



Unité Expérimentale
Recherche Intégrée
Domaine de Gotheron
26320 Saint-Marcel-lès-Valence

Arboriculture biologique :
11 années d'expérimentation
en vergers de pêchers et pommiers

Résultats expérimentaux 1994-2004
Suivi longitudinal
Impact du mode de production



Partenariat : Agribiodrôme, GRAB

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA



Arboriculture biologique : 11 années d'expérimentation en vergers de pêchers et pommiers

Sylvaine Simon^{1*}, Claude Bussi¹, Thierry Girard¹, Nathalie Corroyer²

¹ INRA Gotheron - ² GRAB

◆ adresse actuelle : nathalie.corroyer@seine-maritime.chambagri.fr

Programmes et expérimentations réalisées sur le site de l'unité

INRA Gotheron

Institut National de la Recherche Agronomique
Unité Expérimentale de Recherche Intégrée - 26320 SAINT MARCEL LES VALENCE - Tél. 04.75.59.92.00

en partenariat avec :

Agribiodrôme

BP 17 - Avenue de la Clairette - 26150 DIE - Tél. 04.75.22.04.31 - mél : agribiodrome@wanadoo.fr

GRAB

Groupe de Recherche en Agriculture Biologique
Site Agroparc - BP 1222 - 84911 AVIGNON Cédex 9 - Tél. 04.90.84.01.70 - mél : arboriculture.grab@freesbee.fr

Ont contribué au programme "Optimisation des techniques en arboriculture biologique"

Agribiodrôme : J. Boccaccio, G. Ganivet, F.X. Getti (animateurs) ;

R. Carle, M. Combiér, GAEC Fauriel, S. Fauriel, G. Fressinet, J. Margerie, P. Mathieu, C. Panissod (producteurs) ;

GRAB : C. Bertrand, R. Desvaux, A.L. Domange, J. Fauriel, C. Gomez, G. Libourel, S.J. Ondet, L. Romet, F. Warlop ;

INRA Gotheron : C. Asencio, P. Asencio, R. Barbier, C. Bernard-Bruno, J. Besset, J. Beuffre, L. Brun, R. Chalamet, D. Chauffour, G. Clauzel, F. Combe, M. Cotte, V. Cotte, F. Cotte-Martinon, M. Debourg, H. Defrance, D. De Le Vallée, A. Duc, R. Dupland, A. Galet, L. Galet, O. Guibert, A. Jaubert, G. Lantheaume, G. Marboutie, F. Merlin, V. Mercier, S. Puléo, D. Riotord, X. Said, J.P. Tabardel, H. Virzi.

Merci à tous !

en particulier à Geneviève Ganivet (Agribiodrôme) pour son implication dans les débuts de cette démarche expérimentale collective en AB et à Agnès Jaubert pour la conception et la réalisation de cet ouvrage.

D'autres actions, conduites hors de ce programme sur les parcelles expérimentales AB de Gotheron, sont également présentées dans ce document ; elles constituent des travaux originaux appartenant aux auteurs mentionnés en début des chapitres correspondants.

Merci à :

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable
INRA, Comité Interne pour l'Agriculture Biologique (Ciab)
INRA - Action transversale "Production Fruitière Intégrée" (PFI)
INRA - Action transversale "Production Intégrée des Cultures" (PIC)
Société Manu Engrais Michut
pour leur participation financière ou contribution à certaines actions du programme en AB de l'UERI Gotheron.

* Coordination programme :
S. Simon (INRA Gotheron)
mél : sylvaine.simon@avignon.inra.fr
tél : 04.75.59.92.21

Réalisation document :
A. Jaubert (INRA Gotheron)
mél : agnes.jaubert@avignon.inra.fr

AVANT PROPOS

Le programme "Optimisation des techniques en arboriculture biologique" a débuté en 1993, à l'initiative d'Agribiodrôme^a (Association de développement de l'Agriculture Biologique (AB) en Drôme).

De 1994 à 1999, il a associé les 3 partenaires suivants :

- Agribiodrôme,
- le GRAB^b (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique), qui a apporté un appui méthodologique et son expérience en arboriculture biologique,
- l'Unité Expérimentale de Recherche Intégrée INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) de Gotheron^c, qui a assuré la conduite des parcelles expérimentales AB de pêchers et pommiers et les suivis expérimentaux.

De 2000 à 2004, le GRAB et l'INRA de Gotheron ont poursuivi la recherche sur la base du dispositif expérimental existant, en orientant le programme de travail sur les questions-clés identifiées à l'issue de la première période d'expérimentation en vergers de pêchers et pommiers. Au cours de cette période, d'autres partenaires scientifiques et financiers se sont associés à certaines actions conduites dans ce cadre-là.

Par ailleurs, d'autres essais multisites en AB ont également été mis en place à l'INRA de Gotheron en relation avec le GRAB : verger de pommiers à faibles niveaux d'intrants, évaluation d'hybrides de pêchers pour leur sensibilité à la cloque (coordination GRAB), méthodes culturales et protection contre la tavelure (coordination INRA Gotheron). Ils ne sont pas repris ici et font (ou feront) l'objet de publications distinctes.

Ce document constitue une synthèse des principaux résultats expérimentaux acquis pour la situation de Gotheron pendant les 11 années d'étude, ainsi qu'un témoignage sur la conduite d'un programme original du fait de son approche (le système de culture) et sa construction (continuum profession-expérimentation-recherche). Sont présentés ici :

(i) le suivi longitudinal de 3 vergers en production (pêche, pomme), incluant l'identification de verrous techniques pour notre situation (participation financière INRA Ciab Comité Interne pour l'Agriculture Biologique) ;

(ii) des expérimentations plus spécifiques, ciblées sur certains des principaux verrous techniques à la production en arboriculture biologique :

- cloque et puceron vert en verger de pêchers
- puceron cendré en verger de pommiers (collaboration B. Sauphanor, P.E. Lauri ; participation financière INRA Action Transversale "Protection Intégrée des Cultures") ;

(iii) une analyse de l'impact du mode de production pour le sol, et pour l'entomofaune du verger (collaboration B. Sauphanor ; participations financières Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et INRA Action Transversale "Production Fruitière Intégrée").

a Agribiodrôme - B.P. 17 - Avenue de la Clairette - 26150 DIE
- tél : 04 75 22 04 31

b GRAB - BP 1222 - 84911 AVIGNON Cédex 9
- tél : 04 90 84 01 70

c INRA-UERI - Domaine de Gotheron - 26320 ST MARCEL-lès-VALENCE - tél : 04 75 59 92 00

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	3
SOMMAIRE	4
INTRODUCTION	5
1. MILIEU D'ETUDE, VERGERS EXPERIMENTAUX ET PARAMETRES ENREGISTRES	6
1.1. climat	6
1.2. sol	7
1.3. vergers expérimentaux	8
1.4. contrôles et suivis réalisés	9
2. PRODUCTION EN VERGER DE PECHERS AB	11
2.1. verger en conversion Flavorcrest	11
2.2. verger implanté en AB Bénédicte®	19
2.3. réduction des quantités de cuivre utilisées en protection contre la cloque <i>Taphrina deformans</i>	24
2.4. comportement agronomique d'une variété de pêcher résistante à <i>Myzus persicae</i>	27
2.5. conclusion pêchers	29
3. PRODUCTION EN VERGER DE POMMIERS AB	30
3.1. verger implanté en AB Smoothie	30
3.2. nutrition azotée du pommier et puceron cendré <i>Dysaphis plantaginea</i>	40
3.3. conduite de l'arbre et développement du puceron cendré <i>Dysaphis plantaginea</i>	42
3.4. conclusion pommiers	45
4. IMPACT DU MODE DE PRODUCTION	46
4.1. sol	46
4.2. entomofaune du verger de pommiers	47
5. CONCLUSION GENERALE	51
5.1. production en arboriculture biologique	51
5.2. le verger AB : une opportunité pour repenser le système verger et sa gestion ?	52
BIBLIOGRAPHIE	53
INDEX	55
PUBLICATIONS	56
ANIMATIONS ET PARTICIPATIONS	57
RESUME	58
ABSTRACT	59

INTRODUCTION

Les questions, les enjeux, les objectifs

La mise en place de ce programme s'est inscrite dans une double optique :

- répondre aux attentes des professionnels en arboriculture
 - mieux connaître le verger AB et son fonctionnement
 - optimiser sa conduite et maîtriser les verrous techniques
 - investir ou ré-investir de la connaissance dans le système de culture pour pallier aux contraintes de la production AB.

Les enjeux concernaient donc des aspects techniques et technico-économiques.

- développer une recherche intégrée ayant pour objet le système verger, pour un mode de production sous contraintes, l'agriculture biologique :
 - acquérir tout d'abord des références techniques et technico-économiques, permettant la "lecture" du verger AB par rapport au référentiel conventionnel
 - intégrer des résultats de la recherche
 - identifier et faire remonter des questions spécifiques du système AB vers la recherche d'amont
 - développer une approche multi-factorielle en vue de maîtriser certains verrous techniques
 - envisager l'impact du mode de production.

Les moyens et l'approche de la thématique

Deux productions fruitières, la pomme et la pêche, ont été retenues pour cette étude du fait de leurs représentativités locale et/ou nationale. Les trois vergers expérimentaux supports de l'étude, convertis ou implantés en AB, ont été conduits sur le site de l'unité expérimentale INRA Gotheron et certifiés tout au long de l'expérimentation.

L'originalité de la démarche a également résidé dans la conduite du programme, en relation avec les producteurs et avec un fonctionnement collégial entre partenaires du programme, ce qui a permis des échanges permanents, un cheminement commun, et une dynamique certaine dans le cadre d'une thématique très ouverte.

Les résultats présentés dans ce document constituent le bilan de 11 années d'expérimentation conduite dans ce cadre. Ils sont relatifs aux aspects agronomiques, dont phytosanitaires, et technico-économiques. Ils s'expriment en termes de performance et contraintes enregistrées dans les vergers expérimentaux, d'analyse et d'études spécifiques de certains verrous techniques (cloque, puceron vert en verger de pêchers ; puceron cendré en verger de pommiers) et d'impact du mode de production pour le sol et l'entomofaune.

1. MILIEU D'ETUDE, VERGERS EXPERIMENTAUX ET PARAMETRES ENREGISTRES

1.1. Climat

Les parcelles sont situées dans la Drôme en moyenne vallée du Rhône, à proximité de Valence (fig. 1), dans une région de production de fruits à noyaux (abricotiers, pêchers), appartenant au Bassin Rhône-Méditerranée.

Le climat est semi-continentale avec des influences méditerranéennes (climat "Vallée du Rhône" - fig. 2). La moyenne annuelle 1966-2004 enregistrée par la station météorologique de Gotheron (26320 Saint-Marcel-lès-Valence) est de 12.3 °C pour la température moyenne et de 886 mm pour les précipitations. En moyenne (période 1971-2004), 2129 heures annuelles de soleil sont enregistrées.

Pour la production fruitière, la sécheresse estivale rend nécessaire l'irrigation à cette période. Le risque de gelées au printemps est réel, demandant pour certaines parcelles la mise en œuvre de mesures de lutte (aspersion, chauffage) même si le Mistral, vent soufflant régulièrement du Nord tout au long de l'année, limite ces risques.



Domaine de Gotheron

Au cours de la période 1994-2004, les années suivantes sont remarquables :

- manque d'ensoleillement en 1996 (1712 h),
- déficit de précipitations (572 mm) et températures élevées en 1997,
- pluviométrie importante en 1999 (1049 mm) et en 2002 (1257 mm),
- ensoleillement important (environ 2500 h) de 1999 à 2002, s'accompagnant de températures supérieures à la moyenne,
- gel en avril 2003 ayant affecté la production de pêche,
- été caniculaire en 2003, avec ensoleillement exceptionnel pour l'année (2781 h),
- déficit pour la pluviométrie en 2004 (722 mm).



Figure 1 : localisation du site d'étude

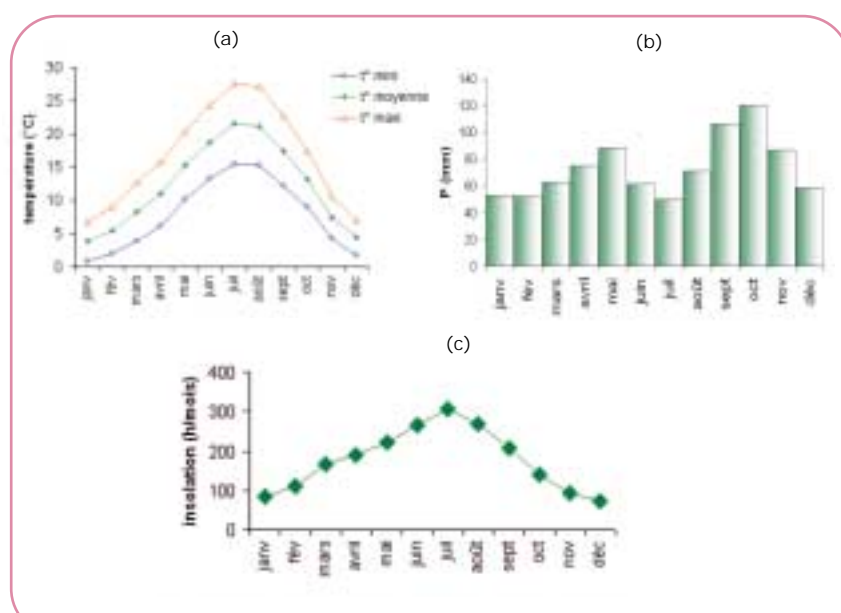


Figure 2 : moyennes mensuelles 1966-2004 (a) des températures minimales, moyennes et maximales ; (b) des précipitations et (c) de l'insolation (période 1971-2004) à Gotheron

1.2. Sol

Les parcelles d'expérimentation sont situées sur une terrasse ancienne du Rhône, sur des sols issus de l'étage géologique du *Diluvium alpin*. Peu profonds, caillouteux et lessivés, ces sols se caractérisent par (Bornand, 1968) :

- une couleur rouge, liée à la présence de sesquioxydes de fer et de manganèse,
- un pH peu élevé proche de 5.5,
- une faible teneur en matière organique (de l'ordre de 1%),
- une capacité d'échange cationique CEC également peu élevée,
- une teneur en argile variable (fig. 3a, fig. 3b), et une texture du sol classée "sable argilo-limoneux" (fig. 3c).

Dans ce type de sol, la pénétration des racines des arbres fruitiers se limite principalement à l'horizon de surface profond d'une quarantaine de centimètres (fig. 4). Les caractéristiques physico-chimiques du sol (réserves et disponibilité limitées des éléments nutritifs) demandent une stratégie d'apports fertilisants permettant notamment :

- d'augmenter le pH, par des apports calciques et magnésiens,
- d'augmenter le taux de matière organique du sol, par apport de matière organique,
- d'assurer la disponibilité en éléments minéraux, en fonction des besoins de l'arbre, par un fractionnement des apports fertilisants.

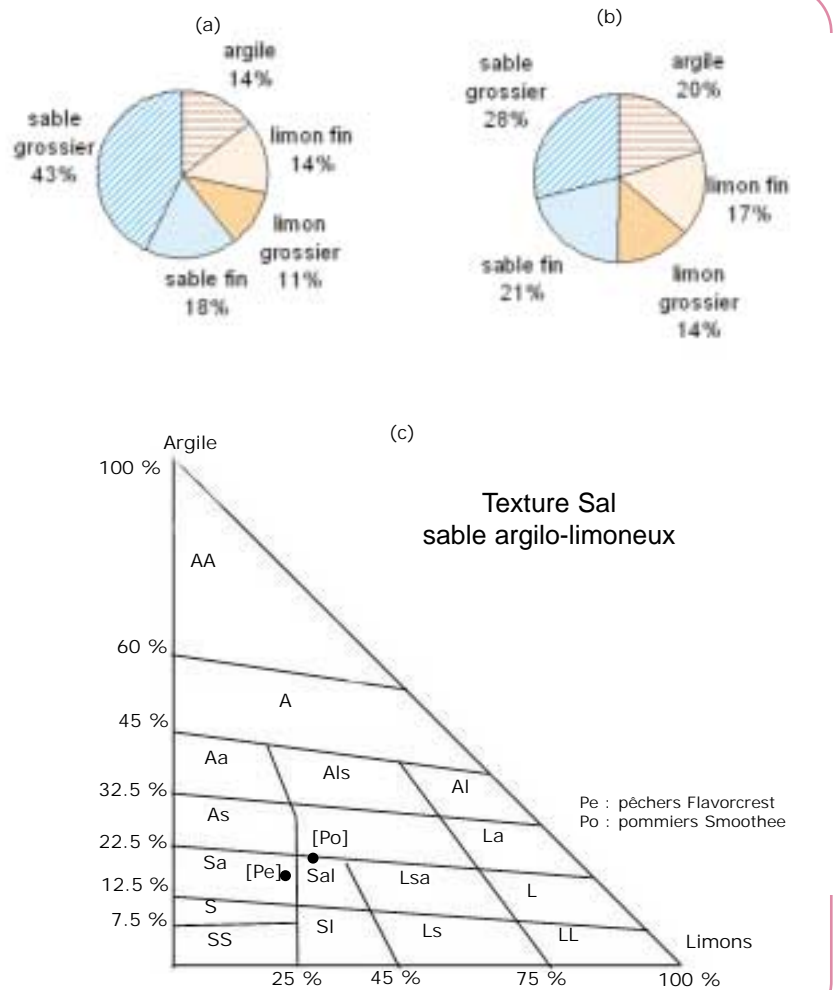


Figure 3 : granulométrie du sol de l'horizon de surface de 2 parcelles d'étude. (a) pêchers Flavorcrest ; (b) pommiers Smoothee ; (c) triangle de granulométrie et situation de ces 2 parcelles expérimentales AB

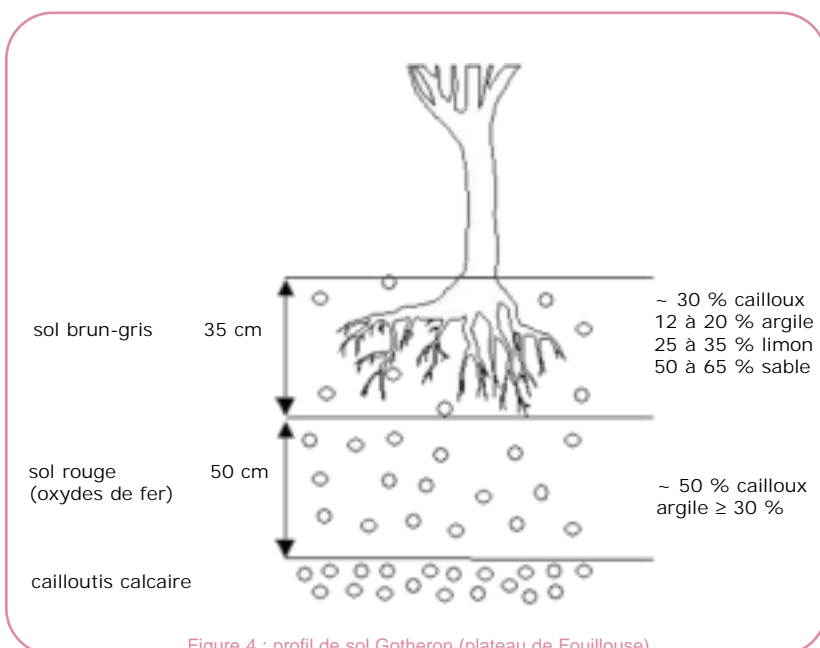


Figure 4 : profil de sol Gotheron (plateau de Fouillouse) d'après Concaret & Lesage (1963)

En raison de la faible réserve utile de ces sols (faible profondeur, texture grossière), l'irrigation est également à piloter en fractionnant les apports. L'irrigation localisée convient à cette situation agro-pédologique, d'autant que le sol rouge (fig. 4), en dessous de l'horizon de surface, permet le maintien d'une réserve en eau sous-jacente, capable de limiter les stress hydriques en période estivale.

1.3. Vergers expérimentaux

1.3.1. Verger de pêchers Flavorcrest

Les caractéristiques de la parcelle de pêchers Flavorcrest sont reprises dans le tableau 1. Le choix de cette parcelle, dont la période de conversion s'étend de 1994 à 1996, a été motivé par une conduite de la fertilisation à partir d'amendements exclusivement organiques dès sa plantation.



Verger de pêchers Flavorcrest

Tableau 1 : caractéristiques de la parcelle de pêchers Flavorcrest

PECHER AB	caractéristiques
variété	Flavorcrest, pêche jaune de saison, maturité vers mi-juillet (1ère cueille entre le 09/07 et le 19/07 pour la période 1994-1999)
année de plantation	1984
porte-greffe	Rubira (quelques Higama)
superficie	2275 m ²
distances de plantation	5m x 3m50
irrigation	microjet ou goutte-à-goutte
date conversion AB	1994
forme et hauteur de l'arbre	gobelet, hauteur verger 3m
entretien inter-rang	enherbé depuis 1994
entretien rang	travail mécanique à partir de 1994, désherbage chimique auparavant
fertilisation	organique depuis la plantation (fumier de bovins 1984-1993 puis compost)

1.3.2. Verger de pêchers Bénédicte®

Ce verger a été implanté en 1999 et conduit en AB dès la plantation (tab. 2) ; il a pris le relais du verger expérimental de Flavorcrest précédemment cité, âgé de 15 ans en 1999. La variété plantée est Bénédicte®, plus tardive, et connue pour sa faible sensibilité à la cloque (Mandrin, 2003) et aux monilioses en verger (Mercier, comm. pers.). Les distances de plantation ont été choisies en vue de permettre une meilleure aération de la frondaison et de limiter les transferts d'inoculum de monilioses d'arbre à arbre (5 m x 4 m).

Dès sa conception, ce verger de pêchers AB intègre donc des facteurs cultureux et structurels permettant d'optimiser la protection contre la cloque et les monilioses.

Une ligne adjacente à ce verger (soit 500 m²) a été implantée avec la variété S 6697 (obtention R. Monet, INRA Bordeaux), résistante au puceron vert du pêcher *Myzus persicae* Sulzer (Hemiptera : Aphididae). Elle est conduite en AB mais sans différenciation de son pilotage par rapport à Bénédicte®.

Tableau 2 : caractéristiques de la parcelle de pêchers Bénédicte®

PECHER AB	caractéristiques
variété	Bénédicte®, pêche blanche, maturité début août (1ère cueille entre le 29/07 et le 05/08 pour la période 2001-2004)
date de plantation	06/01/1999
porte-greffe	Montclar®
superficie	2500 m ² + 500 m ² pour S 6697, soit au total 3000 m ²
distances de plantation	5m x 4m
précédent cultural	orge
irrigation	microjet, suivi tensiométrique depuis 2001
date conversion AB	1999 (plantation)
forme et hauteur de l'arbre	gobelet, verger piéton (arbre < 2m)
entretien inter-rang	enherbé depuis 2001 (semis ray-grass septembre 2000), travail mécanique auparavant
entretien rang	travail mécanique depuis 1999

1.3.3. Verger de pommiers

Cette parcelle, plantée avec la variété Smoothee 2832 T[®] (Smoothee) a été conduite en AB dès sa plantation, réalisée tardivement au cours de l'hiver 1993-94 en raison de l'état du sol et de l'approvisionnement en amendement (tab. 3).

La variété Smoothee est classée "moyennement à très sensible" à la tavelure (Parisi & Trillot, 1993 ; Parisi *et al.*, 2004) ; sa période de maturité se situe vers le 15 septembre dans notre région.



Verger de pommiers Smoothee

Tableau 3 : caractéristiques de la parcelle de pommiers Smoothee

POMMIER AB	caractéristiques
variété	Smoothee 2832 T [®] , mutant de Golden Delicious (début de récolte du 03/09 au 24/09 pour la période 1995-2004)
date de plantation	07/03/1994
porte-greffe	M9 clone EMLA
pollinisateur	<i>Malus floribunda</i> (Baugène et Golden Gem)
superficie	2500 m ²
distance de plantation	4m x 2m
précédent cultural	lupin
irrigation	localisée : microjet depuis 1995, suivi tensiométrique depuis 1996
date de conversion AB	1994 (plantation)
forme	Solaxe (Lauri & Lespinasse, 1999), hauteur ~2.2m
inter-rang	enherbé depuis 1995 (semis ray-grass août 1994)
rang	travail mécanique depuis 1994

1.4. Contrôles et suivis réalisés

Chaque année, pour chaque parcelle expérimentale, la performance du verger, la fertilité du sol, l'état physiologique et la vigueur de l'arbre, l'impact des bio-agresseurs ainsi que les moyens mis en œuvre pour conduire le verger ont été enregistrés en utilisant différents paramètres.

Des contrôles et analyses plus ponctuels, ou liés à des essais spécifiques, ont également pu être mis en œuvre, mais ne sont pas présentés dans ce paragraphe. Ils sont repris dans les chapitres correspondant à ces thèmes ponctuels ou spécifiques.

1.4.1. Paramètres agronomiques liés à la fertilité du sol, à la nutrition de l'arbre et à la production

Sauf exception, les données suivantes ont été enregistrées :

- rendement pour chaque récolte
- poids moyen, calibre des fruits d'un échantillon de chaque récolte
- qualité du fruit : indice réfractométrique (IR), acidité, fermeté (pêches) pour la récolte principale
- périmètre des troncs, mesuré en hiver, indicateur de la croissance et de la vigueur des arbres
- analyses minérales de sol (automne), et plus ponctuellement, analyse de l'activité biologique du sol (printemps)
- analyses minérales de feuilles à F(floraison) + 100 jours et à la récolte
- analyses minérales de fruits à la récolte.

Les prélèvements d'échantillons de tissus végétaux ont été réalisés selon les spécifications des laboratoires d'analyses. Pour le sol, un prélèvement de l'horizon de surface entre 10 et 25 cm de profondeur a été réalisé en 6 points de chaque parcelle (chacune voisine de 2500 m² de surface homogène) ; environ 1 kg de terre fine issue du mélange de ces 6 points de prélèvement a été envoyé au laboratoire pour analyse.

Les analyses minérales ont été réalisées par les laboratoires d'analyses de l'INRA de Bordeaux et d'Arras pour les végétaux et le sol, respectivement. Les analyses d'activité biologique ont été réalisées par le LAMS (Laboratoire d'Analyse Microbiologique des Sols, 21120 Is-sur-Tille). Toutes les autres mesures ont été réalisées par l'INRA de Gothenon.



Prélèvement échantillon de sol

1.4.2. Contrôles des bio-agresseurs et description du cortège d'auxiliaires

Les principaux ravageurs et maladies de chaque espèce fruitière ont été recensés selon les méthodes de contrôle en verger proposées par l'ACTA (1974, 1979).

● Les bio-agresseurs du pêcher suivants ont été observés :

- les pucerons, puceron vert *M. persicae* et puceron noir *Brachycaudus persicae* (Passerini) (Hemiptera : Aphididae), par contrôle de l'infestation sur rameaux au printemps ;
- la tordeuse orientale *Cydia molesta* (Busck) (Lepidoptera : Tortricidae) et la petite mineuse *Anarsia lineatella* Zeller (Lepidoptera : Gelechiidae), avec contrôles en saison sur pousses et fruits, contrôle sur fruits à la récolte ;
- les thrips (Thysanoptera), dont *Frankliniella occidentalis* (Pergande) (Thripidae), avec contrôle de l'infestation sur fleurs, et des dégâts sur fruits à la récolte ;
- l'oïdium du pêcher *Sphaerotheca pannosa* (Wallr.) Lev. (contrôle sur fruits à la récolte) ;
- les maladies de conservation dont les monilioses (*Monilinia* spp.), avec contrôle sur fruits à la récolte et mise en conservation d'échantillons ;
- la cloque *Taphrina deformans* (Berk.) Tul., avec proposition de la notation suivante, en l'absence de références dans la bibliographie. La notation s'effectue par contrôle visuel de l'arbre entier, et l'infestation est notée par classes :
 - . classe 0 : pas de rosette infestée,
 - . classe 1 : 1 à 10 rosettes infestées,
 - . classe 2 : 10 à 30 rosettes infestées,
 - . classe 3 : 30 à 50 rosettes infestées,
 - . classe 4 : plus de 50 rosettes infestées.

● Les bio-agresseurs du pommier suivants ont été observés :

- les pucerons, dont le puceron vert migrant *Rhopalosiphum insertum* (Walker), le puceron vert du pommier *Aphis pomi* de Geer et le puceron cendré *Dysaphis plantaginea* (Passerini) (Hemiptera : Aphididae), par contrôle de l'infestation sur rameaux au printemps ;
- le carpocapse *Cydia pomonella* (L.) (Lepidoptera : Tortricidae), par contrôles sur fruits durant la période de vol et à la récolte ;
- la zeuzère *Zeuzera pyrina* (L.) (Lepidoptera : Cossidae), par contrôle des dégâts sur les arbres ;
- la tavelure *Venturia inaequalis* (Cooke) G.Wint, par contrôles sur pousses et fruits, notamment en fin de contamination primaire (début juin) et à la récolte ;
- l'oïdium du pommier *Podosphaera leucotricha* (Ell. et Ev.) Salmon, également par contrôles sur pousses et fruits.

Le recensement de la faune auxiliaire de la frondaison a été réalisé par battage à l'entonnoir de Fauvel (Fauvel *et al.*, 1981) de 20 branches prises au hasard dans le verger (1 seule branche échantillonnée par arbre) par date d'échantillonnage. L'identification conduite au laboratoire sous loupe binoculaire a permis de dénombrer les effectifs des principaux groupes fonctionnels d'auxiliaires (Reboulet, 1999) recensés en culture.

1.4.3. Enregistrements technico-économiques

Les feuilles journalières de travaux renseignées par les intervenants réalisant les opérations culturales dans les parcelles ont permis de disposer des informations suivantes :

- temps de travaux : temps de main d'œuvre et temps de traction, type de matériel utilisé,
- intrants : nature, quantité (ou dose/ha).

L'enregistrement a détaillé les principaux postes de travail : plantation (le cas échéant), conduite de l'arbre, éclaircissage, récolte, protection, fertilisation, entretien du rang. Les autres opérations relatives à la maintenance de l'irrigation, à l'entretien de l'inter-rang, à l'organisation du travail,... généralement peu coûteuses en temps de travail, ont été regroupées sous la rubrique " autres ".

Ces informations ont été enregistrées et gérées par un logiciel de gestion culturale : Gestagri (CEMA-GREF) de 1994 à 2000, puis Arbociel (Arcade Conseil, 27000 Evreux) de 2001 à 2004, permettant de disposer des calendriers de traitements, de la liste des opérations culturales et des matériels ou intrants utilisés. Dans la présentation des résultats, le temps de traction a été cumulé quelle que soit la puissance du matériel utilisé ; en pratique, seule la protection phytosanitaire a nécessité une traction plus importante (120 cv), toutes les autres opérations pouvant être réalisées avec une traction de 80 cv.

A noter que la conformité de la réalisation de la conduite avec le cahier des charges AB (règlement CEE 2092/91, annexes et modifications) a été attestée dans les 3 parcelles expérimentales par un organisme agréé indépendant tout au long de la période d'expérimentation.

2. PRODUCTION EN VERGER DE PÊCHERS AB

Les résultats présentés dans ce chapitre ont été acquis de 1994 à 2004 dans les 2 parcelles de pêchers décrites précédemment, l'une en conversion dès 1994, implantée avec la variété Flavorcrest, et l'autre conduite en AB dès plantation, implantée avec la variété Bénédicte®. En raison de l'âge du verger de Flavorcrest (15 ans en 1999), cette parcelle a été arrachée au printemps 2000, après implantation de l'autre verger en 1999.

Pour ces deux vergers, un suivi longitudinal des paramètres liés à la production, à la fertilité du sol, à la protection du verger et aux temps de travaux a été réalisé et est présenté ci-dessous (§ 2.1. et § 2.2.). Deux expérimentations plus ciblées sur des problèmes-clé de la production de pêches en AB ont également été mises en place : (i) incidence de la réduction des doses de cuivre utilisées en protection contre la cloque du pêcher (expérimentation 1999-2000, § 2.3.) et (ii) comportement agronomique et sensibilité aux bio-agresseurs d'une variété de pêcher résistante au puceron vert du pêcher *M. persicae* (expérimentation 1999-2004, § 2.4.).

2.1. Verger en conversion Flavorcrest

2.1.1. Rendement, qualité du fruit et nutrition de l'arbre

2.1.1.1. rendement et poids moyen

Le rendement avoisine 22 t/ha (fig. 5a) tout au long de la période de conversion et de production en AB, hormis en 1999 (essai cloque, cf. § 2.3, mesure dans modalité 10 kg cuivre). La diminution de rendement par rapport à la moyenne des années précédentes (30 t/ha) peut être mise en relation avec l'âge de la parcelle (15 ans en 1999) et avec certaines modifications de l'itinéraire technique :

- travail du sol sur le rang (racines superficielles détruites),
- enherbement de l'inter-rang du verger (concurrence),
- changement du type d'amendement utilisé : compost à minéralisation lente vs. fumier de bovins précédemment,

et au contrôle inégal de la cloque *Taphrina deformans* certaines années.

Le maintien du niveau de production au fil des années suggère toutefois un équilibre de l'arbre à son potentiel de production pour le mode de conduite pratiqué.

Le poids moyen est plus élevé en 1998, pour un moindre nombre de fruits sur l'arbre (fig. 5b). Le calibre dominant est B en 1995 et 1997 (avec une proportion de calibre A proche de celle de calibre B), A en 1996 et 1999, et AA en 1998, ce qui est globalement satisfaisant d'un point de vue commercial. Le pourcentage de 1er choix a légèrement augmenté en 1997 et 1998 (fig. 5a) ; les dégâts liés aux ravageurs ou maladies n'interviennent que pour une faible part dans ce pourcentage (fig. 6), expliqué par des accidents climatiques (grêle en 1996) et divers défauts des fruits : fermeté insuffisante en 1994, fruits fendus en 1995 et 1997, calibres extrêmes,...

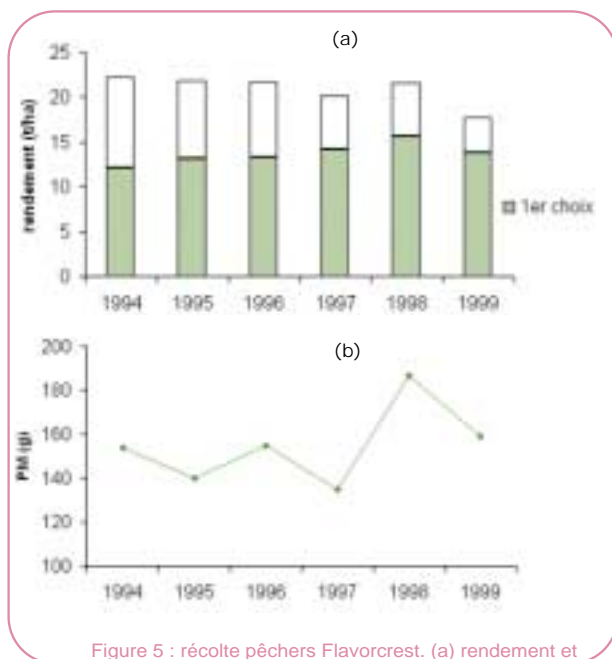


Figure 5 : récolte pêchers Flavorcrest. (a) rendement et 1er choix ; (b) poids moyen

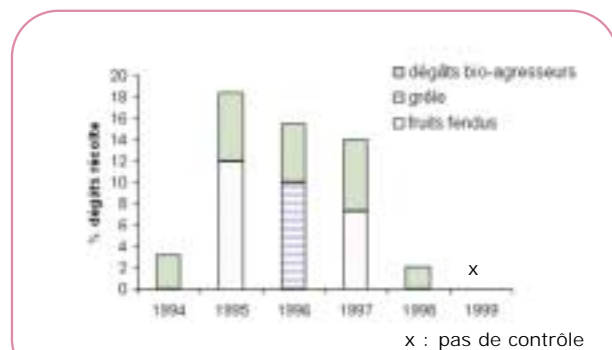


Figure 6 : pourcentage de dégâts sur fruits à la récolte (contrôle de 1000 fruits) - pêchers Flavorcrest

2.1.1.2. qualité du fruit

La teneur en sucre des fruits mesurée par l'indice réfractométrique (fig. 7a) est comprise entre 9.7 et 11.5°Brix, ce qui traduit, selon les années, une qualité satisfaisante à excellente par rapport à la norme de 9.5°Brix (CEMAGREF, 1988) correspondant à une teneur en sucre correcte. Les variations d'indice réfractométrique et celles observées pour l'acidité titrable (fig. 7a) traduisent selon toute probabilité l'incidence des conditions climatiques, différentes selon les années. Le pilotage de l'irrigation réalisé (encadré Pilotage de l'irrigation), incluant une restriction hydrique lors du durcissement du noyau, contribue également à l'élaboration de la qualité du fruit et notamment à sa teneur en sucres (Bussi *et al.*, 1999).

Les valeurs relevées témoignent qu'en dépit d'une fermeté élevée (mesure au pénétromètre) en 1997 et 1998 (fig. 7b), le potentiel qualitatif du fruit était atteint lors de la récolte.

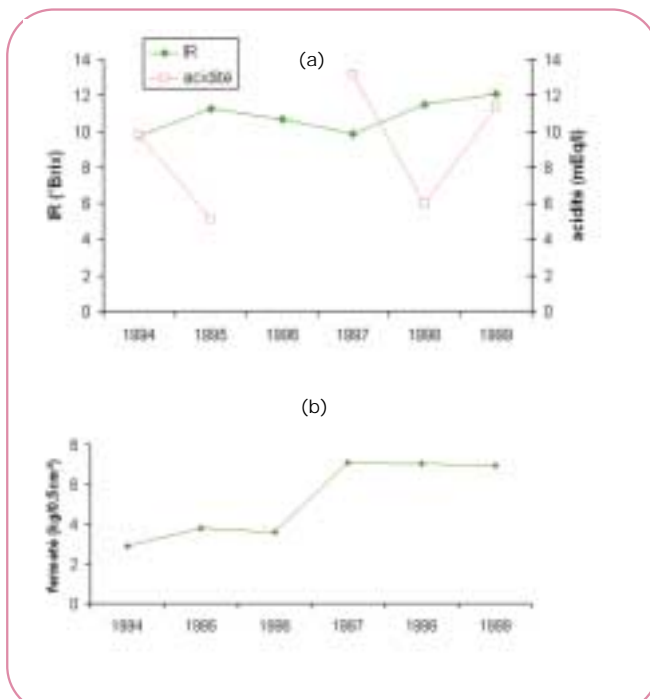


Figure 7 : qualité de la récolte pêchers Flavorcrest. (a) indice réfractométrique et acidité titrable ; (b) fermeté mesurée au pénétromètre

Pilotage de l'irrigation pêchers et pommiers

A l'exception de l'année de plantation pour laquelle l'irrigation peut être réalisée par aspersion, l'irrigation est localisée sur le rang. L'eau d'irrigation, issue de la nappe d'accompagnement de la rivière Isère et distribuée sur le secteur, n'est pas un facteur limitant pour notre situation mais son utilisation est optimisée dans un objectif de qualité de la production.

La dose apportée à chaque irrigation par microjet est d'environ 10-15 mm.

La valeur de l'ETP locale est calculée (formule Penman) à partir des données de la station météorologique implantée sur le site.

En 3 endroits du verger, deux tensiomètres sont implantés à -30 cm et -50 cm, soit 6 tensiomètres au total.

Le déclenchement de la première irrigation intervient quand :

- 2/3 des tensiomètres à -30 cm atteignent 50 cbars ET
- 2/3 des tensiomètres à -50 cm atteignent 30 cbars.

Les apports ultérieurs sont effectués selon la méthode du bilan hydrique suivante :

Dose à apporter = (ETP x coefficient cultural) - précipitations significatives (> 10 mm)

Le coefficient cultural est donné par des tables de référence et les tensiomètres servent alors à vérifier qu'il n'y a pas d'excès d'eau.

Mise en place des tensiomètres dans les parcelles :

- pêchers Flavorcrest : 1996
 - pêchers Bénédicte® : 2001
 - pommiers Smoothee : 1996
- (pour Bénédicte® et Smoothee, irrigation par aspersion la première année de plantation).

Les apports d'eau moyens sont de l'ordre de 3500 m³/ha/an pour le verger de pêchers Bénédicte® (moyenne des années 2001, 2002 et 2004 ; l'année 2003, avec été caniculaire, a été exclue) et de 4000 m³/ha/an pour le verger de pommiers (période 1997-2004).

Cas particulier du verger de pêchers Flavorcrest

Une restriction hydrique a été réalisée de 1996 à 1998 durant les 2 premières phases de croissance du fruit (nouaison à durcissement du noyau), pendant lesquelles l'apport correspond à 50% de l'ETP. Après durcissement du noyau, la base de l'apport est 100% de l'ETP. Les apports d'eau, de l'ordre de 3000 m³/ha/an en 1994 et 1995, ont ainsi été réduits à 2000 m³/ha/an pour la période 1996-1998.



2.1.1.3. fertilité du sol

Au delà des fluctuations liées aux années climatiques et aux opérations culturales (niveau d'éclaircissage), les analyses minérales de sol, de feuilles et de fruits ont permis d'analyser plus précisément la nutrition de l'arbre.

La conversion en AB s'est accompagnée de changements pour la conduite de la culture, avec notamment un nouveau type d'amendement (compost au lieu de fumier), l'enherbement de l'inter-rang du verger (portance des engins agricoles, diversité faunistique) et le

travail du sol sur le rang jusqu'alors désherbé chimiquement. La stratégie de fertilisation (tab. 4) utilisée a consisté en un apport de compost à l'automne (environ 10 t/ha d'un produit commercial), afin d'élever puis d'entretenir le taux de matière organique et de fournir des éléments nutritifs après minéralisation. En complément, un fertilisant organique comportant une teneur élevée en azote (de type guano) et se minéralisant rapidement au printemps a été apporté en fonction des besoins de l'arbre.

Tableau 4 : apports de fertilisants et amendements - pêchers Flavorcrest

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	moyenne 1994-1999
compost (t/ha)	10.5	10.0	9.0	12.5	10.5	7.5	10 t/ha
fertilisant type guano (kg/ha)	0	350	0	460	280	175	210 kg/ha
estimation apport u N/ha*	30	85	65	115	100	80	80 u/ha

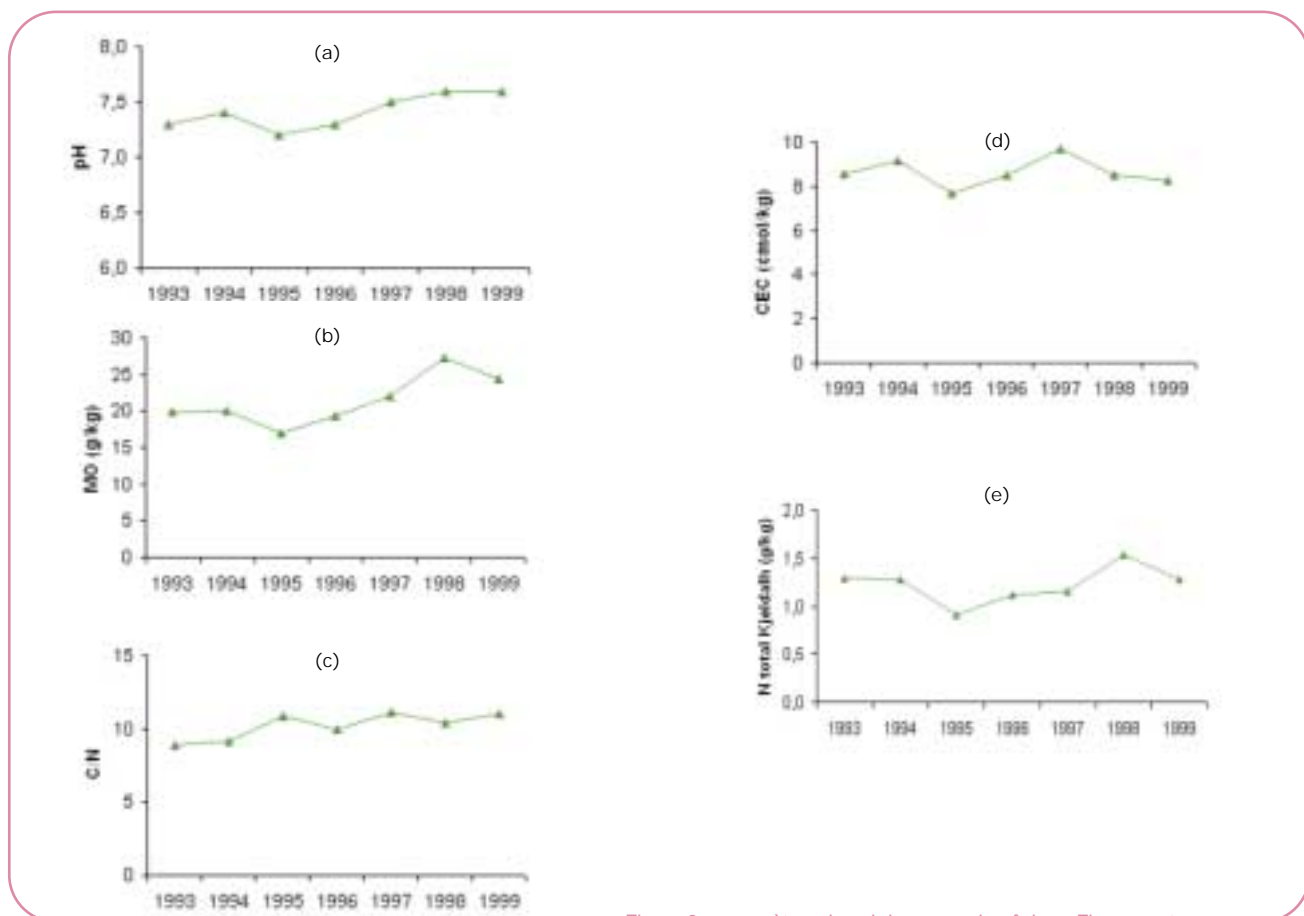
* estimation disponibilité de l'azote pour le compost utilisé = 30% an 1, 20% an 2, 15% an 3
teneur en azote du compost : environ 1% (C/N ~15) ; du fertilisant de type guano : 10%

Pour ce verger recevant une fumure organique dès sa plantation (tab. 1, tab. 4), l'impact de la stratégie utilisée sur les paramètres du sol mesurés par analyse minérale s'est traduite par (fig. 8) :

- le maintien du pH à des valeurs supérieures à 7, élevées pour ce type de sol (fig. 8a) ;
- l'entretien puis l'accroissement de la teneur en matière organique (fig. 8b), en relation avec des apports d'amendements organiques de type compost, les valeurs de l'ordre 2.5% de matière organique, relevées en 1998 et 1999, correspondent à un niveau très satisfaisant dans ce type de sol ;

- un léger accroissement du rapport carbone/azote (C/N), avec des variations annuelles autour de la valeur 10 (fig. 8c), considérée comme normale pour un sol cultivé (Herrmann, 1987) ;
- une capacité d'échange cationique (CEC) voisine de celle relevée dans ce même type de sol avec un mode de conduite conventionnel.

A l'exception de 1995, les valeurs d'azote total (Kjeldahl) sont comprises entre 1 et 1.5 g/kg (fig. 8e), ce qui doit permettre d'assurer correctement la nutrition de l'arbre après minéralisation.



Le faible apport d'azote de 1994 (tab. 4) est vraisemblablement à l'origine de la diminution de l'azote du sol en 1995, situation de carence extériorisée par les arbres (feuillage jaunissant), et compensée par la suite, notamment par la réalisation d'apports complémentaires au printemps. L'azote nitrique $N(NO^3)$ diminue au tout début de la période de conversion puis fluctue selon les années ; selon les conditions de température à l'automne, sa fraction est plus ou moins élevée. Les valeurs mesurées pour les autres éléments du sol, notamment le phosphore (0.06 en 1996 puis 0.11 à 0.17 g/kg pour P Joret) et le potassium (0.22 à 0.59 cmol/kg pour K^+), n'indiquent pas de limitation pour la production (Herrmann, 1987) même si les valeurs mesurées pour le potassium diminuent temporairement après conversion. Les valeurs mesurées pour le magnésium (Mg^{++}) restent voisines de 1 cmol/kg alors que le calcium (6.5 à 8.5 cmol/kg de Ca^{++}) représente plus de 80% de la CEC.

Les teneurs en oligo-éléments fluctuent au cours de la période d'étude ; elles sont généralement faibles (0.19 à 0.31 mg/kg pour le Bore soluble ; 89 à 99 mg/kg pour le manganèse Mn EDTA ; 40 à 61 mg/kg pour le fer Fe EDTA et 3.2 à 9.0 mg/kg pour le zinc Zn EDTA), même si les seuils de carence ne sont pas atteints. La teneur en cuivre du sol, mesurée en 1997 et 1998 après 13 années d'arboriculture avec utilisation de cuivre en protection fongique, est comprise entre 21 et 31 mg/kg (Cu EDTA) ; c'est une teneur élevée, équivalente à celles mesurées pour d'autres productions pérennes utilisatrices de cuivre telles la vigne (Brun *et al.*, 1998). En verger de pêcheurs, le risque de phytotoxicité n'est cependant constaté que pour des pH bas (Xueref, 1959).

Les analyses d'activité biologique réalisées en 1995 et 1997 témoignent de valeurs faibles (respectivement 299 et 309 UI), qu'il est difficile d'interpréter en l'absence de référen-

ces pour ce type de sol (LAMS, 1995).

L'accroissement du périmètre du tronc, indicateur de la vigueur des arbres, a fortement diminué en 1997 (fig. 9). Supérieur à 20 mm/an de 1993 à 1996, il n'est que de 5 mm entre 1996 et 97, puis remonte à 15 mm en 1998-99. Cette diminution peut être liée à l'âge de la parcelle ainsi que, pour 1996-97, à un possible effet différé de la carence en azote de 1995 et/ou au faible apport azoté de 1996 (tab. 4), ou encore à une importante infestation de cloque en 1995.

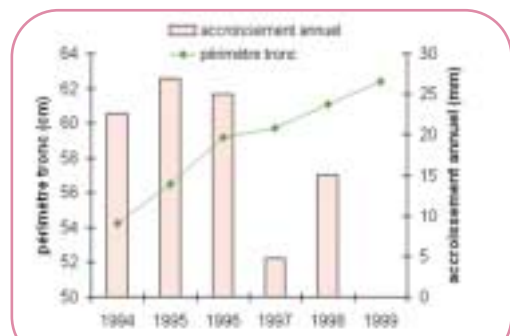


Figure 9 : périmètre du tronc et accroissement annuel des arbres

2.1.1.4. nutrition de l'arbre : teneur en éléments minéraux des feuilles et fruits

Les analyses de feuilles ont été réalisées à F+100 jours et à la récolte. Ces deux dates étant proches dans le temps (première quinzaine de juillet), les valeurs relevées sont sensiblement identiques. De manière générale, les principaux éléments et oligo-éléments analysés (fig. 10) se situent dans les normes indiquées par Shear & Faust (1980) et sont proches des valeurs relevées par Panine (1984) dans le Sud de la France. Les teneurs en azote et calcium (fig. 10a, 10b) témoignent notamment d'une nutrition satisfaisante de l'arbre. Seule la teneur en fer est faible (norme de 100 à 200 ppm) et celle en manganèse proche de la limite inférieure de la norme (norme de 20 à 300 ppm) (fig. 10c, 10d).

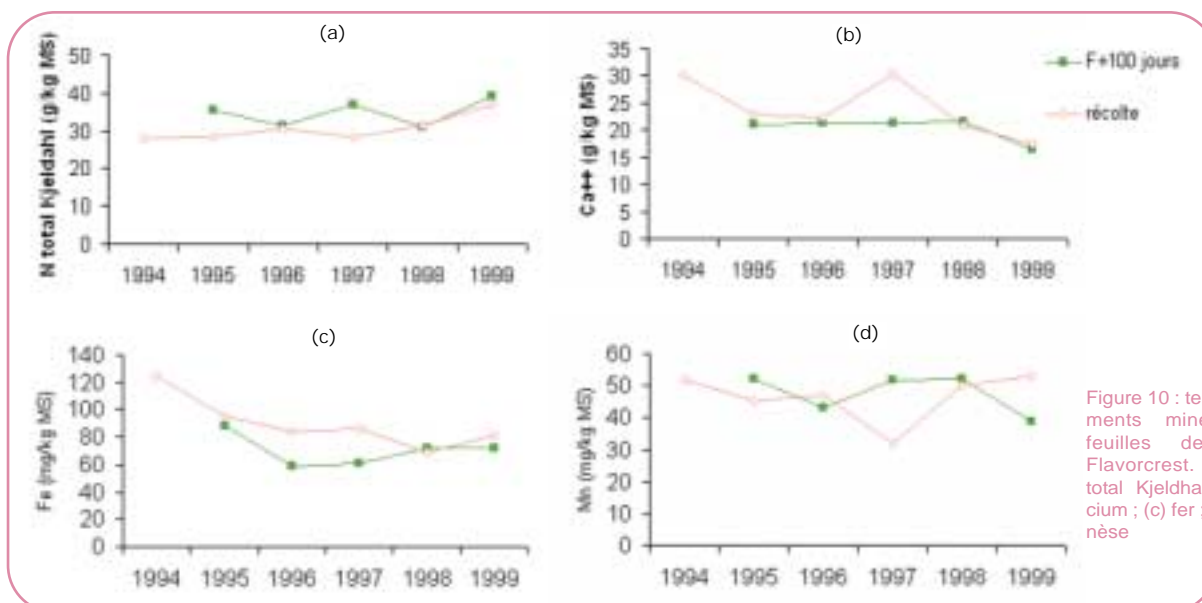
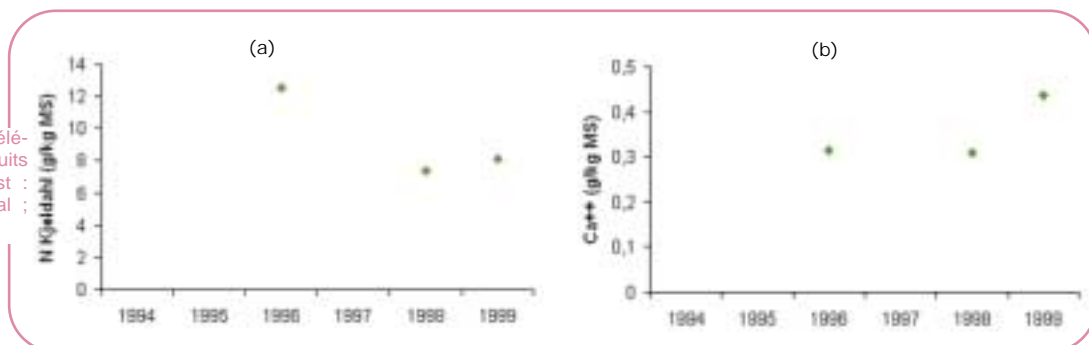


Figure 10 : teneur en éléments minéraux des feuilles de pêcheurs Flavorcrest. (a) azote total Kjeldahl ; (b) calcium ; (c) fer ; (d) manganèse

Les éléments minéraux des fruits ont été analysés à la récolte en 1996, 1998 et 1999. Par rapport aux valeurs moyennes indiquées par Cummings (1973) ou Wills *et al.* (1983), les valeurs relevées sont faibles pour l'azote et le calcium (fig. 11) alors que les valeurs pour les autres macro-éléments sont correctes. La disponibilité du calcium, élément intervenant dans la conservation du fruit, est à améliorer ; les faibles teneurs en azote des fruits témoignent d'une fertilisation azotée modérée.

Figure 11 : teneur en éléments minéraux des fruits de pêchers Flavorcrest : (a) azote total Kjeldahl ; (b) calcium



La conversion d'un verger en AB s'accompagne de changements importants pour la nutrition de l'arbre, illustrés par le suivi de Flavorcrest : la disponibilité pour l'arbre des éléments minéraux (dont l'azote) peut être temporairement diminuée du fait d'un sol moins bien pourvu (minéralisation lente du compost), et de capacités d'absorption moindres (racines superficielles détruites par le travail mécanique du sol sur le rang).

Les faibles valeurs mesurées pour certains éléments dans le végétal peuvent être liées à l'augmentation du pH du sol, qui atteint 7.5 (augmentation probablement due à l'augmentation de

la teneur en matière organique du sol), ce qui peut limiter partiellement l'assimilation des éléments et oligo-éléments. Toutefois, les caractéristiques du sol (fer et manganèse complexés, peu disponibles), ainsi que la mobilité réduite de certains éléments (calcium) depuis les feuilles vers les fruits au sein de l'arbre (Cummings, 1973), sont également à prendre en compte.

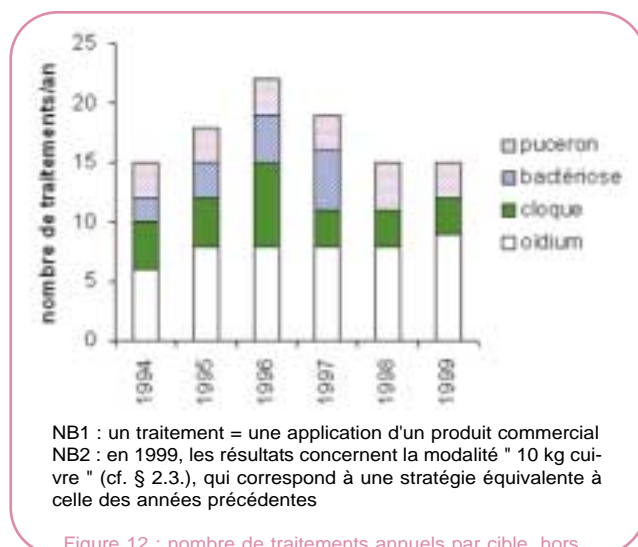
Pour le type de sol des vergers d'étude, s'accompagnant de faibles réserves hydriques et minérales, la fourniture azotée a été insuffisante après conversion. Toutefois, les analyses de sol et feuilles témoignent d'un

retour à des valeurs normales après cette situation de carence relevée en 1995, ce qui contribue également à conforter l'intérêt de la stratégie de fertilisation utilisée, avec apports réguliers et fractionnés, incluant un complément azoté au printemps sous forme rapidement minéralisable.

En conclusion, après la phase de conversion, au vu du suivi de la nutrition de l'arbre et des paramètres du sol, les besoins de la plante ont été satisfaits malgré des contraintes liées au type de sol pour une conduite en AB, et le rendement s'est stabilisé, ce qui ne remet pas en cause la durabilité des pratiques réalisées.

2.1.2. Protection phytosanitaire et développement des bio-agresseurs

La protection phytosanitaire réalisée (fig. 12) est dirigée contre les ravageurs du pêcher pour lesquels la conduite culturale a peu d'incidence dans nos conditions climatiques : tordeuse orientale, cloque et oïdium. Une intervention d'hiver est également réalisée contre les formes hivernantes (œufs de pucerons et cochenilles notamment), ainsi qu'une intervention spécifique avant fleur contre les pucerons. Le nombre moyen d'interventions est de 17.3 traitements par an pour la période 1994-1999. Les contrôles de l'ensemble des bio-agresseurs portent sur la période 1994-1998, l'année 1999 étant plus spécifiquement ciblée sur l'étude de la cloque du pêcher.



NB1 : un traitement = une application d'un produit commercial
NB2 : en 1999, les résultats concernent la modalité " 10 kg cuivre " (cf. § 2.3.), qui correspond à une stratégie équivalente à celle des années précédentes

Figure 12 : nombre de traitements annuels par cible, hors pose et enlèvement des diffuseurs de phéromone - pêchers Flavorcrest

2.1.2.1. les pucerons

En verger de pêchers, le puceron vert *M. persicae* est un ravageur économiquement important dont le contrôle peut s'avérer difficile (résistances, potentiel de multiplication élevé). Dans ce verger, la stratégie appliquée a comporté 2 applications d'huile de pétrole, complétées par une application spécifique de pyrèthre/roténone avant floraison.

Pour la parcelle d'étude, le contrôle bi-mensuel de 100 rameaux de mars à début juillet n'a pas permis de détecter sa présence entre 1994 et 1999, à l'exception d'un rameau occupé en juin 1994.

En revanche, la présence du puceron noir *B. persicae* est recensée dès 1995 (fig. 13), à des niveaux élevés en 1998 (seuil ACTA (1979) d'indice d'attaque dépassé). Toutefois, en raison de la moindre incidence de ce ravageur pour le pêcher en verger âgé et de l'intérêt de ne pas intervenir en fin de printemps pour préserver la faune auxiliaire, aucune intervention spécifique n'a été réalisée.



Infestation par le puceron vert du pêcher

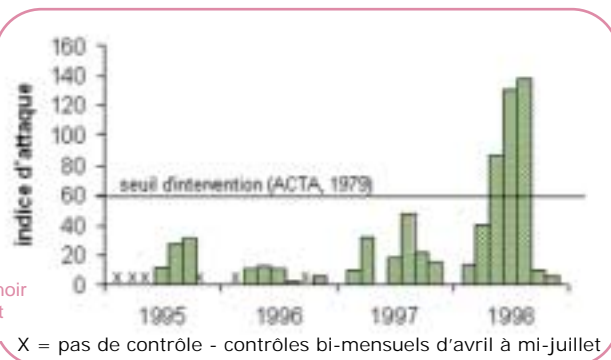


Figure 13 : indice d'attaque par le puceron noir *Brachycaudus persicae* - pêchers Flavorcrest

2.1.2.2. la tordeuse orientale *Cydia molesta*

La protection contre *C. molesta* est une lutte par confusion sexuelle, qui est également réalisée sur l'ensemble des vergers de pêchers du site. Le contrôle de *C. molesta* s'avère satisfaisant, avec moins de 1% de dégâts sur fruits à la récolte (fig. 14), à l'exception de 1996 ; une fraction de ce pourcentage est toutefois due aux dégâts de la petite mineuse *Anarsia lineatella* (pas de protection contre ce ravageur), qui sont parfois comptabilisés ensemble. La date de récolte, située vers la mi-juillet, s'accompagne de niveaux de populations encore peu élevés, ce qui limite les attaques.

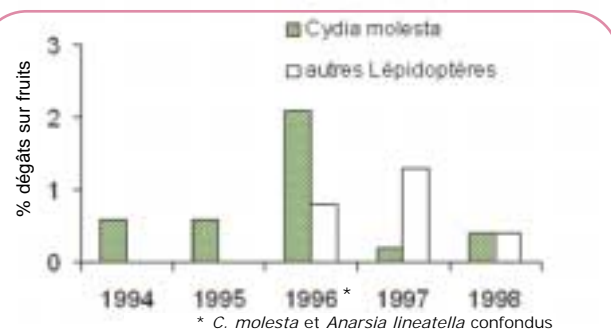


Figure 14 : dégâts occasionnés par la tordeuse orientale *Cydia molesta* (contrôle 1000 fruits à la récolte) - pêchers Flavorcrest

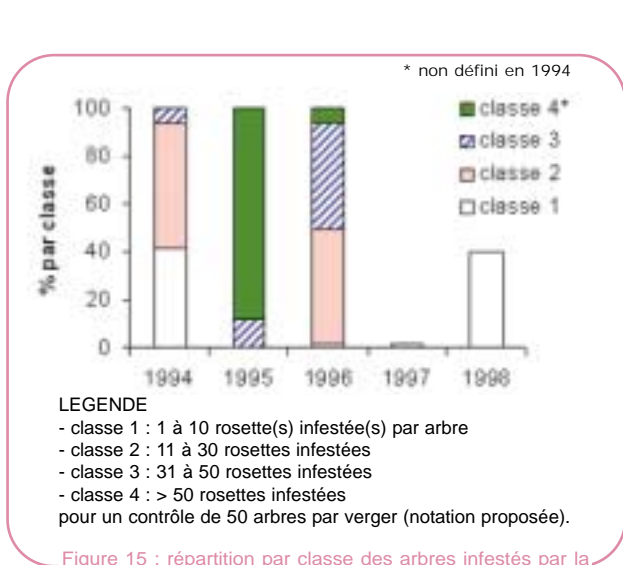


Figure 15 : répartition par classe des arbres infestés par la cloque *Taphrina deformans* - pêchers Flavorcrest

2.1.2.3. la cloque *Taphrina deformans*

Seul le cuivre est homologué en AB en France pour la protection contre cette maladie fongique du pêcher.

Une forte infestation de cloque *Taphrina deformans* s'est produite en 1995 (fig. 15), avec plus de 80% des arbres présentant plus de 50 rosettes infestées. La situation est moins pénalisante en 1996 et devient tout à fait satisfaisante en 1997 et 1998 (respectivement 98% et 60% des arbres indemnes et une attaque de faible intensité pour les arbres atteints).

Même si les conditions climatiques ont été selon les années plus ou moins favorables au développement de la maladie, un meilleur positionnement de la protection (au moment de l'écartement des écailles des bourgeons à bois, avant le stade pointe verte) a permis d'assurer une protection correcte les 2 dernières années.

En revanche, protéger pendant toute la période de risques, qui s'étend sur 6 à 8 semaines en fin d'hiver suppose, en cas de lessivages, de renouveler plusieurs fois les interventions réalisées à base de cuivre ; les quantités de cuivre utilisées à cette période sont ainsi élevées (fig. 16), avec en moyenne 16.8 kg de cuivre métal/ha/an appliqués dans ce verger (12 kg en excluant l'année 1996 avec conditions particulièrement défavorables). La réduction des quantités de cuivre utilisées en 1998 et 1999 est en partie permise par la suppression des traitements cupriques d'automne contre les bactérioses.

En vue de limiter les effets toxiques non intentionnels du cuivre, notamment pour les lombrics (Cluzeau *et al.*, 1988) et la microflore du sol (Chaussod *et al.*, 2005), cette matière active doit être utilisée en quantités réduites (NB : la réglementation européenne n'imposait pas de restriction d'usage du cuivre durant la période 1994-1999). Ceci demande l'affinement du positionnement des interventions, l'utilisation de formulations de cuivre faiblement dosées, l'homologation contre la cloque de produits de protection autres que le cuivre, ainsi que la prise en compte de la sensibilité variétale.

2.1.2.4. l'oïdium *Sphaerotheca pannosa*

La protection contre l'oïdium est réalisée à base de soufre (soufre micronisé), pour 6 à 8 interventions annuelles tout au long de la période allant de la fin de floraison jusqu'au durcissement du noyau, et permettant une maîtrise tout à fait satisfaisante de cette maladie (0.4 à 1.3% de dégâts à la récolte, en fonction des années). Les quantités de soufre utilisées (fig. 17) sont élevées (en moyenne 55.8 kg/an), quoique équivalentes à celles utilisées en verger conventionnel (stratégie de protection en général basée sur le soufre).

2.1.2.5. les maladies de conservation

Les champignons *Monilinia* spp. sont les principaux responsables des pourritures observées. La conservation à température ambiante est de courte durée, puisque plus de 15% des fruits sont pourris après 5 jours (ou encore 24% après 7 jours) pour toutes les années d'observation hormis 1996, année sèche au cours de la période précédant la récolte (fig. 18). Cette situation suppose : d'une part, la mise en œuvre de mesures prophylactiques en verger (et pour les installations de conditionnement et de stockage) et, d'autre part, la réfrigération des fruits après récolte ou leur vente immédiate après cueillette. Des pistes sont actuellement développées, telles la thermothérapie ou l'aromathérapie, mais supposent un équipement spécifique en station et sont encore au stade expérimental (Gomez *et al.*, 2004 ; Warlop & Bompeix, 2004). L'utilisation en verger de production d'antagonistes aux monilioses n'est actuellement pas envisageable (Warlop, 2004).

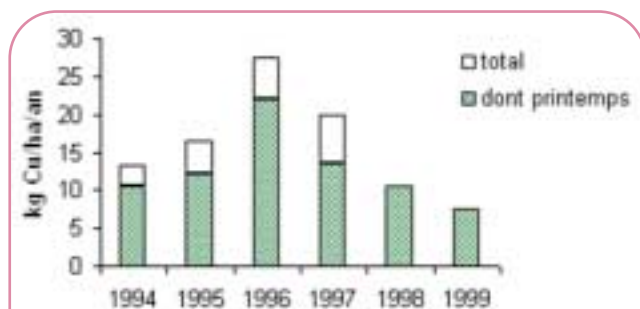


Figure 16 : quantités de cuivre métal (kg/ha/an) utilisées en protection contre la cloque du pêcher et les bactérioses - pêchers Flavorcrest

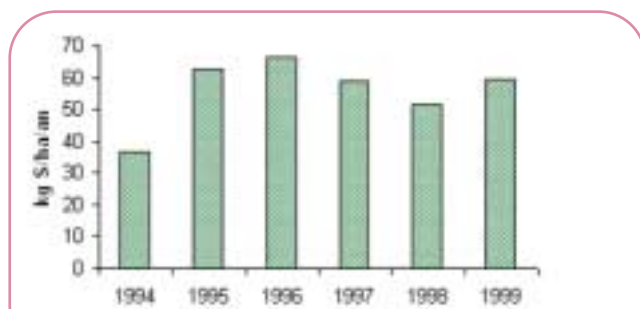
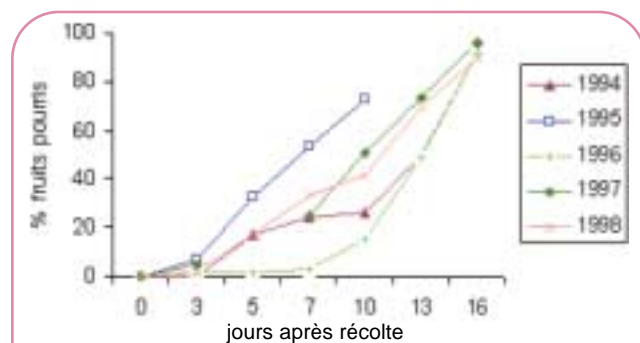


Figure 17 : quantités de soufre (kg/ha/an) utilisées en protection contre l'oïdium du pêcher - pêchers Flavorcrest



Moniliose sur fruits



NB : les fruits pourris sont enlevés après chaque contrôle

Figure 18 : conservation des fruits à température ambiante - pêchers Flavorcrest

2.1.2.6. autres ravageurs et maladies

Les autres maladies et ravageurs présents n'occasionnent pas de dégâts économiquement importants : effectifs faibles et non constants au fil des années de thrips (0 à 1% de fleurs occupées en fin de floraison), de diverses chenilles (Lépidoptères), de Coléoptères (périthèles) et de forficules (Simon *et al.*, 1999). La présence de cochenilles est détectée sur quelques arbres mais sans poser de problèmes spécifiques. Aucun dégât lié aux acariens n'a été recensé. La sharka a été détectée par prospection dans le verger, avec confirmation des symptômes par analyse, et les arbres contaminés ont été éradiqués.

Les principaux groupes d'auxiliaires récoltés par battage de 1994 à 1998 (3 à 4 relevés annuels, d'avril à juillet) indiquent la prépondérance de prédateurs de régulation (araignées, forficules, chrysopes) et la quasi-absence d'auxiliaires aphidiphages (syrphes, coccinelles) ou prédateurs d'acariens, à mettre en relation avec des niveaux d'infestation par les pucerons et les acariens généralement très faibles. Les Hyménoptères parasitoïdes, potentiellement actifs sur cochenilles et divers groupes d'insectes, constituent un tiers des effectifs récoltés.

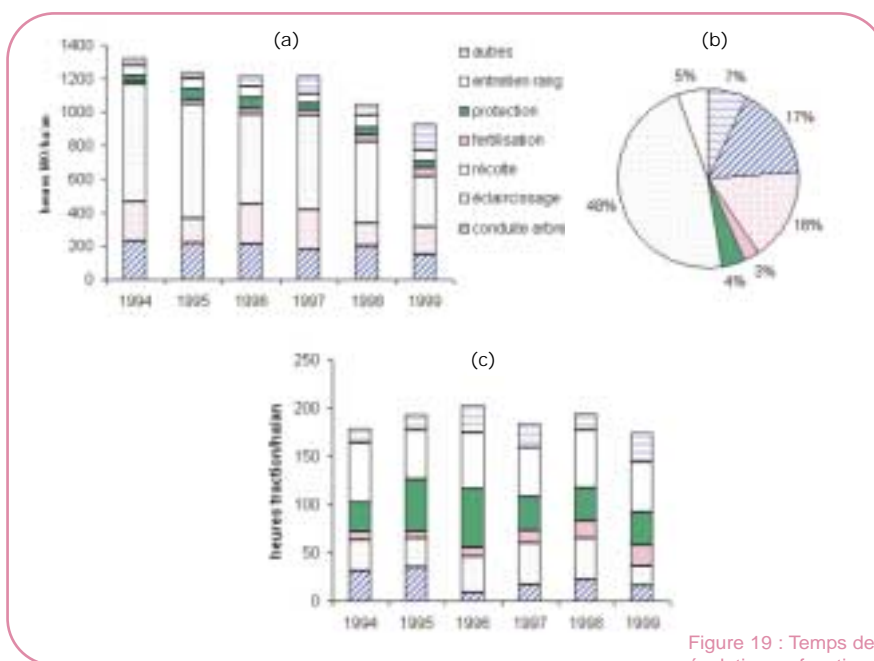
Pour notre situation, le contrôle de la cloque n'est pas satisfaisant, avec un développement important de la maladie sur les arbres et/ou une utilisation de quantités de cuivre élevées en protection. La conservation des fruits après récolte est également très courte et donc potentiellement limitante selon le circuit de commercialisation. En revanche, au cours de la période d'expérimentation, l'absence de dégâts par les principaux ravageurs du pêcher, ainsi que l'absence d'émergence ou de résurgence de ravageurs secondaires, témoignent d'une situation contrôlée, probablement permise par une lutte par confusion sexuelle efficace contre la tordeuse orientale et par une régulation naturelle due aux auxiliaires.

2.1.3. Temps de travaux

L'enregistrement des temps de travaux réalisés est relatif à une faible superficie et surestime donc en partie certains postes de travail. La moyenne sur 5 ans (1995-1999) de 1092 heures/ha/an relevée pour une parcelle conventionnelle équivalente sur le site est toutefois proche (+ 9%) des temps de travaux mentionnés dans la littérature soit 1000 heures/ha/an pour un verger de pêchers des Costières du Gard (Vidaud, 1987). En AB, les 3 principales opérations culturales (fig. 19a, 19b) sont également la récolte, la taille et l'éclaircissage, avec un total annuel de 1161 heures/ha/an pour la parcelle d'étude (moyenne de 5 ans 1995-1999). La moyenne du temps de traction est de 188 heures/ha/an, dont 56 h pour l'entretien du sol sur le rang et 42 h pour la protection (fig. 19c).



Epandage de compost - pêchers Flavorcrest



Sur le site d'étude, la mise en parallèle des temps de travaux (en heures/ha/an) enregistrés sur 5 ans pour 2 vergers (mêmes variété, âge et structure d'arbre) conduites en AB et en mode de production conventionnel indique une augmentation du temps de travail de + 6% pour l'AB par rapport au conventionnel (1161 heures/ha/an en AB contre 1092 heures/ha/an pour une parcelle conventionnelle). Cet écart est principalement lié au travail du sol sur le rang (6 à 8 passages par an), à la fertilisation et aux traitements alors que le temps consacré à la taille est moindre en AB (Simon *et al.*, 1999).

Figure 19 : Temps de travaux - pêchers Flavorcrest : main d'œuvre (a) évolution en fonction des postes et (b) moyenne 1995-1999 ; (c) temps de traction - évolution en fonction des postes

2.2. Verger implanté en AB Bénédicte®

2.2.1. Rendement, qualité du fruit et nutrition de l'arbre

2.2.1.1. rendement et poids moyen

Aucun fruit n'a été laissé dans le verger en 2000, année de 2e feuille, afin de favoriser le développement des arbres. Dès 2002, le rendement est voisin de 20 t/ha (fig. 20a), pour une qualité de récolte (% 1er choix) satisfaisant ; le faible pourcentage de 1er choix observé en 2003 est dû à des dégâts de grêle en juillet. Le poids moyen (fig. 20b) est élevé (160 g en moyenne pour la période 2001-2004) et le calibre dominant A.

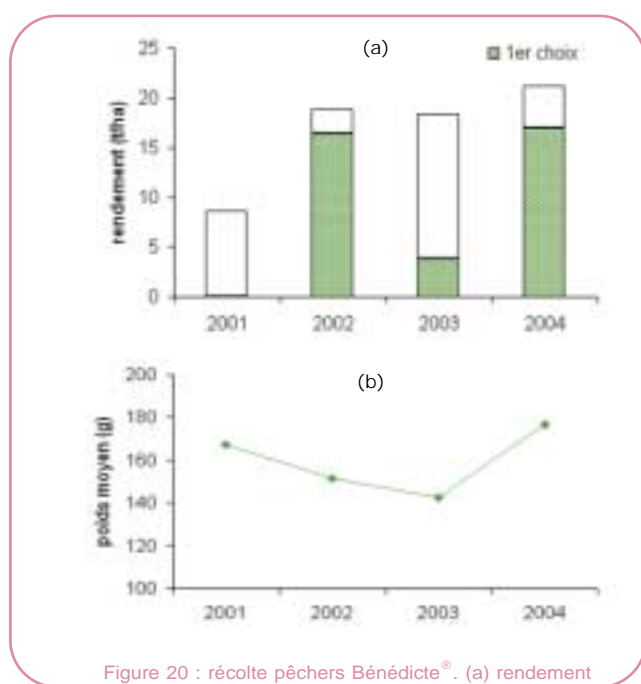


Figure 20 : récolte pêchers Bénédicte®. (a) rendement et 1er choix (non mesuré en 2001) ; (b) poids moyen

2.2.1.2. qualité du fruit

La qualité des fruits (fig. 21) mesurée par l'indice réfractométrique, qui varie de 10.8 à 11.6, est tout à fait satisfaisante (CEMAGREF, 1988), pour des fruits cueillis à maturité commerciale.

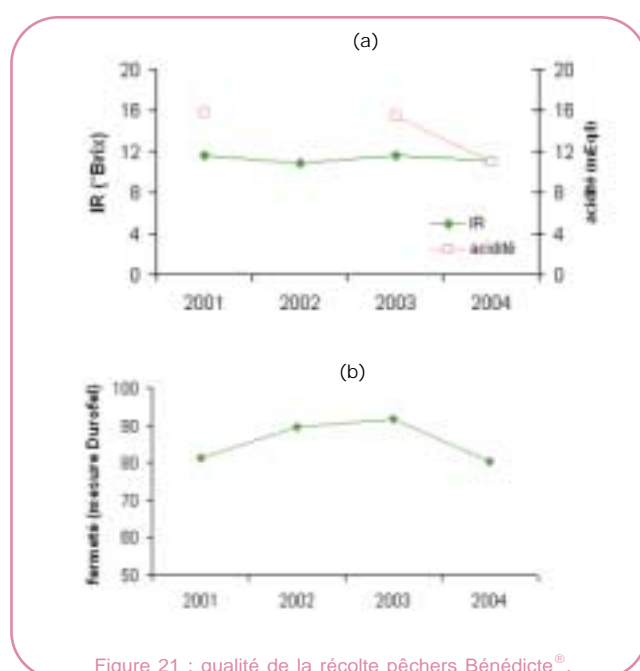


Figure 21 : qualité de la récolte pêchers Bénédicte®. (a) indice réfractométrique et acidité titrable ; (b) fermeté (mesure Durofel)

2.2.1.3. fertilité du sol

Les apports de fertilisants (tab. 5) ont été ajustés en fonction des analyses de sol (analyses minérales et reliquats d'azote) et de végétal (feuilles, fruits), qui ont corroboré le diagnostic de limitation de la disponibilité en azote, établi d'après l'aspect visuel des arbres.

Pour ce verger en croissance et production, les apports de printemps de 40 à 60 unités d'azote rapidement minéralisés (2001 et 2002) n'ont pas suffi à satisfaire les besoins de l'arbre et des apports supplémentaires ont été réalisés en 2003 et 2004, tout en respectant le fractionnement d'apport (20 à 30 unités d'azote par apport).

Tableau 5 : apports de fertilisants et amendements - pêchers Bénédicte®

	1999	2000	2001	2002	2003	2004	moyenne 1999-2004
compost (t/ha)	9.7	5.5	5.0	5.5	5.0	4.0	5.7 t/ha
fertilisant type guano (kg/ha)	690	365	400	600	900	1190	690 kg/ha
apport magnésien : kiésérite (kg/ha)	0	0	0	0	400	0	67 kg/ha
apport u N / ha*	98	72	81	93	123	149	103 u/ha

* estimation disponibilité de l'azote pour le compost utilisé = 30% an 1, 20% an 2, 15% an 3
teneur en azote du compost : environ 1% (C/N ~15) ; du fertilisant de type guano : 10%

Comme pour le verger de Flavorcrest, le pH du sol tend à augmenter au cours de la période d'étude (fig. 22a). La teneur en matière organique (fig. 22b), initialement comprise entre 1.0 et 1.5% (1998 à 2000), dépasse 1.5% en 2004, valeur satisfaisante pour ce type de sol ; elle est entretenue par des apports annuels de compost de 5 à 6 t/ha en apport localisé sur le rang (tab. 5). Le rapport C/N (fig. 22c), en légère augmentation, est voisin de l'optimum.

Caractéristique de ce type de sol, la capacité d'échange cationique (CEC) est peu élevée (fig. 22d). La teneur en azote total est faible (fig. 22e), attestant de besoins importants de l'arbre (croissance et entrée en production).

La teneur en phosphore est stable au cours de la période 1999-2004 (0.11 à 0.13 g/kg pour P Joret), le magnésium et le calcium sont en augmentation (0.6 à 0.9 cmol/kg pour Mg⁺⁺ ; 5.3 à 6.7 cmol/kg pour Ca⁺⁺ qui représente plus de 80% de la CEC). En revanche, le potassium (K⁺) diminue de 0.46 à 0.34 cmol/kg. Il n'y a toutefois pas de limitation pour la production de fruits à noyaux.

Les teneurs en oligo-éléments sont généralement faibles, même si les seuils de carence ne sont pas atteints : 0.13 à 0.16 mg/kg pour le Bore soluble ; 38 à 68 mg/kg pour le fer (Fe EDTA) et baisse de 2.4 à 1.9 mg/kg pour le zinc (Zn EDTA). La teneur en cuivre du sol, initialement de 3.6 mg/kg (Cu EDTA) en 1998 augmente régulièrement dès 2000 et atteint 12.3 mg/kg en 2004.

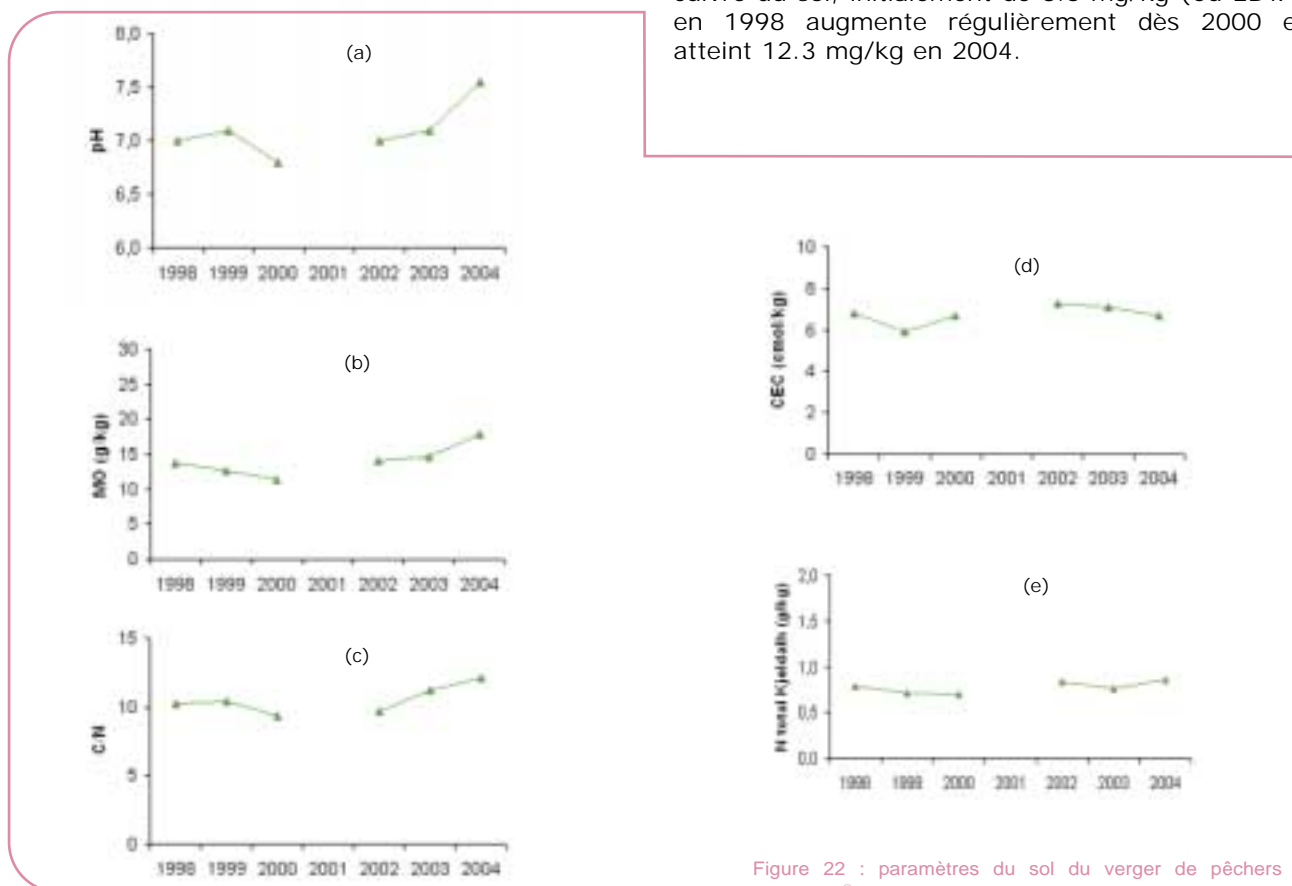


Figure 22 : paramètres du sol du verger de pêchers Bénédictine® : (a) pH eau ; (b) teneur en matière organique ; (c) C/N ; (d) CEC ; (e) N total (Kjeldhal)

2.2.1.4. nutrition de l'arbre : teneur en éléments minéraux des feuilles et fruits

Les teneurs en azote des feuilles indiquent des valeurs en diminution tout au long de la période d'étude, pour des valeurs analysées faibles (Shear & Faust, 1980) en 2004 (fig. 23a). Les teneurs en calcium (fig. 23b) et magnésium (fig. 23c) sont en augmentation, en rapport avec l'apport de fertilisation magnésienne (kiésérite) de l'hiver 2002-2003, alors que la teneur en potassium varie peu (fig. 23d).

Ces 3 éléments, ainsi que les oligo-éléments Mn, Zn et B, se situent dans la plage de variation normale indiquée par Shear & Faust (1980) ; seule la teneur en fer (63 à 98 ppm à l'analyse) est faible.

Les teneurs en éléments minéraux des fruits ont été mesurées en 2002 et 2003. La teneur en azote (4.3 et 5.7 g/kg de matière sèche (MS) en 2002 et 2003, respectivement) est faible, alors que la teneur en calcium, présente des niveaux corrects avec 0.6 et 0.7 g/kg MS en 2002 et 2003, respectivement (Cummings, 1973 ; Wills *et al.*, 1983).

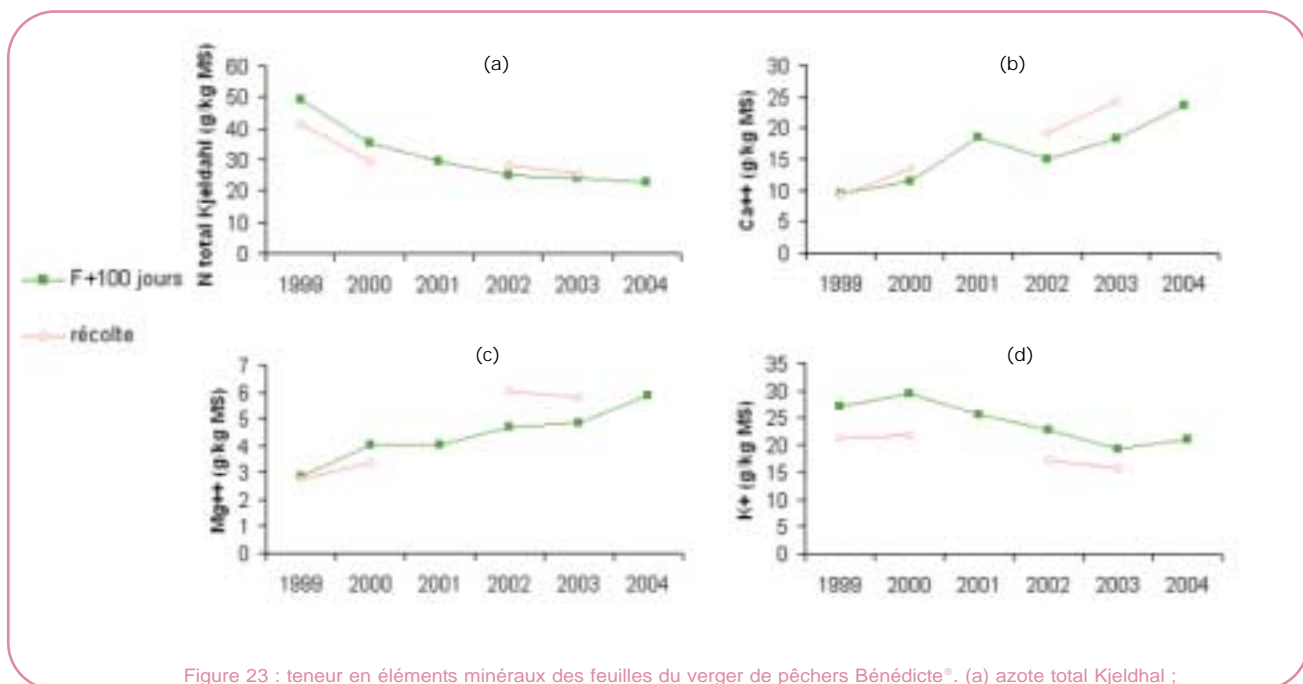


Figure 23 : teneur en éléments minéraux des feuilles du verger de pêchers Bénédicte®. (a) azote total Kjeldahl ; (b) calcium ; (c) magnésium ; (d) potassium

La nutrition azotée de l'arbre dans ce verger implanté en AB s'est avérée délicate, ce qui s'explique par des besoins élevés de l'arbre (croissance, entrée en production) à fournir sur une courte période (printemps). Comme pour le verger en conversion, la capacité d'assimilation de l'arbre peut intervenir, d'autant que l'utilisation d'un outil de travail mécanique du sol à disques (moins fragile, plus rapide et efficace pour contrôler les adventices), en remplacement de la fraise rotative à axe vertical utilisée au cours de la période 1994-2000, perturbe plus le sol sur le rang, ce qui limite l'enracinement. Une augmentation de l'apport de compost ne semble pas judicieux, dans la mesure où la teneur en matière organique atteint 1.8% en 2004, ce qui est proche de l'optimum pour ce type de sol (matière organique non incorporée au sol si un

apport conséquent est annuellement appliqué et pH relevé au delà des valeurs permettant une assimilation optimale des éléments).

Le suivi en 2004 de la teneur en azote de la solution du sol par implantation de cannes lysimétriques à -35 cm de profondeur (données non présentées) indique des valeurs faibles à très faibles, en général inférieures à 5 mg/kg ; ceci atteste de la consommation d'azote par les arbres et de l'absence de migration des nitrates en profondeur.

Toutefois, au delà des contraintes liées au type de sol (cf. p. 7 et 15), l'évolution de la teneur en matière organique du sol et la disponibilité pour l'arbre du calcium et des autres éléments indiquent une situation en équilibre, permise par la stratégie de fertilisation réalisée.

2.2.2. Protection phytosanitaire et développement des bio-agresseurs

La protection phytosanitaire (fig. 24) est sans prise de risques au cours des premières années d'implantation du verger (période 1999-2001), notamment pour la protection contre la cloque, les bactérioses et les pucerons.

Au cours des années suivantes (2002-2004), l'objectif de réduction des intrants phytosanitaires a été atteint (11.3 traitements par an en moyenne pour la période 2002-2004) grâce à la mise en œuvre des stratégies présentées dans les paragraphes suivants.

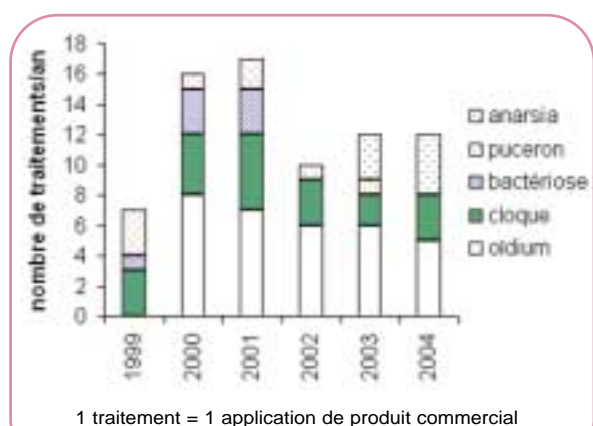


Figure 24 : nombre de traitements annuels par cible, hors pose et enlèvement des diffuseurs de phéromone - pêchers Bénédicte®

2.2.2.1. la cloque *Taphrina deformans*

Une seule application de bouillie bordelaise a été réalisée contre la cloque, en première intervention (2 exceptionnellement si lessivage immédiat), complétée par une protection à base d'une formulation de cuivre faiblement dosée tout au long de la période de risques. Ceci se traduit (fig. 25a) par une moyenne pour la période 2002-2004 de 4.6 kg de cuivre métal/ha/an (conforme à la limitation réglementaire*), pour un contrôle efficace de la cloque, mais sans application de cuivre à l'automne en

intervention préventive contre les bactérioses.

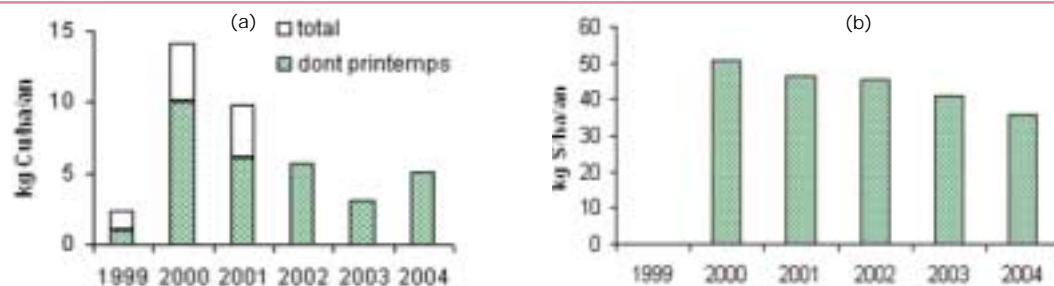
La mise en œuvre de cette stratégie est permise par la faible sensibilité à la cloque de Bénédicte® (Mandrin, 2003) et par un positionnement optimisé de la 1ère intervention (suivi de l'allongement des bourgeons).



Dégât de cloque sur feuilles

* en moyenne 8 kg/ha/an jusqu'au 31 décembre 2005, puis 6 kg/ha/an (annexe II CEE n° 2092/91 modification du 16 mars 2002)

Figure 25 : quantités de (a) cuivre métal (kg/ha/an) et de (b) soufre (kg/ha/an) utilisées en protection, respectivement contre la cloque et l'oïdium du pêcher - pêchers Bénédicte®



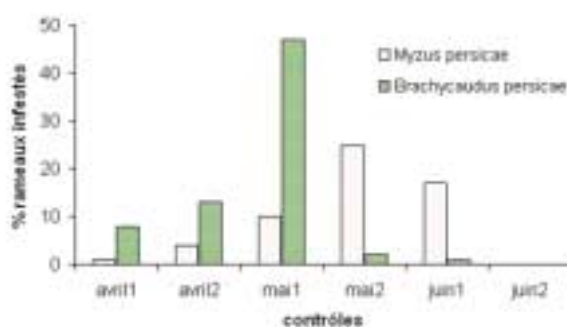
2.2.2.2. l'oïdium *Sphaerotheca pannosa*

Le début de la protection a été retardé à la chute des collerettes, permettant un gain d'une à deux interventions en nombre de traitements, pour une moyenne sur la période 2001-2004 (verger en production) de 42.1 kg de soufre/ha/an (fig. 25b). Les dégâts à la récolte sont nuls à faibles, avec un maximum de 2.3% de taches sur fruits à la récolte en 2004.

2.2.2.3. les pucerons

En l'absence d'infestation de printemps en verger, la protection contre le puceron vert du pêcher *M. persicae* a également été modifiée, avec suppression de l'application de roténone avant floraison. Une intervention systématique à base d'huiles de pétrole contre les formes hivernantes a été maintenue, sauf en 2004 (pas d'œufs ni de fondatrices de *M. persicae* au contrôle de janvier). La présence du puceron noir *B. persicae* dans le verger tout au long de l'année (recensé en janvier 2004, et se développant de manière importante en l'absence d'intervention hivernale), est toutefois en faveur du maintien de cette intervention.

Hormis en 2004, le puceron vert (fig. 26) n'est pas recensé ou est recensé à de faibles niveaux d'infestation à une seule date de contrôle par an tout au long de la période d'étude (0.7% de rameaux infestés en moyenne pour la période 2000-2003), attestant d'un contrôle satisfaisant par la protection réalisée et/ou d'une régulation naturelle permise par les auxiliaires. La présence de *B. persicae* tout au long de l'année dans le verger peut également contribuer au maintien de certains auxiliaires. En 2004, année de fort développement des pucerons



100 rameaux observés au verger par date de contrôle, 2 contrôles mensuels

Figure 26 : infestation par les pucerons vert *M. persicae* et noir *B. persicae* en 2004 - pêchers Bénédicte®

sur le site, et en l'absence de protection, les niveaux d'infestation par *M. persicae* (fig. 26), sont plus élevés mais sont régulés précocement, notamment par les coccinelles (obs. pers.).

2.2.2.4. les Lépidoptères : la tordeuse orientale *Cydia molesta* et la petite mineuse *Anarsia lineatella*

Les niveaux de dégâts à la récolte par la tordeuse orientale *C. molesta* et la petite mineuse *A. lineatella*, faibles en 2001 (0.8%, dégâts confondus) et 2002 (1.3%), sont devenus conséquents dès 2003 (16.1%) et se sont maintenus en 2004 (10.2%). Une protection spécifique contre la petite mineuse (à base de *Bacillus thuringiensis* (BT)) a été mise en œuvre dès 2003. Les résultats à la récolte 2005 (non présentés) indiquent un niveau d'infestation à nouveau faible (1.2 % de dégâts).

Ces dégâts peuvent être expliqués : (i) pour la tordeuse orientale, par la taille de la parcelle (0.3 ha) et par la réduction des surfaces de pêcheurs confusées sur le site, diminuant l'efficacité de la méthode de protection par confusion sexuelle ; (ii) par une protection contre la petite mineuse dirigée contre la 2e génération (en fonction du seuil établi par l'ACTA (1979)) et permettant l'installation d'une population à l'origine des dégâts ; (iii) par des niveaux de population de petite mineuse élevés depuis 2002 (information piège à phéromone sur le site).

La conception d'un verger de pêcheurs visant à limiter le développement de la cloque (variété) et les monilioses (variété, distances de plantation) permet un gain appréciable en termes d'efficacité de la protection et de réduction des quantités de fongicides utilisées, ce que ne permettait pas Flavorcrest (cf. p. 18). La conservation des fruits après récolte reste toutefois largement tributaire des conditions climatiques avant récolte.

2.2.2.5. maladies de conservation dont *Monilinia* spp

L'incidence du monilia en verger à la récolte, comprise entre 0.2% et 1.0%, est faible tout au long de la période d'étude. Après entrée en production commerciale, l'aptitude à la conservation après récolte n'a pu être étudiée qu'en 2002 et 2004, en raison d'importants dégâts de grêle en 2003. Conservés à l'air ambiant, les fruits se sont très mal conservés en 2002, année avec printemps et été pluvieux (84% de fruits pourris dès 4 jours), alors que l'année 2004 correspond à une cinétique proche de celle de Flavorcrest en année moyenne (cf. § 2.1.2.5), avec 22% de fruits pourris après 5 jours et 29% après 7 jours. Les pourritures sont également principalement dues aux *Monilinia* spp.

2.2.2.6. autres bio-agresseurs

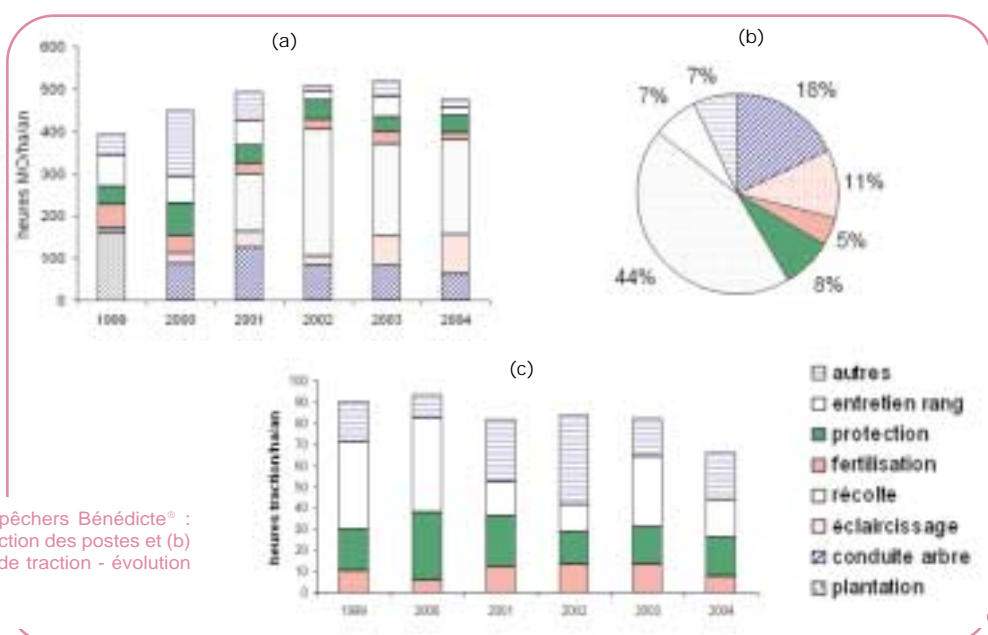
Les dégâts relevés à la récolte pour des bio-agresseurs autres que ceux déjà présentés sont des morsures (3,5% à 12,2% de fruits mordus, parfois cicatrisés), probablement dues aux forficules et/ou à des sauterelles (Orthoptera : Tettigoniidae, obs. pers.).

Le contrôle des autres bio-agresseurs est satisfaisant, à l'exception de dégâts de Lépidoptères durant les années 2003 et 2004. En présence de niveaux de population élevés, favorisés par des conditions climatiques chaudes, quelques interventions contre la petite mineuse et un complément à la lutte par confusion contre la tordeuse seront à envisager en fonction de la structure de verger.

2.2.3. Temps de travaux

Les temps de travaux relevés (fig. 27) sont peu élevés, notamment pour la récolte, la conduite de l'arbre et l'éclaircissage : ils s'expliquent par une structure de verger piéton (hauteur des arbres d'environ 2 m), permettant la réalisation des opérations culturales depuis le sol (contrairement à Flavorcrest présentée précédemment).

Un équipement plus performant pour le travail du sol sur le rang permet également un gain de temps de main d'œuvre et de traction. La moyenne annuelle de temps de main d'œuvre pour la période 2001-2004 est de 500 heures par hectare, pour 78 heures de traction (dont 20 heures pour l'entretien du rang et 19 heures pour la protection).



2.3. Réduction des quantités de cuivre utilisées en protection contre la cloque *Taphrina deformans*

Du fait du recours exclusif au cuivre en protection contre la cloque du pêcher, les quantités utilisées en verger de pêcher sont importantes (fig. 16, 25a), et s'accompagnent au fil des années d'une augmentation de la teneur en cuivre du sol (cf. § 2.1.1.3 et 2.2.1.3), et donc potentiellement d'effets toxiques vis-à-vis de la faune du sol (Cluzeau *et al.*, 1988 ; Chaussod *et al.*, 2005), voire plus exceptionnellement de phytotoxicité pour le pêcher (Xueref, 1959). La limitation des effets non intentionnels du cuivre passe par la réduction des quantités utilisées et/ou l'existence d'alternatives à la protection cuprique. Le cadre de cette expérimentation est la recherche de pistes pour limiter les effets d'une pratique agricole spécifique à l'AB et un contexte de mise en place d'une limitation réglementaire en AB des quantités de cuivre utilisées (Annexe II règlement CEE 2092/91, modifié 16/03/2002). L'objectif de ce travail a été d'évaluer l'incidence de la réduction des quantités de cuivre pour le verger et de fournir des éléments pour optimiser leur utilisation : (i) synthèse des connaissances sur la biologie de *Taphrina deformans* (encadré biologie et épidémiologie de la cloque, p. 26) et (ii) expérimentation de différentes doses et applications de cuivre en verger.

2.3.1. Matériel et méthodes

2.3.1.1. dispositif expérimental

En vue de tester les possibilités de réduction des doses de cuivre utilisées en protection contre la cloque, le dispositif suivant a été mis en place en 1999 et reconduit en 2000 dans le verger Flavorcrest (fig. 28) ; il comporte 3 modalités, correspondant à 3 niveaux d'apport de cuivre, et un témoin traité à l'eau (apport de cuivre = 0 kg).

Les trois modalités définies sont respectivement :
 - modalité 1 : utilisation de 10 kg de cuivre métal/ha/an, ce qui est proche de la réalisation des années précédentes en année climatique normale ;
 - modalité 2 : utilisation de 5 kg de cuivre métal/ha/an ;
 - modalité 3 : utilisation de 3 kg de cuivre métal/ha/an.
 En fonction des prévisions météorologiques après la 1ère intervention (période sèche ou pluvieuse avec lessivage de la protection), les règles suivantes ont été définies (tab. 6).

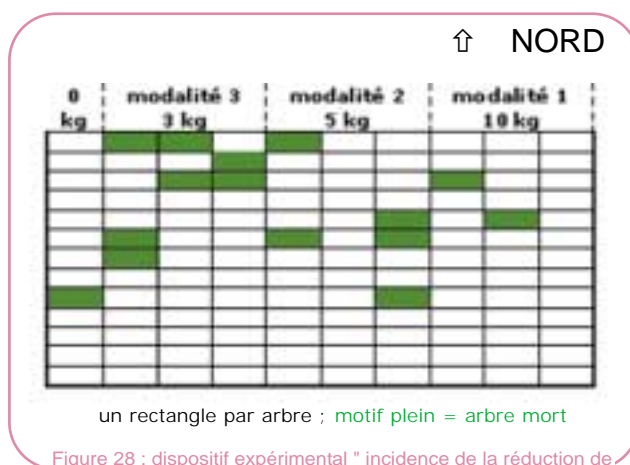


Figure 28 : dispositif expérimental " incidence de la réduction de cuivre sur le développement de la cloque " - verger Flavorcrest

Tableau 6 : répartition des quantités de cuivre prévues en fonction du nombre de traitements potentiel pour les 3 modalités testées

● Stratégie basée sur 5 interventions

Intervention	1ère	2me	3me	4me	5me
modalité	Cu métal/ha	Cu métal/ha	Cu métal/ha	Cu métal/ha	Cu métal/ha
1 (10 kg)	2.5	1.875	1.875	1.875	1.875
2 (5 kg)	2.5	0.625	0.625	0.625	0.625
3 (3 kg)	2.5	0.125	0.125	0.125	0.125

● Stratégie basée sur 4 interventions

Intervention	1ère	2me	3me	4me
modalité	Cu métal/ha	Cu métal/ha	Cu métal/ha	Cu métal/ha
1 (10 kg)	2.5	2.5	2.5	2.5
2 (5 kg)	2.5	0.83	0.83	0.83
3 (3 kg)	2.5	0.16	0.16	0.16

● Stratégie basée sur 3 interventions

Intervention	1ère	2me	3me
modalité	Cu métal/ha	Cu métal/ha	Cu métal/ha
1 (7.5 kg)*	2.5	2.5	2.5
2 (5 kg)	2.5	1.25	1.25
3 (3 kg)	2.5	0.25	0.25

* Pour que les apports de Cu métal sur 2ème et 3ème intervention ne soient pas supérieurs à ceux de la 1ère intervention, cette modalité sera ramenée à 7,5 kg.

Rappel : dose homologuée, 5 kg de Cu métal/ha (soit 25 kg de bouillie bordelaise/ha) ; une dose réduite à 2.5 kg de Cu métal/ha par traitement est couramment pratiquée en AB en protection contre la cloque dans la région d'étude, en particulier dès la 2e intervention.

Interventions :
 - traitements 750 l/ha
 - mouillant (huile de pétrole à 0,1 %) associé à chaque application de cuivre
 - utilisation de bouillie bordelaise (sulfate de cuivre, dosant 20% de matière active).

En 1999 et 2000, quatre interventions ont permis de couvrir la période de sensibilité allant de l'allongement des bourgeons à l'étalement des rosettes.

2.3.1.2. contrôles réalisés

Les mesures et contrôles ont porté, d'une part, sur l'infestation des arbres par la cloque et, d'autre part, sur le rendement des arbres.

Pour mesurer le développement de la cloque sur les arbres, l'observation a porté sur 6 arbres de la ligne centrale pour chaque modalité et pour le témoin.

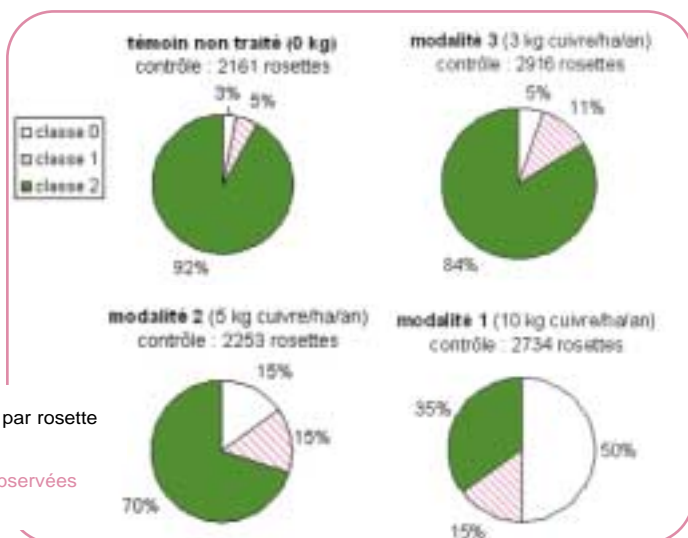
Une charpentière par arbre a été décrite, en comptabilisant le nombre de rosettes présentes, le nombre de rosettes infestées et la sévérité de l'infestation en indiquant la classe d'infestation : '0' pas de feuilles infestées, '1' surface foliaire atteinte inférieure à l'équivalent d'une feuille et '2' surface foliaire atteinte supérieure à l'équivalent d'une feuille.

2.3.2. Résultats

Le pourcentage de rosettes infestées et la sévérité de l'infestation (fig. 29) sont fonction des quantités de cuivre utilisées : les modalités les plus faiblement dosées en cuivre ne permettent pas de contrôler efficacement le développement de cette maladie. Seules les modalités 5 et 10 kg permettent de limiter l'infestation à un niveau non pénalisant (modalité 10 kg) ou peu pénalisant (modalité 5 kg) pour la production (fig. 30), et probablement la pérennité du verger.

classe 0 : pas d'infestation
 classe 1 : infestation < équivalent de la surface d'une feuille par rosette
 classe 2 : infestation > surface d'une feuille par rosette

Figure 29 : répartition par classe d'infestation des rosettes observées dans chacune des modalités. Contrôle réalisé le 20/04/00



2.3.3. Discussion

Les principaux résultats de cette expérimentation plus spécifiquement ciblée sur le contrôle de la cloque en limitant les apports cupriques sont les suivants :

- la quantité de 2.5 kg de cuivre métal par application semble permettre une protection efficace contre la cloque ;
- pour la variété Flavorcrest, en année climatique non exceptionnelle, les possibilités de limitation des quantités de cuivre utilisées sont réelles mais difficiles en dessous d'un certain niveau, voisin de 5 kg de cuivre métal/ha/an.

Par rapport à la protection réalisée tout au long de la période 1994-1999 (modalité 10 kg retenue pour 1999), ce niveau permettrait en moyenne une réduction de plus de 2/3 des quantités utilisées. En revanche, la stratégie adoptée pour Bénédicte®, moins sensible à la cloque, et incluant des formulations de cuivre foliaire moins dosées par application, est régulièrement proche de ce niveau (cf. § 2.2.2.1.).

Il apparaît toutefois difficile de réduire ces quantités de manière plus importante en maintenant une première intervention cuprique à 2.5 kg de cuivre métal/ha/an. L'obtention d'un faible niveau d'apport suppose également de supprimer les traitements d'automne contre la bactériose en encadrement de chute des feuilles : en zone de contamination par la bactériose, cette suppression de protection pourrait poser problème.

Par ailleurs, le suivi de la teneur en cuivre du sol pour Bénédicte® atteste que pour ce niveau d'apport, une augmentation de la teneur du sol, quoique annuellement faible, est réelle, avec en moyenne une augmentation de + 2 ppm (extractible à l'EDTA) par an au cours de la période 1999-2001 (apport moyen

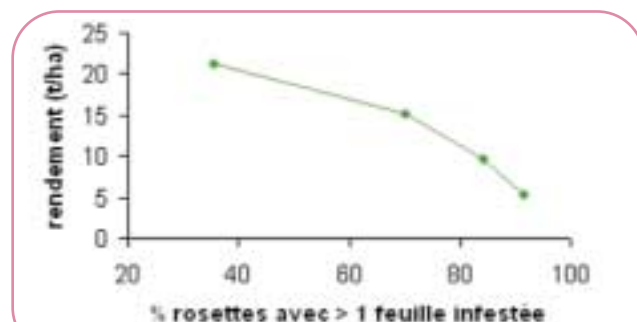


Figure 30 : rendement en fonction du pourcentage de rosettes sévèrement infestées (résultats 1999)

annuel de 8.8 kg de cuivre métal/ha) puis de + 1 ppm de 2002 à 2004 (apport moyen annuel de 4.6 kg de cuivre métal/ha).

Enfin, l'effet du niveau d'infestation par la cloque sur le rendement et la pérennité du verger n'a été qu'incomplètement exploré ici ; toutefois, en l'absence de réduction du rendement (par rapport aux années précédentes) pour 35% des rosettes sévèrement infestées (fig. 30), l'objectif habituel d'un verger sans symptômes est probablement à ré-envisager, d'autant que le niveau d'inoculum du verger ne peut être quantifié et ne permet pas un raisonnement de la protection de la saison suivante.

D'autres travaux de recherche et d'expérimentation, complémentaires de l'approche présentée ici, ont été conduits depuis 2000 ; ils concernent principalement le matériel végétal, avec étude de la sensibilité des variétés actuellement disponibles (Mandrin, 2003) et la mise en place d'un programme de recherche, associant le GRAB et l'INRA d'Avignon, pour la création et l'évaluation multi-sites d'hybrides tolérants à la cloque (Warlop, 2005).

Présentation et contexte

La cloque du pêcher, causée par *Taphrina deformans* (Berk.) Tul., est répandue dans toutes les régions du monde où l'on cultive le pêcher (Sharma *et al.*, 1987). Les symptômes de la maladie les plus préjudiciables pour l'arboriculteur sont l'altération et la déformation du feuillage accompagnées par un changement de couleur et une chute au début de l'été (Mix, 1935 ; Caporali, 1964 ; Gautier, 1986 ; Jeay, 1986 ; Safran et Levy, 1995).

Le contrôle de cette maladie est globalement satisfaisant avec une protection chimique en vergers conventionnels, expliquant probablement le petit nombre d'études fondamentales sur la biologie et l'épidémiologie de ce champignon. En Agriculture Biologique (AB), la seule matière active efficace actuellement autorisée est le cuivre, dont les quantités à utiliser sont limitées. Dans ce contexte, nous avons : (1) entrepris une synthèse bibliographique sur le sujet, brièvement retracée ci-après et (2) tenté de développer le champignon en conditions contrôlées pendant 2 ans pour connaître précisément ses exigences.

Biologie

La biologie de ce champignon pathogène, de la sous-classe des Hemiascomycètes et de l'ordre des Taphrinales, a été étudiée il y a de nombreuses années (Mix, 1935 ; Agarwala *et al.*, 1966 ; Lorenz, 1976). Mais les conditions climatiques nécessaires à son développement ne sont pas encore connues avec précision. Certaines semblent même varier avec le temps ; c'est le cas des températures minimales nécessaires pour les premières contaminations qui sont de 10° C en 1979 (ACTA, 1979), 5° C en 1995 (Safran et Levy, 1995) et 3,1° C en 2000 (Giosue *et al.*, 2000). On peut tout de même penser que ces différences ne sont pas dues à une évolution des populations de cloque mais plutôt à l'évolution des techniques d'études qui se révèlent plus précises.

Méthode de lutte et stade de sensibilité du pêcher

La méthode de lutte la plus efficace actuellement est la méthode décrite dans la brochure ACTA (1979) avec un positionnement des traitements en fonction des stades de développement des bourgeons à bois.

- Le premier traitement doit être placé obligatoirement au stade B, dès l'allongement des bourgeons à bois des extrémités des rameaux latéraux, avant l'apparition de la pointe verte.
- Le second, trois semaines plus tard.
- Un troisième traitement peut être nécessaire si lessivage. Cela est fréquent à cette période de l'année.

En fait, la sensibilité de la feuille du pêcher à la pénétration par les spores du champignon va décroître avec son développement. Elle est très sensible lors de l'ouverture du bourgeon et résistante lorsqu'elle est adulte (Mix, 1935 ; Jeay, 1986 ; Safran et Levy, 1995). Cela explique que le positionnement du premier traitement conditionne en grande partie les résultats de la lutte contre cette maladie.

Lors des années avec des conditions climatiques très favorables (températures froides et pluies) à la cloque, il peut se produire une apparition de petites taches sur les feuilles lors des mois de mars et d'avril. Ces attaques sont sans aucune incidence sur le potentiel des arbres (Mix, 1935).

Essai de développement en laboratoire

En l'absence quasi-totale de références sur les exigences de développement du champignon en milieu contrôlé, nous avons essayé, au cours des années 2001 et 2002, différentes techniques de mycologie classique (cultures sur boîtes de Pétri / tubes de gélose inclinés x dépôts de matériel végétal / dépôt de solution issue d'organes contaminés) pour obtenir un développement sur milieu artificiel de l'espèce *Taphrina deformans*. Ces études ont été réalisées dans un but de caractérisation des constantes biologiques nécessaires à son développement (température, hygrométrie, substrat). Nous nous sommes heurtés

à des difficultés de contamination par des parasites secondaires et à des incompatibilités de milieu, qui ne nous semblent possibles à surmonter qu'au prix de lourds investissements de recherche fondamentale.

Optimisation de la lutte

Pour l'avenir, une amélioration de la méthode de lutte décrite, peut être envisagée de 2 façons différentes qui sont complémentaires :

- Modélisation :

Des essais de conception et de développement de modèle ont été initiés en Israël (Safran et Levy, 1995) et améliorés en Italie (Giosue *et al.*, 2000). Cette méthode se propose d'estimer le risque de contamination en fonction des variétés et ainsi de pouvoir les regrouper pour faciliter les traitements dans des parcelles pluri-variétales. Malheureusement, les résultats de ce type d'approche ne sont pas encore commercialement applicables. Ils peuvent, tout de même, donner des informations indirectes sur les constantes biologiques de cette maladie (Giosue *et al.*, 2000).

- Expérimentation :

Des expérimentations en verger, avec marquages de l'avancement du développement des bourgeons en fonction de leurs positions sur le rameau dans des parcelles traitées ou non, permettraient de déterminer si les connaissances des stades de sensibilité sur lesquels nous nous basons pour la lutte sont optimaux.

Ce type d'expérimentation, en verger, est très coûteux en temps et en matériel végétal. Il n'a pas pu être mis en place dans le cadre de notre programme.

Conclusion

La méthode de lutte classique reste la méthode la plus fiable dans un contexte de raisonnement du nombre de traitements et/ou de réduction des doses de cuivre utilisées en AB. Il est nécessaire de positionner de manière optimale le premier traitement. C'est de ce positionnement et de la qualité de pulvérisation du matériel utilisé (bourgeons situés en haut de l'arbre protégés) que dépendent la réussite de la lutte contre cette maladie.

Références bibliographiques

- Agarwala R.K., Arora K.N., Singh A., 1966. Effects of temperature and humidity variation on the development of peach leaf curl in Mids Hills and its control. *Indian Phytopathol.*, 19, 308-309.
- ACTA Association de Coordination Technique Agricole, 1979. Contrôles périodiques en verger de pêcher - contrôles, seuils et indications de la lutte, t. III. ACTA, Paris, 37.
- Caporali 1964. Nouvelles observations sur la biologie du *Taphrina deformans* (Berk) Tul. *Annales de l'Institut National d'Agronomie*, 2, 37-245.
- Gautier M., 1986. La cloque du pêcher. *PHM Revue Horticole*, 264, 31-32.
- Giosue S., Spada G., Rossi V., Carli G., Ponti I., 2000. Forecasting infections of the leaf curl disease on peaches caused by *Taphrina deformans*. *European Journal of Plant Pathology*, 106(6), 563-571.
- Jeay M., 1986. La cloque du pêcher. *Phytoma*, 374, 31-32.
- Lorenz D.H., 1976. Beiträge zur weiteren Kenntnis des Lebenszyklus von *Taphrina deformans* (Berk) Tul unter besonderer Berücksichtigung der Saprophase. *Phytopathologische Zeitschrift*, 86,1-15.
- Mix A.J., 1935. The life history of *Taphrina deformans*. *Phytopathology*, 25, 41-66.
- Safran E., Levy Y., 1995. Tentative development of a prediction model for peach leaf curl. Essai de conception d'un modèle de prévision contre la cloque du pêcher. *Agronomie*, 15(1), 49-57.
- Sharma R.C., Jindal K.K., Gupta V.K., 1987. Managing fungal peach leaf curl through chemicals and host resistances. Proceedings of the 11th International Plant Protection Congress, 53.

2.4. Comportement agronomique d'une variété de pêcher résistante à *Myzus persicae* (S 6697)

En vue d'évaluer le comportement agronomique de matériel végétal résistant à un bio-agresseur potentiellement préjudiciable pour la production et la pérennité du verger (transmission de virus), la variété S 6697 résistante à *M. persicae* (obtention Mr Monet, INRA Bordeaux) a été implantée en 1999 avec du matériel végétal greffé à œil dormant (scions de 1 an pour Bénédicte®). La mise en parallèle des deux variétés, notamment pour l'entrée en production, doit donc tenir compte de cette différence d'âge du matériel végétal à la plantation. Enfin, le pilotage de la protection phytosanitaire n'a pas été spécifique à cette variété mais calé par rapport à Bénédicte®.

2.4.1. Aspects agronomiques

2.4.1.1. rendement, qualité du fruit

La première récolte a été effectuée en 2001 et les mesures agronomiques ont été réalisées de 2002 à 2004 (tab. 7). Le rendement a été affecté en 2003 par un gel en avril, peu incident pour Bénédicte® mais plus marqué pour S 6697, en décalage de quelques jours. Le calibre est moyen (B dominant) en année de charge normale. Le résultat de 2002 est expliqué par une charge en fruits trop importante en 2001 (charge équivalente à celle de Bénédicte®, ayant 1 an de plus). La qualité de la récolte est satisfaisante avec des valeurs d'indice réfractométrique supérieures ou égales à 10 (tab. 7) et une coloration du fruit jugée attrayante (fig. 31).

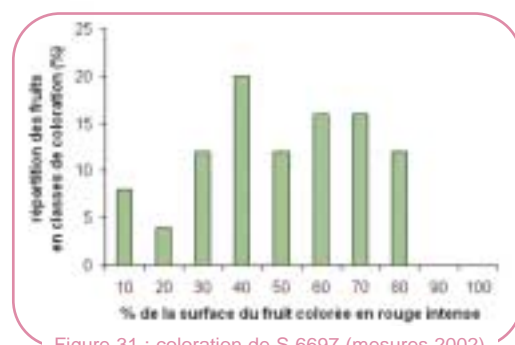


Figure 31 : coloration de S 6697 (mesures 2002)

Tableau 7 : rendement, poids moyen et qualité de la récolte - pêchers S 6697

Pêcher S 6697	2002	2003	2004	
rendement	11.0	4.2	18.3	t/ha
poids moyen	123.5	162.0	129.8	g
calibre dominant	C	A	B (73%)	% de calibre en poids de la récolte
fermeté	83.5	84.6	87.0	mesure Durofel
indice réfractométrique	9.9	11.6	10.1	° Brix
acidité	10.9	13.7	14.7	mEq/l

2.4.1.2. qualité gustative

L'objectif de la dégustation a été de situer la variété S 6697 par rapport à deux autres pêches jaunes de variétés connues : Flavorcrest et Cloé (conduite conventionnelle, collection variétale).

En 2002 (le 23/07/2002 sur la 1ère cueille de S 6697), pour la réalisation du test, 3 échantillons (1 par variété) ont été proposés à la dégustation, dans un ordre aléatoire, à un public non spécialiste (20 personnes du site). Les renseignements demandés ont porté sur : la teneur en sucre, les arômes, la texture, la teneur en jus et la préférence, avec classement des 3 échantillons pour ces critères (méthode des rangs).

La fermeté moyenne n'est pas identique entre les variétés, S 6697 étant en moyenne plus ferme (tab. 8) ; pour une fermeté supérieure, elle présente un indice réfractométrique (IR) plus élevé que celui de Flavorcrest, mais notablement inférieur à celui de Cloé.

Tableau 8 : fermeté et indice réfractométrique des lots de fruits soumis à dégustation

valeurs moyennes mesurées	IR (°Brix)	fermeté (Durofel)
Cloé	11.9 ± 1.1	87.6 ± 7.7
S 6697	10.3 ± 0.6	90.3 ± 6.8
Flavorcrest	9.4 ± 0.9	85.0 ± 6.8

Il ressort que :

- les variétés sont jugées proches pour la perception de leur teneur en sucre, ce qui ne recoupe pas la mesure au réfractomètre (Cloé en moyenne plus sucrée) mais témoigne probablement d'un équilibre sucre/acidité différent pour ces 3 variétés ;

- la variété S 6697 est moins bien classée que Cloé et peu différente de Flavorcrest (quoique toujours inférieure) pour les arômes, la texture, la teneur en jus et l'appréciation globale ; toutefois, S 6697 ne ressort pas significativement différente dans le référentiel constitué par les 2 autres variétés (test de Kramer portant sur la somme des rangs obtenus, $\alpha = 5\%$).

Reconduite en 2003, en comparaison avec Bénédicte®, la dégustation de S 6697 donne en résultats : bonne saveur (saveur médiocre pour Bénédicte®), mais texture fibreuse et variété peu parfumée (de même que Bénédicte®), faible résistance aux manipulations. L'année climatique a pu contribuer à diminuer la qualité gustative des fruits de ces 2 variétés.

En conclusion, S 6697 produit un fruit de qualité gustative correcte, dont la texture devient filandreuse lorsque la fermeté baisse, ce qui demande de respecter un optimum de récolte. Le calibre dominant est B et la coloration des fruits satisfaisante.

2.4.2. Aspects phytosanitaires

2.4.2.1. contrôle des pucerons

Aucun foyer ou individu de *M. persicae* n'a été recensé au cours de contrôles bi-mensuels sur cette variété. Quelques pucerons ailés (dont *Brachycaudus helichrysi* (Kaltenbach)) ont été prélevés et identifiés. Les seuls foyers recensés en avril et mai 2004 sont dus au puceron noir *B. persicae*, dont l'infestation diminue ensuite, du fait des auxiliaires et/ou des conditions climatiques.

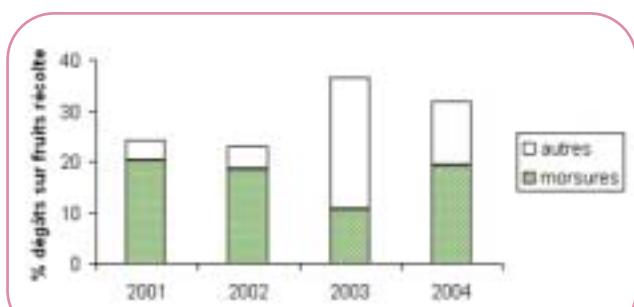
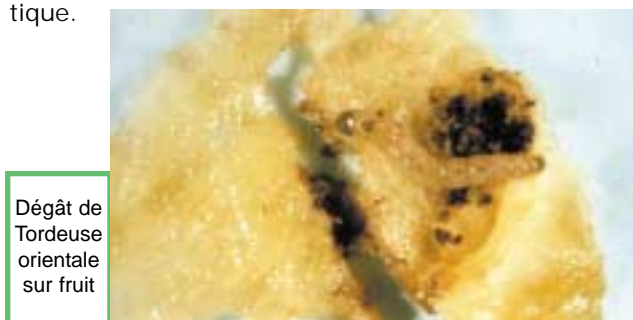


Figure 32 : dégâts totaux sur fruits à la récolte - pêchers S 6697

2.4.2.2. autres bio-agresseurs

La tordeuse orientale et la petite mineuse sont à l'origine de dégâts plus ou moins importants, en fonction des années, avec en saison un PIA (pourcentage indicatif d'attaque (ACTA, 1979)) de 2,5%, 6,7% et 4,2% en 2002, 2003 et 2004, respectivement. A la récolte seuls les dégâts enregistrés en 2003 (21.5% de dégâts totaux) sont élevés ; ils témoignent d'une protection par la confusion sexuelle imparfaite pour cette variété située en ligne de bordure du verger et/ou de niveaux de populations de tordeuse orientale et de petite mineuse plus élevés et plus précoces en raison de l'année climatique.



A la récolte (fig. 32), les morsures occasionnées par des forficules et des Orthoptères (Tettigoniidae présents dans le feuillage) sont recensées de manière constante au fil des années. La maturité plus précoce de quelques jours de cette variété par rapport à Bénédicte® peut expliquer ces dégâts. Par ailleurs, ils favorisent potentiellement le développement des monilioses ; la sensibilité variétale aux monilioses en verger n'a de ce fait pas pu être établie.

2.4.3. Discussion

Pour des niveaux d'infestation faibles (période 2000-2003) ou moyens (2004) par les pucerons sur le site, l'absence de développement de foyers de puceron vert *Myzus persicae* est confirmée pour S 6697. Le puceron noir *Brachycaudus persicae* est en revanche recensé en 2004 pour cette variété, à des niveaux comparables à ceux relevés pour Bénédicte®. L'impact des autres bio-agresseurs sur cette variété témoigne globalement d'une sensibilité équivalente à celle de variétés commerciales. Les niveaux de dégâts de monilioses constatés à la récolte peuvent s'expliquer par des dégâts de morsures plus importants (maturité plus précoce de quelques jours par rapport à Bénédicte®) ; il serait souhaitable, pour cet aspect, de reconsidérer cette variété dans un autre environnement.

Au cours de 6 années d'expérimentation, la variété S 6697 s'est comportée de manière satisfaisante en verger AB : (i) faible incidence de la cloque pour des niveaux modérés d'apport de cuivre au printemps ; (ii) pas de sensibilité marquée à l'un des bio-agres-

seurs étudiés (mais niveau de sensibilité aux monilioses à préciser) et (iii) un calibre, une coloration et des niveaux de rendement moyens mais acceptables en 2004.



2.5. Conclusion Pêchers

La mise en parallèle des 2 expériences en verger de pêchers AB, l'une dans un verger déjà installé et l'autre dans un verger implanté en AB permet de souligner :

- la difficulté de gérer la nutrition azotée lorsque le verger entre en production, et que la demande à satisfaire est élevée sur une période relativement courte (croissance simultanée des fruits et des pousses au printemps). La perturbation de l'horizon racinaire, par travail mécanique du sol sur le rang, peut également limiter les possibilités d'alimentation de l'arbre.
- la nécessité de connaître finement la biologie ou l'épidémiologie des bio-agresseurs pour gérer la pression parasitaire en cours de saison (positionnement d'éventuelles interventions, prophylaxie,...)
- l'intérêt de concevoir le verger et ses composantes structurelles (variété, distances de plantation, aménagement de l'environnement du verger) en vue d'une production dépendant le moins possible des intrants phytosanitaires (Corroyer *et al.*, 1999 ; Simon *et al.*, 2001)
- en verger de pêchers, où l'éclaircissage est manuel quel que soit le mode de production, les temps de travaux spécifiquement induits par l'AB sont réduits (généralement plus de temps d'entretien du rang, mais moins de taille) ; ils sont surtout beaucoup plus liés à la structure du verger (sa hauteur) qu'au mode de production.

La production de pêches en AB peut être limitée par les points suivants :

- la difficulté de connaître le niveau de fertilisation azotée réalisant le compromis entre satisfaire les besoins de l'arbre et limiter le développement des bio-agresseurs.
- la limitation réglementaire des quantités de cuivre utilisées en AB nécessite des choix variétaux appropriés (variétés anciennes ou plus récentes peu sensibles à la cloque, dont Bénédicte®) et limite les possibilités de conversion de vergers implantés avec des variétés très sensibles. En rapport avec le petit nombre d'études entreprises (Mandrin, 2003 ; Warlop, 2005), la connaissance des sensibilités variétales à la cloque est encore incomplète ; par ailleurs, il n'existe actuellement aucune variété résistante et la création variétale développée dans cet objectif (Warlop, 2005) ne permettra pas de disposer à court terme de nouvelles variétés.
- une conservation très courte des fruits (à l'air ambiant) nécessite : (i) côté commercialisation, des circuits très courts ou des possibilités de stockage au froid ; (ii) en verger, l'enlèvement des momies et des chancre sur bois, ainsi que la mise en œuvre de mesures prophylactiques pour le matériel et les installations de conditionnement et de stockage et (iii) des choix variétaux (variétés précoces ou de saison à privilégier), de distance de plantation, de conduite de l'arbre (aération, taille en vert), de pilotage de l'irrigation (limiter l'apparition des microfissures des fruits) contribuant à limiter le développement des monilioses en verger (Mercier *et al.*, 2005). Bien que lourde à gérer (installation, fonctionnement), la thérapie (Gomez *et al.*, 2004) peut contribuer à réduire l'inoculum sur fruits après cueille en station et renforcer ces mesures.
- le contrôle des pucerons a été satisfaisant tout au long de la période d'étude (peut-être en lien avec une fertilisation azotée modérée) et limite donc l'intérêt de planter une variété résistante à *M. persicae* dans notre situation, mais est à considérer pour certaines régions. La conduite du verger (fertilisation, forme de l'arbre,...) et de son aménagement, non étudiés dans le cadre de ce travail, trouvent également leur place dans une approche intégrée de la gestion des pucerons en verger.
- une petite taille de verger limite l'efficacité du contrôle de la tordeuse orientale par confusion sexuelle ; de même, le choix de variétés tardives implique la gestion de niveaux de populations plus élevés, combinés à un niveau d'inoculum de monilia également plus élevé.

3. PRODUCTION EN VERGER DE POMMIERS AB

Le verger expérimental de pommiers AB a été implanté en 1994 avec la variété Smoothie, sensible à différents bio-agresseurs, dont la tavelure, avec une densité de 1250 arbres/ha. Ces choix structurels ont été motivés par la création d'un verger présentant des caractéristiques et des difficultés de conduite proches de celles rencontrées en production (nombreux vergers convertis). Par ailleurs, l'étude analytique des effets partiels de certaines méthodes culturales demandait le choix de variétés présentant une sensibilité variétale, notamment à la tavelure. Dès les premières années de plantation, le puceron cendré du pommier *Dysaphis plantaginea* a constitué un bio-agresseur préjudiciable difficile à contrôler ; des expérimentations ont donc logiquement été ciblées sur le verrou technique que constitue la maîtrise du développement de ce puceron.

Ainsi, le suivi longitudinal du verger tout au long des 11 années de l'étude (§ 3.1) est complété par la présentation de 2 études plus spécifiques, en relation avec le développement du puceron cendré, portant sur la nutrition azotée du verger (période 1999-2001, cf. § 3.2) et sur la conduite de l'arbre (période 2002-2004, cf. § 3.3). Lorsque plusieurs modalités sont mises en œuvre dans le verger (dans le cadre du § 3.3 notamment), les valeurs présentées pour le suivi longitudinal correspondent à la modalité "témoin" équivalente à la conduite réalisée lors des premières années du verger.

3.1. Verger implanté en AB Smoothie

3.1.1. Rendement, qualité du fruit et nutrition de l'arbre

3.1.1.1 rendement et poids moyen

L'entrée en production du verger est lente mais régulière de 1995 à 2000 (fig. 33a). Dès 2001 s'amorce une alternance de production, qui s'amplifie au fil des années (4.4 t/ha en 2003, soit 1/10e de la production de 2004 égale à 43.4 t/ha). Plusieurs causes -qui ne s'excluent pas- peuvent être à l'origine de ce phénomène :

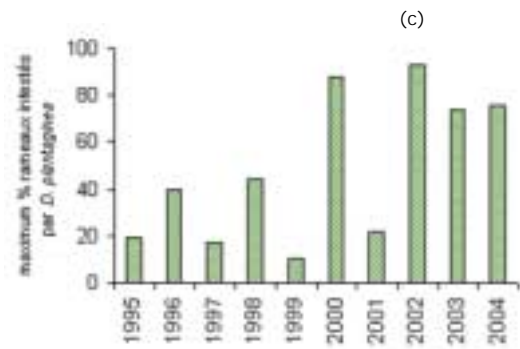
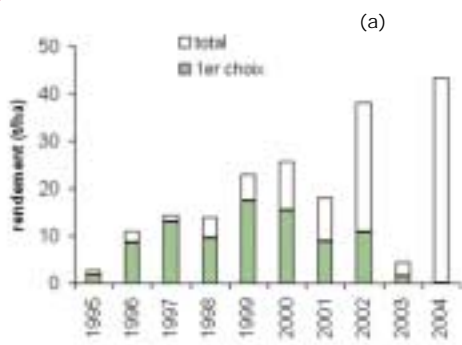
(i) régulation de la charge de l'arbre trop tardive, par éclaircissage manuel après chute physiologique (en général vers début juin), alors que l'induction de la floraison de l'année suivante est déjà -au moins partiellement- réalisée ;

(ii) régulation de la charge pas assez sévère, et notamment pas ajustée précisément à la vigueur de l'arbre (par ex. par ajustement du nombre de fruits par arbre à la section de tronc) ; il est probable que la charge en fruits de 2000 a été trop importante par rapport au potentiel de l'arbre, d'autant qu'est observée

(iii) une forte infestation de puceron cendré en mai 2000 (fig. 33c), qui a probablement affecté la capacité de l'arbre à produire (faible calibre et poids moyen en 2000, fig. 33b) et à induire une nouvelle mise à fruit l'année (n+1).

Confirmée par l'année 2005 (non présentée), cette alternance de production semble par ailleurs définitivement établie dans le verger ; même si aucun facteur n'a été explicitement identifié dans le cadre de ce suivi, il est probable que les deux aspects, (i) ajustement précoce et précis de la charge en fruits et (ii) contrôle du puceron cendré, soient déterminants pour la pérennité du verger et sa régularité de production. L'effet de la conduite de l'arbre et de la régulation de la charge sur le retour à fleur du verger est analysé dans le chapitre § 3.3, en lien avec le niveau d'infestation par le puceron cendré du pommier.

Le poids moyen est sauf exception (2000, 2003 et, dans une moindre mesure, 2002) satisfaisant ; les plus faibles valeurs observées peuvent s'expliquer par les fortes infestations par le puceron cendré constatées pour ces années, ainsi qu'en 2003, année de très faible retour à fleur, par le choix de conserver tous les fruits sur des arbres alternants, quelle que soit leur qualité, en vue de maintenir une production et de limiter l'amplitude de l'alternance.



contrôle 1er choix 2004 non présenté car non équivalent aux années précédentes avec calibre 65 retenu en 1er choix (mode de commercialisation différent)

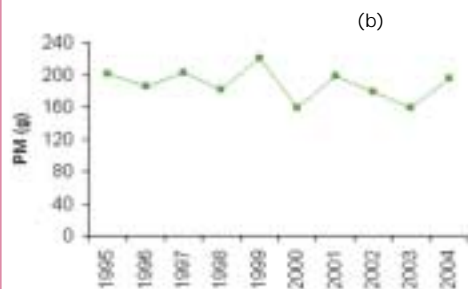


figure 33 : récolte pommiers Smoothee. (a) rendement et 1er choix ; (b) poids moyen ; (c) maximum d'infestation par le puceron cendré du pommier *Dysaphis plantaginea*

Verger de pommiers Smoothee

3.1.1.2. qualité du fruit

La qualité de la récolte, mesurée par l'indice réfractométrique (fig. 34a) ou l'indice de qualité gustative proposé par Thiault (Thiault, 1970) (fig. 34b), indique des valeurs satisfaisantes (norme indice Thiault = 170) pour les années de récolte au stade couleur jaune, en vue d'une vente en frais. En 2002 et 2004, la récolte a été anticipée par rapport aux années précédentes, en vue de l'élaboration de jus de fruits et de la commercialisation par un circuit demandeur de fruits de couleur plus verte, et n'a donc pas permis aux fruits d'atteindre leur potentiel maximum.

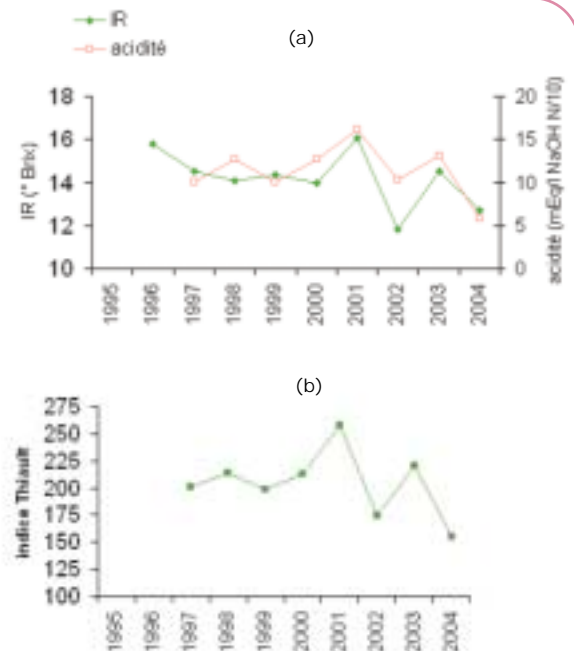


figure 34 : qualité de la récolte du verger de pommiers Smoothee. (a) indice réfractométrique et acidité titrable ; (b) indice Thiault

$$\text{indice Thiault} = \text{Sucres Totaux} + 10 \times \text{acidité titrable (acide malique (g/l))}$$

3.1.1.3. fertilité du sol

Après la réalisation d'une fumure de fond avant plantation en 1994 (compost et apport calcique avec de la dolomie) (tab. 9), la stratégie de fertilisation réalisée au cours des années 1995-1998 est analogue à celle pratiquée en verger de pêchers : elle consiste en un apport à l'automne de compost (C/N ~ 15), complété au printemps, en fonction des résultats d'analyse du végétal, par un ou deux apports d'un fertilisant de type guano rapidement minéralisable (20 à 25 unités d'azote par apport).

L'observation d'un profil cultural en 1998 (D. Massenot, méthode Hérody), a mis en évidence la présence de compost non décomposé et perturbant de ce fait le développement du système racinaire ; pour limiter ce phénomène, les quantités d'amendement organique apportées ont été nulles en 1999, puis diminuées à partir de 2000.

En parallèle, le nombre d'apports de printemps avec un fertilisant organique a été augmenté, de façon à pallier aux besoins en azote des arbres (tab. 9). Les apports ont enfin été ajustés au fil des années en fonction des résultats d'analyse et de la charge en fruits des arbres. L'apport magnésien a permis de compléter la nutrition de l'arbre dont les teneurs en magnésium des feuilles étaient faibles et en diminution.

Dans le cadre d'une expertise de sols de vergers de pommiers AB dans la Drôme, les diagnostics de D. Massenot et Y. Gautronneau (ISARA Lyon), réalisés en 2001 pour ce même verger, ont conforté la stratégie de fertilisation adoptée depuis 1999. A cette date, l'analyse du profil (fig. 35) indique une activité structurale forte, une activité biologique et une porosité satisfaisantes. La présence de matière organique peu utilisable car localisée dans des zones non colonisées par les racines, est également notée ponctuellement.

tableau 9 : apports de fertilisants et amendements - pommiers Smoothee

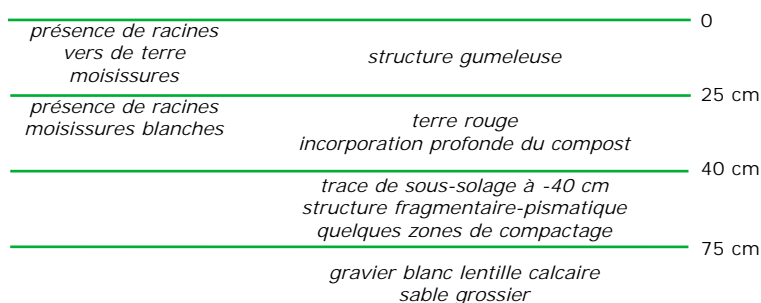
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	moyenne 95-04
dolomie (t/ha)	4.8											
compost (t/ha)	36.3	10.2	11.7	11.6	13.6	0	5.8	5.0	5.1	4.0	4.0	7.1 t/ha
fertilisant type guano (kg/ha)	0	0	0	460.9	276.5	484.5	436.0	400.4	400.8	410.4	606.6	348 kg/ha
apport magnésien : kiésérite (kg/ha)	0	0	0	0	969.0	0	484.5	417.1	398.1	402.9	0	267 g/ha
apport u N/ha*	109	103	110	120	109	93	81	67	74	71	88	92 u/ha
bore (nb apports**)	0	0	2	2	2	6	0	0	0	0	0	
manganèse (nb apports**)	0	0	0	0	2	0	4	5	3	3	0	

* estimation disponibilité de l'azote pour le compost utilisé = 30% an 1, 20% an 2, 15% an 3

Teneur en azote du compost : 1% (C/N ~15) ; du fertilisant de type guano : 10%.

** apport foliaire

figure 35 : schéma du profil de sol et activité biologique - pommiers Smoothee (profil décrit le 23/10/01 par Y. Gautronneau, ISARA Lyon)



Dès la 1ère année de plantation, le pH (fig. 36a) augmente de 5.9 à 7.4, variation s'expliquant par l'important apport de dolomie et de compost au cours de l'hiver 1993-1994 avant plantation. Les valeurs prises par le pH tendent à augmenter encore au fil de temps, pour atteindre 7.8 en 1999, puis redescendre à 7.5 de moyenne pour les 3 années 2002 à 2004. Au delà de 7.5, l'augmentation du pH peut limiter l'assimilation de certains éléments minéraux du sol ; elle est donc à éviter.

La réponse de la teneur en matière organique aux apports de la fumure de fond est plus lente (fig. 36b), mais cette teneur s'accroît régulièrement dès 1995, pour atteindre 2.5% en 2004, niveau très satisfaisant dans ce type de sol, et témoignant d'un équilibre entre apports et dégradation de la matière organique. Le rapport C/N (fig. 36c), voisin de 10 en 2004, après augmentation depuis des valeurs de l'ordre de 9 en 1994, témoigne également d'un sol

cultivé proche de son optimum. La capacité d'échange cationique (CEC), qui varie de 7.6 en 1995 à 9.2 cmol.kg⁻¹ en 2002 (fig. 36d), est dans la norme pour ce type de sol. Enfin, à l'exception de 1995 et 1996, la teneur en azote du sol (fig. 36e) dépasse 1.0 g/kg et atteint 1.4 g/kg en 2004, ce qui est correct pour assurer la nutrition azotée des pommiers. Les reliquats d'azote mesurés de 2000 à 2004 varient respectivement de 7 à 9 kg par hectare à l'automne (après récolte), et de 5 à 9 kg au printemps. Les faibles valeurs mesurées en 1995 et 1996 sont probablement liées à une fourniture azotée réelle inférieure à l'estimation (tab. 9), et/ou à des besoins de l'arbre élevés et difficiles à couvrir en l'absence d'apport au printemps.

Les valeurs relevées pour les autres éléments minéraux et oligo-éléments n'indiquent pas de facteur limitant pour la production.

Elles sont en augmentation pour le phosphore (0.13 g/kg en 1996 puis 0.21 g/kg depuis 2000 pour P Joret), pour le calcium (5.2 cmol/kg en 1993 puis 7.4 à 9.9 cmol/kg Ca⁺⁺ de 1999 à 2004), pour le magnésium (0.5 à 1.3 cmol/kg de 1993 à 1997, puis 1.7 à 2.3 cmol/kg Mg⁺⁺ de 1998 à 2004).

Seul le potassium tend à baisser, de 0.59 cmol/kg en 1994 à des valeurs comprises entre 0.34 et 0.41 cmol/kg K⁺ de 1999 à 2004. Les teneurs en fer et zinc varient d'une année à l'autre (36 à 70 mg/kg

pour Fe EDTA et 3.5 à 13.6 mg/kg pour Zn EDTA, respectivement). Les valeurs pour le bore sont de 0.30 mg/kg (1997-1998) puis baissent à 0.16 à 0.21 (période 1999-2004), alors que le manganèse tend à augmenter depuis 1 à 2 mg/kg Mn EDTA (échangeable à l'acétate d'ammonium), mesurés pour la période 1997-2002, à 3 mg/kg en 2004. Enfin, le cuivre, analysé depuis 1997, est en augmentation depuis 10 mg/kg Cu EDTA en 1997 et atteint 27 mg/kg en 2004, soit en moyenne une augmentation de 2.5 mg/kg par an.

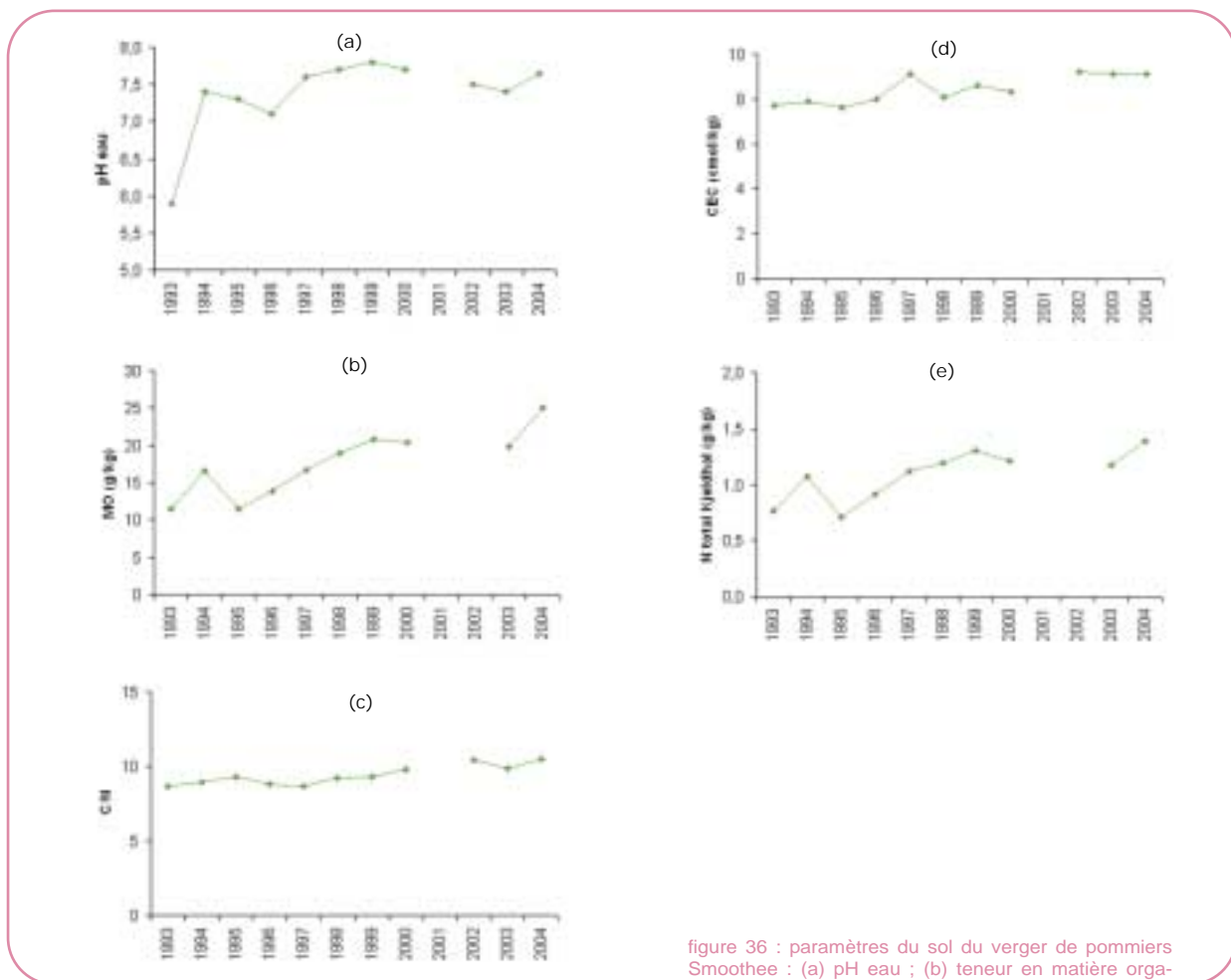


figure 36 : paramètres du sol du verger de pommiers Smoothee : (a) pH eau ; (b) teneur en matière organique ; (c) C/N ; (d) CEC ; (e) azote total (Kjeldhal)

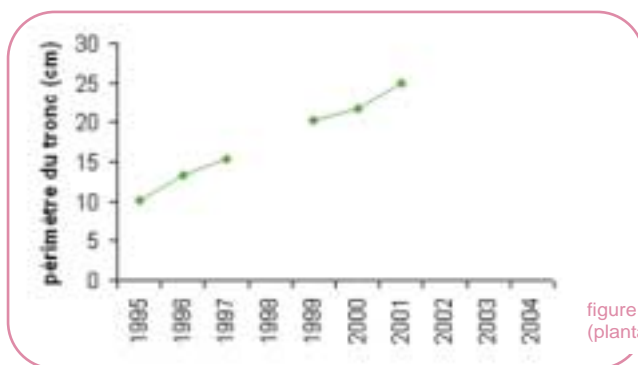


figure 37 : périmètre du tronc - pommiers Smoothee (plantation mars 1994)

Le périmètre du tronc s'accroît de manière régulière au fil des années (fig.37), attestant globalement de la satisfaction des besoins de l'arbre pour sa croissance. L'accroissement annuel moyen du tronc est de 24.5 mm pour la période 1995-2001.

3.1.1.4. nutrition de l'arbre : teneur en éléments minéraux des feuilles et fruits

Les résultats d'analyse des feuilles (fig. 38a, 38c) et fruits (fig. 38b, 38d) indiquent :

- une diminution de la teneur en azote des feuilles du pommier (tendance faible mais régulière, fig. 38a), qui ne s'accompagne pas d'une tendance similaire pour la teneur en azote des fruits (fig. 38b), relativement constante, à l'exception de 2001. Les valeurs relevées pour les feuilles s'inscrivent dans la fourchette de variation normale indiquée par Shear & Faust (1980) ou Gagnard (1984) ; les valeurs les plus faibles, relevées en 2001 et 2003 (17 et 18 g/kg MS, respectivement) se situent à la limite inférieure de ces normes. La teneur en azote des fruits est quant à elle faible tout au long des 10 années de production (Sharples, 1980, cité par Gagnard, 1984).
- la teneur en calcium des feuilles (fig. 38c) se situe dès 1997 légèrement en dessous de la norme pour juillet (F + 100 jours) indiquée par Shear & Faust (1980), soit 15 à 20 g /kg de matière sèche (MS), mais atteint à nouveau 15 g/kg MS en 2003. En revanche, à l'exception de 2001 (0.19 g calcium/kg MS), la teneur en calcium des fruits est peu élevée mais correcte, avec 0.24 à 0.29 g/kg MS (norme proposée : 0.25 à 0.50 g/kg MS, Shear & Faust, 1980).

Pour les autres éléments et oligo-éléments, les valeurs relevées dans les feuilles se situent dans les normes proposées par Shear & Faust (1980) ou Gagnard (1984), sauf pour le magnésium et le zinc. Les apports magnésiens sous forme de kieselrite (tab. 9) permettent de relever à 3.1 g/kg MS (analyse de 2003) la teneur en magnésium des feuilles, à partir de valeurs de 2.0 g et 1.3 g/kg MS en 1996 et 1997, respectivement (pour une variation normale de 2.5 à 3.5 g/kg MS, d'après Shear & Faust, 1980). La teneur en zinc, qui varie entre 7 et 15 mg/kg MS, semble basse au vu des normes proposées (15 à 200 mg/kg MS). Pour les fruits, les teneurs en magnésium, potassium et phosphore sont correctes (Sharples, 1980, cité par Gagnard, 1984), sauf en 2000, année pour laquelle les valeurs prises sont basses pour le potassium et le phosphore : l'absence d'apport de compost en 1999 peut contribuer à cette situation ponctuelle. La disponibilité des éléments minéraux pour l'arbre et leur répartition entre feuilles et fruits semble donc globalement correcte, après réajustement de la fertilisation azotée et magnésienne. L'aptitude à la conservation des fruits sur la base de leur composition en éléments minéraux est toutefois en partie pénalisée par des teneurs en azote et calcium peu élevées (Sharples, 1980, cité par Gagnard, 1984).

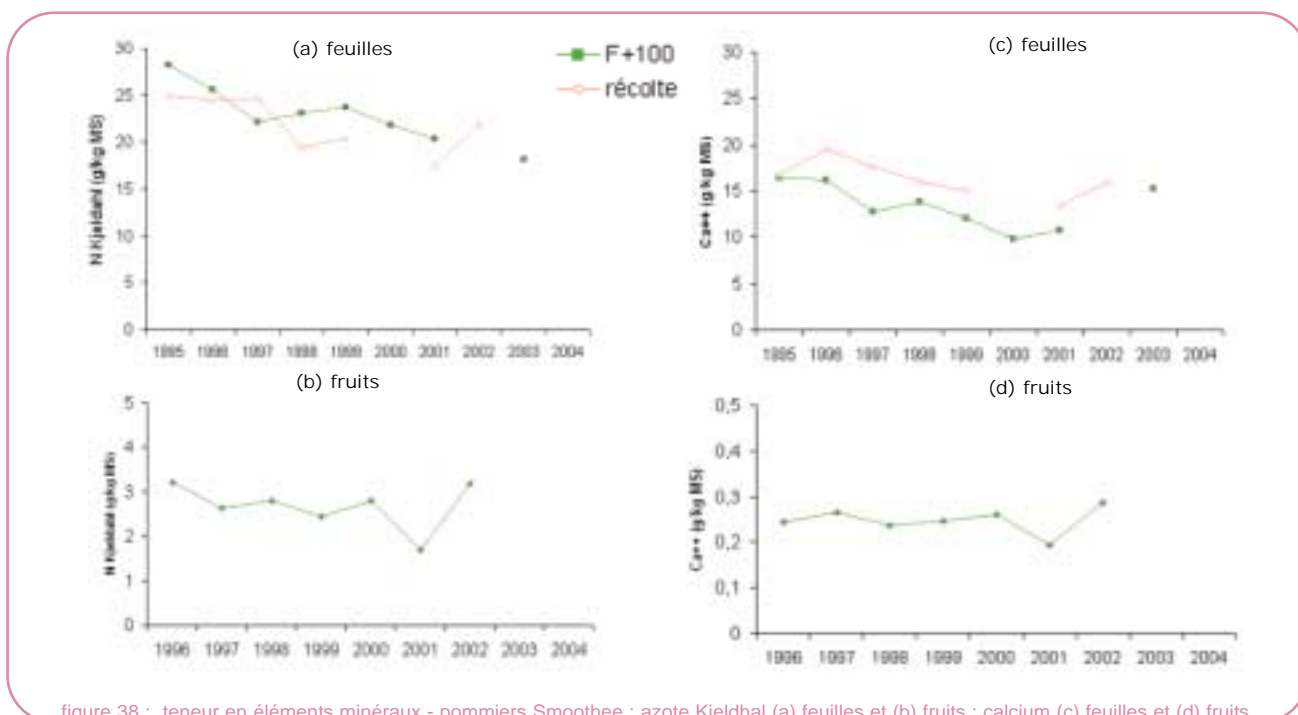


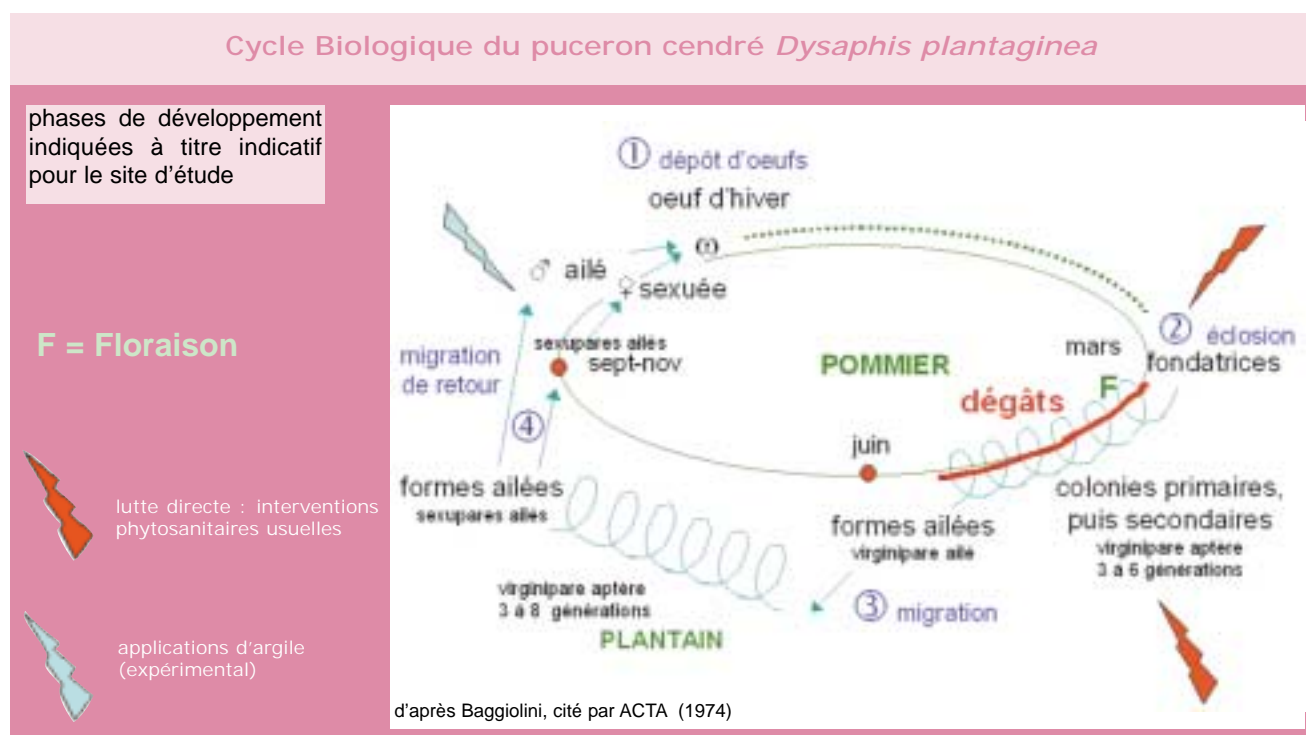
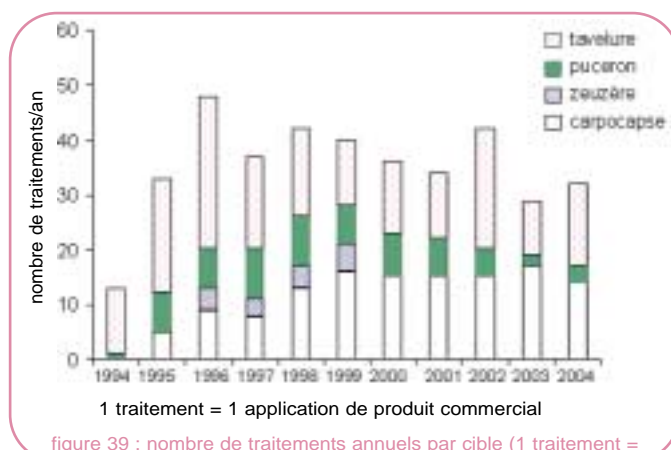
figure 38 : teneur en éléments minéraux - pommiers Smoothie : azote Kjeldahl (a) feuilles et (b) fruits ; calcium (c) feuilles et (d) fruits

En verger de pommiers, les besoins de l'arbre, et notamment les besoins azotés, peuvent être plus faciles à satisfaire (par rapport au pêcher) car ils sont répartis sur une période plus longue. La fourniture d'azote par un système relativement " lent " est donc plus en adéquation avec une période de croissance puis de grossissement des fruits plus longue, pour des besoins totaux équivalents. Les observations réalisées pour ce verger de pommiers Smoothie témoignent d'un verger trouvant son

équilibre, après une phase de croissance et un ré-ajustement de la stratégie de fertilisation. L'alternance de production, probablement liée à des facteurs autres que la nutrition de l'arbre *sensu stricto* (régulation de la charge, infestation par le puceron cendré), est toutefois installée depuis 2001, et témoigne de la difficulté de limiter ce phénomène au cours de la vie du verger, notamment pour une variété tendant à être plus sensible à l'alternance que Golden (B. Hucbourg, comm. pers.).

3.1.2. Protection phytosanitaire et développement des bio-agresseurs

Le nombre total d'interventions annuelles (fig. 39) est élevé dans ce verger de petite taille (pas d'utilisation possible de la lutte par confusion sexuelle contre le carpocapse) et implanté avec une variété sensible à la tavelure (Trillot *et al.*, 2002). En moyenne, pour la période 1996-2004 (verger en production), 15.7 traitements contre la tavelure et 13.6 traitements contre le carpocapse ont été appliqués annuellement ; ils représentent plus des trois quarts du nombre total de traitements (moyenne annuelle 1996-2004 de 37.8 traitements).



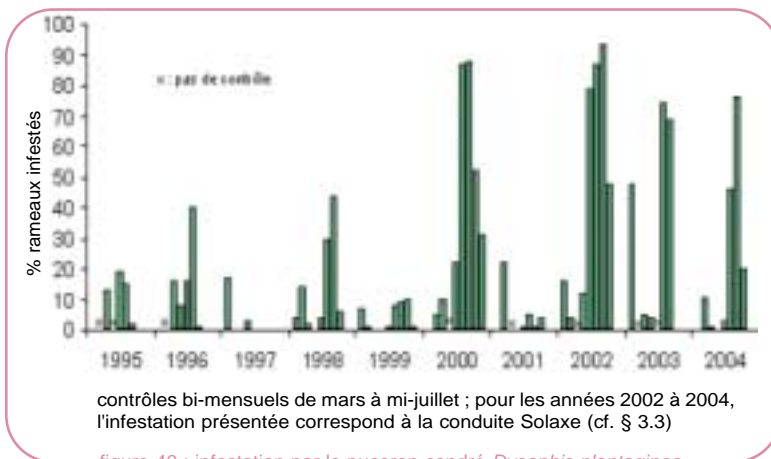
3.1.2.1. les pucerons

Les 3 principales espèces de puceron se développant sur pommier ont été recensées par observation visuelle bi-mensuelle à partir du débourrement du pommier jusqu'à leur migration (fin des observations mi-juillet) : puceron vert migrant *Rhopalosiphum insertum*, puceron cendré *Dysaphis plantaginea* et puceron vert du pommier *Aphis pomi*. *R. insertum*, présent en tout début de saison, reste anecdotique quelle que soit l'année. En revanche, *D. plantaginea*, dont le contrôle des fondatrices et colonies primaires par les interventions phytosanitaires et/ou les auxiliaires reste imparfait, atteint des niveaux d'infestation très élevés (fig. 40), permis par une importante capacité de multiplication.

La stratégie de protection contre ce bio-agresseur consiste en une ou plusieurs applications d'huile de pétrole, suivies d'une ou plusieurs applications de roténone (ou pyrèthre et roténone, selon les années et les produits commerciaux), réalisées avant fleur ; le nombre d'applications est déterminé en fonction des contrôles en verger et des conditions météorologiques. Le choix de ne pas intervenir après fleur avec un insecticide neurotoxique tel que la roténone une fois le verger installé (NB : interventions après fleur en 1996 et 1997) est motivé par l'efficacité partielle de ce produit de contact lorsque les feuilles de pommier sont enroulées, et par sa toxicité vis-à-vis de la faune auxiliaire.

La réduction d'infestation initiale permise par la protection est effective (illustrée pour les années 1998, 1999 et 2001 à 2004, fig. 40) mais insuffisante pour contrôler le développement ultérieur du puceron. Pour des niveaux d'infestation tels que ceux recensés en mai dans ce verger AB, avant début de migration vers l'hôte secondaire (encadré Cycle biologique du puceron cendré), le préjudice pour l'arbre et la production est important : (i) l'année d'infestation, par enroulement des feuilles (diminution de la surface foliaire) provoqué par la toxicité des piqûres de ce puceron, et par arrêt de croissance des fruits des rameaux infestés (fruits "pygmées"), ainsi que (ii) les années suivantes, par effet sur l'équilibre physiologique de l'arbre, notamment pour la croissance végétative (arrêt de certains rameaux) et le retour à fleur. La production et la pérennité du verger sont donc tributaires d'un contrôle satisfaisant de ce puceron, afin de limiter et de retarder l'entrée en alternance de production du verger, marquée dès 2001 dans ce verger expérimental (fig. 33), après une forte infestation en 2000 (fig. 40).

Le développement du puceron cendré en relation avec les méthodes culturales pratiquées (fertilisation, conduite), ainsi que l'étude de la biocénose du verger, ont fait l'objet d'analyses spécifiques présentées dans les § 3.2, 3.3, et 4.2 respectivement.



contrôles bi-mensuels de mars à mi-juillet ; pour les années 2002 à 2004, l'infestation présentée correspond à la conduite Solaxe (cf. § 3.3)

figure 40 : infestation par le puceron cendré *Dysaphis plantaginea* - pommiers Smoothee

Le puceron vert du pommier *A. pomi* est recensé tout au long de la période d'étude ; il immigre depuis l'environnement du verger à partir de la 2e quinzaine d'avril et reste présent dans le verger jusqu'aux fortes chaleurs et/ou à l'arrêt de croissance du pommier (vers mi-juillet). Les niveaux d'infestation restent cependant acceptables (pas de fumagine) et le seuil d'intervention de 60% de rameaux infestés proposé par l'ACTA (1974) n'est dépassé qu'à une date de contrôle au cours des 11 années d'étude (74% de rameaux infestés le 05/06/2003).

3.1.2.2. Le carpocapse *Cydia pomonella*

Dans la zone de la moyenne vallée du Rhône, le carpocapse présente 2 générations par an, et exceptionnellement le début d'une 3e, qui occasionne des dégâts mais ne contribue pas à l'inoculum hivernal (survie limitée quand entrée en diapause au stade larve jeune). Dans le verger expérimental Smoothee, la protection contre le carpocapse repose uniquement sur l'utilisation du virus de la granulose, tout au long de la période de risques, depuis le début des éclosions jusqu'à la récolte. Le début du vol dans la parcelle et sur le site sont suivis par piège sexuel à phéromone. Avec un cumul sur la saison toujours inférieur à 40 papillons, le nombre de captures de carpocapse dans la parcelle est peu élevé.

Pour les 10 années d'étude, les dégâts totaux* à la récolte (fig. 41a) sont en moyenne de 7.1% (2.0% en fin de 1ère génération), avec des fluctuations importantes en fonction des années, notamment après l'année 2000. Les forts niveaux d'infestation observés en 2001 et 2003 peuvent en partie être expliqués par l'alternance de production du verger, qui augmente le ratio carpocapse/fruit des arbres. Il n'y a toutefois pas de progression de l'infestation au fil des années, et l'inoculum d'hiver, mesuré par le nombre moyen de larves par bande-piège (10 bandes installées sur des arbres de bordure du verger et 20 bandes sur des arbres intérieurs) (fig. 41b) atteste d'une situation globalement satisfaisante (moyenne des 10 ans de 1.3 larves par bande), à l'exception de 2001.

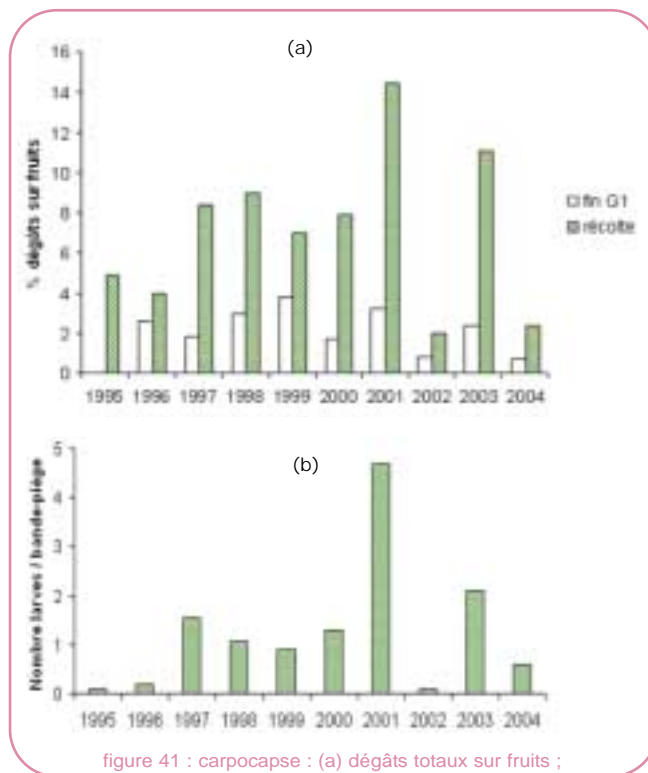


figure 41 : carpocapse : (a) dégâts totaux sur fruits ; (b) inoculum hivernal - pommiers Smoothee

* dégâts totaux = dégâts actifs + stoppés + cicatrisés

En 2002 et 2004, la protection réalisée a toujours permis de diminuer l'inoculum et le niveau de dégâts sur la parcelle (fig. 41). Elle est cependant coûteuse en termes de nombre d'interventions (15.2 interventions en moyenne pour les années 2000-2004), rendues nécessaires par la faible persistance d'action du virus de la granulose, sa sensibilité aux fortes températures et aux UV, demandant de renouveler la protection à cadence répétée (7 à 8 jours) en été. L'utilisation répétée d'une seule matière active peut enfin compromettre la durabilité de son efficacité, situation récemment relevée pour le virus de la granulose en Allemagne (Fritsch *et al.*, 2005) et dans le Sud-Est de la France (Sauphanor *et al.*, 2006).

En l'absence de variétés peu sensibles au carpocapse, le contrôle de ce bio-agresseur doit intégrer des

méthodes prophylactiques pour le verger et son environnement (enlèvement des fruits au sol, suppression des plantes-hôtes du carpocapse non protégées dans l'environnement du verger, bandes-pièges, pallox,...). Si la taille et la forme du verger sont proches des prérequis pour l'utilisation de la lutte par confusion sexuelle, la combinaison des 2 méthodes de lutte doit permettre de restreindre le nombre d'interventions avec le virus de la granulose aux pics de vol du carpocapse et/ou d'améliorer l'efficacité de la protection. La réalisation de contrôles en verger est indispensable au pilotage de la protection contre le carpocapse ; elle peut être complétée par l'utilisation d'outils prédictifs (modèles) afin de positionner au mieux les interventions (Boivin & Sauphanor, 2005).



Dégât de larve de carpocapse (pomme)



Dégât de tavelure

3.1.2.3. La tavelure *Venturia inaequalis*

La stratégie de protection mise en oeuvre contre la tavelure consiste à protéger le végétal dès son stade sensible (stade phénologique C-C3) par des applications de cuivre avant fleur, puis de soufre après fleur, positionnées de manière préventive. L'objectif est d'obtenir un inoculum de tavelure nul à très faible en fin de contamination primaire (vers la mi-juin dans notre situation), afin de supprimer la protection durant la phase de contamination secondaire dans le verger (période estivale). Depuis 2002, le balayage des feuilles de l'inter-rang du verger et l'enfouissement des feuilles sur le rang sont réalisés à la fin de chute des feuilles en méthode prophylactique, en vue de réduire l'inoculum hivernal se conservant dans la litière des feuilles au sol (ascospores à l'origine des contaminations du printemps suivant).

Au cours des 10 années de production, la tavelure occasionne des dégâts à la récolte faibles à très faibles pour 7 années, des dégâts moyens (< 8%) en 1996 et 2001, et des dégâts très élevés en 2002 (70% de fruits tavelés) (fig. 42a), en rapport avec une période pluvieuse prolongée au mois d'avril ayant lessivé la protection à base de soufre, sans possibilité de renouvellement. Le niveau d'infestation sur fruits en fin de contamination primaire (1ère quinzaine de juin) atteint 49% en 2002. Tout comme en 1996 et 2001 pour un niveau moindre (< 5% de fruits tavelés en fin de contamination primaire), cet inoculum est à l'origine de contaminations secondaires dans le verger, se produisant lors de précipitations estivales, même en maintenant la protection fongique tout au long de cette période (fig. 43b).

En revanche, à l'exception de 2002, la présence de tavelure sur feuilles en fin de contamination primaire (fig. 42b) ne s'accompagne pas toujours de dégâts importants sur fruits si les conditions météorologiques estivales ne sont pas favorables au développement de cette maladie (taches "séchées", pas de période de contamination,...). Une protection fongique (fig. 43b) a été maintenue au cours des étés 1995, 1996, 2002 et 2004, en rapport avec un inoculum sur feuilles et/ou fruits non nul en fin de contamination primaire (fig. 42). L'inoculum d'hiver (méthode Olivier, 1996) augmente les années d'infestation importante : il est fort en 2001 et 2002, moyen en 1996, 2003 et 2004 (pas de mesure en 1995).

Les quantités de cuivre (fig. 43a) utilisées en protection contre la tavelure peuvent être relativement réduites (ex. une seule intervention en 2002) en l'absence de lessivage de la protection avant fleur. Cette expérience de 10 ans de gestion de la tavelure atteste de l'importance de son contrôle pendant la phase de contamination primaire et de l'intérêt (établi par ailleurs - Brun *et al.*, 2005) de méthodes prophylactiques telles que le broyage et/ou l'enfouissement des feuilles pour réduire l'inoculum pendant l'hiver dans le verger. Le choix de variétés peu sensibles ou résistantes à la tavelure constitue un atout certain pour le verger AB, dans la mesure où les possibilités de protection sont uniquement préventives (cuivre, soufre) et où les quantités utilisables sont limitées en AB (cuivre) et/ou source d'effets non intentionnels : cuivre pour le sol et sa faune, soufre à effet acidifiant pour le sol et toxique pour certains groupes d'auxiliaires (Aversenq & Gendrier, 2005).

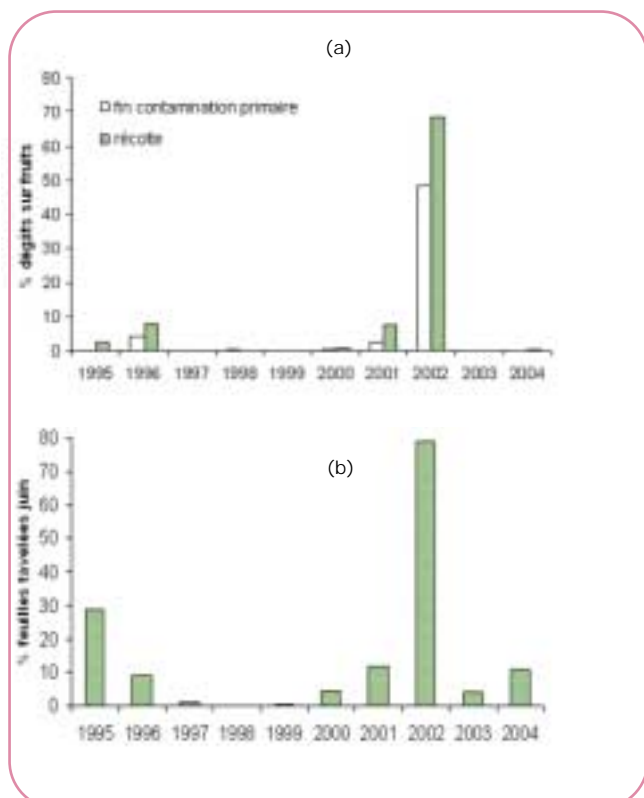


figure 42 : tavelure : (a) dégâts sur fruits ; (b) infestation sur feuilles en fin de contamination primaire - pommiers Smoothee

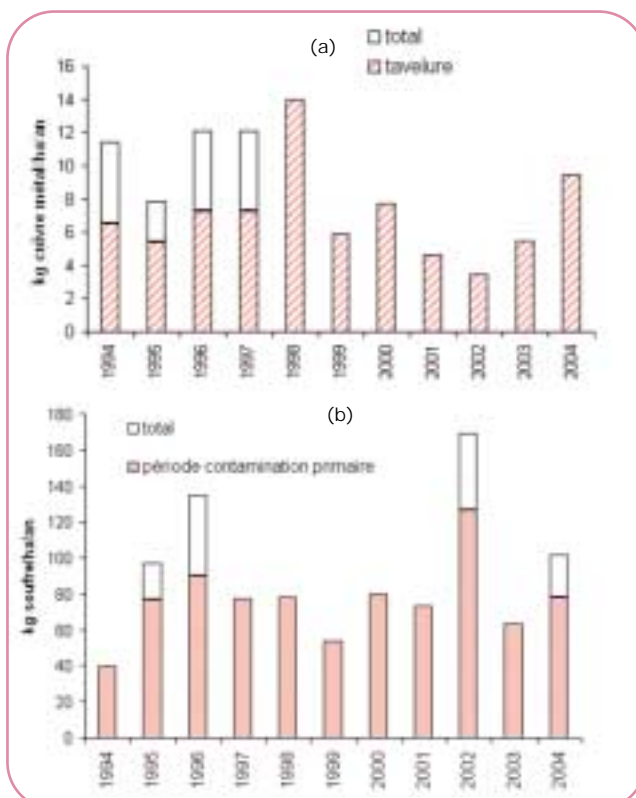


figure 43 : quantités de (a) cuivre métal (kg/ha/an) et (b) soufre (kg/ha/an) utilisées en protection contre la tavelure - pommiers Smoothee

3.1.2.4. autres bio-agresseurs

Au cours des 11 années d'observations, aucun ravageur autre que ceux mentionnés ci-dessus n'a occasionné de dégâts importants ou en progression. L'acarien rouge (*Panonychus ulmi*) présente sauf exception des niveaux de population faibles (<5% de feuilles occupées fin juin), à l'exception de 2003 (43% de feuilles occupées). Cette infestation est probablement liée à l'utilisation prolongée du soufre en 2002 contre la tavelure, situation défavorable pour certains prédateurs d'acariens (Kreiter *et al.*, 1998). La régulation des populations intervient toutefois rapidement (8% de feuilles occupées le 13/08), très certainement due à la punaise prédatrice *Orius* sp. fréquemment recensée dans le verger (obs. pers.). Quelques dégâts de zeuzère ont été recensés dans le verger en 1996 et 1997 et éradiqués mécaniquement.

Le BT appliqué préventivement au cours des étés 1996 à 1999 présente potentiellement une efficacité vis-à-vis de divers Lépidoptères, dont les tordeuses et la zeuzère. Cette protection a été limitée à la phase d'installation du verger et aucune émergence ou résurgence de ravageurs secondaires n'a été observée. Les types de dégâts recensés à la récolte sont multiples, d'origine mécanique (coups, ...), climatique (coup de soleil, grêle) ou causés par des divers phytophages plus ou moins inféodés au pommier (noctuelles, tordeuses, morsures diverses,...) et par les oiseaux. La protection fongique contre la tavelure à base de soufre permet un contrôle très efficace de l'oïdium vu qu'une seule pousse oïdiée a été recensée lors des contrôles au cours des 10 ans d'expérimentation.

Dans un verger de pommiers dont la conception n'intègre pas une tolérance de la variété à certains bio-agresseurs (tavelure, puceron), la lutte directe à réaliser est lourde et malgré tout parfois insuffisante pour maîtriser les dégâts : le verger correspondant relève d'une logique interventionniste, dans le cadre d'un système intensif et non plus fondé sur les équilibres naturels du milieu. Le choix de la variété, du porte-greffe, des distances de plantation, la conduite, la nutrition de l'arbre, la gestion de l'entretien du rang,... sont d'autant plus importants en verger de pommiers AB que :

- (i) les méthodes prophylactiques potentiellement utilisables présentent un effet seulement partiel (à renforcer par d'autres techniques ou méthodes culturales) ;

- (ii) la protection repose souvent sur l'utilisation de une ou deux méthodes de lutte ;
- (iii) les possibilités de raisonnement de la protection sont limitées par le mode d'action des matières actives autorisées en AB, qui impose des stratégies principalement préventives (tavelure, puceron), et ne permet donc pas d'intervenir uniquement en présence du risque ou des premiers dégâts.

Tous ces aspects constituent la base d'ouvrages de référence sur la production de fruits en AB (Edwards, 1998 ; GRAB, 2002).

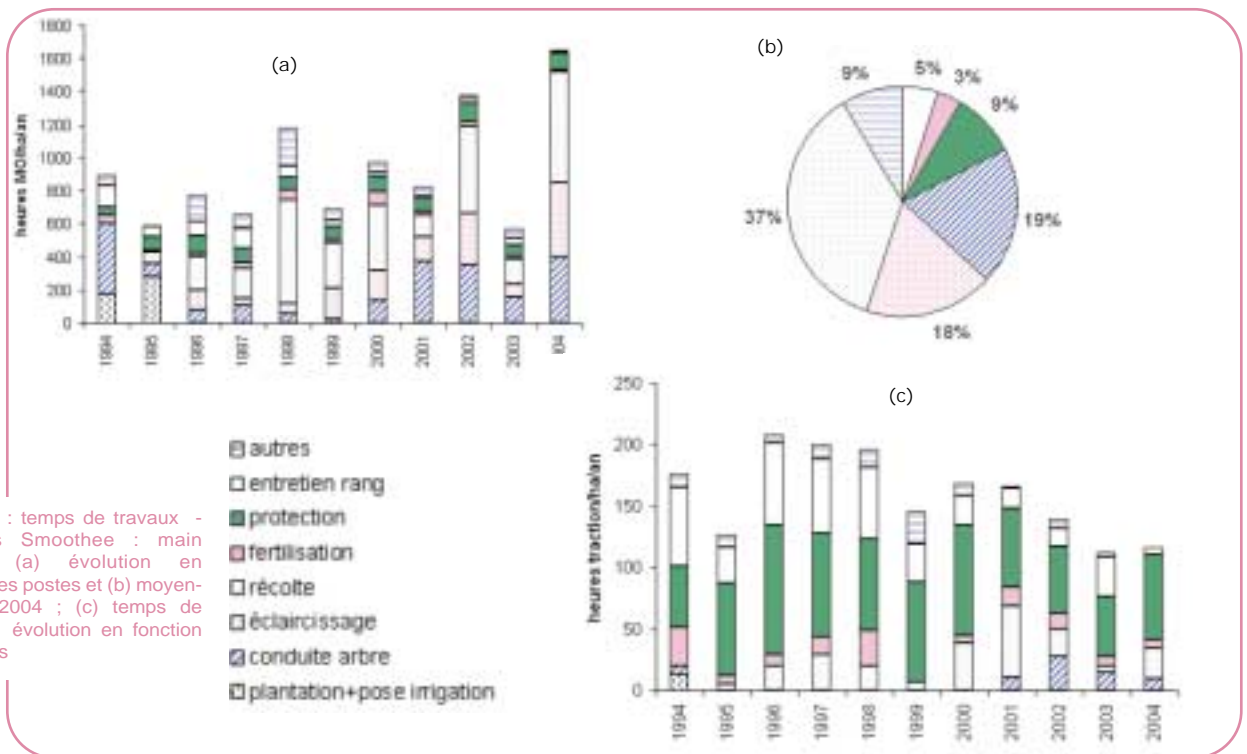
3.1.3. Temps de travaux

La moyenne annuelle 1996-2004 est de 966 heures de main d'œuvre par hectare, avec la récolte (352 h), la conduite (186 h), l'éclaircissage (175 h) et la protection (89 h) comme principaux postes (fig. 44a, 44b). Le temps moyen annuel de traction pour la même période est de 162 heures par hectare, dont 75 heures pour la protection du verger et 35 heures pour l'entretien du sol sur le rang, avec en moyenne 6 passages par an pour la période 1995-1999, puis uniquement 3 passages par an, incluant dès 2002 l'enfouissement prophylactique des feuilles à l'automne (fig. 44c).

Lié à la fréquence des interventions, le coût de la protection est élevé en verger de pommiers (intrants, temps de traction et de main d'œuvre) et correspond, comme analysé précédemment (§ 3.1.2.) à une situation de système relativement intensif bien que conforme aux exigences réglementaires de l'AB.

Les temps de travaux enregistrés sont élevés, en rapport avec la taille de la parcelle, et avec des contraintes expérimentales (récolte et réalisation d'opérations par parcelles élémentaires). L'évolution des temps de travaux au fil des années témoigne de l'alternance de production du verger depuis 2001 (fig. 44a), avec des temps d'éclaircissage et de récolte diminués les années de faible rendement (2001, 2003) et *a contrario* accrus les années 2002 et 2004.

L'éclaircissage manuel est une contrainte importante en verger AB, d'autant plus que l'alternance s'accompagne d'une floraison très abondante les années de production. Certaines méthodes de conduite de l'arbre, notamment la conduite centrifuge par extinction artificielle, peuvent permettre d'optimiser la gestion de ce poste, comme analysé dans le § 3.3.



Eclaircissage manuel - pommiers Smoothee

3.2. Nutrition azotée du pommier et puceron cendré *Dysaphis plantaginea*

La nutrition azotée de l'arbre a été étudiée plus spécifiquement de 1999 à 2001, en vue d'analyser : (i) l'adéquation du pilotage de la fertilisation aux besoins de l'arbre, après modification de la stratégie de fertilisation après 1999 (tab. 9), et (ii) la cinétique de la disponibilité en azote du sol, facteur susceptible d'affecter le développement du puceron cendré.



Dégâts de puceron cendré

Travail conduit par :

Bussi C.¹, Corroyer N.², Fauriel J.³, Girard T.¹, Simon S.¹
¹INRA-UERI Gotheron, ²GRAB Avignon, ³INRA-Ecodéveloppement Avignon

voir également :

Girard T., Simon S., Corroyer N., Fauriel J., Bussi C., 2002. Soil nitrogen in an organic apple orchard. In : IFOAM, *Proceedings 14th International IFOAM Scientific Conference*, Victoria, 21-24 août 2002, 52.

Bussi C., Fauriel J., Girard T., Simon S., Corroyer N., 2005. Azote du sol en verger de pommiers conduit en Agriculture Biologique. *Séminaire sur les recherches en Agriculture Biologique*, t. 2. INRA-ACTA, Draveil, 20-21 nov. 2003, 209-214.

3.2.1. Dispositif expérimental et mesures réalisées

La mesure de l'évolution de la teneur en azote de la solution du sol a été réalisée par implantation de lysimètres dans le verger, à 80 cm des arbres dans la zone sous influence des mini-diffuseurs. Les ions nitrate NO₃⁻ et ammonium NH₄⁺ ont été les deux formes d'azote mesurées chaque semaine (respectivement, dosage par appareil Nitratech (Challenge Agriculture S.A.) + bandelettes Merckoquant et dosage spectrophotométrique $\lambda = 420\text{nm}$ avec réactif de Nessler).

En 1999, six puis 9 lysimètres ont été implantés à 40 cm de profondeur en 3 sites dans la parcelle ; le suivi s'est effectué du 10 mars (stade B) jusqu'à la récolte (mi-septembre).

En 2000 et 2001, six puis 9 lysimètres ont été implantés à 35 et 50 cm de profondeur en 4 sites dans la parcelle ; le suivi s'est effectué de début avril jusqu'à novembre, la période printanière et estivale étant seule présentée ici (pas ou peu de variation ultérieurement).

3.2.2. Résultats

3.2.2.1 résultats 1999

Au cours de l'expérimentation, des cannes lysimétriques ont dû être plantées ou réimplantées (extraction de solution de sol insuffisante). Les données de la figure 45 correspondent à un groupe de 6 lysimètres jusqu'au 18/06/99 puis à 9 lysimètres.

La concentration en ion NO₃⁻ assimilable par les plantes est faible, avec des valeurs mesurées toujours inférieures à 10 mg.l⁻¹ et fluctuant autour de 7 mg.l⁻¹ (fig. 45). Les variations observées sont également faibles et n'indiquent pas de pic pour la minéralisation, qui semble donc s'effectuer régulièrement. Le maintien des valeurs observées tout au long de la saison indique par ailleurs que la demande des arbres a pu être assurée et n'a pas épuisé le sol. La concentration en ion NH₄⁺ a varié entre 1 et 2 mg.l⁻¹, ce qui indique que la plus grande partie de l'azote minéralisé s'est transformée en ion nitrate.

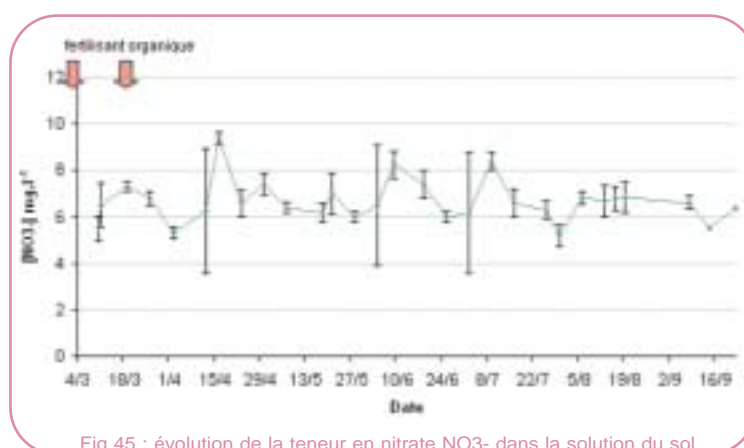


Fig 45 : évolution de la teneur en nitrate NO₃⁻ dans la solution du sol à -35 cm - pommiers Smoothie 1999

3.2.2.2. résultats 2000 et 2001

L'année 2001, présentant les plus fortes variations de la teneur azotée de la solution du sol, sera plus particulièrement détaillée.

Pour l'année 2000, la concentration en ion NO_3^- assimilable par les plantes a varié tout au long de la saison entre 5 et 12 mg.l^{-1} à -35 cm et entre 3 et 10 mg.l^{-1} à -50 cm ; seule la mesure du 05/05/00 à -35 cm atteint 17 mg.l^{-1} , pour une forte variabilité entre lysimètres. Cette variation s'esquisse une semaine plus tard à -50 cm (le 15/05/00) mais avec une moindre amplitude. Les valeurs maximales mesurées restent toutefois peu élevées.

En 2001 (fig. 46), les teneurs en nitrates relevées restent également faibles et varient de 3 à 13 mg.l^{-1} , sauf pour la période de mi-mai à fin mai, pendant laquelle les teneurs en nitrates mesurées à -35 cm de profondeur s'élèvent jusqu'à 18 mg.l^{-1} . En revanche, la variation correspondante enregistrée à -50 cm ne concerne que la date du 30/05 et reste limitée en amplitude (12 mg.l^{-1}).

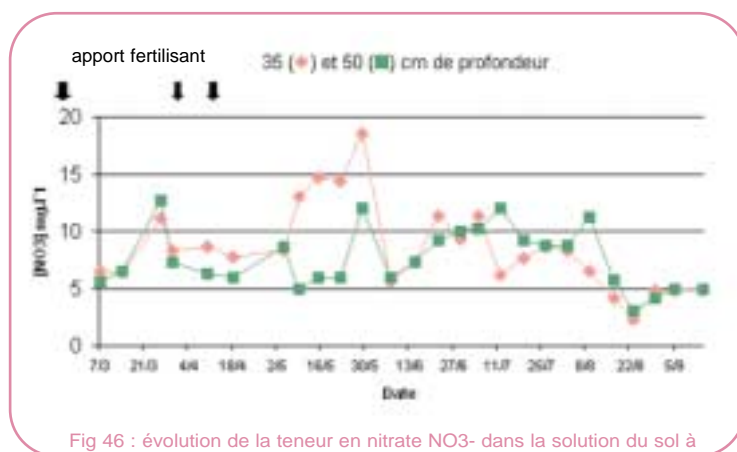


Fig 46 : évolution de la teneur en nitrate NO_3^- dans la solution du sol à -35cm et -50cm - pommiers Smoothie 2001

3.2.3. Discussion

Les observations des 3 années d'étude indiquent :
(i) une homogénéité satisfaisante de la parcelle ;
(ii) une minéralisation progressive de la matière organique par les microorganismes du sol, à partir des amendements fournis (compost d'automne en réduction depuis 1999) ;

(iii) la satisfaction des besoins de l'arbre et le maintien de la fertilité du sol, ce que confirment les analyses de sol d'automne (fig. 35) et de feuilles (fig. 37). La concentration en NH_4^+ est très faible à nulle, ce qui indique que la plus grande partie de l'azote minéralisé s'est transformée en ion nitrate.

L'étude de la teneur en nitrates pour deux profondeurs, en 2000 et 2001, a permis de mesurer les quantités présentes à différents niveaux le long du profil de sol, depuis une profondeur largement colonisée par les racines vers une zone où la densité racinaire est très faible dans nos types de sol, notamment pour une irrigation localisée, et dans laquelle une partie des nitrates présents sont perdus pour la plante.

En 2000 et 2001, le très faible risque de lessivage de nitrates a donc été vérifié puisque les valeurs relevées fluctuaient généralement entre 5 et 15 mg.l^{-1} et restaient inférieures à -50 cm à celles obtenues à -35 cm de profondeur. Ces valeurs mesurées en culture biologique sont beaucoup plus

faibles que celles relevées en mode de culture conventionnel, où des teneurs supérieures à 100 mg.l^{-1} sont fréquemment détectées après des apports d'engrais au sol (Girard & Bussi, 1996).

Les teneurs en nitrate du sol et de la solution du sol, ainsi que les analyses d'azote dans les feuilles et les fruits, constituent des outils utiles pour diagnostiquer l'adéquation d'une fertilisation organique en vue de satisfaire les besoins du pommier, ce qui est le cas ici.

Il n'est pas possible d'établir de relation simple entre l'évolution de l'azote dans le sol et dans le végétal d'une part, et le développement du puceron cendré d'autre part. Pour notre situation, il semble peu probable que le développement du puceron cendré sur pommier soit liée à une fertilisation azotée excessive ou à une disponibilité en azote ponctuellement élevée. Il est probable que le déterminisme du développement de ce puceron est multi-factoriel (microclimat, ressources nutritives, niveau de prédation, ...) ; les aspects nutritionnels pour d'autres éléments que l'azote et la composition biochimique du végétal ne peuvent toutefois être exclus comme facteurs incidents sur son développement.

3.3. Conduite de l'arbre et développement du puceron cendré *Dysaphis plantaginea*

La conduite par extinction artificielle réalisée au centre de l'arbre (le long du tronc et à la base des branches), appelée conduite centrifuge (Larrive *et al.*, 2000 ; Lauri *et al.*, 2004) permet d'obtenir une meilleure qualité de la récolte et un meilleur rendement de 1er choix. En France, de nombreux agriculteurs l'ont adoptée, notamment dans le cadre du groupe MAFCOT (MAîtrise de la Fructification, COnccepts et Techniques) (MAFCOT, 1999). Cette conduite innovante permet une augmentation de l'interception de la lumière par l'arbre, par suppression de la végétation au centre de l'arbre, diminution de la densité foliaire et meilleure répartition des organes de croissance et de fructification (Willaume *et al.*, 2004). Cette modification de l'architecture et de la croissance de l'arbre est susceptible de modifier le développement de bio-agresseurs foliaires tel le puceron cendré du pommier : l'essai mis en place en 2002 et conduit de 2002 à 2004 a eu pour objectif de mesurer l'effet de la conduite centrifuge sur l'infestation par ce puceron, par rapport à une conduite classique en Solaxe prise comme témoin.

Travail conduit par :

L. Brun¹, H. Defrance¹, T. Girard¹, P. E. Lauri², B. Sauphanor³, S. Simon¹

¹ INRA UERI Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence

² INRA UMR BEPC, équipe AFEF, 2 place P Viala, 34060 Montpellier Cedex 1

³ INRA PSH, équipe EPI, Domaine St Paul, Agroparc, 84914 Avignon Cédex 9

voir également :

Simon S., Lauri P.E., Brun L., Defrance H., Girard T., Sauphanor B., 2005. Effet de la conduite centrifuge du pommier sur l'infestation par les bio-agresseurs. *Phytoma-Déf. Vég.*, **581**, 37-39.

Simon S., Brun L., Sauphanor B., Defrance H., Girard T., Flachaire L., Lauri P.E., 2006. Agriculture Bio : la conduite centrifuge a des effets sur les bio-agresseurs. *Réussir Fruits & Légumes*, **supplément au n° 247**, 15-16.

Simon S., Lauri P.E., Brun L., Defrance H., Sauphanor B., in press. Does manipulation of fruit-tree architecture affect the development of pests and pathogens? A case study in an organic apple orchard. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, **000**, 000-000.

3.3.1. Dispositif expérimental et contrôles réalisés

>>> dispositif

Un dispositif expérimental à 4 blocs complets a été mis en place. Chaque bloc est constitué de 2 parcelles élémentaires (correspondant aux 2 modalités étudiées) de 3 rangs de 10 arbres. Les 2 rangs périphériques du verger n'ont pas été échantillonnés lors des notations.

La conduite Solaxe classique (CLS) (Lauri & Lespinasse, 1999) prise comme témoin est identique à celle réalisée les années antérieures à 2002 dans ce verger expérimental. L'objectif de charge est réalisé par le seul éclaircissage manuel.

La conduite centrifuge a été réalisée sur des arbres en 9e pousse pour lesquels la charge est ajustée par extinction artificielle (abaque Equilifruit), complétée par éclaircissage manuel ; un complément d'extinction a été réalisé si nécessaire en 2004 sur les branches ayant poussé pendant la période 2002-2003. Il n'y a pas eu d'extinction en 2003.

Pour les 2 modalités, l'objectif de charge a été de 4 fruits/cm² de section de branche fruitière et l'éclaircissage manuel a été réalisé au stade petits fruits après la chute physiologique.

>>> contrôles réalisés

Treize arbres pris au hasard ont été contrôlés par parcelle élémentaire. La notation a porté sur 2 rameaux (pousses de l'année en croissance) par arbre pris au hasard avec mention de présence/absence par pousse de *D. plantaginea* (ACTA, 1974). Les contrôles ont été réalisés tous les 8 à 15 jours d'avril à début juillet. Aucune intervention insecticide neurotoxique n'a été réalisée après floraison dans le verger.

A la récolte, 260 fruits (20 fruits par arbre pour 13 arbres observés) par parcelle élémentaire ont été contrôlés. Les dégâts de puceron cendré occasionnés au printemps après nouaison (Leclant, 1970) ont été notés à la récolte : ce sont des fruits déformés et/ou n'ayant pas grossi à la suite des piqûres de ces pucerons.

Une analyse de variance a été réalisée sur les pourcentages de rameaux ou fruits infestés par le puceron cendré à chaque date de contrôle, après transformation des données par Arcsin^{1/2} et vérification des conditions d'application de l'ANOVA.

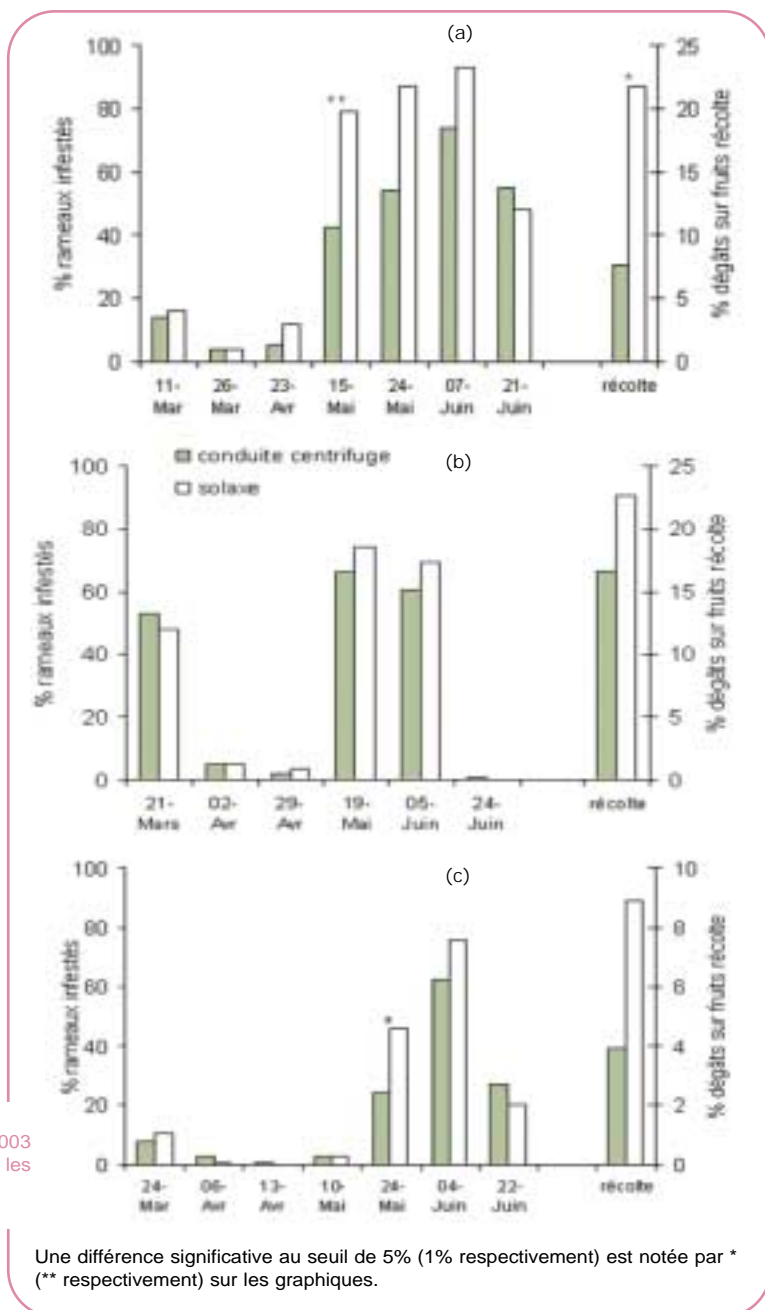
3.3.2. Résultats

Le puceron cendré *D. plantaginea* est présent les trois années d'étude à des niveaux d'infestation très élevés (fig. 47), malgré la réduction, par traitement insecticide avant floraison avec des huiles de pétrole puis avec de la roténone, des effectifs de fondatrices et/ou des colonies issues de ces fondatrices.

En 2002 et 2004, le puceron cendré est présent jusqu'à fin juin alors qu'en 2003, les effectifs diminuent rapidement dès la mi-juin : ceci peut s'expliquer par la migration plus précoce de cette espèce sur son hôte secondaire (encadré Cycle biologique du puceron cendré, p. 35), le plantain, en raison des températures élevées enregistrées en 2003.

En 2002 (fig 47a) et 2004 (fig 47c), l'infestation par le puceron cendré est moindre et plus tardive pour la conduite centrifuge par rapport au témoin. A la récolte 2002, les dégâts de puceron cendré sur fruits (petits fruits déformés) sont également inférieurs pour la conduite centrifuge. Aucune différence significative n'est notée en 2003 pour les niveaux d'infestation des 2 modalités étudiées (fig. 47b).

Figure 47 : infestation en (a) 2002, (b) 2003 et (c) 2004 par le puceron cendré pour les 2 modalités de conduite étudiées



Une différence significative au seuil de 5% (1% respectivement) est notée par * (** respectivement) sur les graphiques.



Conduite centrifuge



Conduite Solaxe

3.3.3. Discussion

La réduction d'infestation observée en 2002 pour la modalité extinction ne peut être expliquée par un dépôt de pontes initial différent (pas de différenciation de la conduite en 2001) ou par une efficacité supérieure des interventions phytosanitaires qui ont été réalisées avant floraison, donc avant la mise en œuvre de la conduite centrifuge. Les hypothèses privilégiées pour expliquer ces résultats sont les suivantes :

(i) une diminution de l'inoculum (œuf ou fondatrice, plus rarement colonie primaire, directement issue de la fondatrice) peut s'expliquer par suppression, lors de l'extinction, de nombreux bouquets et rosettes de feuilles susceptibles d'héberger *D. plantaginea* ; cette hypothèse est étayée par le fait que les différences observées entre les 2 modalités ne concernent que les années de réalisation de l'extinction (2002 et 2004) ;

(ii) pour la modalité conduite centrifuge, l'aération de la frondaison peut modifier le microclimat au sein de la couronne de l'arbre, situation susceptible d'être moins favorable au développement du puceron ;

(iii) pour la modalité conduite centrifuge, l'éloignement sur la branche fruitière des organes de croissance et de fructification augmente la distance entre les sites susceptibles d'être colonisés par ce puceron : ceci diminue donc les chances de succès ou la vitesse de progression (effet direct, distances à parcourir plus grandes) et/ou augmente le temps d'exposition à des auxiliaires prédateurs tels les araignées (effet indirect) ;

(iv) pour la modalité conduite centrifuge, les différences dans la démographie axiale (moins de rameaux courts, moins de rameaux fructifères par rapport à un arbre soumis à une conduite "classique") et dans la distribution des phases de croissance au cours de l'année, pourrait agir sur l'appétence du végétal et/ou la disponibilité des ressources.

La conduite centrifuge présente ainsi un intérêt pour le verger AB car elle s'accompagne d'effets partiels pour la limitation du développement du puceron cendré. Cet effet partiel s'est pérennisé d'une année sur l'autre pour le puceron cendré (pas d'extinction artificielle en 2003, uniquement un complément d'extinction en 2004).

Par ailleurs, dans notre verger expérimental AB, la mise en œuvre de la conduite centrifuge nous a permis :

- de commencer précocement la régulation de la charge en fruits (extinction artificielle à la floraison) ;
- de répartir le temps de travail lié à ce poste sur deux périodes (floraison ; puis éclaircissage manuel au stade petits fruits après chute physiologique) ;
- d'obtenir plus facilement la charge en fruits objectif, grâce à l'utilisation de l'abaque Equilfruit lors de l'extinction (4 points de fructification par cm² de section de branche fruitière), puis d'une consigne simple d'éclaircissage manuel (1 fruit par corymbe restant) au stade petits fruits.

Enfin, pour la conduite centrifuge, la suppression de points de fructification (extinction à la floraison) se fait avant la nouaison du fruit et donc avant la phase d'induction florale des bourgeons pour l'année suivante et pourrait donc limiter le phénomène d'alternance de production. Après l'année de forte production 2002, 89% des arbres ont fortement alterné en 2003 dans le témoin Solaxe contre 69% pour la conduite centrifuge. Cependant, nous ne pouvons exclure que ce meilleur retour à fleur en 2003 pour la conduite centrifuge ne soit pas également lié à la moindre infestation du puceron cendré en 2002 pour cette modalité.

En conclusion, les bénéfices d'une conduite centrifuge (dont les principes sont à moduler en fonction des variétés et des situations) pour le verger AB se situent à plusieurs niveaux :

- Agronomique
 - rendement et qualité du fruit, non expérimenté ici mais établi par ailleurs (Lauri *et al.*, 2004) ;
 - effet partiel vis-à-vis du puceron cendré ;
 - potentiellement moins d'alternance.
- Technico-économique
 - répartition sur deux périodes du chantier d'éclaircissage (extinction à la floraison, éclaircissage manuel après chute physiologique), ainsi que dans la vie du verger : pérennité des opérations d'extinction.

3.4. Conclusion pommiers

Tout au long de la période 1994-2004, le verger de pommiers implanté en AB s'est caractérisé par :

- après une phase d'installation, le maintien de la fertilité du sol permettant de satisfaire les besoins des arbres, grâce à une gestion de la nutrition de l'arbre comportant des apports de compost d'automne, complétés par des apports de printemps avec un fertilisant à minéralisation rapide. Des compléments d'oligo-éléments en pulvérisation foliaire (bore, manganèse), ainsi que des apports calci-magnésiens ont également été réalisés pour l'entretien du sol et la nutrition des arbres.
- des infestations récurrentes de puceron cendré, dont la prolifération n'a pas pu être mise en relation avec des facteurs tels que la nutrition azotée du pommier et dont le contrôle par les auxiliaires reste largement insuffisant,
- l'entrée en alternance de production du verger, phénomène s'accroissant dès 2001, probablement en relation avec la forte infestation de puceron cendré de 2000,
- un contrôle satisfaisant du carpocapse, pour des niveaux de dégâts faibles à moyens, mais sans augmentation régulière de l'inoculum ou des attaques. L'utilisation exclusive du virus de la granulose pose toutefois la question de la durabilité de l'efficacité de ce produit.
- des temps d'éclaircissage manuel élevés les années de production. Pour ce poste, la conduite centrifuge par extinction artificielle permet une régulation de la charge en fruits plus finement et plus précocement ajustée, ainsi qu'une répartition des temps de travaux sur la période hiver-printemps, au bénéfice du verger (alternance de production potentiellement moindre, charge ajustée précocement) et du producteur (qualité et calibre de la production, gestion des temps de travaux).

Pour une situation équivalente à celle du verger expérimental Smoothee, la faisabilité d'une production de pommes en AB peut être limitée par :

- le contrôle du puceron cendré : les choix de conduite du verger (fertilisation, forme de l'arbre,...), ainsi que de son aménagement (bandes fleuries, enherbement du rang,... (Wyss, 1995 ; Libourel, 2004)) non étudiés ici, peuvent procurer un effet partiel, dans une approche intégrée de la gestion des pucerons en verger. Toutefois, en verger jeune, les seules matières actives permises par le règlement CEE et la législation française ne permettent pas toujours un contrôle efficace de ce puceron, dont les dégâts sont préjudiciables à la production (fruits déformés) mais également à la pérennité du verger (induction ou accentuation potentielles de l'alternance de production). L'application d'argile à l'automne semble une piste intéressante (Romet, 2004), sous réserve d'homologation.
- une petite taille de verger, ne permettant pas l'utilisation de la lutte par confusion sexuelle contre le carpocapse, et faisant reposer la protection sur un seul produit biologique (virus de la granulose). Une fois définies leurs conditions d'utilisation, le Spinosad, insecticide d'origine naturelle, ainsi que le kaolin ou les huiles minérales en protection complémentaires, pourraient constituer une alternative (Sauphanor *et al.*, 2006). Parmi les méthodes actuellement en expérimentation, celles permettant l'utilisation de doses de phéromone réduites constituent une perspective intéressante pour la protection du verger contre ce ravageur.
- le choix de variétés peu rustiques et/ou sensibles à la tavelure, pour lesquelles la protection contre la tavelure nécessite un nombre d'interventions élevé, avec une efficacité insuffisante en cas d'épisode pluvieux prolongé au printemps : échec de la protection enregistré une année sur 10 pour le verger expérimental étudié.

En conclusion, le maintien de la régularité de production est un point-clé de la production de pommes en AB, en lien avec le contrôle du puceron cendré et la régulation de la charge en fruits dès les premières années d'implantation du verger. Le suivi de 11 années dans le verger expérimental AB n'indique pas de développement de bio-agresseurs " secondaires " (tordeuses, mineuses,...), en l'absence d'insecticides neurotoxiques après floraison. En saison, il semblerait que les possibilités de régulation fonctionnelles dans ce verger soient effectives vis-à-vis de divers bio-agresseurs (mineuses, tordeuses, punaises,...) dont les dégâts restent anecdotiques ; en revanche, en début de saison, les auxiliaires présents ne sont pas à même de contrôler efficacement le puceron cendré.

4. IMPACT DU MODE DE PRODUCTION

Deux critères ont été retenus pour évaluer l'impact du mode de production :

(i) le sol et sa fertilité (§ 4.1) ; (ii) l'entomofaune du verger (§ 4.2).

Tout au long des 11 années d'étude, l'acquisition des paramètres mesurant la fertilité du sol a permis une analyse longitudinale de leur évolution, en relation avec la capacité à satisfaire les besoins de l'arbre, pour le type de sol du site.

Par ailleurs, la diversité de l'entomofaune du verger a été plus finement étudiée au cours de la période 2001-2003, permettant d'analyser au moyen de différents descripteurs les communautés d'arthropodes fonctionnelles du verger de pommiers AB, en distinguant celles présentes sur frondaison et dans le couvert herbacé de l'inter-rang.

4.1. Sol

Une analyse multivariable a été réalisée sur le tableau des teneurs en éléments minéraux des sols des 3 parcelles expérimentales (variables étudiées : matière organique, C/N, pH, Mg⁺⁺, K⁺, N nitrique, B, Fe, Zn ; variables supplémentaires : CEC, N, C ; individus : années 98 à 2004 sauf 2001 pour Bénédicte®, années 93 à 99 sauf 94 pour Flavorcrest, années 1994 à 2004 sauf 2001 et 2002 pour Smoothee).

Les axes 1, 2 et 3 représentant respectivement 35.5%, 24.8% et 12.6% de la variance totale, l'analyse sera restreinte à ces 3 axes. L'axe 1 individualise la matière organique (côté négatif). L'axe 2 oppose : côté positif l'azote N nitrique et le Zinc, au rapport C/N côté négatif. L'axe 3 individualise les sols analysés sur la base de leur teneur en matière organique et en azote nitrique (côté positif) et de leur teneur en Fer (côté négatif).

Pour des raisons de lisibilité, les années ne sont pas reportées dans le plan formé par les axes 2 et 3 qui ont été retenus pour une présentation des résultats intégrant les pratiques (matière organique) et les variations de type de sol présentes (Fer) (fig. 48).

La représentation des vergers dans le plan des axes 2 et 3 (fig. 48) individualise le verger Bénédicte® dans la partie négative de l'axe 2 : ce verger se distingue par de faibles teneurs en azote nitrique, directement assimilable par l'arbre. Le verger Smoothee se caractérise par un rapport C/N faible

les premières années après plantation (partie positive du plan), puis ces valeurs augmentent dans la 2e partie de la période 1994-2004. Enfin, Flavorcrest se caractérise par une teneur en matière organique élevée.

Pour les principaux paramètres mesurés dans le sol, le verger Smoothee trouve après 5 ans de gestion en AB un équilibre, fondé sur l'entretien d'un taux satisfaisant de matière organique, et s'accompagnant de valeurs de C/N voisines de l'optimum, ainsi que d'une augmentation de la CEC (représentée mais non analysée ici). En raison de la durée d'étude des 2 vergers de pêcheurs (6 ans), cet effet n'est pas marqué pour cette production, pour laquelle la répartition des besoins dans le temps diffère. Implantés dans des parcelles très proches, de même sol, les vergers de Smoothee et Bénédicte® se différencient dans le cadre de cette représentation ; le verger de pêcheurs Bénédicte® n'a probablement pas encore atteint un équilibre pour la dégradation de la matière organique et la minéralisation de l'azote, en rapport avec des besoins élevés (croissance, production) et concentrés sur une courte période au printemps. Les représentations du verger de pêcheurs Flavorcrest et de pommiers Smoothee témoignent de variations du type de sol, notamment pour la teneur en Fer, ce qui corrobore les analyses avant plantation ou conversion (fig. 3). Cette analyse permet donc de synthétiser l'information relative au passé cultural (fertilisation et adéquation des apports aux besoins, axes 1 et 2) et à des composantes plus structurales du sol (fer, argile, axe 3).

La fertilité des sols des vergers Smoothee et Flavorcrest est entretenue et améliorée au fil des années, même si la disponibilité des éléments pour l'arbre (pH élevé), ainsi que leur mobilité au sein du végétal n'est pas toujours complètement effective. Au vu de ces résultats, une évolution pour le verger de Bénédicte® vers un sol mieux pourvu en matière organique semble souhaitable, en fonction de la capacité du sol à dégrader cette matière organique et l'incorporer dans la matrice du sol, qui reste très limitée pour des apports supérieurs à ceux réalisés. En conclusion, pour le type de sol du site, caractéristique de terrasses anciennes du Rhône, les possibilités de gestion de la fertilisation en AB restent limitées et à ajuster finement, sans toutefois remettre en cause la faisabilité de la production en vergers AB.

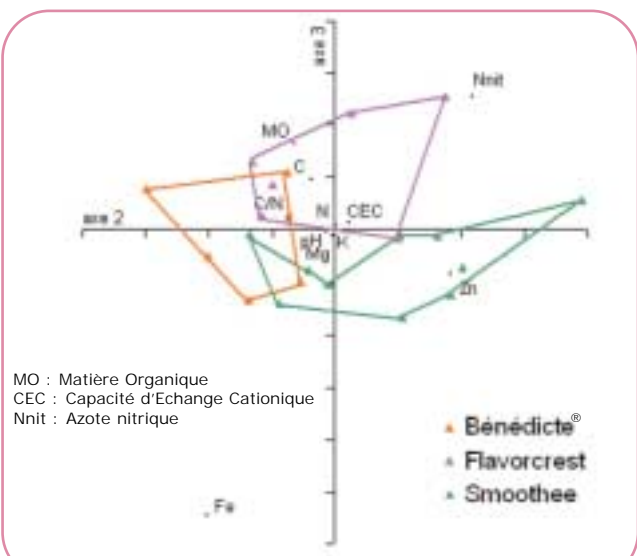


Figure 48 : analyse en Composantes Principales portant sur les paramètres mesurant la fertilité du sol pour les 3 vergers et les 11 années d'expérimentation

4.2. Entomofaune du verger de pommiers

Dans le cadre de l'appel d'offres du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable intitulé "Evaluation et réduction des risques liés à l'utilisation des pesticides", un programme coordonné par B. Sauphanor² " Impact biocénotique des modes de protection contre le carpocapse des pommiers " a été entrepris, et l'étude de l'entomofaune du verger de pommiers AB Smoothee a été réalisée dans ce cadre. Les arthropodes de la biocénose ont été plus particulièrement étudiés au cours de 3 années (2001-2003), pour deux composantes végétales du verger : le pommier et le couvert herbacé de l'inter-rang du verger. Cette étude a eu pour objectif de mesurer la biodiversité de l'entomofaune et l'abondance des groupes d'auxiliaires intervenant dans la régulation des ravageurs du pommier.

Travail conduit par :

Defrance H.¹, Sauphanor B.², Simon S.¹

1 INRA UERI Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence

2 INRA PSH, équipe EPI, Domaine St Paul, Agroparc, 84914 Avignon Cédex 9

voir également :

Sauphanor B., Bouvier J.C., Boisneau C., Rieux R., Simon S., Capowiez Y., Toubon J.F., 2005. Impacts biologiques des systèmes de protection en verger de pommiers. *Phytoma-Déf. Vég.*, 581, 32-36.

4.2.1. Echantillonnage des arthropodes

De 2001 à 2003, le battage bi-mensuel (Fauvel *et al.*, 1981) d'avril à juillet, et l'échantillonnage au filet fauchoir (Roth, 1963) du couvert herbacé de l'inter-rang du verger, au printemps et en début d'été, ont permis d'échantillonner un large spectre d'arthropodes dans la frondaison du pommier et la strate herbacée de l'inter-rang du verger. L'ensemble des récoltes a été identifié à un rang taxonomique au moins égal à la famille. Pour l'analyse, les auxiliaires du verger ont été regroupés en taxons fonctionnels (Reboulet, 1999). Afin de donner un cadre de référence aux relevés réalisés, l'entomofaune de 2 autres vergers du site a également été échantillonnée : verger conventionnel de Golden en protection chimique contre le carpocapse, et verger conventionnel en Production Fruitière Intégrée, planté avec la variété Melrouge, avec utilisation de la lutte par confusion sexuelle contre le carpocapse (pour ce verger, la sensibilité variétale aux bio-agresseurs étant différente, l'analyse de l'entomofaune a uniquement concerné le couvert herbacé).



Couvert herbacé de l'inter-rang
- verger Smoothee

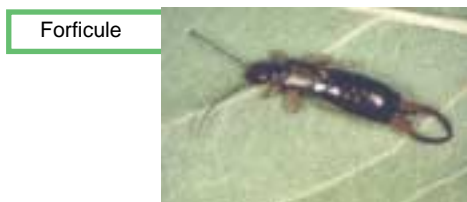
4.2.2. Résultats

4.2.2.1. peuplement d'arthropodes du pommier

Les pucerons sont les principaux phytophages recensés par battage pour les 3 années d'étude, ce qui est confirmé par les observations visuelles des rameaux en verger. Des descripteurs et indices utilisés en protection des cultures et en écologie pour décrire les peuplements ont été calculés pour chaque année et pour le cumul des échantillons des 3 années d'étude (tab. 10) : effectifs, rapport auxiliaires / phytophages, richesse (nombre de taxons différents), diversité (H indice de Shannon, mesurant le nombre de taxons différents par rapport à l'effectif récolté) et équitabilité ($E = H_{\text{observé}} / H_{\text{maximal}}$, indice variant de 0 à 1 et mesurant la régularité de répartition des individus dans les différents taxons récoltés). Ces calculs ont été effectués au niveau systématique "famille" pour le peuplement global et le cortège d'auxiliaires.

Même si les observations ne se vérifient pas toujours pour les 3 années d'étude (tab. 10), les tendances suivantes sont relevées :

- le verger AB présente généralement des effectifs élevés, liés à un contrôle non satisfaisant du puceron cendré ; ceci va de pair avec un rapport A/P plus faible, une diversité (H) et une équitabilité (E) moindres ;
- la richesse du peuplement (le nombre de familles) est généralement plus faible dans la parcelle AB, notamment pour le peuplement global ;
- sauf en 2003, les valeurs prises par les indices de diversité (H(A)) et d'équitabilité (E(A)) des auxiliaires sont proches dans les deux vergers ;
- si l'on considère le cumul des récoltes d'arthropodes des 3 années pour chaque parcelle, le verger conventionnel présente des valeurs de diversité, de régularité et de richesse du peuplement global et des auxiliaires plus élevées que la parcelle AB qui a les effectifs totaux et d'auxiliaires les plus élevés.



Plus en détail, les groupes d'auxiliaires présents divergent d'un verger à l'autre (fig. 49). Au delà de certaines particularités liées à l'année d'échantillonnage, le cumul des récoltes des 7 relevés annuels des années 2001 à 2003 permet de distinguer :

- une moindre abondance d'Hyménoptères parasitoïdes pour la parcelle AB, peut-être liée à l'utilisation importante de soufre en protection contre la tavelure (toxicité de cette matière active pour ce groupe, Aversenq & Gendrier, 2005) mais également due à l'abondance d'autres groupes taxonomiques ;
- la présence caractéristique de punaises prédatrices d'acariens (*Orius* sp.), de coccinelles (nombreuses larves, *Adalia bipunctata*) et de Diptères prédateurs (principalement des syrphes, quasiment absentes du verger conventionnel), à mettre en rapport avec les infestations de pucerons du verger AB ;
- en AB, la présence accrue de prédateurs de régulation tels les forficules ; le mode d'entretien du sol sur le rang (désherbage mécanique en AB et chimique en conventionnel) peut également contribuer à expliquer cette observation ;
- les Névroptères caractérisent le verger conventionnel pour lequel les 2 groupes, Hyménoptères parasitoïdes et Névroptères, constituent les 2/3 de l'effectif total des auxiliaires récoltés, alors qu'ils ne constituent qu'environ 25% de l'effectif pour le verger AB.

Tableau 10 : effectifs et indices de diversité de l'entomofaune récoltée par battage sur pommier en verger de pommiers AB Smoothee et conventionnel Golden - Gotheron 2001-2003

verger et année ou période	effectifs récoltés	effectifs auxiliaires	A/P (%)	nombre familles	nombre familles auxiliaires	H	H(A)	E	E(A)
<i>AB Smoothee</i>									
2001	209	35	31.6	32	16	3.11	3.47	0.62	0.87
2002	15 962	132	0.8	41	21	0.26	3.70	0.05	0.84
2003	3 684	181	5.3	43	27	1.67	3.05	0.31	0.64
cumul 2001-2003	19 855	348	1.8	61	34	0.78	3.87	0.13	0.76
<i>Conventionnel Golden</i>									
2001	354	43	17.1	36	17	2.76	3.56	0.53	0.87
2002	3 032	70	2.5	46	22	0.77	3.98	0.14	0.89
2003	2 189	125	6.4	54	27	1.48	4.23	0.26	0.89
cumul 2001-2003	5 575	238	4.8	75	38	1.28	4.55	0.21	0.87

A/P : auxiliaires/phytophages
H : indice de diversité des familles (Shannon)
H (A) : indice de diversité des familles d'auxiliaires
E : équitabilité du peuplement (pour les familles)
E(A) : équitabilité du cortège d'auxiliaires (pour les familles)

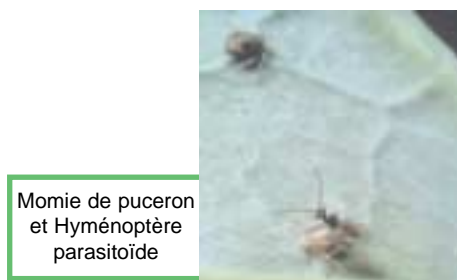
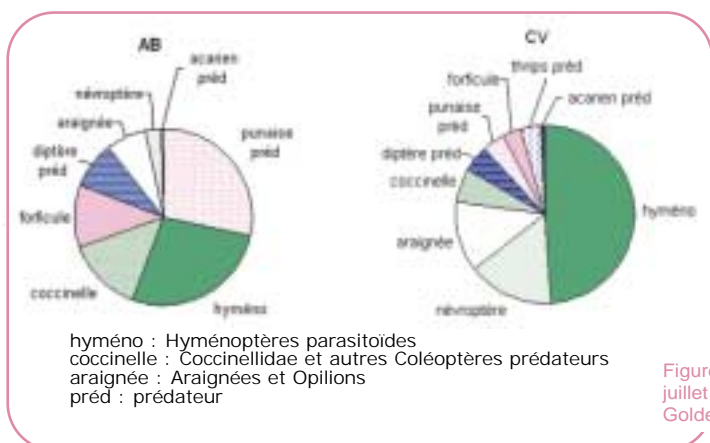


Figure 49 : cortège d'auxiliaires récoltés par battage bi-mensuel d'avril à juillet dans les vergers de pommiers AB Smoothee et conventionnel (CV) Golden - Gotheron cumul des échantillons 2001-2003

4.2.2.2. arthropodes échantillonnés dans le couvert herbacé de l'inter-rang des vergers

Les effectifs récoltés par échantillonnage au filet fauchoir sont élevés, avec 2090 à 6674 individus, dont 231 à 560 auxiliaires, récoltés par date d'échantillonnage pour 70 coups de filet fauchoir dans le verger AB. Les principaux phytophages échantillonnés dans le couvert herbacé de l'inter-rang (assemblage de graminées, prédominantes, et de diverses adventices) sont les pucerons, pour les relevés de mai, puis les thrips et/ou cicadelles, plus tard en saison. Les vergers conventionnels hébergent proportionnellement plus de pucerons que le verger AB, qui présente des effectifs élevés de collemboles et d'espèces détritivores (Diptères notamment), probablement en rapport avec le mode de protection et de production (entretien mécanique du rang, fertilisation organique).

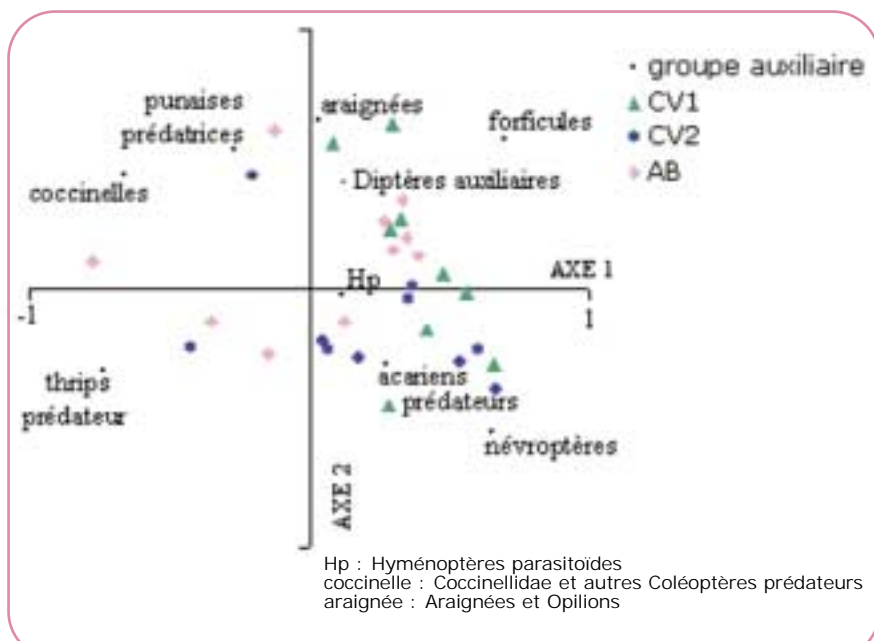


Figure 50 : représentation des groupes fonctionnels d'auxiliaires et des 3 vergers (Smoothie AB (AB), Golden conventionnel (CV1) et Melrose conventionnel (CV2)) dans le plan d'AFC (analyse factorielle des correspondances) - Gotheron, relevés 2001 à 2003.

Les caractéristiques suivantes sont relevées pour les peuplements d'arthropodes échantillonnés :

- les effectifs totaux et d'auxiliaires récoltés dans le verger AB sont plus élevés que dans le verger conventionnel Golden (selon les relevés, 181 à 2374 arthropodes récoltés, pour 13 à 513 auxiliaires) ;
- la richesse des familles pour le peuplement global et le cortège d'auxiliaires est plus élevée en AB (63 à 74 familles récoltées, dont 29 à 36 auxiliaires, pour le verger AB vs. 30 à 73 familles, dont 9 à 31 auxiliaires, pour le verger conventionnel Golden). Le nombre de familles de phytophages est équivalent ou plus élevé en AB en fonction des dates de relevé (18 à 26 familles pour le verger AB vs 8 à 27 familles pour le verger conventionnel Golden).

Une analyse multivariable (fig. 50) a été réalisée pour décrire les cortèges d'auxiliaires des 3 vergers étudiés. Les variables indépendantes sont les nombres d'individus par groupe fonctionnel d'auxiliaires (acarien prédateur, araignée, coccinelle, Diptère prédateur, Hyménoptère, Névroptère, punaise prédatrice, thrips prédateur ; forficule en variable supplémentaire, représentée mais ne participant pas à l'analyse, en raison de la présence quasi-exclusive de ce groupe en AB) et les observations sont les différentes dates de relevé pour les 3 vergers. L'analyse a été restreinte aux deux premières composantes principales qui représentent respectivement 31.9% et 24.3% de la variabilité totale. L'axe 1 est défini par la différence d'abondance des Hyménoptères parasitoïdes d'une part (côté positif), et des thrips prédateurs et coccinelles d'autre part (côté négatif). L'axe 2 individualise les peuplements riches en araignées et punaises prédatrices (côté positif) de ceux riches en thrips et Névroptères (côté négatif).

Pour des raisons de lisibilité, les années de relevé n'ont pas été reportées sur le graphique.

Le verger conventionnel Golden CV1 se projette toujours dans la partie droite du plan défini par les axes 1 et 2 : son cortège d'auxiliaires reste articulé autour des mêmes groupes, Hyménoptères, Névroptères et araignées. En revanche, avec une projection plus écartée dans le plan, les autres parcelles témoignent de la présence d'autres groupes, variables au fil des années, pour la composition de leur cortège d'auxiliaires.

Le cortège d'auxiliaires du verger AB se caractérise notamment par (fig. 50) :

- une présence moindre d'Hyménoptères parasitoïdes et de Névroptères s'accompagnant
- d'une présence accrue de Diptères prédateurs et de coccinelles.

La présence de forficules, absents des vergers conventionnels, est également caractéristique.

4.2.3. Discussion

Une convergence peut être notée entre les résultats issus du battage et du filet fauchoir, quant à des effectifs et donc une biomasse supérieure pour le verger AB. En revanche, une richesse entomologique accrue dans le couvert herbacé de l'inter-rang de ce verger ne s'accompagne pas d'un peuplement d'arthropodes plus riche du pommier. Du fait d'effectifs élevés de pucerons, les indices de diversité et d'équitabilité calculés pour le peuplement du pommier AB (valeurs souvent faibles) traduisent principalement l'abondance de ces groupes et ne permettent pas de caractériser le verger AB. Les différences observées entre vergers conduits selon différents modes de production sont relatives à la structure du cortège d'auxiliaires, avec présence caractéristique de certains groupes fonctionnels en AB : forficules et Diptères prédateurs, s'accompagnant d'une moindre abondance d'Hyménoptères et Névroptères, très abondants en verger conventionnel.

Ces résultats peuvent être mis en relation avec le mode de production, incluant la protection phytosanitaire et certaines façons culturales : apport de matière organique, travail du sol sur le rang. L'absence d'utilisation d'insecticides après floraison, hormis le virus de la granulose en produit biologique spécifique contre le carpocapse, permet certainement le maintien d'effectifs élevés dans le verger AB. Pour cette parcelle, les nombreuses interventions fongiques, principalement à base de soufre, peuvent toutefois affecter les populations d'auxiliaires présentes, notamment les Hyménoptères parasitoïdes et les acariens prédateurs (Kreiter *et al.*, 1998 ; Aversenq & Gendrier, 2005). Par ailleurs, Hyménoptères et Névroptères, qualifiés d'aéroentomofaune par Kózar (1992) et indicateurs potentiels d'une recolonisation du verger à partir de son environnement, ne constituent qu'une faible proportion du cortège d'auxiliaires du verger AB, pour lequel d'autres groupes fonctionnels fluctuent mais se maintiennent au fil du temps. Enfin, même si la régulation du puceron cendré n'est pas permise par l'action des auxiliaires dans ce verger, le verger Smoothee AB héberge des groupes d'auxiliaires variés, et donc un peuplement d'auxiliaires plus équilibré. Les groupes fonctionnels recensés comportent de nombreux taxons généralistes (polyphages), potentiellement régulateurs de divers bio-agresseurs au cours du temps, contrairement au verger conventionnel Golden "centré" sur les principaux groupes ubiquistes Hyménoptères, Névroptères, et dans une moindre mesure araignées.

Les observations réalisées ont permis de discuter l'impact du mode de production AB pour l'entomofaune du verger ; d'autres groupes biologiques (lombrics, oiseaux,...), non étudiés ici et diversement affectés par les modes de production (Sauphanor *et al.*, 2005), sont également susceptibles de contribuer à la biomasse et/ou à la biodiversité du verger AB.

5. CONCLUSION GENERALE

Les observations réalisées dans le cadre de ce travail n'ont évidemment pas toutes une valeur générale ; toutefois, au delà des particularités liées au site et à l'approche expérimentale, la production en arboriculture biologique, ses contraintes, sa spécificité et les perspectives qu'elle suscite relèvent d'un contexte plus large. Les 11 années d'expérimentation réalisées dans le cadre de nos vergers expérimentaux permettent tout d'abord (§ 5.1.) de discuter les points suivants : (i) acquisition de références ; (ii) identification de verrous techniques ; (iii) identification de questions de recherche et (iv) évaluation de l'impact du mode de production. Plus largement (§ 5.2), l'expérience conduite en AB est l'opportunité de revisiter le concept de verger, sa structure, sa conduite, son environnement et les possibilités de gestion à différentes échelles.

5.1. Production en arboriculture biologique

(1) Acquisition de références techniques et technico-économiques

Les suivis réalisés pour caractériser l'évolution de la fertilité du sol, de la nutrition de l'arbre et de la performance du verger se situent principalement dans un cadre de références " conventionnelles " usuelles en agronomie : rendement, qualité commerciale des fruits, analyses de sol, de végétal, suivis des populations de bio-agresseurs, temps de travail,... L'intérêt des méthodes d'analyse utilisées est leur reproductibilité et les possibilités de situer les résultats dans un cadre de référence en général bien documenté. Certaines approches plus globales (diagnostic pédologique) ou plus spécifiquement liées à l'activité biologique des sols (interprétation limitée, en l'absence de référentiel pour notre type de sol) ont également été réalisées et complètent la description précédente. L'originalité de l'approche réside dans le nombre de paramètres suivis (description multi-critères) et dans la longueur du suivi réalisé, à même de fournir un cadre de référence pour d'autres expérimentations en AB ou pour analyser des situations en verger de production.

Le raisonnement de la protection du verger sur la base de modèles ou de seuils d'intervention peut être limité par les possibilités de lutte directe permises par la

réglementation AB : par exemple, pour la tavelure, en l'absence de possibilités de traitement stop ou curatif, la protection devra systématiquement être préventive. Les limites d'efficacité de certaines méthodes de lutte pour des niveaux de population élevés (ex. confusion sexuelle contre le carpocapse) peut induire un recours systématique et répété à des interventions complémentaires, sans utilisation des seuils d'intervention. Les références usuelles liées aux niveaux de symptômes et/ou dégâts de bio-agresseurs acceptables dans la parcelle ou aux risques fournis par des modèles sont donc à ré-envisager en AB pour certains d'entre eux.

L'analyse des temps de travaux, bien que limitée par la structure d'exploitation (unité expérimentale) a permis de pointer certains postes de travail, dont l'organisation est à revoir spécifiquement en AB : éclaircissage en verger de pommiers, entretien du sol sur le rang, en particulier au cours des premières années de la vie du verger. L'architecture de l'arbre, sa conduite et sa hauteur constituent également des éléments déterminants pour une gestion optimale des nombreuses opérations culturales réalisées en AB au sein de l'arbre (éclaircissage manuel, prophylaxie,...).

(2) Identification de verrous techniques et approche intégrée de leur analyse

Production réalisée dans le cadre d'un cahier des charges spécifique et d'une réglementation nationale plus générale (par ex. pour l'homologation de produits de protection des plantes), la production en arboriculture biologique présente diverses contraintes, en particulier liées à la pérennité de la production.

Les suivis réalisés ont principalement mis en évidence la difficulté de gérer la fertilité du sol en cultures pérennes, ce qui s'accompagne, en l'absence de rotations culturales, de la gestion de deux zones au sein du verger : le rang, qui correspond principalement à la zone d'échange arbre-sol et l'inter-rang, utilisé comme zone de circulation des engins agricoles et généralement support d'une autre composante végétale (couvert herbacé). L'apport et l'incorporation des fertilisants et amendements sont donc à localiser préférentiellement sur le rang ; par ailleurs, selon le type de sol et l'âge du verger, l'entretien du sol sur le rang nécessite de réaliser le compromis entre le contrôle des adventices (limitation de la concurrence pour les arbres) et le maintien des racines superficielles (alimentation de l'arbre). La satisfaction des besoins de l'arbre, parfois élevés sur une courte période (cas du pêcher), est tributaire d'apports d'amendements et fertilisants adaptés. Bien qu'accentuée par le type de sol du site d'expérimentation, la nécessité d'une fertilisation régulière et ajustée reste indispensable pour garantir la pérennité du verger, sa régularité de production et la qualité des fruits.

Du fait de la permanence de leur plante-hôte, pour des densités souvent élevées, certains bio-agresseurs ont la possibilité de se maintenir dans le verger d'une année sur l'autre et de se propager aisément. Au fil des 11 années d'expérimentation, la conduite de vergers de conception différente a permis de poser les limites de la lutte directe permise en AB pour la protection du verger.

Pour notre situation, certains ravageurs (acariens phytophages, pucerons en verger de pêcheurs) sont sans incidence pour la production du fait d'une régulation naturelle, probablement permise par le mode de production. Certaines méthodes de contrôle sont globalement satisfaisantes : lutte biotechnique, lutte microbiologique,... tout en nécessitant vigilance et rigueur afin de maîtriser le niveau de population des bio-agresseurs sur les parcelles. L'oidium et la cloque du pêcher, la tavelure du pommier sont généralement contrôlés au prix d'un nombre d'interventions élevé : fongicides cupriques et/ou soufrés, dont l'utilisation reste actuellement incontournable en dépit d'effets pour l'environnement et les auxiliaires. En revanche, le contrôle insuffisant de bio-agresseurs tels le puceron cendré en verger de pommiers ou les maladies de conservation en verger de pêcheurs constitue un frein à la production et/ou à la régularité de production.

(3) Identification de questions de recherche d'amont

Au cours de cette étude pluri-annuelle, plusieurs expérimentations et programmes ont été suscités par des problèmes-clés du verger de production AB: contrôle de la cloque et des monilioses en verger de pêchers, du puceron cendré et, dans une moindre mesure, de la tavelure en verger de pommiers. Ils ont demandé : (i) d'investir ou de ré-investir de la connaissance sur l'épidémiologie et la biologie des bio-agresseurs ; (ii) d'analyser les facteurs culturels potentiellement impliqués et les possibilités de gestion en culture ; (iii) d'envisager la sélection de matériel végétal répondant aux spécificités du verger AB. Ainsi, au cours de la période 1994-2004, le travail des équipes INRA (GAFL Avignon, GenHort Angers) interpellées sur l'absence (ou quasi-absence) de matériel végétal répondant à des critères de rusticité a permis la mise en place d'essais multi-sites pour l'évaluation du comportement et de la sensibilité de variétés anciennes ou récemment créées, dans un référentiel AB à bas niveau d'intrants (coordination GRAB).

L'expérimentation en verger AB présente par ailleurs l'intérêt de travailler dans un système permettant la présence de niveaux de bio-agresseurs plus élevés qu'en verger conventionnel, et donc plus à même de répondre à l'effet de certaines méthodes culturales (ex. expérimentation effet de la conduite centrifuge sur le développement du puceron cendré).

L'AB a donc été, dans le cadre de ce travail, à la fois un outil de recherche et d'expérimentation (ex. système exprimant au mieux les effets partiels) et un moteur de recherches (ex. sélection variétale dédiée à des systèmes moins interventionnistes ; système de culture verger). En effet, au-delà d'aspects techniques, du fait de sa spécificité, de sa diversité et des remises en question provoquées par l'AB, une dynamique a pu être créée autour de ce programme de travail, qui trouve actuellement son prolongement dans le cadre d'une étude systématique de 3 modes de production en verger de pommiers initiée en 2005 dans 9 vergers expérimentaux à l'INRA de Gotheron (programme BioREco).

(4) Evaluation de l'impact du mode de production

Il n'est pas possible d'aborder la durabilité des pratiques réalisées dans les vergers expérimentaux à l'échelle de la seule parcelle ; l'approvisionnement en matière organique et fertilisants ne peut par exemple être réalisée qu'en association avec d'autres productions, dont animales. Seul l'impact des stratégies mises en œuvre a pu être apprécié :

- Les suivis réalisés, notamment pour l'azote dans le sol (pêchers et surtout pommiers), indiquent sans conteste que les stratégies de fertilisation réalisées pour le type de sol du site ne s'accompagnent pas d'une migration de l'azote en profondeur et que le risque de pollution par lessivage des nitrates est des plus faibles, en dépit d'un sol nu sur le rang.

- en revanche, l'utilisation incontournable (pour nos vergers) de certaines matières actives en lutte directe contre les bio-agresseurs a affecté certains compartiments de l'environnement : cuivre dans le sol (augmentation lente mais régulière) ; et potentiellement le soufre, affectant certains groupes du cortège d'auxiliaires. L'application de roténone, dont les effets non intentionnels n'ont pas été directement évalués ici, est également à éviter du fait de sa non sélectivité vis-à-vis des auxiliaires.

Il serait par ailleurs intéressant de confronter les mesures a posteriori réalisées dans ces vergers (sol, entomofaune) à d'autres méthodes d'évaluation, proposant a priori (indicateurs agri-environnementaux) un diagnostic ou un niveau d'impact des pratiques.

5.2. le verger AB : une opportunité pour repenser le système verger et sa gestion ?

La production en verger AB peut donc être considérée comme une production sous contraintes, d'autant plus importantes que la culture est pérenne : difficultés pour la gestion de la fertilité du sol et de l'entretien du rang, maintien de l'inoculum dans le verger pour divers bio-agresseurs (mais aussi potentiellement des facteurs de régulation).

Il s'agit donc d'un système pour lequel les choix de plantation, les choix culturels et l'aménagement du verger doivent intégrer de limiter le recours aux intrants phytosanitaires, parfois peu efficaces et/ou préjudiciables à l'environnement ou aux auxiliaires. Les systèmes de verger AB expérimentaux étudiés, directement transposés de vergers conventionnels, ne sont probablement pas les mieux à même de satisfaire à toutes ces contraintes.

L'AB permet donc de pointer "l'artificialisation " des systèmes de production fruitière, largement tributaires des intrants (dont phytosanitaires) et très interventionnistes, et surtout d'initier un nouveau concept de verger, économe en intrants, intégrant des facteurs de production classiques : matériel végétal et conduite adaptés au potentiel du sol et au climat, distances de plantation, nutrition de l'arbre, mesures prophylactiques, préservation et renforcement des facteurs de limitation naturels des bio-agresseurs,... mais revisitant également d'autres aspects structurels du verger : association et agencement des espèces cultivées dans la parcelle (vergers multi-variétal, multi-espèce ou multi-strate) et, au delà de la parcelle, s'inscrivant dans une gestion de la protection à une échelle plus large, par complémentarité des productions au sein de l'agrosystème et aménagements de la matrice paysagère.

BIBLIOGRAPHIE

- ACTA Association de Coordination Technique Agricole, 1974. *Contrôles périodiques en vergers - pommier*. ACTA, Paris, 3 tomes.
- ACTA Association de Coordination Technique Agricole, 1979. *Contrôles périodiques en vergers - pêcheur*. ACTA, Paris, 3 tomes.
- Aversenq S., Gendrier J.P., 2005. Choix des produits phytosanitaires en verger. *Phytoma - Déf. Vég.*, **579**, 16-20.
- Boivin T., Sauphanor B., 2005. Modélisation de la phénologie du carpocapse des pommes - intégrer la résistance aux insecticides. *Phytoma - Déf. Vég.*, **581**, 25-27
- Bornand M., 1968. *Etude pédologique dans la vallée du Rhône*. INRA, Centre de Recherches Agronomiques du Midi, Montpellier, France.
- Brun L.A., Maillet J., Richarte J., Herrmann P., Rémy J.C., 1998. Relationships between extractable copper, soil properties and copper uptake by wild plants in vineyard soils. *Environ. Pollution*, **102**, 151-161.
- Brun L., Gomez C., Dumon E., 2005. Prophylaxie contre la tavelure du pommier. *Phytoma - Déf. Vég.*, **581**, 16-18.
- Bussi C., Huguet J.G., Besset J., Girard T., 1999. Irrigation scheduling of an early maturing peach cultivar using tensiometers and diurnal changes in stem diameter. *Fruits*, **54 (1)**, 57-66.
- CEMAGREF Centre du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts, 1988. *La qualité gustative des fruits. Méthodes pratiques d'analyse*. CEMAGREF, Aix-en-Provence, Mission Qualité Alimentaire du Ministère de l'Agriculture.
- Chaussod R., Nouaïm R., Ranjard L., Echairi A., Lignier L., Blal B., Doledec A.F., Jonis M., 2005. Evaluation de l'impact du cuivre sur la microflore des sols. *Séminaire sur les recherches en Agriculture Biologique*, t. 2. INRA-ACTA, Draveil, 20-21 nov. 2003, 243-254.
- Cluzeau D., Fayolle L., Burakowski I., 1988. Impacts sur les lombriciens des traitements pesticides, en particulier cupriques, dans le vignoble champenois. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, **74(8)**, 109-117.
- Concaret J., Lesage B., 1963. *Etude pédologique du Domaine de Gotheron*. INRA Gotheron Section d'Application de la Recherche à la Vulgarisation.
- Corroyer N., Libourel G., Warlop F., 1999. *La conduite d'un verger en agriculture biologique - principes de base*. GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon et ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique, Paris.
- Cummings G.A., 1973. The distribution of elements in Elberta peach tree tissues and the influence of potassium and magnesium fertilization. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **98(5)**, 474-477.
- Edwards L., 1998. *Organic tree fruit management*. Certified Organic Associations of British Columbia, Keremeos, B.C. Canada.
- Fauvel G., Rambier A., Balduque-Martin R., 1981. La technique du battage pour la surveillance des ravageurs en culture fruitière et florale. Comparaison des résultats obtenus en vergers de pommiers avec des entonnoirs rigides de taille moyenne et avec des entonnoirs en toile. Etude de l'influence de quelques facteurs sur l'efficacité des battages. *Agronomie*, **1(2)**, 9-35.
- Fritsch E., Udorf-Spahn K., Kienzle J., Zebitz C.P.W., Huber J., 2005. Codling moth granulovirus: first indications of variations in the susceptibility of local codling moth populations. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.*, **57**, 2423-2430.
- Gagnard J., 1984. Le pommier. In : Martin-Prével P., Gagnard J., Gautier P., 1984. *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*, Lavoisier, Paris, 234-257.
- Girard T., Bussi C., 1996. Evolution de la teneur en nitrate du sol dans un verger de pêcheur, en fonction du mode de fertilisation azotée. *Fruits*, **51**, 31-37.
- Gomez C., Warlop F., Bompeix G., 2004. Thémothérapie contre les maladies de conservation des fruits à noyaux. In : GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon, *Rapport d'expérimentation 2004*, A04PACA09.
- GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, 2002. *Produire des fruits en agriculture biologique*. ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique, Paris.
- Herrmann P., 1987. *Travaux pratiques Sciences du Sol*. ENSA Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Montpellier.
- Kózar F., 1992. Organization of arthropod communities in agroecosystems. *Acta Phytopathol. Entomol. Hung.*, **27(1-4)**, 365-373.
- Kreiter S., Sentenac G., Weber M., Rinville C., Auger P., 1998. Effets non intentionnels de quelques produits phytopharmaceutiques sur *Typhlodromus pyri*, *Kampidromus aberrans* et *Phytoseius plumifer*. *Phytoma - Déf. Vég.*, **505**, encart 6 p.
- LAMS Laboratoire d'Analyse Microbiologique des Sols, 1995. *Rapport d'analyse*, LAMS, Is-sur-Tille (21).
- Larrive G., Lauri P.E., Lespinasse J.M., Ramonguilhem M., 2000. Conduite "centrifuge" avec extinctions. *Réussir Fruits & Légumes*, **182**, 46-48.
- Lauri P.E., Lespinasse J.M., 1999. Apple tree training in France: current concepts and practical implications. *Fruits*, **54**, 441-449
- Lauri P.E., Willaume M., Larrive G., Lespinasse J.M., 2004. The concept of centrifugal training in apple aimed at optimizing the relationship between growth and fruiting. *Acta Horticulturae*, **636**, 35-42.

- Leclant F., 1970. Les aphides et la lutte intégrée en vergers. *B.T.I.*, **249**, 259-274.
- Libourel G., 2004. Influence du sol et sa gestion sur la pression parasitaire. In : GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon, *Rapport d'expérimentation 2004*, A04PACA20.
- MAFCOT MAîtrise de la Fructification COncepts et Techniques, 1999. Dossier conduite du pommier - Branche Fruitière et extinction. *Réussir Fruits & Légumes*, **173**, 27-34.
- Mandrin J.F., 2003. Culture biologique du pêcher. Sélection naturelle contre la cloque, évaluation de la sensibilité de 31 variétés. *Infos-Ctifl*, **188**, 31-33.
- Mercier V., Gueldry H., Neraudeau E., Chauffour D., 2005. Effets des pratiques culturales sur les attaques de monilioses en verger de pêchers. *Phytoma - Déf. Vég.*, **581**, 40-41.
- Olivier J.M., 1996. Inoculum primaire de tavelure. In: Giraud M., Baudry O., Orts R., Gendrier J.P., 1996. *Protection intégrée pommier, poirier*. Ctifl Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris, 26.
- Panine M., 1984. Le pêcher. In : Martin-Prével P., Gagnard J., Gautier P., 1984. *L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales*, Lavoisier, Paris, 280-295.
- Parisi L., Trillot M., 1993. Résistance et sensibilité à la tavelure, à l'oidium et aux maladies de conservation. *Infos-Ctifl*, **89**, 29-30.
- Parisi L., Didelot F., Brun L., 2004. Raisonner la lutte contre la tavelure du pommier. Un enjeu majeur pour une arboriculture durable. *Phytoma - Déf. Vég.*, **567**, 49-53.
- Reboulet J.N., 1999. *Les auxiliaires entomophages. Reconnaissance, méthodes d'observation, intérêt agronomique*. ACTA Association de Coordination Technique Agricole, Paris.
- Romet L., 2004. Stratégie de perturbation du cycle du puceron cendré à l'automne. In : GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon, *Rapport d'expérimentation 2004*, A04PACA01.
- Roth M., 1963. Comparaison des méthodes de capture en écologie entomologique. *Rev. Pathol. veg. Entomol. agric. Fr.*, **42(3)**, 177-197.
- Sauphanor B., Bouvier J.C., Boisneau C., Rieux R., Simon S., Capowicz Y., Toubon J.F., 2005. Impact biologique des systèmes de protection en vergers de pommiers. *Phytoma - Déf. Vég.*, **581**, 32-36.
- Sauphanor B., Berling M., Toubon J.F., Reyes M., Delnatte J., 2006. Carpocapse des pommes - cas de résistance aux virus de la granulose dans le Sud-Est. *Phytoma - Déf. Vég.*, **590**, 24-27.
- Shear C.B., Faust M., 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruits and nuts. *Horticultural Reviews*, **2**, 142-163.
- Simon S., Corroyer N., Getti F.X., Girard T., Combe F., Fauriel J., Bussi C., 1999. Agriculture Biologique - Optimisation des techniques. *L'arboriculture fruitière*, **533**, 27-32.
- Simon S., Corroyer N., Getti F.X., Girard T., Combe F., Fauriel J., Bussi C., 2001. Protection phytosanitaire en arboriculture biologique - Six années d'expérience en moyenne vallée du Rhône pour le pêcher et le pommier. In : INRA Institut National de la Recherche Agronomique - Ciab Comité Interne pour l'Agriculture Biologique et ITAB Institut Technique de l'Agriculture Biologique, *1ère rencontre INRA - Agriculture Biologique "Protection phytosanitaire, qualité des produits et environnement"*, Paris, 22 mars 2001, 5 p.
- Thiault J., 1970. Etude de critères objectifs de la qualité gustative de pommes Golden delicious. *B.T.I.*, **248**, 191-201.
- Trillot M., Masseron A., Mathieu V., Bergougnoux F., Hutin C., Lespinasse Y., 2002. *Le pommier*. Ctifl Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris.
- Vidaud J., 1987. *Le pêcher, références et techniques*. Ctifl Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes, Paris.
- Warlop F., 2004. Recherche et test de microorganismes à action antagoniste des monilioses des fruits à noyaux. In : GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon, *Rapport d'expérimentation 2004*, A04PACA11.
- Warlop F., 2005. Pêcher bio - Sélection de variétés tolérantes à la cloque adaptées à l'AB. *L'Arboriculture Fruitière*, **598**, 25-28.
- Warlop F., Bompeix G., 2004. Lutte contre les maladies de conservation en post-récolte : efficacité des huiles essentielles en diffusion. In : GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Avignon, *Rapport d'expérimentation 2004*, A04PACA10.
- Willaume M., Lauri P.E., Sinoquet H., 2004. Canopy architecture manipulation in apple trees via centrifugal training optimizes light interception by fruiting laterals. *Trees - Structure and Function*, **18**, 705-713.
- Wills R.B.H., Scriven F.M., Greenfield H., 1983. Nutrient composition of stone fruit (*Prunus* spp.) cultivars : apricot, cherry, nectarine, peach and plum. *J. Sci. Food Agric.*, **34**, 1383-1389.
- Wyss E., 1995. The effects of weed strips on aphids and aphidophagous predators in an apple orchard. *Entomol. Exp. Appl.*, **75**, 43-49.
- Xueref, 1959. La toxicité du cuivre dans les vergers de pêchers de la Vallée de l'Eyrieux. *Le Progrès Agricole de l'Ardèche*, **49**, 1-6.

INDEX

Acarien	p. 18 ; 38
Analyses minérales de feuilles	p. 9 ; 14 ; 20-21 ; 34
Analyses minérales de fruit	p. 9 ; 15 ; 20 ; 34
Analyses minérales de sol	p. 9 ; 13-14 ; 20 ; 32-33 ; 46
<i>Anarsia lineatella</i>	voir petite mineuse
<i>Aphis pomi</i>	voir pucerons du pommier
Auxiliaires, biocénose	p. 10 ; 18 ; 47-50
<i>Brachycaudus persicae</i>	voir pucerons du pêcher
Carpocapse	p. 10 ; 36-37 ; 45
Climat	p. 6
Cloque	p. 10 ; 16-17 ; 22 ; 24-26 ; 28 ; 29
Conduite de l'arbre	p. 18 ; 23 ; 39 ; 42-44
Croissance de l'arbre	p. 9 ; 14 ; 33
Cuivre	p. 14 ; 16-17 ; 20 ; 22 ; 24-26 ; 29 ; 37-38
<i>Cydia molesta</i>	voir tordeuse orientale
<i>Cydia pomonella</i>	voir carpocapse
<i>Dysaphis plantaginea</i>	voir pucerons du pommier
Eclaircissage	p. 18 ; 23 ; 29 ; 31 ; 39 ; 44 ; 45
Entretien du sol sur le rang	p. 18 ; 21 ; 23 ; 29 ; 39
Fertilisation	p. 13 ; 18 ; 19 ; 21 ; 23 ; 29 ; 32 ; 39 ; 40-41 ; 45
Irrigation	p. 12
Maladies de conservation du pêcher	p. 10 ; 17 ; 23 ; 28 ; 29
<i>Monilia</i> ou <i>Monilinia</i>	voir maladies de conservation du pêcher
<i>Myzus persicae</i>	voir pucerons du pêcher
Oïdium du pêcher	p. 10 ; 17 ; 22
Oïdium du pommier	p. 10 ; 38
Pêcher	p. 8 ; 11-29 ; 46
Petite mineuse	p. 10 ; 16 ; 23 ; 28
<i>Podosphaera leucotricha</i>	voir oïdium du pommier
Pommier	p. 9 ; 30-50
Protection phytosanitaire	p. 15-18 ; 21-23 ; 35-39
Publications	p. 40 ; 42 ; 47 ; 53-54
Pucerons du pêcher	p. 10 ; 16 ; 22 ; 27-28 ; 29
Pucerons du pommier	p. 10 ; 35-36 ; 40-41 ; 42-44 ; 45 ; 47
Qualité du fruit	p. 9 ; 12 ; 19 ; 27-28 ; 31
Rendement	p. 9 ; 11 ; 19 ; 25 ; 27-28 ; 30-31 ; 44 ; 45
<i>Rhopalosiphum insertum</i>	voir pucerons du pommier
<i>Sphaerotheca pannosa</i>	voir oïdium du pêcher
Sol	p. 7 ; 13-14 ; 19-21 ; 32-33 ; 45 ; 46
Soufre	p. 17 ; 22 ; 37-38
<i>Taphrina deformans</i>	voir cloque
Tavelure	p. 10 ; 37-38 ; 45
Temps de travaux	p. 10 ; 18 ; 23 ; 29 ; 39 ; 44 ; 45
Thrips du pêcher	p. 10 ; 18
Tordeuses	p. 38
Tordeuse orientale	p. 10 ; 16 ; 23 ; 28 ; 29
<i>Venturia inaequalis</i>	voir tavelure
<i>Zeuzera pyrina</i>	voir zeuzère
Zeuzère	p. 10 ; 38

PUBLICATIONS

Corroyer N., 1996. INRA de Gothenon : optimiser les techniques en arboriculture biologique, *Alter agri*, **16**, 11.

Collectif, 1996. Arboriculture biologique, un programme de recherche. *L'Arboriculture fruitière*, **493**, 10.

Simon S., Corroyer N., Getti F.X., Girard T., Combe F., Bussi C., 1999. Aspects phytosanitaires de l'arboriculture biologique en vergers de pêchers et pommiers de la moyenne vallée du Rhône (France). Chapitre 3.3. In : INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, *Curso Internacional de producción Integrada y Orgánica de Frutas*, General Roca, Argentina, 10-14 mai 1999 (en espagnol).

Simon S., Gendrier J.P., 1999. Arboriculture biologique et production fruitière intégrée en France. Chapitre. 2.4. In : INTA Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, *Curso Internacional de Producción Integrada y Orgánica de Frutas*, General Roca, Argentina, 10-14 mai 1999 (en espagnol).

Simon S., Corroyer N., Getti F.X., Girard T., Combe F., Fauriel J., Bussi C., 1999. Agriculture biologique - Optimisation des techniques. *Arboric. fruit.*, **533**, 27-32.

Simon S., Corroyer N., Getti F.X., Girard T., Combe F. et Bussi C., 2000. Improving organic peach and apple management. In : IFOAM International Federation of Organic Agriculture Movements, *Proceedings 13th International IFOAM Scientific Conference*, Bâle, 28-31 août 2000, 254.

Simon S., Corroyer N., Getti F.X., Girard T., Combe F., Fauriel J., Bussi C., 2001. Protection phytosanitaire en arboriculture biologique - Six années d'expérience en moyenne vallée du Rhône pour le pêcher et le pommier. In: INRA-Ciab et ITAB, *1ère rencontre INRA - Agriculture biologique "Protection phytosanitaire, qualité des produits et environnement"*, Paris, 22 mars 2001, 5 p.

Bellon S., Simon S., 2002. Recherche en arboriculture biologique : spécificités et illustrations à partir de projets. In : INRA Avignon, *Le point sur les programmes de recherche "Production Fruitière Intégrée". Rencontre chercheurs - professionnels*, Avignon, 31 janv. 2002, 57-67.

Girard T., Simon S., Corroyer N., Fauriel J., Bussi C., 2002. Soil nitrogen in an organic apple orchard. In : IFOAM International Federation of Organic Agriculture Movements, *Proceedings 14th International IFOAM Scientific Conference*, Victoria, 21-24 août 2002, 52.

Simon S., Defrance H., Rieux R., Sauphanor B., 2002. Hedgerows and beneficial phytophagous arthropods. In : IFOAM International Federation of Organic Agriculture Movements, *Proceedings 14th International IFOAM Scientific Conference*, Victoria, août 2002, 145.

Bussi C., Fauriel J., Girard T., Simon S., Corroyer N., 2005. Azote du sol en verger de pommiers conduit en Agriculture Biologique. *Séminaire sur les recherches en Agriculture Biologique, t. 2*. INRA-ACTA, Draveil (91), 20-21 nov. 2003, 209-214.

Retrouvez les plus récentes de ces publications AB et le descriptif du programme "Organic fruit growing" dans la base de données européenne Organic eprints (www.orgprints.org).

>>> [Accueil en stage annuel d'étudiants de l'enseignement supérieur général ou agricole](#)

Warlop F., 1995. Optimisation des techniques en arboriculture biologique. Rapport de stage, Institut Supérieur d'Agriculture, Lille, 30 p.

Said X., 1996. Optimisation des techniques en arboriculture biologique. Rapport de stage, licence de phytoprotection, Université d'Avignon, 25 p.

Debourg M., 1997. Optimisation des techniques en arboriculture biologique. Rapport de stage, MST Chimie et Biologie Végétale, Université Claude Bernard, Lyon, 22 p.

Puléo S., 1998. Optimisation des techniques en arboriculture biologique. Rapport de stage, licence de phytoprotection, Université d'Avignon, 19 p.

Romet L., 1999. Optimisation des techniques en arboriculture biologique. Rapport de stage, Maîtrise de l'Université Joseph Fourier Grenoble I, 47 p.

Cotte V., 2000. L'influence des auxiliaires et de l'azote sur le puceron cendré du pommier en Agriculture Biologique, Rapport de stage, BTSA Protection des Cultures, Aix-Valabre, 54 p.

Bernard-Bruno C., 2001. Impacts biocénétiques des différentes méthodes de protection contre le Carpocapse des pommes. Rapport de stage, BTSA Protection des Cultures, Aix-Valabre, 44 p.

ANIMATIONS et PARTICIPATIONS

10/11/95 - Dans le cadre des Journées Techniques de l'Agriculture Biologique - arboriculture organisées par le GRAB à Loriol (26) : visite du verger expérimental de pommiers AB.

15/02/96 - Bilan 1995 du programme au Lycée agricole du Valentin (Bourg-lès-Valence, Drôme) avec les producteurs d'Agribiodrôme, le GRAB, l'ADAB et l'INRA Gotheron.

25/05/96 - Réunion à Gotheron d'un comité de pilotage avec les producteurs d'Agribiodrôme, le GRAB et l'INRA Gotheron.

02/12/97 - Les rencontres biologiques du Grand Sud organisées à Gotheron par Agribiodrôme, CORABIO et le GRAB (participation : 80 personnes).

20-21/01/98 - Communication "faunistique des haies et de la strate herbacée" de S. Simon aux Journées Techniques de l'Agriculture Biologique (GRAB), Lille (59).

30/11/98 - Rencontre à Gotheron sur le thème "Modalités de fertilisation en AB". Participation de : Agribiodrôme, GRAB, SEFRA, SENURA, AMISOL, INRA Gotheron.

10-14/05/99 - Colloque INTA sur l'arboriculture intégrée et organique. Argentine. Participation de S. Simon et communication collective.

27/05/99 - Restitution aux producteurs des résultats 1994-1998 du programme "Optimisation des techniques en AB" à Loriol (26).

14-15/12/99 - Communication "Incidence de l'environnement sur les populations d'arthropodes du verger de poiriers" de S. Simon aux Journées Techniques de l'Agriculture Biologique (GRAB-ITAB), Artigues (33).

28-31/08/00 - Communication de C. Bussi à la 13e conférence internationale IFOAM à Bâle (Suisse).

22/03/01 - Communication de N. Corroyer et S. Simon à la rencontre "Protection phytosanitaire, qualité des produits et environnement" organisée par le Comité Interne pour l'Agriculture Biologique INRA et l'ITAB à Paris.

31/01/02 - Communication de S. Bellon (INRA Avignon) et S. Simon aux journées techniciens-chercheurs INRA d'Avignon "recherches en arboriculture biologique : spécificités et illustrations à partir de projets".

28-30/05/02 - Participation de S. Simon à l'école-chercheurs INRA "recherche et agriculture biologique".

21-24/08/02 - Communications de S. Simon à la 14e conférence internationale IFOAM à Victoria (Canada).

08/10/02 - Journée régionale arboriculture biologique organisée par le GRAB, l'INRA Gotheron, CORABIO et la SEFRA à St Marcel lès Valence (participation : 160 personnes).

06/02/03 - Communication de S. Simon "Expérimentation d'une haie réservoir d'entomophages" - Rencontres techniques Agriculture Biologique Fruits, Ctifl Balandran, Nîmes (Gard).

07/05/03 - Intervention de S. Simon au Café des Sciences "Agriculture durable et sécurité alimentaire", dans le cadre du Printemps Bio dans la Drôme.

20-21/11/03 - Communication de C. Bussi au Séminaire INRA Ciab-ACTA sur les recherches en Agriculture Biologique, Draveil (91).

09/03/06 - Séminaire Gotheron "Arboriculture biologique : 11 années d'expérimentation en vergers de pêcheurs et pommiers - résultats expérimentaux, suivi longitudinal et impact du mode de production", INRA Gotheron.

Visites régulières des essais expérimentaux AB par des étudiants de l'enseignement agricole, des techniciens et des producteurs.

>>>> Crédits photos

ACTA Valence :
pages 22, 28 (tordeuse orientale),
40, 48 (Hyménoptère)
INRA Gotheron :
couverture, pages 6, 8, 9, 12, 16,
17, 18, 28 (pêcher), 31, 37 (tavelure),
39, 43, 47
B. Sauphanor (INRA Avignon) :
page 37 (carpocapse)
J.Y. Rasplus (INRA Montpellier) :
page 48 (forficule), collection ACTA
Valence

>>>> Liste des sigles cités dans ce document

ACTA : Association de Coordination Technique Agricole
ADAB : Association pour le Développement de l'Agriculture Biologique
CEMAGREF : CEntre du Machinisme Agricole du Génie Rural des Eaux et Forêts
Ciab (INRA) : Comité interne pour l'agriculture biologique
CORABIO : COordination Rhône-Alpes de l'Agriculture Biologique
CTIFL : Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes
GRAB : Groupe de Recherche en Agriculture Biologique
IFOAM : International Federation of Organic Agriculture Movements
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
INTA : Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique
SEFRA : Station Expérimentale Fruitière Rhône-Alpes
SENURA : Station Expérimentale NUCicole en Rhône-Alpes

RESUME

Arboriculture biologique : 11 années d'expérimentation en vergers de pêcheurs et pommiers Résultats expérimentaux 1994-2004 Suivi longitudinal Impact du mode de production

Un programme de recherche a été conduit en arboriculture biologique pendant 11 ans (1994-2004) à l'unité expérimentale INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) de Gotheron dans le Sud-Est de la France, en partenariat avec Agribiodrôme (F-26150 Die), association de développement de l'Agriculture Biologique (AB) en Drôme et le GRAB (Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, F-84911 Avignon). Les objectifs étaient : (i) acquérir des références en arboriculture biologique ; (ii) identifier et analyser les verrous techniques de la production de pêches et pommes biologiques, afin d'optimiser la conduite des vergers AB et/ou de proposer de nouvelles expérimentations ; (iii) évaluer à long terme l'impact du mode de production pour le sol et la communauté d'arthropodes du verger. Deux vergers de pêcheurs, l'un converti et l'autre planté en AB, et un verger de pommier planté en AB ont constitué le support des expérimentations conduites.

Du fait de la pérennité de la culture et de l'absence de rotation culturale, la production en arboriculture biologique a présenté différentes contraintes ou limites, notamment pour la conduite du sol et la protection du verger.

La faible capacité de nos sols superficiels à stocker et à fournir des éléments minéraux pour satisfaire les besoins de l'arbre a nécessité : (i) d'identifier les types de fertilisants ou amendements appropriés (compost, complété par un fertilisant se minéralisant rapidement au printemps) ; (ii) d'ajuster les doses et les périodes d'application ; (iii) de réaliser des apports complémentaires pour certains éléments minéraux (Mg, Mn, B) dans le verger de pommiers. Bien que la fourniture azotée soit difficile à ajuster aux besoins de l'arbre en période de conversion ou en verger jeune, la stratégie de fertilisation utilisée a permis à terme d'améliorer la teneur en matière organique du sol, d'entretenir ou d'augmenter la disponibilité des éléments nutritifs pour l'arbre, et de produire à des niveaux de rendements satisfaisants, pour un fruit de qualité. Le travail mécanique du sol sur le rang s'est révélé pénalisant pour les racines, notamment lors du passage d'un désherbage chimique à mécanique lors de la conversion en AB. Le suivi de la teneur en nitrates de la solution du sol à différentes profondeurs a permis d'établir que le risque de lessivage, et donc de pollution par les nitrates, était nul pour notre stratégie de fertilisation et notre situation.

Probablement en rapport avec une fertilisation modérée et avec une conduite de la protection permettant des régulations naturelles, certains ravageurs ne se sont pas développés : acariens phytophages, pucerons du pêcheur,...

D'autres ravageurs ou maladies ont été contrôlés grâce à l'utilisation de méthodes biotechnique ou microbiologique : confusion sexuelle (tordeuse orientale), virus de la granulose (carpocapse),... En revanche, la maîtrise de certaines maladies ou ravageurs a nécessité l'utilisation d'importantes quantités de matières actives présentant des effets non intentionnels, et/ou a été insuffisante. Par exemple, la cloque du pêcheur, maladie due à *Taphrina deformans* et dont le contrôle repose sur l'utilisation préventive de fongicides à base de cuivre, peut constituer un problème-clé pour la production en raison de la longueur de la période de sensibilité du végétal (6 à 7 semaines). Les maladies de conservation de la pêche ont également été difficiles à gérer avec uniquement des méthodes prophylactiques. Dans le verger de pommiers, le principal ravageur a été le puceron cendré *Dysaphis plantaginea*, dont le contrôle s'est révélé délicat, et qui a pu occasionner des dégâts importants sur les arbres et les fruits. Le contrôle non satisfaisant de ce puceron a probablement amplifié l'alternance de production installée dans le verger de pommiers à partir de l'année 2001. La conduite centrifuge de l'arbre, concept récemment développé sur des bases de physiologie de l'arbre, a permis un effet limitant partiel vis-à-vis de ce ravageur.

L'étude de la communauté des arthropodes dans le verger de pommiers AB (2001-2003) a mis en évidence une biomasse plus élevée et un cortège d'auxiliaires de structure différente (prédominance des prédateurs polyphages), par rapport à d'autres vergers conduits en conventionnel. Aucune émergence de ravageurs secondaires n'a été notée tout au long des 11 ans d'étude dans les deux productions. Toutefois, selon la variété cultivée, les quantités de cuivre et de soufre utilisées peuvent s'accompagner d'effets secondaires pour la faune du sol et pour certains arthropodes auxiliaires, respectivement.

En raison d'une efficacité limitée et/ou d'effets secondaires de certains produits de protection des plantes utilisés en AB, il est donc important de concevoir le verger AB afin de limiter le plus possible le recours à des intrants phytosanitaires ; selon les régions, le choix de variétés peu sensibles, des distances de plantation larges, l'aménagement de l'environnement du verger et la mise en œuvre de prophylaxie, ... sont des critères importants pour produire durablement des fruits en AB.

Mots clés : agriculture biologique, arboriculture, pomme, pêche, entretien du sol, fertilisation organique, protection des plantes, système verger, communauté d'arthropodes

ABSTRACT

Organic peach and apple production: an 11 year-experience of experimentation in orchards

A research program has been carried out for 11 years (1994-2004) in organic orchards at the INRA (National Institute for Agricultural Research) experimental station of Gotheron in the South-East of France. A local association for the development of organic farming (OF) (Agribiodôme, F-26150 Die) and the GRAB (Research Institute for Organic Farming, F-84911 Avignon) also participated in the program. The aims were: (i) to acquire references about fruit organic farming; (ii) to identify and to analyse the key-problems of peach and apple organic production, in order to improve the management of organic orchards and/or to propose new experiments; and (iii) to assess on the long term the effect of organic farming on the soil and on the arthropod community of the orchard. Two peach orchards, one converted to OF and one planted under organic certification, and an apple orchard planted under organic certification constituted the experimental design.

As a perennial system with no crop rotation, fruit tree production presented various constraints for the management of the soil and the orchard protection. The low ability of our shallow soils to store and supply nutrients to fulfil the tree requirements implied: (i) to select appropriate types of fertilisers (i.e., compost, completed in spring with a quickly mineralised organic fertiliser); (ii) to adjust the doses and the timing of applications; (iii) to make additional supplies of some mineral elements (Mg, Mn, B) in the apple orchard. Although nitrogen supply was difficult to adjust to the tree requirements during the conversion period or in young orchards, this strategy allowed on the long term to improve the organic matter soil content, to preserve or to increase the availability of the soil nutrients, and to produce satisfying yield levels and fruit quality. Tillage within the row appeared to be disruptive for tree roots, above all when changing from chemical to mechanical weed control (i.e., when converting from conventional to OF production). The survey of the nitrogen content of the soil solution at different depth also allowed to assess that there was no risk of nitrogen leaching, and therefore of nitrogen pollution, under our fertilisation management regime.

Most probably due to a balanced fertilisation regime and a non-disruptive pest management, some pests, such as mites, peach aphids,... were naturally controlled. Mating disruption and microbiological insecticides provided control of oriental moth and codling moth. But the control of some other diseases or pests in our orchard systems either depended on large amounts of active ingredients presenting side effects, and/or was insufficient. For example, the control of the leaf curl disease due to *Taphrina deformans*, which relies on the sole use of copper fungicides, could be a key-problem because of the length of the peach tree susceptible period (6 to 7 weeks). Post harvest decay diseases of peaches were also difficult to manage by sanitation practices only. In the apple orchard, the most prevailing pest was the apple rosy aphid *Dysaphis plantaginea* which proved to be very difficult to control and could damage seriously trees and fruits. Failure in aphid control is likely to have emphasised the alternate fruit bearing that occurred in the apple orchard from 2001 onwards. Centrifugal training, which is a recent tree training concept based on tree physiology, partially limited the development of this pest.

The survey of the arthropod community in the apple organic orchard (2001-2003) showed a higher biomass and a different structure of the arthropod beneficial complex (mainly polyphagous predatory arthropods), compared to other conventionally grown orchards. The populations of secondary pests did not increase along the 11 year-survey for both peach and apple productions. But, due to the use of copper and sulphur, side effects on the soil fauna and the arthropod beneficial complex may be caused.

Because of the low efficiency and/or the potential side effects of some plant protection products used in OF, it is therefore important to design the organic orchard so that it does not rely heavily on plant protection inputs; according regions, the choice of low susceptible cultivars, large tree spacing, plant environment management, and the use of sanitation practices... are important criteria to produce organic fruits in sustainable systems.

Key-words: organic farming, fruit tree production, apple, peach, soil management, organic fertilisation, plant protection, orchard system, arthropod community



Ce document présente les expérimentations et le suivi longitudinal réalisés de 1994 à 2004 en vergers expérimentaux conduits en Agriculture Biologique sur le site de l'Unité expérimentale de l'INRA Gotheron, en partenariat avec la profession (Agribiodrôme) et le Groupe de Recherche en Agriculture Biologique (GRAB). Il constitue un témoignage et un document de synthèse sur les travaux de recherche entrepris en arboriculture biologique, leur spécificité et leurs perspectives.