

Réflexion sur la conduite du pommier et du manguiers. Éléments de recherches et d'applications

Pierre Éric Lauri^{a*}
Thierry Goguey^b

^a Laboratoire d'arboriculture
fruitière, UR GAP,
Inra-Montpellier,
2, place Viala,
34060 Montpellier cedex 2,
France

^b Cirad-FIhor, programme
Arboriculture fruitière,
BP 5035,
34032 Montpellier cedex 01,
France

Study of apple and mango training systems. Research and application elements.

Abstract — Introduction. This article sets out to link the development of apple growing – as new concepts have resulted in improved training – and mango training, with a view to identifying research approaches that would ensure better mango production management. **Apple trees in temperate zones: changing training concepts.** In apple, there is a link between the growth habit of the different cultivars and the tendency towards alternating production. Studies have backed up the idea of fruiting branches as a work unit whose development has to be controlled by growers. **Mango in the tropics: growth and fruiting.** Mango trees grow rhythmically. Their axes are the result of stacked successive growth units, and their architecture depends on three organizational units: architectural units (AU); early reiterated complexes; and late reiterated complexes, “minimal” AUs, within the other two units. The temporal and spatial separation of vegetative and reproductive events means that the meristems have differing functions of variable frequency depending on the axis category. **Elements for a new mango training approach.** A comparison of the work conducted on apple and mango enables a discussion of three topics: integration levels within the tree and their agronomic merits; relations between vegetative growth and flowering; controlling fruiting by training the tree. **Conclusion: some proposals for research and applications.** The information obtained on apple tree training and mango tree biology suggests that there are two ways of improving mango tree training. © Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

Malus / Mangifera indica / plant training / growth / flowering / fruiting

Réflexion sur la conduite du pommier et du manguiers. Éléments de recherches et d'applications.

Résumé — Introduction. Le but de cet article est de relier le développement du pommier, dont certains concepts récents ont permis d'améliorer la conduite, et du manguiers, afin de dégager des orientations de recherche pour un meilleur contrôle de la production du manguiers. **Le pommier en zone tempérée : évolution des concepts de conduite.** Chez les pommiers, il existe une relation entre le port des différents cultivars et la tendance à l'alternance de production. Des études ont conduit à développer la notion de branche fruitière, unité de travail dont l'arboriculteur doit contrôler le développement. **Le manguiers en zone intertropicale : croissance et fonctionnement fructifère.** Le manguiers a une croissance rythmique. Ses axes résultent de l'empilement d'unités de croissance successives. Son architecture est issue de trois unités d'organisation : l'unité architecturale (UA) ; les complexes réitérés précoces ; les complexes réitérés retardés, UA « minimales », au sein des deux structures précédentes. La séparation temporelle et spatiale des événements végétatifs et reproductifs fait que les méristèmes ont des fonctionnements différés et de fréquence variable selon les catégories d'axes. **Éléments pour une nouvelle approche de la conduite du manguiers.** La confrontation des travaux réalisés sur pommier et manguiers permet de discuter trois thèmes : les niveaux d'intégration dans l'arbre et leur intérêt agronomique ; les relations entre croissance végétative et floraison ; la maîtrise de la fructification par la conduite de l'arbre. **Conclusion : quelques propositions de recherches et d'applications.** Les éléments acquis sur la conduite du pommier et la biologie du manguiers permettent de présenter, pour cet arbre, deux voies d'amélioration de sa conduite. © Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

* Correspondance et tirés à part

Reçu le 8 décembre 1998
Accepté le 31 mai 1999

Fruits, 1999, vol. 54, p. 359–369
© 1999 Éditions scientifiques
et médicales Elsevier SAS.
All right reserved

RESUMEN ESPAÑOL, p. 369

Malus / Mangifera indica / conduite de la plante / croissance / floraison / fructification

1. introduction

En région intertropicale, l'arbre fruitier fait traditionnellement partie du paysage où il est souvent cultivé en conduite libre, sans aucune taille ou autre intervention humaine. Il est en général de grande dimension et a des rendements faibles à très faibles. Sa fonction est essentiellement sociale et il constitue au mieux une source alimentaire « naturelle ».

Les tentatives d'intensification de la culture des arbres fruitiers tropicaux se heurtent à deux types de problème. Le premier est lié au contexte socio-économique, avec un désintérêt relatif des populations locales qui sont plus attirées par les cultures de rente que par les productions de diversification. Il n'y a donc pas de demande d'amélioration clairement formulée par les populations. Le second problème est lié aux conditions pédo-climatiques caractérisant les aires de cultures traditionnelles. La forte pluviométrie, voire l'insuffisance d'un rythme bien marqué des saisons sèches et humides, ainsi que le peu d'amplitude thermique ne permettent pas au végétal d'avoir un cycle phénologique rythmé par l'environnement. Il semble alors qu'il y a une compétition permanente entre le développement végétatif et la mise en place des sites de floraison, d'où le problème « d'erraticisme » de la floraison souvent évoqué pour ces arbres. Ce phénomène est accentué pour des espèces comme *Litchi chinensis* (litchi), *Persea americanum* (avocatier) et *Mangifera indica* (manguier), chez lesquelles les inflorescences sont élaborées en position terminale, sur les axes qui constituent la structure de l'arbre.

L'application, en région intertropicale, des schémas classiques de conduite développés sur les arbres fruitiers tempérés s'est souvent avérée inefficace. Trois raisons peuvent être évoquées pour expliquer ces échecs :

– La forte vigueur de croissance végétative, en port libre, retarde fortement l'entrée en production et rend difficile la maîtrise du volume de l'arbre.

– Cette vigueur augmente par ailleurs la réactivité du végétal aux manipulations et

rend plus délicates les opérations de conduite notamment la taille.

– Le désynchronisme apparent du fonctionnement des différents rameaux dans la couronne rend difficile l'application de règles de conduite stéréotypées.

Les travaux menés depuis trois décennies sur le pommier par l'Institut national de la recherche agronomique (Inra) en France [1–4] ont montré l'intérêt de la prise en compte des caractéristiques naturelles de croissance, ramification et floraison de l'espèce et, au sein de celle-ci, des cultivars, pour l'amélioration de la conduite des arbres fruitiers. Cette réflexion peut être appliquée sur les espèces fruitières tropicales et constitue un domaine de recherche potentiel pour la maîtrise de la croissance et de la fructification de l'arbre en verger.

Sur un plan général, les éléments de morphologie, biologie florale ou phénologie des arbres fruitiers tropicaux, qui introduisent classiquement les monographies – voir celle sur l'avocatier [5] – ou les articles – cas du manguier à la Réunion [6] –, doivent certainement être approfondis et élargis à la variabilité intra-spécifique, notamment entre cultivars. À ce titre, les apports de l'analyse architecturale à la connaissance du litchi [7], du goyavier [8–10] ou du manguier [11] nous semblent fondamentaux. Les perspectives d'applications agronomiques dégagées par Costes sur litchi [12] à partir de l'analyse de l'architecture de l'arbre illustrent l'intérêt d'une meilleure connaissance de la biologie de l'arbre pour l'amélioration de sa conduite en verger.

L'objectif de cet article est de développer une réflexion globale incluant d'une part les concepts récents développés sur le pommier et sa conduite [13, 14], d'autre part les problèmes particuliers posés par un arbre fruitier tropical, le manguier. Le choix de cette espèce est essentiellement lié à son importance économique, mais aussi à l'existence d'un ensemble de données déjà existantes sur son architecture [11]. Une discussion générale aura pour but de relier le développement de ces deux arbres afin d'en dégager des orientations de recherche pour l'étude du manguier. Des perspectives d'amélioration de la conduite du manguier en verger seront notamment discutées.

2. le pommier en zone tempérée : évolution des concepts de conduite

2.1. conception classique et orientations de recherches

La conduite de l'arbre fruitier consiste classiquement à établir une structure végétative de forme prédéterminée (taille de formation), puis à répartir sur celle-ci les unités de production (taille de fructification) [15]. L'expérience acquise à l'Inra sur les arbres fruitiers [2, 3] montre toutefois que la « forme » et le système de taille ne suffisent pas pour améliorer les performances agronomique et économique du verger. Quel que soit le système adopté – en volume, type gobelet ; palissé, type palmette, etc. –, ces manipulations retardent l'entrée en production, ne garantissent pas la régularité de la fructification et induisent souvent des coûts importants. Ces trois problèmes deviennent cruciaux dans les vergers à haute densité de plantation.

Il est donc apparu fondamental de renouveler la réflexion sur ce sujet en approfondissant la connaissance de la biologie de l'arbre, afin d'en extraire des orientations de conduite en verger. Les efforts se sont plus particulièrement orientés sur les caractères qui définissent le mode de fructification – distribution des fruits dans la couronne, régularité de la fructification – en liaison avec les caractéristiques de croissance et de ramification.

2.2. connaissance de l'arbre et sa conduite

2.2.1. typologie des formes du pommier et conduite de la branche fruitière

Les travaux menés au centre Inra de Bordeaux (France) sur le pommier ont montré l'importance d'une prise en compte de l'organisation naturelle de la ramification et de la fructification, pour la conduite de l'arbre [2, 3, 16]. De façon globale, l'étude d'une large gamme de cultivars a permis de définir une typologie de la forme des arbres en port naturel, basée sur deux critères : la

répartition des branches sur le tronc, et l'angle d'ouverture de ces branches par rapport à la verticale [17]. Ces travaux ont montré qu'il existait une relation entre ces différents types d'arbres et la tendance à l'alternance de production. Certains cultivars à port retombant, comme Granny Smith, possèdent en effet l'aptitude intrinsèque à équilibrer croissance végétative et fructification chaque année : leur production fruitière est régulière. Chez ces cultivars, la taille, surtout si elle est sévère, semble davantage perturber cet équilibre naturel, en stimulant la croissance végétative, que favoriser la mise à fruit. D'autres cultivars, à port érigé comme Reine des Reinettes, ne parviennent pas à cet équilibre naturellement : ils sont caractérisés par une alternance de production, en général bisannuelle, plus ou moins forte. L'observation de ces cultivars montre que l'arcure, naturelle sous le poids des fruits ou artificielle à l'aide d'un poids par exemple, modifie le comportement initial de la branche, stimule la floraison et améliore la régularité de la fructification.

Le double intérêt de l'arcure, classique en arboriculture fruitière [18] d'une part et du non-rabattage de la branche d'autre part, a conduit à développer la notion de branche fruitière [19]. Celle-ci est définie comme un ensemble ramifié dont l'axe principal est laissé en développement libre au cours de plusieurs années successives. La branche fruitière, naturellement ou artificiellement arquée, constitue l'unité de travail dont l'arboriculteur optimise le positionnement dans l'arbre et contrôle le développement au fil des ans.

2.2.2. analyse des branches fruitières

L'intérêt agronomique de la branche fruitière a conduit, dans les stations Inra de Bordeaux et de Montpellier, à développer une analyse des caractéristiques morphologiques de branches fruitières appartenant à différents cultivars de pommier, en liaison avec la régularité de la fructification [20–22] (*figure 1*). Les études ont porté sur le devenir individuel des bourgeons axillaires portés par la branche au long de 5 années successives : latence du bourgeon, fonctionnement végétatif ou florifère, mort. Elles

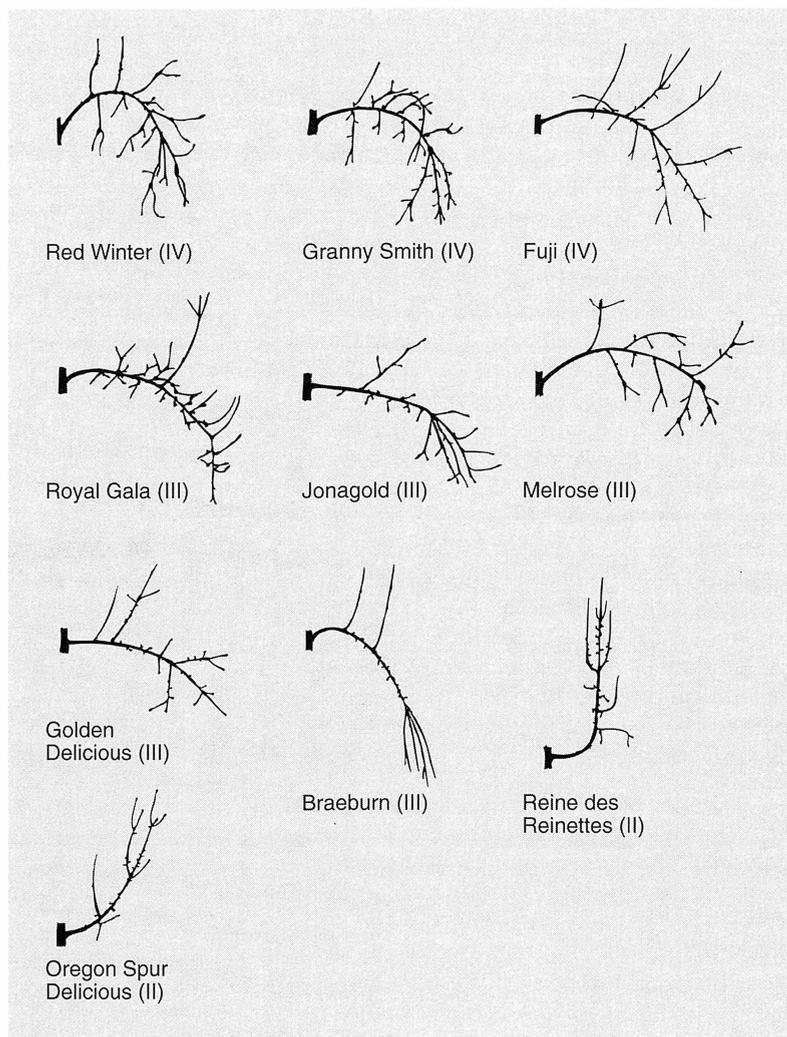


Figure 1. Silhouettes de branches fruitières de différents cultivars de pommier en port libre [20]. Les cultivars sont regroupés par type de fructification : le « type IV » comprend les cultivars à port naturellement retombant et généralement peu alternants en termes de production fruitière ; les cultivars du « type II » ont un port plus érigé et sont caractérisés par une forte alternance de production.

ont mis en évidence que chaque cultivar peut être caractérisé par une stratégie propre associant un ensemble de phénomènes.

Pour illustrer ce concept, un élément particulier de ces stratégies, celui du fonctionnement ou du non-fonctionnement des bourgeons axillaires sur la branche fruitière, peut être par exemple présenté à partir des deux cultivars Reine des Reinettes et Granny Smith.

Le premier cultivar est caractérisé par un taux de fonctionnement d'axillaires qui reste élevé et assez constant d'une année à l'autre. Reine des Reinettes a par ailleurs une faible aptitude au retour à fruit.

Le second cultivar, Granny Smith, est caractérisé par une décroissance importante, au cours du temps, du nombre d'axillaires fonctionnels : plus de 50 % des axillaires fonctionnels sur bois de 1 an ne le sont plus sur bois de 2 ans. Ce phénomène est appelé « extinction » et touche plus particulièrement les inflorescences ne portant pas de fruit (*figure 2a*). Sur ce cultivar, le retour à fruit est élevé (*figure 2b*). Nous pouvons donc faire l'hypothèse suivante : dans la constitution d'une branche fruitière, l'équilibre entre les points en fonctionnement (végétatifs et florifères) et les points non fonctionnels (latents et cicatrices) semblent être en relation avec le retour à fruit. Un retour à fruit important apparaît lié à une proportion plus faible de points de fonctionnement. Les observations faites sur le cultivar Granny Smith illustreraient donc l'expression d'un mécanisme d'auto-régulation actif par l'extinction d'une partie des points de fonctionnement entre les bois de 1 an et de 2 ans, permettant un meilleur retour à fruit sur les points en fonctionnement restants.

2.2.3. évolution de la conduite du pommier

Les préconisations actuelles pour la conduite du pommier portent sur l'établissement d'un tronc non taillé, dont l'extrémité est pliée à une hauteur de 2,50 m environ, autour duquel sont distribuées des branches fruitières ; cela correspond aux étapes de la formation de l'arbre selon le système « Solaxe » décrit par Lespinasse [13] (*figure 3*). Ce type de conduite diminue fortement le temps d'entrée en production des arbres. Dans un certain nombre de situations toutefois, il est nécessaire de mieux maîtriser la trop grande floribondité, et donc les risques d'alternance, des premières années du verger, induite par ces arcsures.

L'exemple de l'auto-régulation naturelle de cultivars tels que Granny Smith, nous a conduit, plus récemment, à proposer la réalisation d'extinction artificielle sur des branches fruitières de cultivars naturellement alternants [23]. Il s'agit en résumé de « mimer » la stratégie de Granny Smith en enlevant artificiellement et précocement une certaine proportion de points en fonc-

tionnement – bourgeons végétatif ou florifère – sur la branche fruitière. Cette action permet d'une part de diminuer le nombre de fruits en « latéral au bois de 1 an », qui sont commercialement peu intéressants, d'autre part de mieux maîtriser la distribution de la croissance latérale sur la branche fruitière au cours de sa mise en place. Cette préconisation est en cours d'expérimentation sur un ensemble de cultivars naturellement alternants, dans des contextes culturels variés.

3. le manguiier en zone intertropicale : croissance et fonctionnement fructifère

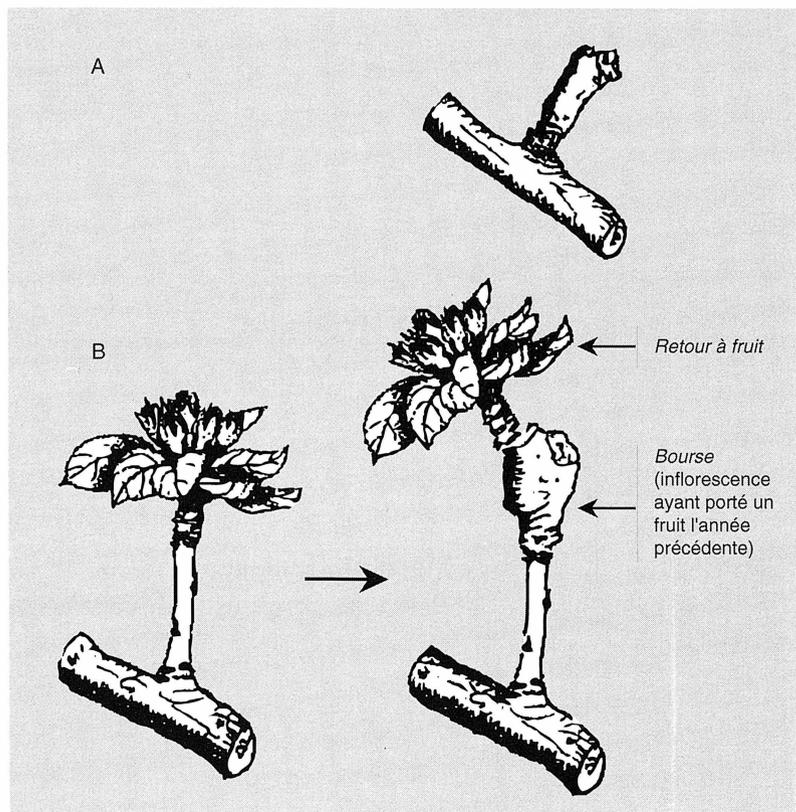
3.1. croissance végétative

Le manguiier fait partie de la famille des anacardiacées qui regroupe 35 genres et environ 500 espèces [24]. Comme de nombreuses plantes tropicales, cet arbre a une croissance rythmique [25]. Les axes qui le constituent sont le résultat de l'empilement d'unités de croissance (UC) successives. Les facteurs exogènes jouent un rôle important sur ce rythme, ce qui se traduit par des comportements différents selon les zones de production. Par ailleurs, une désynchronisation des fonctionnements méristématiques au sein d'un même individu est fréquemment observée et qualifiée « d'erratisme ».

L'arbre est élaboré à partir d'un axe monopodial dont la ramification permet l'élaboration d'un sympode aux axes végétatifs différenciés. Deux types de ramification sont à l'origine de l'architecture du manguiier :

- la ramification qualifiée de séquentielle, qui désigne la mise en place d'axes secondaires sur l'UC d'ordre n quand, dans le même temps, celle-ci met en place l'UC d'ordre $n+1$; il s'agit du mode de ramification le plus fréquent, correspondant à l'élaboration de l'unité architecturale (UA) (figure 4),

- la ramification proleptique issue du fonctionnement retardé de certains méristèmes.



L'analyse architecturale du manguiier [11] a permis d'identifier quatre catégories d'axes : les axes subapicaux, les axes proleptiques précoces, les axes proleptiques relais (APRe) et les axes proleptiques retardés (APR) et assimilés.

La séparation dans le temps et dans l'espace des fonctionnements méristématiques de ces différentes catégories d'axes permet une utilisation efficace des ressources par l'arbre pour une complémentarité de l'expression de la croissance et de la sexualité.

Plus globalement, trois unités d'organisation ont été mises en évidence (figure 4) :

- l'unité architecturale (UA), constituée par les axes subapicaux issus de ramifications séquentielles,

- les complexes réitérés précoces (CRP), entités au sein de l'arbre, dont la séquence de différenciation est proche de celle de l'UA,

- les complexes réitérés retardés (CRR), UA « minimales » au sein des deux structures précédentes.

Figure 2. Observation de rameaux de pommiers au printemps : A) « extinction » sur une inflorescence développée l'année précédente et ne formant aucun relais de croissance ; B) « retour à fruit » sur une inflorescence développée l'année précédente (bourse) (dessins de J.-M. Lespinasse).

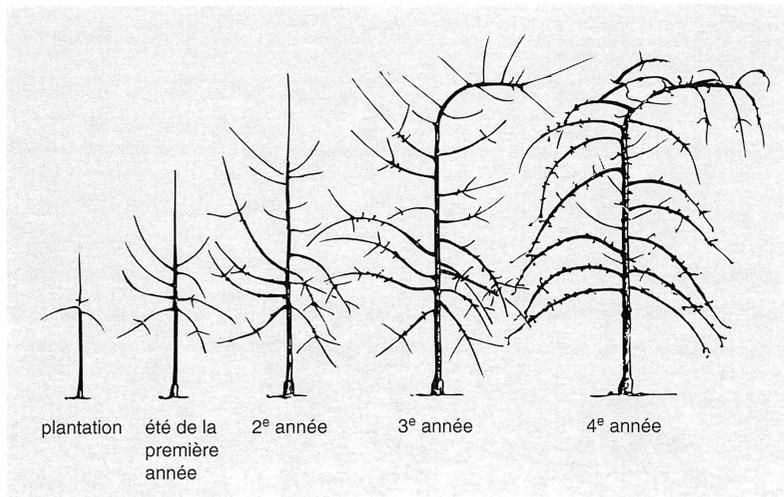


Figure 3. Étapes de la formation d'un pommier en « Solaxe » au cours des quatre premières années de sa croissance en verger [13].

3.2. fonctionnement fructifère et lien avec l'organisation végétative

L'apparition de la sexualité est fortement dépendante de la diminution de la dominance apicale : la floraison ne s'exprime pas tant que tous les axes d'un individu ont une croissance orthotrope. Cela est systématiquement le cas chez de jeunes arbres. La mise en place de l'unité architecturale est un préalable indispensable à l'expression de la floraison qui, cependant, ne s'exprime pas tant que l'axe est en position orthotrope. L'apparition de la sexualité serait donc d'une part sous la dépendance de l'évolution de l'architecture de l'arbre, d'autre part sous celle de l'orientation des rameaux [11].

Des études précises réalisées sur les sites d'apparition des inflorescences montrent que, une fois l'aptitude à la floraison acquise, une période de croissance nulle, succédant à la mise en place d'une structure végétative minimale, favorise l'élaboration d'inflorescences par les méristèmes terminaux. Une corrélation positive entre la masse foliaire proche du site de floraison et, plus précisément, entre la foliarisation [26] du rameau porteur et l'apparition de la sexualité, a été montrée par Goguey [11]. Il n'y a donc pas ici d'antagonisme entre croissance végétative et induction florale dans la mesure où ces phénomènes ne sont pas des événements contemporains.

L'exemple de la phase juvénile, stérile, caractérisée par la succession rapide de vagues de croissance, montre clairement que c'est la simultanéité, ou la proximité dans le temps, de ces phénomènes qui pose problème.

Sur un plan agronomique, la répartition temporelle des vagues de croissance végétative et des vagues de floraison dans le cycle phénologique du manguier peut permettre à l'arbre d'assurer son développement végétatif sans que ce soit au détriment de l'expression de sa sexualité. Sur un plan fonctionnel, il est probable que la phase de repos végétatif, indispensable à l'organogenèse florale, permette également l'accumulation de réserves, notamment carbonées, qui seront sollicitées ultérieurement lors de la mise à fruit [27, 28].

La formation des axes proleptiques retardés sur les branches charpentières de l'arbre entraîne une nouvelle répartition des méristèmes en activité sur l'arbre, qui, jusque-là, se situaient préférentiellement à sa périphérie. Ces complexes réitérés jouent un rôle important dans la fructification de certains cultivars, Keitt notamment. Il est probable que cette aptitude particulière soit due au fait que ces complexes bénéficient à la fois d'une séparation temporelle, car ils sont issus de bourgeons latents, et d'une séparation spatiale avec les sites de croissance de la périphérie de l'arbre. Ces complexes réitérés semblent bénéficier d'une relative autonomie de croissance et de fructification. Les conditions du retour à fruit sur ces mêmes complexes doivent toutefois être étudiées plus précisément.

De façon générale, la séparation temporelle et spatiale des événements végétatifs et reproductifs qui régissent le développement du manguier fait que les méristèmes ont des fonctionnements différés (décalage de l'expression de l'organogenèse) et de fréquence variable selon les catégories d'axes.

Les caractéristiques spécifiques de la croissance végétative et de la fructification des différentes catégories de rameaux qui composent la couronne du manguier ont conduit Goguey [11] à développer les

notions de croissance végétative globale et de croissance végétative spécifique.

La croissance végétative globale permet à l'arbre d'occuper et d'explorer l'espace, en captant l'énergie nécessaire à la constitution des ressources des axes de la périphérie. Elle concerne donc les rameaux en position subapicale et les axes proleptiques relais.

La croissance végétative spécifique permet l'expression effective de la fonction de reproduction sur des axes préférentiels ou d'exploiter le milieu. Elle concerne les axes proleptiques retardés et assimilés.

4. éléments pour une nouvelle approche de la conduite du manguiier

À notre connaissance, il n'existe que peu de références sur la culture du manguiier en région intertropicale. La plupart des travaux développés sur cette espèce le sont en région subtropicale, Afrique du Sud par exemple [29–31]. Ils ne peuvent constituer des références pertinentes pour les conditions agroclimatologiques de la zone tropicale humide. Toute réflexion nouvelle doit donc impérativement inclure la spécificité de la culture en zone tropicale humide.

La mise en perspective des travaux réalisés sur pommier et manguiier nous permet de dégager trois éléments de discussion.

4.1. les niveaux d'intégration dans l'arbre et leur intérêt agronomique

Différents travaux réalisés sur pommier ont dégagé la notion d'« autonomie des points de fructification » [4, 32]. À l'origine, cette notion a été développée à partir de la mise en évidence, sur les cultivars peu alternants de pommier, d'une autorégulation naturelle de la croissance et de la fructification. Pour ces cultivars, le retour à fruit élevé semble en effet corrélé à une plus faible densité de ramification, causée par le phénomène d'extinction [20, 21]. Ainsi que l'exemple du pommier le montre, il est

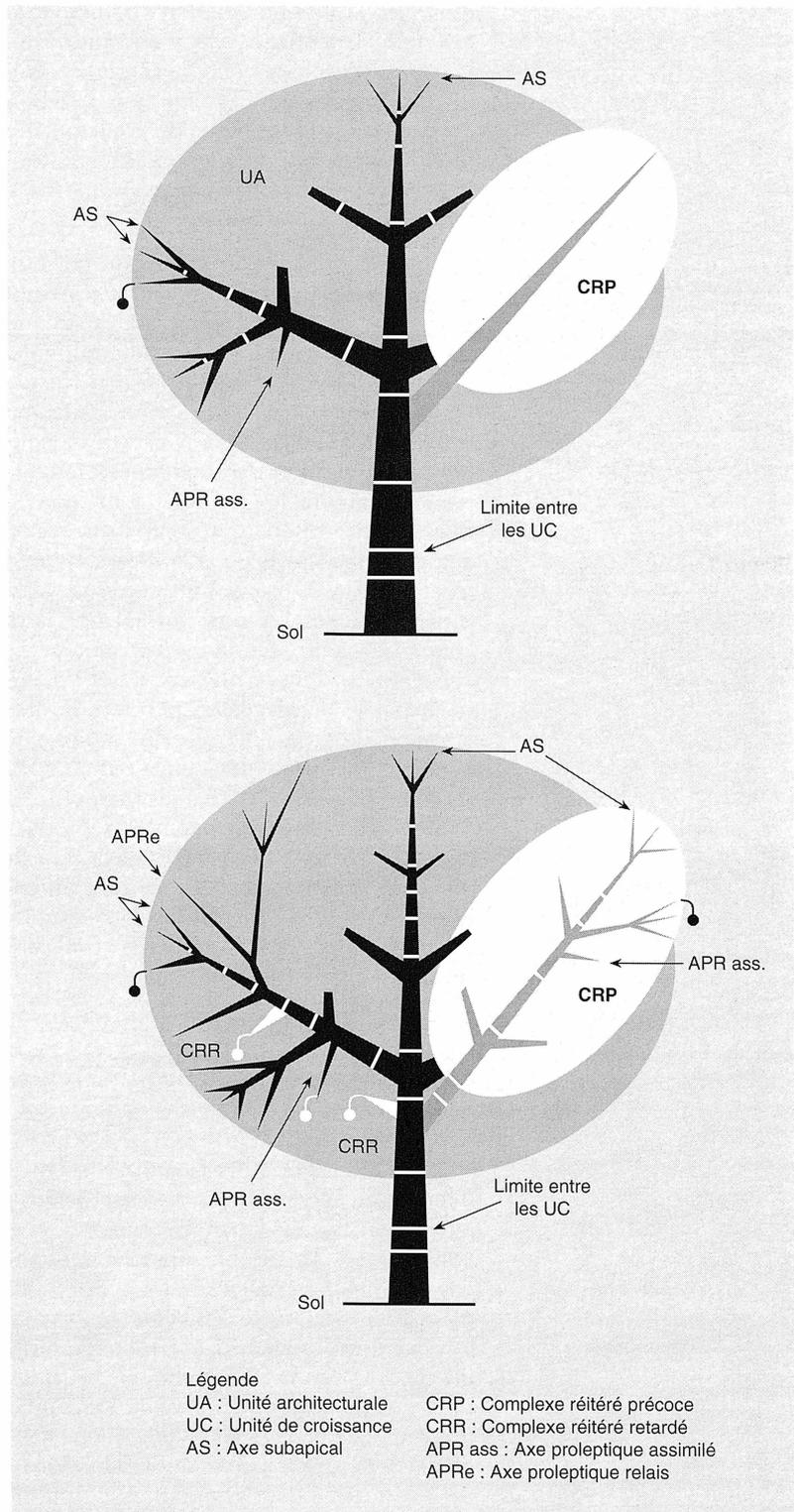


Figure 4. Schéma d'organisation du manguiier.

donc probable que cette autonomie vis-à-vis de la fructification corresponde à un équilibre physiologique global d'un ensemble de rameaux dont la taille reste à définir en fonction de l'espèce et du contexte culturel [33]. Sur le pommier, la branche fruitière constitue un niveau d'intégration satisfaisant dans la pratique.

Cette notion d'autonomie pourrait être développée sur le manguiier. Il apparaît ainsi que jusqu'à la manifestation d'une partie des mécanismes de réitération, la séquence floraison / fructification s'effectue globalement à l'échelle de l'arbre entier, en liaison étroite avec la ramification séquentielle. L'apparition des complexes réitérés retardés entraîne le « morcellement » du système d'origine en unités plus ou moins autonomes vis-à-vis de la floraison et de la fructification. Cette autonomie des complexes réitérés les uns par rapport aux autres se manifestent alors par une désynchronisation de leur phénologie et notamment par le décalage des périodes de floraison et de croissance végétative. Pour le manguiier, la mise en évidence par Goguey [11] du rôle particulier des axes proleptiques retardés dans le fonctionnement reproducteur et leur autonomie fonctionnelle constituent un domaine d'investigation particulièrement intéressant sur les plans agronomique et physiologique dans la mesure où ils soulignent la nécessité d'avoir plusieurs niveaux d'analyse.

4.2. croissance végétative et floraison

Les relations entre croissance végétative (vigueur au sens classique du terme) et floraison sont souvent perçues comme antagonistes [34]. La priorité donnée pendant des décennies à la sélection de porte-greffe peu vigoureux illustre cette conception. Sur le plan fondamental, il apparaît toutefois que la floraison ne s'exprime que dans les sites où une vigueur minimale s'exprime [35]. Par ailleurs, la qualité de la « floraison » définie ici comme l'aptitude d'une inflorescence ou d'une fleur à produire du fruit est corrélée positivement à la vigueur de l'axe porteur, tout au moins jusqu'à un certain seuil [36]. Sur le plan agronomique, il appa-

raît que l'antagonisme entre croissance et floraison est souvent exacerbé par la pratique de taille importante qui contribue à maintenir constamment une zone végétative dissociée de la zone fruitière. Celle-ci, reléguée dans les parties basses et ombragées de l'arbre, devient alors de plus en plus défavorisée sur les plans trophique et microclimatique. L'évolution des concepts de conduite développés à l'Inra, à l'origine de la définition du système Solaxe, consiste à harmoniser les développements végétatif et fructifère à l'échelle de l'arbre entier : chaque point de croissance devient fructifère et chaque point de fructification peut à nouveau donner une croissance végétative. Ce système est basé sur une utilisation raisonnée de la taille, en général restreinte aux rejets trop vigoureux ou mal placés, et une utilisation de l'arcure préconisée pour hâter la mise à fruit et améliorer l'équilibre mise à fruit-vigueur. Il atténue les déséquilibres entre végétation et fructification inhérents aux systèmes traditionnels.

L'expérience montre que la qualité de la fructification et sa pérennité au cours des années successives, qui se traduit par une réduction de l'alternance, nécessitent une certaine vigueur de l'arbre. Le fort potentiel de croissance des arbres en milieu tropical n'apparaît donc pas a priori comme un frein à la conception d'un verger plus dense et économiquement rentable. Il s'agit plutôt d'apprendre à gérer la vigueur existante pour l'orienter vers la fructification plutôt que de vouloir modifier un comportement, souvent de manière très traumatique. À ce titre, la proposition [11] de considérer, en plus de la croissance végétative spécifique des rameaux porteurs de la sexualité, par exemple celle des axes proleptiques retardés, la croissance végétative globale, qui se traduit par la croissance en volume de la couronne, nous semble devoir être reprise et approfondie, notamment sur le plan fonctionnel. En effet, la nécessaire séparation temporelle des événements végétatifs et reproductifs déjà évoquée doit amener l'arboriculteur à envisager des itinéraires culturels raisonnés (irrigation, fumure, taille, régulateurs de croissance, etc.) pour éviter que ces événements ne soient contemporains.

4.3. maîtrise de la fructification par la conduite de l'arbre

L'intérêt économique de développer, en zone tropicale, des vergers à densité de plantation plus élevée, a été souligné par différents auteurs [6, 37] et fait actuellement l'objet de nombreux travaux en zone subtropicale (Afrique du Sud, Australie, Israël). L'augmentation de la technicité utilisée dans les vergers rend toutefois plus sensible le choix du cultivar, s'il y a lieu du porte-greffe, et celui des techniques culturales. Les conditions climatiques propres aux zones tropicales humides, caractérisées par une longue période de végétation et des températures et pluviométries élevées, exacerbent la réaction du végétal aux opérations de conduite, par rapport à ce qui est observé en zones à climat tempéré. L'exemple classique de la réaction de l'arbre à la taille [38] semble ainsi indiquer qu'un mode de conduite basé sur l'arcure des branches doit être davantage étudié. Les travaux de Goguey [11] sur manguier montrent, d'une façon générale, une relation entre le port naturellement retombant d'une variété, une fréquence élevée d'axes proleptiques retardés et un potentiel de production élevé. Des essais en verger montrent également, pour un génotype donné, une augmentation de la fructification des rameaux en dessous de l'horizontale. Ces observations incitent à étudier spécifiquement l'effet de l'arcure, conjuguée éventuellement avec des incisions annulaires, sur la mise à fruit et le retour à fruit au sein des complexes ramifiés. L'analyse architecturale des arbres fruitiers montre que, si l'entrée en production de l'arbre intervient alors que celui-ci édifie son modèle initial, la pérennisation de la fructification se produit quand l'arbre est dans sa phase coloniale, c'est-à-dire quand son unité architecturale est envahie par les complexes réitérés [39]. Le manguier illustre particulièrement bien ce phénomène : les complexes réitérés portent une part de plus en plus importante des fruits à mesure que l'arbre vieillit. La gestion dans le temps et l'espace des complexes réitérés apparaît donc importante pour la définition d'itinéraires culturaux prenant en compte la mise au point de la structure technique du verger (distance de plantation, hauteur de

l'arbre, palissage) et les éléments de base de la conduite des arbres (arcure et taille notamment).

5. conclusion : quelques propositions de recherches et d'applications

Ainsi que le montre l'exemple du pommier, en zone de climat tempéré, l'approfondissement de la connaissance biologique de l'arbre fruitier est la condition d'une amélioration qualitative des modes de conduite, en termes d'entrée en production et de régularité de la fructification. Plus particulièrement, l'accès à la variabilité génétique, au sein d'une même espèce, s'avère potentiellement très riche dans la mesure où il permet d'analyser les relations entre des organisations morphologiques et des comportements fructifères variés. La diversité des stratégies naturelles indique alors les voies d'amélioration possibles. Les préconisations d'arcure et d'extinction artificielle en sont des exemples pour le pommier. Les éléments acquis sur la biologie du manguier permettent d'envisager dès à présent deux voies d'amélioration possibles.

Pour les ensembles à croissance végétative spécifique, l'utilisation de l'arcure et les incisions annulaires seront aptes à stimuler la formation des complexes réitérés de type axes proleptiques retardés, rapidement fructifères. Ce travail doit s'appuyer sur une analyse détaillée de l'influence de ces complexes sur la croissance globale de l'arbre, afin de déterminer les équilibres indispensables à une fructification à la fois de qualité et pérenne.

Dans le cas de la croissance végétative globale, il faudra chercher à synchroniser davantage les périodes d'activité végétative, et notamment la croissance végétative d'après-récolte, et de repos nécessaire à la formation des futures inflorescences. Dans la pratique, un meilleur calage du calendrier de fumure et d'irrigation peut être envisagé pour induire un cycle pour les étapes phénologiques de l'arbre et régulariser la production.

Ces deux types d'organisation végétative en lien avec la fructification doivent être intégrés dans une compréhension plus générale de l'équilibre entre végétation et fructification à l'échelle de l'arbre entier. Ces travaux peuvent déboucher sur des applications en verger : estimation de la charge optimale et des facteurs déterminants de la régularité de la production des arbres fruitiers, intérêt agronomique du renouvellement ou, a contrario, du vieillissement des structures fructifères, qualité du fruit en fonction de sa position dans la couronne de l'arbre.

références

- [1] Bernhard R., Mise à fleur et alternance chez les arbres fruitiers, In : Congrès pomologiques, Inra, Paris, 1961, pp. 91–116.
- [2] Lespinasse J.M., La conduite du pommier. I – Types de fructification. Incidence sur la conduite de l'arbre, Invuflec, Paris, 1977, 80 p.
- [3] Lespinasse J.M., La conduite du pommier. II – L'axe vertical, La rénovation des vergers, Invuflec, Paris, 1 980, 120 p.
- [4] Lauri P.É., Lespinasse J.M., Apple tree training in France: current concepts and practical implications, *Fruits* 54 (6) (1999) (à paraître).
- [5] Gaillard J.P., L'avocatier, sa culture, ses produits, Maisonneuve & Larose, Paris, France, 1987.
- [6] Aubert B., Possibilités de production de mangues greffées à la Réunion, *Fruits* 30 (7–8) (1975) 447–479.
- [7] Costes E., Analyse architecturale et modélisation du litchi (*Litchi chinensis* Sonn.), Contribution à l'étude de son irrégularité de production à l'île de la Réunion, thèse, université Montpellier-II, France, 1988.
- [8] Rey J.Y., Étude architecturale du goyavier. I. Problématique, *Fruits* 54 (3) (1998) 191–197.
- [9] Rey J.Y., Étude architecturale du goyavier, II. Expérimentations, *Fruits* 54 (4) (1998) 241–255.
- [10] Rey J.Y., Étude architecturale du goyavier, III. Interprétations, *Fruits* 54 (6) (1998) 409–420.
- [11] Goguey T., Approche architecturale des mécanismes de la croissance et de la floraison du manguier, thèse, université Montpellier-II, France, 1995.
- [12] Costes E., Description de l'architecture et de la floraison du litchi, Considérations sur la maîtrise de l'alternance de sa production, *Fruits* 50 (3) (1995) 191–204.
- [13] Lespinasse J.M., Apple orchard management practices in France. From the vertical axis to the Solaxe, *Compact Fruit Tree* 29 (1996) 83–88.
- [14] Lauri P.É., Lespinasse J.M., The vertical axis and solaxe systems in France, In: Proceedings of XXV International Horticultural Congress, Bruxelles, Belgique, 2–7 août 1998, *Acta Hortic.* (À paraître).
- [15] Gosselin H.J., Pasquier J., Gaillard J.P., Foury C., Production horticole alimentaire et médicinale, In : Le bon jardinier, La maison rustique, Paris, France, 153^e édition, 1992, pp. 795–886.
- [16] Lespinasse J.M., Lauri P.É., Influence of fruiting habit on the pruning and training of fruit trees, *Compact Fruit Tree* 29 (1996) 75–82.
- [17] Lespinasse J.M., Delort F., Apple tree management in vertical axis: appraisal after ten years of experiments, *Acta Hortic.* 160 (1986) 120–155.
- [18] Lepage M., L'arcure, In : Congrès pomologiques, 77^e session, Dijon, France, 1946, pp. 164–173.
- [19] Lespinasse J.M., Réflexions sur la conduite du pommier. Une nouvelle forme : le Solen, *Arboriculture Fruitière* 399 (1987) 45–48.
- [20] Lauri P.É., Térouanne É., Lespinasse J.M., Regnard J.L., Kelner J.J., Genotypic differences in the axillary bud growth and fruiting pattern of apple fruiting branches over several years. An approach to regulation of fruit bearing, *Sci. Hortic.* 64 (4) (1995) 265–281.
- [21] Lauri P.É., Lespinasse J.M., Térouanne É., Relationship between the early development of apple fruiting branches and the regularity of bearing. An approach to the strategies of various cultivars, *J. Hortic. Sci.* 72 (4) (1997) 519–530.
- [22] Lauri P.É., Lespinasse J.M., Vegetative growth and reproductive strategies in apple fruiting branches. An investigation into various cultivars, *Acta Hortic.* 451 (1997) 717–724.
- [23] Lauri P.É., Lespinasse J.M., Vers un meilleur contrôle de la fructification, *Arboriculture Fruitière* 510 (1997) 37–42.
- [24] Trisonthi C., Description et clé d'identification de quelques fruitiers tropicaux comestibles, *Fruits* 47 (2) (1992) 331–348.
- [25] Scarrone F., Recherche sur les rythmes de croissance du manguier et de quelques végétaux ligneux malagasy, thèse, Clermont-Ferrand, France, 1969, 438 p.

- [26] Lauri P.É., Térrouanne É., Éléments pour une approche morphométrique de la croissance végétale et de la floraison : le cas d'espèces tropicales du modèle de Leeuwenberg, *Can. J. Bot.* 69 (1991) 2095–2112.
- [27] Whiley A.W., Rasmussen T.S., Saranah J.B., Wolstenholme B.N., Effect of temperature on growth, dry matter production and starch accumulation in ten mango (*Mangifera indica* L.) cultivars, *J. Hort. Sci.* 64 (6) (1989) 753–765.
- [28] Robert J.P., Wolstenholme B.N., Phenological cycles and seasonal carbohydrate fluctuations of three mango cultivars: an update on current research in the Nkwalini valley, Natal, South African Mango Growers' Association Yearbook 13 (1993) 2–10.
- [29] Oosthuysen S.A., Pruning of Sensation mango trees to maintain their size and effect uniform and later flowering, South African Mango Growers' Association Yearbook 14 (1994) 1–6.
- [30] Oosthuysen S.A., Pruning of mango trees: an update, South African Mango Growers' Association Yearbook 15 (1995) 1–8.
- [31] Wolstenholme B.N., Whiley A.W., Ecophysiology of the mango tree as a basis for pre-harvest management, South African Mango Growers' Association Yearbook 15 (1995) 10–17.
- [32] Lespinasse J.M., Delort F., Regulation of fruiting in apple. Role of the bourse and crowned brindles, *Acta Hort.* 349 (1993) 239–246.
- [33] Lauri P.É., Térrouanne É., Effects of inflorescence removal on the fruit set of the remaining inflorescences and development of the laterals on one year old apple (*Malus domestica* Borkh) branches, *J. Hort. Sci. & Biotechnol.* 74 (2) (1999) 110–117.
- [34] Forshey C.G., Elfving D.C., The relationship between vegetative growth and fruiting in apple trees, *Hortic. Rev.* 11 (1989) 229–287.
- [35] Crabbé J., Vegetative vigor control over location and fate of flower buds, in fruit trees, *Acta Hort.* 149 (1984) 55–63.
- [36] Lauri P.É., Térrouanne É., Lespinasse J.M., Quantitative analysis of relationships between inflorescence size, bearing-axis size and fruit-set. An apple tree case study, *Ann. Bot. London* 77 (1996) 277–286.
- [37] Gaillard J.P., Essai de conduite de l'avocatier en haie fruitière, *Fruits* 26 (6) (1971) 443–448.
- [38] Bertin Y., La taille de l'avocatier à la Martinique, *Fruits* 31 (6) (1976) 391–399.
- [39] Hallé F., Edelin C., L'analyse architecturale des arbres, In : 6^e colloque sur les recherches fruitières, Inra-Ctifl, Paris, France, 1986, pp. 5–19.

Reflexión sobre el manejo del manzano y del mango. Elementos de investigación y de aplicaciones.

Resumen — Introducción. La meta de este artículo es relacionar el desarrollo del manzano, del cual ciertos conceptos recientes permitieron mejorar el manejo, y del mango, a fin de desprender orientaciones de investigación para un mejor control de la producción del mango. **El manzano en zona temperada: evolución de los conceptos de manejo.** En los manzanos, existe una relación entre el porte de los distintos cultivares y la tendencia a la alternancia de producción. Estudios llevaron a desarrollar la noción de rama frutera, unidad de trabajo cuyo desarrollo debe ser vigilado por el arboricultor. **El mango en zona intertropical: crecimiento y funcionamiento fructífero.** El mango tiene un crecimiento rítmico. Sus ejes son el resultado del amontonamiento de unidades de crecimiento sucesivos. Su arquitectura procede de tres unidades de organización: la unidad arquitectural (UA); los complejos reiterados precoces; los complejos reiterados retrasados, UA "mínimas" dentro de las dos estructuras anteriores. La separación temporal y espacial de los acontecimientos vegetativos y reproductivos hace que los meristemas tienen funcionamientos diferidos y de frecuencia variable acorde a las categorías de ejes. **Elementos para un nuevo enfoque del manejo del mango.** La confrontación de los trabajos realizados sobre manzano y mango permite discutir tres temas: los niveles de integración en el árbol y su interés agronómico; las relaciones entre crecimiento vegetativo y floración; el dominio de la fructificación mediante el manejo del árbol. **Conclusión: algunas propuestas de investigaciones y de aplicaciones.** Los elementos adquiridos sobre el manejo del manzano y la biología del mango permiten presentar, para este árbol, dos vías de mejora de su manejo. © Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

***Malus / Mangifera indica* / formación de la planta / crecimiento / floración / fructificación**