Avec Golden, les interventions de taille, inévitables pour maintenir un éclaircissement suffisant ou permettre le passage des machines,

provoquent rapidement un déséquilibre de la végétation. Dans ce cas et celui de toutes les variétés de vigueur égale ou supérieure – en particulier celles de port érigé (types II et III) –, il vaut mieux choisir un porte-greffe plus faible qu'augmenter les distances de plantation (fig. 18).

Précocité et niveau de rendement

Grâce à sa densité de plantation élevée, la précocité de rendement représente le principal point fort du V-plié. A l'état adulte, les rendements sont également supérieurs à ceux d'un système disposé verticalement (tabl. 12).

Tableau 12. Rendements comparatifs entre une variante de V-plié sur M9 vf, clone Bugmer 984, et une variante sur M27 avec les variétés Golden et Arlet.

Porte-greffe Variété	Distances de plantation (densité arbres/ha)	Rendement (t/ha)		
		Moyenne 2 ^e -5 ^e année	Moyenne 6 ^e -9 ^e année	Maximum atteint (année)
M9 Golden	3,5 × 0,7 m (4000)	33,5	57,0	63,8 (7 ^e)
M27 Golden	3,5 × 0,48 m (6000)	22,5	55,5	64,3 (8 ^e)
M9 Arlet	3,5 × 0,7 m (4000)	36,2	60,4	67,9 (10 ^e)
M27 Arlet	3,5 × 0,48 m (6000)	23,9	50,0	55,5 (9 ^e)

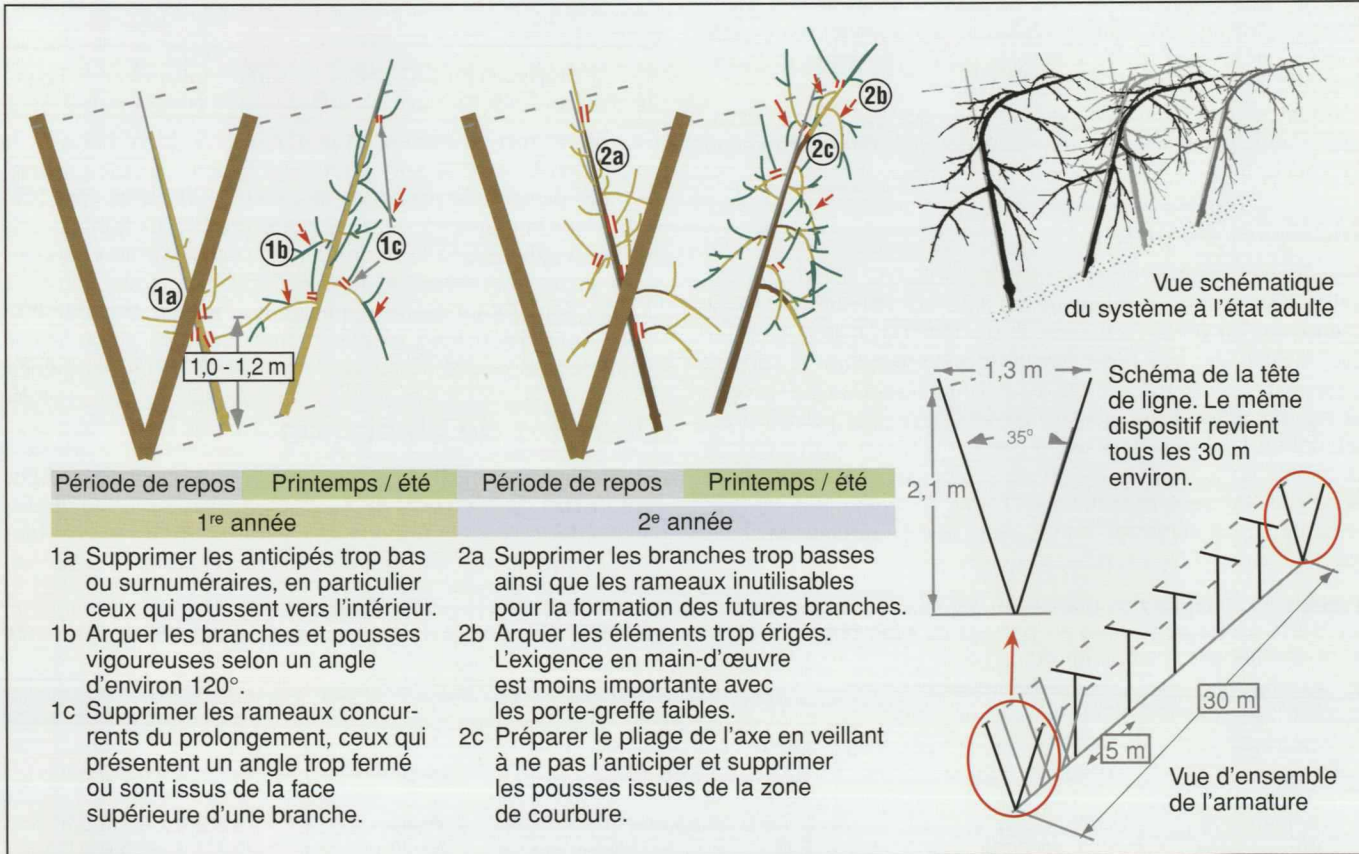


Fig. 16. Schéma de formation du V-plié.



Fig. 17. Sur M9, une culture adulte atteint un niveau de développement végétatif très élevé et relativement confiné. Cela entraîne petit à petit une dégradation de la qualité des fruits, la vigueur devenant toujours plus difficile à maîtriser.

Fig. 18. Sur M27, la vigueur est plutôt insuffisante. L'avantage d'une vigueur modérée est de maintenir une qualité élevée de la production au fil des années et de limiter les coûts de formation et d'entretien du verger.

Qualité des fruits

Lorsque la vigueur est bien adaptée aux distances de plantation, la qualité de la production est égale voire supérieure à celle d'un système à axe vertical. Cela se vérifie particulièrement avec l'utilisation de porte-greffe faibles qui induisent généralement un taux de sucre et une fermeté plus élevés que le M9 (tabl. 13). Une meilleure coloration également peut être obtenue pour la même raison, et aussi grâce aux volumes de couronne réduits qui favorisent une bonne exposition des fruits à la lumière.

Armatures

La réalisation des armatures (fig. 16) est nettement plus complexe que pour les systèmes axiaux (axe vertical ou So-laxe). L'investissement pour ce poste est deux à trois fois plus élevé. La tentation existe d'économiser sur la qualité, la solidité du matériel ou en augmentant l'intervalle entre les piquets de soutien, mais le risque n'en vaut pas la chandelle. Les armatures supportent en effet une charge élevée due à la disposition oblique des arbres et la rupture d'un élément de soutien provoque inévitablement la perte d'une longue portion de ligne, voire de la totalité!

Investissement et performance économique

L'investissement et le temps de récupération sont évalués à partir du modèle de calcul «Arboflux» proposé par BLASER *et al.* (1996). La performance avait été jugée excellente et même la meilleure des systèmes étudiés. La réalisation est la plus complexe lorsque la densité de plantation est à la limite inférieure de la fourchette recommandée avec un matériel végétal plus vigoureux (tabl. 14). Dans ce cas, en effet, la formation délicate et exigeante

en main-d'œuvre s'ajoute à la complication des armatures. L'investissement avoisine 70 000 CHF à 3000 arbres/ha et dépasse 90 000 CHF pour 6000 arbres/ha. Les frais d'entretien sont modérés ou élevés selon la formation facile ou exigeante déterminée par la vigueur. Dans les deux cas, le caractère piéton du verger favorise une grande rapidité dans la réalisation de certains travaux particulièrement coûteux comme l'éclaircissage manuel et la cueillette. Le temps de récupération de l'investissement s'allonge d'une année ou deux avec l'utilisation de porte-greffe plus faibles

que le M9. En effet, une densification de 1000 arbres/ha par rapport au modèle «Arboflux» alourdit l'investissement dans une mesure non négligeable. Toutefois, l'augmentation de la charge d'amortissement pourrait être largement compensée par de meilleurs rendements (+16 à 24% qu'avec le modèle selon nos essais) ou par une réduction des coûts d'entretien pour un rendement similaire, comme c'est le cas avec un porte-greffe plus faible. Un porte-greffe de vigueur intermédiaire entre M9 et M27 se révélerait dans la majorité des cas optimal sur le plan technique et économique.

Tableau 13. Qualité moyenne mesurée entre la 4^e et la 10^e année pour les principaux critères de qualité.

Porte-greffe Variété	Calibre (g/fruit)	Sucres (°Brix)	Acidité (g/l ac. mal.)	Fermeté (kg/cm²)
M9 Golden	194	12,6	5,9	7,4
M27 Golden	190	13,7	5,9	7,8
M9 Arlet	185	12,3	6,9	7,8
M27 Arlet	171	12,9	6,5	7,5

Tableau 14. Evaluation de la performance économique du V-plié avec les porte-greffe M9 et M27 pour 4000 et 6000 arbres/ha.

Critère d'appréciation	Porte-greffe (p. ext. Niveau de vigueur)	Evaluation de la performance économique		
		Modéré	Moyen	Elevé
Complexité de réalisation	M9 (vig. +)			
	M27 (vig. -)			
Investissement	M9 (vig. +)			
	M27 (vig. -)			
Frais d'entretien	M9 (vig. +)			
	M27 (vig. -)			
Temps de récupération	M9 (vig. +)			
	M27 (vig. -)			

Investissement: modéré < 40 000 CHF; modéré-moyen 40 000 à 50 000 CHF; moyen 50 000 à 60 000 CHF; moyen-élevé 60 000 à 70 000 CHF; élevé > 70 000 CHF.
Temps de récupération: respect. < 12 ans; 12 à 13; 13 à 15; 15 à 17; > 17 ans.



Le système Ycare

Description

Ycare est un système original, développé au Centre des Fougères de la RAC (MONNEY *et al.*, 1999) à partir de la combinaison de plusieurs autres systèmes. Son expérimentation durant ces dix dernières années, avec plusieurs variétés, fournit un recul appréciable et permet d'envisager sa diffusion. Il cumule les avantages d'un système piéton à densité moyenne et rendement élevé.

Les éléments de base pour sa conception sont proches du V-plié. Le fait d'obtenir l'équivalent de deux arbres de ce dernier système à partir d'un même tronc (fig. 19) permet une nette réduction de la densité de plantation et donc de l'investissement de création du verger. La répartition de la vigueur sur deux organes de structure au lieu d'un seul permet d'utiliser dans la plupart des cas un porte-greffe standard. En revanche, l'organisation dans l'espace exige une formation plus complexe.

Matériel végétal

Le porte-greffe doit être suffisamment fort pour assurer un niveau de vigueur équilibré aux deux axes et globalement suffisant pour assurer des rendements élevés. Un excès de végétation a des répercussions négatives plus sensibles sur la qualité que dans le cas d'un axe vertical en raison de l'espace rigoureusement limité. De fait, le volume par arbre étant pratiquement indentique pour les deux systèmes, les recommandations au sujet des porte-greffe sont pratiquement les mêmes. Un type M9 vf, faible de préférence, constitue le plus souvent le meilleur choix (tabl. 15).

Sauf pour les variétés très vigoureuses, on échappe ainsi à la contrainte de



Fig. 19. Système Ycare sur un verger âgé de 10 ans.

combinaisons de variétés et porte-greffe trop spécifiques et pas toujours disponibles sur le marché. Un type M9 garantit une bonne adaptation à nos conditions pédoclimatiques, un développement végétatif rapide et une bonne productivité.

La seule condition limitante par rapport à la qualité du matériel végétal est la présence d'un anticipé à une hauteur de 40 à 60 cm du point de greffe. Chez la plupart des variétés commerciales, cette condition est généralement remplie. Dans le cas contraire, le rabattage du scion ou le choix d'un autre système s'impose.

Densités de plantation

La réalisation de formes en V sur porte-greffe M9 demande une distance interligne de 4,5 m, sauf avec les variétés

faibles (tabl. 15). C'est vrai en particulier avec le système Ycare où un espace de 4 m s'est rapidement avéré insuffisant pour le passage de tracteurs arboricoles standard.

Le choix d'un porte-greffe de vigueur inférieure ne se justifiant pas sauf pour des variétés à très forte croissance, c'est la distance sur le rang qui varie entre 1 et 1,5 m selon les variétés.

Formation et conduite

La formation

La formation des arbres (fig. 20) impose quelques subtilités pour obtenir des arbres relativement symétriques sans taille du scion. Cette condition, incluse dans le cahier des charges du système, est dictée par l'objectif d'une entrée en production rapide.

Un équilibre satisfaisant entre l'axe dominant et l'axe issu de l'anticipé peut être obtenu après deux à trois ans en jouant sur leur angle de croissance respectif et sur l'éclaircissage des fruits. L'organe le plus faible rattrape son retard assez rapidement s'il est maintenu en position verticale jusqu'au milieu de la 2^e année et que sa charge en fruits est sévèrement ou totalement supprimée.

Tableau 15. Densités de plantation conseillées pour les principales catégories de vigueur des variétés.

Vigueur	Exemple de variété	Distances interlignes	Densité (arbres/ha)	
			M9 vf (indice vig. 100)	P-g faibles (indice vig. 70-80)
Faible	Braeburn, Idared	4 m	2500	(2)
Moyenne	Gala, Golden	4-4,5 m	1800-2200	2500
Forte	Fuji, Jonagold	4,5 m	1600-1800	2000
Très forte	Maigold, Boskoop	4,5 m	(1)	1800-2000

Combinaisons peu recommandées en raison d'une vigueur respectivement trop élevée (1) et trop faible (2).

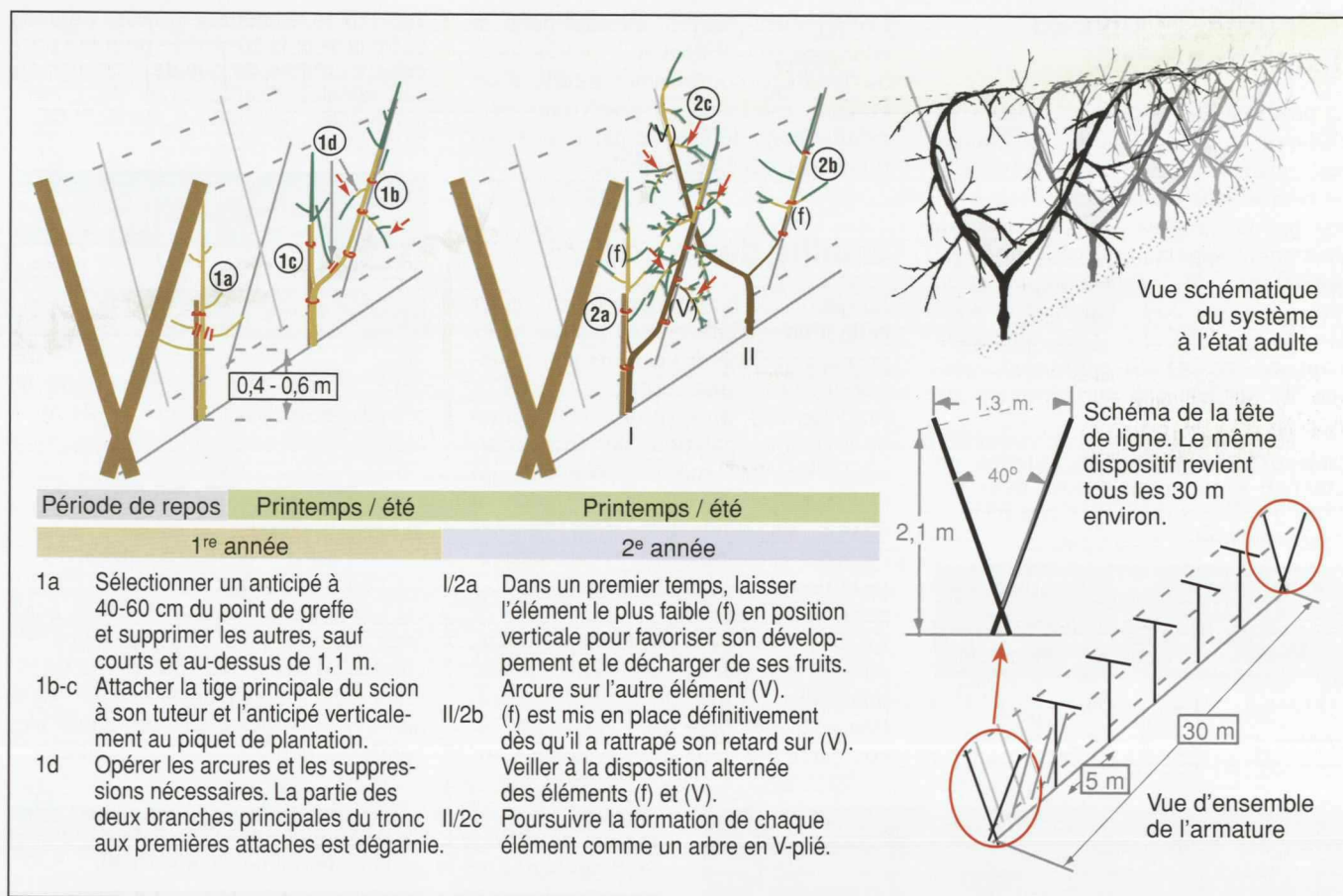


Fig. 20. Schéma de formation du système Ycare.

La conduite en phase de production

La phase de formation se termine avec le palissage horizontal du prolongement des deux axes et l'arcure de leurs ramifications. Selon l'espace entre les arbres et les contraintes commerciales de coloration de la variété, 12 à 14 branches fruitières conduites en taille longue constituent la structure secondaire

de l'arbre. Au fur et à mesure que les bras horizontaux se renforcent avec le développement de leurs branches fruitières, l'intérieur de la couronne doit être élagué pour éviter un manque de lumière (fig. 21). La partie intérieure et basse de l'arbre est progressivement dégarnie au fur et à mesure que le haut de l'arbre prend de l'ampleur. Après une dizaine d'années, la majorité des fruits se situent dans la zone périphé-

rique de la couronne la mieux éclairée (fig. 22). Cette zone est composée majoritairement de branches retombantes qui composent l'enveloppe garnissant l'intérieur et l'extérieur des deux plans du V. En 10^e année, la répartition haut/bas des branches se présente comme suit: 8 à 10 branches sont issues des deux bras horizontaux et 2 à 4 de la partie montante des axes en fonction de l'éclaircissement.



Fig. 21. Vue en coupe d'une rangée d'arbres en 7^e année. Sur l'axe de droite, quelques branches basses finiront par disparaître lorsque celles de l'étage supérieur auront atteint un développement qui porte préjudice à leur éclaircissement.



Fig. 22. A l'état complètement adulte, la structure secondaire est en grande partie issue de la partie supérieure des axes. Dans la partie médiane et inférieure de la couronne, seules subsistent les branches suffisamment éclairées.

Précocité et niveau de rendement

Le profil en V illustré par la figure 23 explique en grande partie les bonnes performances quantitatives présentées au tableau 16. Nous avons obtenu en sept ans une surface foliaire par arbre légèrement supérieure à celle de l'axe vertical avec des densités de plantation supérieures de 20%. Par rapport à ce dernier, le LAI est donc augmenté d'autant (fig. 24). Si cette augmentation ne se fait pas au détriment de

Tableau 16. Rendements obtenus en situation expérimentale pour deux variétés greffées sur M9 vf, clone B984, à 2500 arbres/ha.

Variété	Rendement (t/ha)		
	Moyenne 2 ^e -5 ^e année	Moyenne 6 ^e -10 ^e année	Maximum atteint en 9 ^e année
Golden	31,0	55,3	67,4
Arlet	33,1	66,3	68,0



Fig. 23. La structure en V assure l'éclairciment de quatre faces bien exposées de la haie fruitière. Au besoin, l'inclinaison des branches fruitières est modifiée par l'arcure, mais il faut éviter de les ramener parallèlement aux deux plans du V afin de conserver une bonne aération de la couronne.

l'éclairciment moyen mesuré dans la couronne, on obtient une productivité du feuillage comparable à celle d'un système axial haut, a priori plus perméable mais défavorisé par la disposition superposée des branches.

Qualité des fruits

La qualité de la production peut égaler celle d'un système en axe vertical si les principes relatifs à l'éclairciment énoncés ci-dessus sont respectés (tabl. 17). Pratiquement, on note une dégradation de la qualité analytique des fruits issus des zones les moins favorisées qui s'explique par la densité de plantation élevée. La production des branches ombrées est toutefois très minoritaire, la taille en limitant le nombre petit à petit. En moyenne, sur la production globale, on peut compter sur une bonne qualité pour tous les paramètres. La coloration obtenue avec Arlet (tabl. 18) est comparable à celle d'un système stan-

Tableau 18. Résultats moyens obtenus entre la 4^e et la 10^e année pour les principaux critères de qualité. Données expérimentales obtenues avec deux variétés greffées sur M9 vf, clone B984, à 2500 arbres/ha.

Variété	Calibre (g/fruit)	Coloration $\geq 1/2$ (%)	Sucres (°Brix)	Fermeté (kg/cm ²)
Golden	197	—	13,0	7,5
Arlet	186	77,9	12,4	7,6

dard, même dans les conditions de plantation un peu trop denses de notre essai.

Armatures

La conception des armatures (fig. 20) est identique à celle du V-plié, à quelques détails près. La couronne de chaque arbre est soutenue par deux tuteurs métalliques plantés dans le sol et amarrés aux deux fils du haut. Des bambous, meilleur marché, sont égale-

Tableau 17. Teneur en sucre des fruits en fonction de l'éclairciment de la zone de prélèvement pour la variété Golden et comparaison avec le système témoin en axe vertical.

Eclairciment	Teneur en sucre (°Brix)					
	Ycare			Axe vertical		
	1998	2000	Moyenne	1998	2000	Moyenne
Elevé	13,9	13,2	13,6	13,6	13,1	13,4
Moyen	12,9	12,1	12,5	12,9	12,3	12,6
Faible	12,4	11,8	12,1	12,6	12,1	12,4
Moyenne	13,1	12,4	12,8	13,0	12,5	12,8

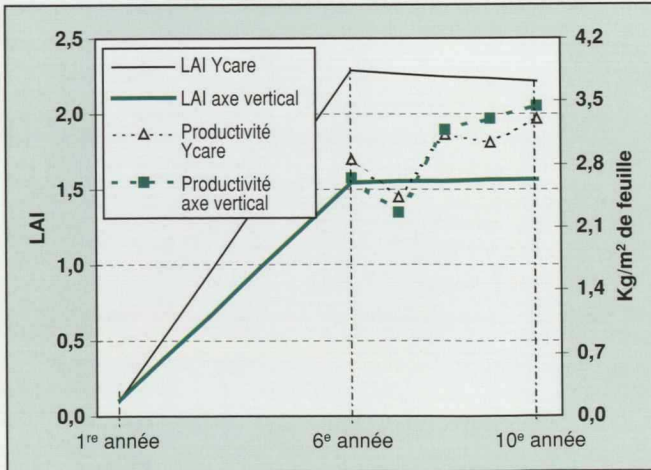


Fig. 24. Evolution comparée du LAI (indice de surface foliaire) et de la productivité en fruits par unité de surface foliaire de la variété Arlet pour deux systèmes de verger. L'axe vertical est planté à 4 x 1,25 m (2000 arbres/ha) et le système Ycare à 4 x 1 m (2500 arbres/ha).

ment utilisables à condition que leur base soit fixée à un ou deux fils tendus à mi-hauteur du tronc (fig. 19 et 21). La hauteur recommandée pour la pose des fils du haut est de 2,1 m, afin d'anticiper le léger affaissement des structures qui ramène la hauteur totale du verger à 2 m après quelques années. Si l'on veut respecter la disposition symétriquement alternée des axes, tous les tuteurs doivent être séparés entre eux par un intervalle égal à celui séparant les arbres entre eux. Chaque tuteur est donc fixé à un quart (et non pas un tiers!) de cette distance de part et d'autre des troncs.

Investissement et performance économique (tabl. 19)

La complexité de réalisation élevée résulte du cumul de plusieurs facteurs. Aux opérations du V-plié, il faut ajouter celles qui équilibrent les deux axes entre eux. En soi, ce travail n'est ni compliqué ni très exigeant en main-d'œuvre, mais s'ajoute simplement à la somme déjà importante des interventions nécessaires à la formation des arbres. L'investissement financier est inférieur à celui du V-plié pour un résultat quantitatif et qualitatif au moins égal. A densités comparables, les frais d'installation dépassent néanmoins ceux de l'axe vertical, en raison du coût nettement plus élevé des armatures. Les frais d'entretien sont globalement moyens, plutôt élevés en phase de formation et modérés une fois celle-ci terminée. Des tests ponctuels sur l'efficacité de la main-d'œuvre à la cueillette confirment qu'en l'absence d'assistance mécanisée, la hauteur est le principal facteur déterminant. Sur ce point, les différents systèmes piétons ne se distinguent pas significativement entre eux. Même les plans relativement larges d'un V-plié sur M9 ou de l'Ycare, qui freinent légèrement l'accès à l'intérieur des arbres, ne diminuent pas beaucoup la rapidité de la récolte, grâce aux rendements élevés et à l'accessibilité suffisante des branches portant la plupart des fruits. L'utilisation de nos résultats expérimentaux avec l'application informatique «Arboflux» développée par BLA-

Tableau 19. Evaluation de la performance économique sur la base d'une densité de 2000 arbres/ha.

Critère d'appréciation	Evaluation de la performance économique		
	Modéré	Moyen	Elevé
Complexité de réalisation			
Investissement			
Frais d'entretien			
Temps de récupération			

Investissement: modéré < 40 000 CHF; modéré-moyen 40 000 à 50 000 CHF; moyen 50 000 à 60 000 CHF; moyen à élevé 60 000 à 70 000 CHF; élevé > 70 000 CHF.
Temps de récupération: respect. < 12 ans; 12 à 13; 13 à 15; 15 à 17; > 17 ans.

SER et al. (1996) a démontré que la rentabilité d'Ycare était supérieure à celle des cinq autres systèmes en essai après dix ans d'observation et que son amortissement sur une douzaine d'années était tout à fait possible.

Remerciements

Nous adressons nos remerciements à M. Ch. Blaser (Ecole d'ingénieurs de Changins) pour son autorisation de publier les temps de travail utilisés dans la figure 12 et à M. E. Dickenmann pour les précisions relatives à la vigueur des porte-greffe tchèques de la série J-TE.

Bibliographie

BLASER C., 2001. Compte-rendu de la journée d'information de l'Ecole d'ingénieurs de Changins du 23 août 2001, non publié.
BLASER C., MONNEY Ph., EVÉQUOZ N., AMSLER P., 1996. Analyse comparative des performances économiques de différents systèmes de ver-

ger. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **28** (2), 117-128.
CRESPEL B., LARRIVE G., DELORT F., LAURI P.-E., LESPINASSE J.-M., RAMONGUILHEM M., 1999. L'extinction des coursonnes. *Fruits & Légumes* **173**, 28-31.
LESPINASSE J.-M., DELORT F., 1994. Le verger de pommier: conduire ou tailler? *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **24** (4), 256-273.
LESPINASSE J.-M., DELORT J.-F., 1994. Le Solen, verger piéton. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **24** (4), 237-238.
MASSERON A., SIMARD M.-H., 2001. Les porte-greffe du pommier. Résultats de vingt années d'études en France. *L'Arboriculture fruitière* **555**, 67-71.
MONNEY Ph., BLASER C., WIDMER A., KREBS Ch., 1993. Les systèmes de verger. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **25** (3), 168-184.
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., BLASER C., 1999. Etude de nouveaux systèmes de verger pour le pommier. *Revue suisse Vitic., Arboric., Hortic.* **31** (3), 153-158.

Summary

New developments in orchards systems

Description and technico-economic characteristics for orchard systems: tree training systems particularly for apple, may be designed following various concepts. Four systems are described. The **vertical axis** represents the reference shape, **Solaxe** a variant presenting the advantage of limited height, **folded-V** and **Ycare** both partially stemming from the preceding and V-shaped. Globally, the shape based on a simple or complex structure, should allow a natural expression of the vegetation and training will favor its optimal progress. Pruning's main purpose is the abolition of poorly exposed branches and the anticipation of fruit thinning. The other operations consist for the main part in the guiding of the primary structures and bending of fruit branches according to the most convenient angle for a good balance between vegetation and fruiting. For both V-shaped systems, a certain sophistication of the conception increases the amount of light interception. Better yield while preserving the low height characteristics of the orchard (about 2 m in height) which increases manpower's efficiency (cutting, fruit thinning, harvesting).
Key words: Orchard system, V-shaped system, apple tree pruning, fruit quality, economic performance.