



Analyse des pratiques de protection et du développement des maladies en vergers de pommiers biologiques dans le Sud-Est de la France

Laurent Brun, Christophe Gros, J-Francois Toubon, Freddy Combe, Sylvaine S. Simon, Luciana L. Parisi, Daniel Plénet

► To cite this version:

Laurent Brun, Christophe Gros, J-Francois Toubon, Freddy Combe, Sylvaine S. Simon, et al.. Analyse des pratiques de protection et du développement des maladies en vergers de pommiers biologiques dans le Sud-Est de la France. Journées Techniques Nationales, Dec 2009, Paris, France. hal-02756515

HAL Id: hal-02756515

<https://hal.inrae.fr/hal-02756515>

Submitted on 3 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Journées Techniques Nationales Fruits & Légumes Biologiques

8 et 9
décembre
2009

PARIS



SOMMAIRE

CONFERENCES COMMUNES - Mardi 8 décembre

SOMMAIRE	1
IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA FILIERE FRUITS ET LEGUMES – ANALYSE DE CYCLE DE VIE	5
L'INDUCTION DE RESISTANCES DE LA PLANTE A DES PHYTO-AGRESSEURS PAR DES INFRA-DOSES DE SUCRES : UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE	9
ACTUALITE REGLEMENTAIRE DES PRODUITS DE PROTECTION DES PLANTES EN AB.....	15
CARACTERISTIQUES DES EXTRAITS VEGETAUX SIMPLES ET INTERETS AGRO-ENVIRONNEMENTAL..	19
DECOCTION DE <i>QUASSIA AMARA</i> ET LUTTE CONTRE L' HOPLOCAMPE DU POMMIER (<i>HOPLOCAMPA TESTUDINEA</i> KLUG).....	25

ATELIER ARBORICULTURE - Mardi 8 décembre

COPPER FREE PRODUCTION OF ORGANIC APPLES: THREE YEARS EXPERIENCE IN THE NETHERLANDS	33
CREATION ET EXPERIMENTATION DE VARIETES DE POMMES ADAPTEES A L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE	39
PROTECTION CONTRE LA TAVELURE DU POMMIER CIBLEE SUR LES INFECTIONS PRIMAIRES EN PRODUCTION BIOLOGIQUE	49
ANALYSE DES PRATIQUES DE PROTECTION ET DU DEVELOPPEMENT DES MALADIES EN VERGERS DE POMMIERS BIOLOGIQUES DANS LE SUD-EST DE LA FRANCE	55
SENSIBILITES VARIETALES : BILAN DU RESEAU DE VERGERS SEMI-EXTENSIFS	59
SITUATION ACTUELLE EN FRANCE DU CONTOURNEMENT DE LA RESISTANCE VF PAR <i>VENTURIA INAEQUALIS</i> - PROPOSITIONS DE METHODES DE LUTTE ADAPTEES.	65

ATELIERS THEMATIQUES - Mercredi 9 décembre

Arboriculture

EFFETS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA BIODIVERSITE, TENDANCES OBSERVEES AU BOUT DE 9 ANNEES D'OBSERVATIONS	71
EVALUATION DE L'ACTIVITE BIOLOGIQUE DU SOL EN VERGER BIOLOGIQUE ET CONVENTIONNEL	87
SYNTHESE DE TROIS ANNÉES DE SUIVIS SUR LA FERTILITÉ EN ARBORICULTURE BIOLOGIQUE	93

Maraîchage

EFFET D'APPORTS DE DIFFERENTS AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LES PROPRIETES DU SOL_ BILAN DE 15 ANNEES D'ESSAI EN CULTURE LEGUMIERE	99
FERTILITE ET PATHOGENES TELLURIQUES_EFFETS DU COMPOST	105

CONFERENCES COMMUNES - Mercredi 9 décembre

QUALITE DES COMPOSTS DE DECHETS VERTS EN FRANCE	111
VERS DE TERRE : ROLES IDENTIFIES ET IDEES PRECONCUES	119
TRAVAIL DU SOL ET ACTIVITES MICROBIENNES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE.....	123
APPROCHE BIODYNAMIQUE DE LA FERTILITE DES SOLS.....	127

CONFERENCES INTRODUCTIVES

MARDI 8 DECEMBRE

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE LA FILIERE FRUITS ET LEGUMES – ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Noëllie Oudet

01 53 90 11 80, noellie.oudet@biois.com
20-22, Villa Deshayes, 75014 Paris

RESUME

L'analyse de cycle de vie permet d'évaluer de manière globale – en tenant compte de l'ensemble des étapes du cycle de vie – et multicritère les divers impacts des produits de notre consommation. Par ces qualités, elle peut être le support des évaluations environnementales des produits dans des démarches d'affichage ou d'étiquetage. Les projets actuels sur cette thématique ont pour objectif de fournir au consommateur l'opportunité de s'orienter vers une consommation plus durable au travers de son acte d'achat.

Appliquée aux filières agroalimentaires, cette méthode est davantage un outil d'analyse de l'existant et d'aide à la décision dans une démarche de réduction d'impact environnementaux qu'un instrument de comparaison des productions. En effet, les diverses pratiques culturelles influencées notamment par la localité des exploitations d'une part, et les différents choix de modélisation d'autre part peuvent induire une grande variabilité de résultats.

INTRODUCTION

Les produits que nous consommons génèrent des impacts environnementaux tout au long de leur cycle de vie, depuis l'étape de production agricole jusqu'à leur consommation et leur fin de vie, en passant par leur transport, leur stockage et leur distribution. En particulier, pour la filière fruits et légumes, différents enjeux peuvent être cités : le changement climatique, la pollution de l'eau, des sols, de l'air, la diminution des ressources, les impacts sur les écosystèmes, etc.

L'évaluation de ces multiples impacts peut ainsi s'effectuer au moyen d'une analyse de cycle de vie. Cette méthode, globale et multicritère, permet en effet de cibler les principales causes d'impact et de déterminer les priorités d'action en vue d'une démarche de progrès. Appliquée au monde agroalimentaire, cette méthode peut néanmoins aboutir à une grande hétérogénéité de résultats compte tenu de la forte influence des conditions locales et des choix méthodologiques possibles.

1 DESCRIPTION DE LA METHODE D'ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Une méthode globale, multicritère et normalisée

Comme illustré par la Figure 1, l'analyse de cycle (ACV) de vie d'un produit considère différents impacts environnementaux selon les ressources utilisées et les rejets polluants dans l'air, l'eau et le sol et ce tout au long du cycle de vie d'un produit ou service.

La prise en compte de l'ensemble des étapes du cycle de vie – depuis l'extraction des matières premières jusqu'à la fin de vie du produit ou service étudié, en passant par les étapes de fabrication/transformation, de logistique et d'utilisation/consommation – fait de l'ACV une **méthode globale** ou multi-étapes.

L'ACV d'un produit ou service requiert le recensement des différentes consommations de ressources et émissions polluantes. Une fois listées, celles-ci sont ensuite regroupées en indicateurs d'impacts selon leurs effets sur l'environnement. Parmi ces indicateurs se trouvent les consommations d'énergie primaire et de ressources abiotiques, les potentiels de réchauffement global (émissions de gaz à effet de serre), d'eutrophisation ou d'oxydation photochimique, la diminution de la couche d'ozone, la toxicité humaine et celle des

écosystèmes, etc. Du fait de l'existence de ces divers indicateurs, l'ACV est qualifiée de **méthode multicritères**.



Figure 1 : L'analyse de cycle de vie, une méthode globale et multicritère. Source BIOIS.

Dans l'optique de réaliser des analyses de cycle de vie aussi homogènes que possible et reproductibles, les principes et les lignes directrices de cette méthode sont décrits depuis 1996 dans la série des normes ISO 14 040-4. Ces dernières soulignent notamment l'exigence de transparence et de justification en termes de communication. Toutefois, ces normes laissent l'opportunité de retenir certaines hypothèses plutôt que d'autres, ces dernières pouvant très fortement influencer les résultats. C'est par exemple le cas du choix d'une clé de répartition des impacts entre coproduits issus de l'agriculture.

L'unité fonctionnelle

L'analyse de cycle de vie repose sur la notion d'**unité fonctionnelle**. Cette notion permet de comparer les différentes alternatives en tenant compte de la performance, du service rendu par le produit ou le service étudié. Par exemple, pour un emballage, l'unité fonctionnelle peut être de « protéger une certaine quantité d'aliment depuis l'étape de conditionnement jusqu'à la consommation du produit ».

Dans le cas des produits alimentaires, il est encore difficile d'aboutir à une unité fonctionnelle consensuelle. En effet, pour comparer des pommes produites selon des pratiques culturelles différentes, doit-on simplement comparer les impacts environnementaux associés à la production d'une même quantité de fruits ? Doit-on intégrer la dimension nutritionnelle ? La dimension organoleptique ? Ces sujets font débats aujourd'hui.

Quelle interprétation des résultats d'ACV ?

Une ACV permet de mettre en évidence la contribution des différents postes pour chacun des indicateurs d'impacts cités précédemment (voir Figure 2). Cela permet d'identifier les postes les plus émetteurs et les leviers d'actions pour s'orienter dans une démarche de réduction de l'impact environnemental du produit étudié.

Autre atout de l'ACV, ses résultats peuvent parfois faire tomber les idées reçues. C'est par exemple le cas de la problématique du « consommer local ». Du point de vue de la consommation d'énergie et émissions de gaz à effet de serre, un habitant du Royaume-Uni souhaitant consommer des tomates hors saison aura en effet intérêt à consommer des fruits importés d'Espagne plutôt que des tomates britanniques, l'impact du mode de production sous serres chauffées des secondes contrebalançant celui du transport des premières (Smith *et al.*, 2006). Ceci reflète l'intérêt de raisonner selon une méthode globale, et de « consommer local et de saison ».



Figure 2 :
Contribution des étapes du cycle de vie à un indicateur d'impact donné.
D'après le module éco-conception de l'ADEME développé par BIOIS.

2 CHOIX METHODOLOGIQUE ET RESULTATS DES ACV DES FILIERES AGRICOLES

Les filières agroalimentaires : des choix méthodologiques problématiques...

Du fait de la grande variabilité des pratiques culturelles et industrielles et des nombreux devenir des produits agricoles, de nombreux choix méthodologiques sont laissés à la discrétion des praticiens et font souvent débat. Par exemple :

- Comment répartir les impacts entre coproduits ? La production de son est conjointe à celle de farine de blé. Faut-il donc allouer l'impact de la meunerie entre ces deux produits au prorata de leur masse ? Faut-il considérer le son plutôt comme un résidu de production potentiellement valorisé, et auquel cas opter pour une autre règle, économique par exemple, attribuant davantage d'impact à la farine objet premier des procédés meuniers ? Comment tenir compte de l'impact évité, du fait de la non-production d'autres compléments alimentaires, grâce à la valorisation du son en alimentation animale ?
- Comment intégrer la rotation culturale ? Certaines cultures, telles les légumineuses, nécessitent moins d'engrais que les autres et sont même capables de fixer l'azote dans le sol, réduisant donc les amendements des cultures suivantes. Comment tenir compte de l'influence de la culture précédente dans le bilan environnemental d'une production donnée ?

...pour une grande variabilité de résultats

Du fait des nombreuses alternatives méthodologiques pour modéliser une production donnée, mais également de la grande variabilité des pratiques culturelles, souvent influencées par les conditions pédoclimatiques (besoin de plus ou moins d'engrais, de labour, etc.), une culture peut facilement voir son impact varier du simple au double.

Par exemple, une analyse de cycle de vie de la pomme issue de verger néo-zélandais (Milà i Canals *et al.*, 2006) montre que le potentiel d'acidification de l'atmosphère associé à cette production varie entre 0,3 et 0,8 kg éq. SO₂ / kg de pommes, selon la région et les pratiques culturelles associées (quantités d'engrais et de produits phytosanitaires, degré de mécanisation et consommation de carburant, etc.).

La Figure 3 ci-dessous illustre également la variabilité des émissions de gaz à effet de serre générées par des exploitations d'une même filière de production, que les différenciations géographiques ou techniques n'expliquent pas. Les conditions très locales et individuelles de l'exploitant jouent également un rôle fort.

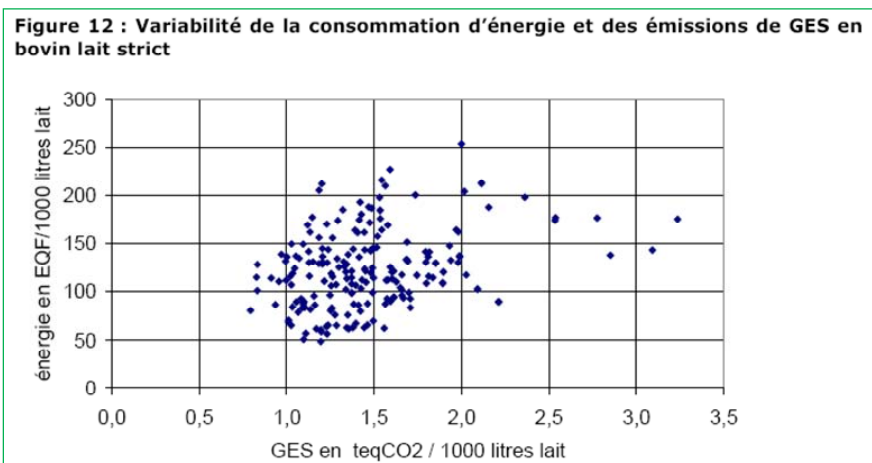


Figure 3 : Variabilité des émissions de GES générées par des exploitations bovins lait

Source : Bochu JL, 2007.

Il est donc aujourd'hui difficile de comparer deux modes de production sur la seule base de la littérature, et a fortiori deux filières agroalimentaires.

3 L'AFFICHAGE ENVIRONNEMENTAL DES PRODUITS DE GRANDE CONSOMMATION

Dans le but d'offrir au consommateur la possibilité d'intégrer la performance environnementale de ses biens de consommation dans son acte d'achat, différents projets d'affichage environnemental ont vu le jour au niveau international (Grande-Bretagne, Belgique, Corée, France, etc.).

En France, on peut distinguer différentes actions, parmi lesquelles :

- des initiatives privées : affichage environnemental des distributeurs Casino et Leclerc, démarches d'Orange ou de Descours&Cabaud), etc. ;
- des projets de définition de principes méthodologiques : plate-forme ADEME-AFNOR sur « l'affichage environnemental des produits de grande consommation », projet pilote de la FCD et l'ANIA de mesure des principaux impacts environnementaux d'un échantillon de produits représentatifs de la consommation des ménages français ;
- des projets de mise au point de bases de données d'indicateurs environnementaux support à l'affichage : développement d'une base publique de données d'ACV par l'ADEME.

Dans le cadre du Grenelle de l'environnement, l'Etat s'est engagé à permettre au consommateur de s'engager dans une consommation durable, et pour cela, de mettre à sa disposition l'information environnementale des produits et des services dès 2011. L'ensemble acteurs des filières de production seront donc amenés à s'engager dans ce projet, qui sera aussi l'occasion de s'orienter dans une démarche de progrès collective.

BIBLIOGRAPHIE

- > BOCHU JL, 2007 - Synthèse 2006 des bilans PLANETE, Consommation d'énergie et émissions de GES des exploitations agricoles ayant réalisé un bilan PLANETE. Etude réalisée pour le compte de l'ADEME par SOLAGRO, mars 2007.
- > MILÀ I CANALS L, BURNIP GM, COWELL SJ, 2006 – Evaluation of the environmental impacts of apple production using Life Cycle Assessment (LCA): case study in New Zealand. Agriculture, Ecosystems & Environment. 114 226-238. DOI:10.1016/j.agee.2005.10.023
- > SMITH A, WATKISS P, TWEDDLE G, MCKINNON A, BROWNE M, HUNT A, et al., 2005 – The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development. Report to DEFRA by AEA Technology. London: Department for the Environment, Food and Rural Affairs, 2005

L'INDUCTION DE RESISTANCES DE LA PLANTE A DES PHYTO-AGRESSEURS PAR DES INFRA-DOSES DE SUCRES : UNE NOUVELLE TECHNOLOGIE

Sylvie Derridj

INRA, UMR 1272 Physiologie de l'Insecte, F-78000 Versailles, France

RESUME

La pulvérisation foliaire de sucres en infra-doses (de l'ordre d'1 à 10g /100L) sur des plantes fruitières et légumières induit des résistances systémiques vis-à-vis de différents phyto-agresseurs. Ces résistances se manifestent à la surface et dans les feuilles ainsi que dans les racines, respectivement vis à vis d'insectes, d'un champignon pathogène et d'un nématode. Sur quatre ans et dans différentes situations géographiques, des études expérimentales sur pommiers en vergers installés et en jardins, ont confirmé l'intérêt des applications de sucres seuls ou en association avec divers insecticides (chimiques ou biologiques) contre le carpocapse. Le saccharose ou le fructose appliqué à des concentrations de 1 ou 10 g/100L réduisent significativement les dégâts d'environ 40%. Cela montre l'intérêt de l'utilisation des sucres pour réduire les intrants. Les voies de signalisation des sucres et en particulier celle du fructose, entreraient dans les systèmes de régulation utilisés par la plante dans sa protection contre des phyto-agresseurs.

INTRODUCTION

Les plantes sont recouvertes par une cuticule qui les protège des facteurs climatiques, limite la perte d'eau et constitue une barrière pour les phyto-agresseurs. La cuticule est très faiblement perméable aux composés solubles à l'eau qui la traversent de part et d'autre provenant de la plante ou de l'extérieur. La perméabilité cuticulaire est spécifique de la plante (espèce, genre, variété), elle est aussi liée à des propriétés physiques des molécules et à des facteurs climatiques. Certains groupes de molécules d'origine végétale constituent à la surface des plantes (ng par cm²) des signaux perçus par l'insecte qui influencent son comportement, ainsi la sélection de la plante hôte pour pondre. Réciproquement des composés solubles à l'eau déposés à la surface de la plante y pénètrent et peuvent constituer des signaux qui déclenchent à l'intérieur de la plante des réactions en cascade de défense et/ou intervenir dans les voies de régulation physiologiques des plantes.

Trois chercheurs INRA en France (Derridj et al 2008), SCRI en Ecosse (Birch et al 1993), centre de Volcani en Israël (Y. Elad), dans des objectifs différents, ont procédé à l'application foliaire d'infra-doses (10ppm=10 parties par million=1g pour 100L) de sucres solubles sur plantes cultivées en serre. Une influence négative de ces applications a été constatée sur trois agresseurs de fruits et légumes. Il s'agit de papillons dont les larves attaquent le maïs (la pyrale : *Ostrinia nubilalis*) ou le pommier (le carpocapse : *Cydia pomonella*), d'un nématode à galle (*Meloidogyne javanica*) qui attaque les racines de tomates, d'un champignon pathogène (*Botrytis cinerea*) qui provoque la pourriture grise de la tomate et du haricot. La technologie utilisant le principe a été testée en conditions agronomiques (vergers) sur le pommier contre le carpocapse et comparée à des systèmes de protection chimique et biologique dans plusieurs pays d'Europe et sur quatre années.

Sont résumés ici :

- les modes d'action de la pulvérisation de sucres solubles sur l'induction de résistances de légumes ou de fruit contre des phyto-agresseurs.
- l'efficacité de la technologie appliquée en verger de l'utilisation du saccharose seul, ou additionné à d'autres produits de protections phytosanitaires.
- les perspectives que cela peut présenter pour la culture biologique de fruits et légumes.

1 EFFET SYSTEMIQUE D'INDUCTION DE RESISTANCE DU MAÏS VIS-A-VIS DE LA PONTE DE PYRALE (*O. NUBILALIS*) :

La pulvérisation sur le maïs de chacun des sucres solubles fructose, saccharose et glucose L aux concentrations respectives de 0,1, 1 et 10 ppm (10ppm =1 g pour 100L), sur la 3^{ème} feuille ayant terminé sa croissance au stade végétatif 4-5 feuilles, induit après 20 jours une résistance au niveau de la ponte sur l'ensemble de la plante (tests sur 2 saisons, 3 variétés, en choix multiples ou binaires pour l'insecte). Le saccharose à 10 ppm et le fructose à 0,1 ppm réduisent la ponte de 22% à 30% respectivement et le glucose n'a pas d'effets ($P < 0.008$, test Friedman et Wilcoxon-Wilcox test, corrigé par Bonferonni). Une augmentation de 10% de la croissance en élévation des tiges au bout de 20 jours accompagne les observations et a été également constatée sur tomates.

L'activité de faibles doses, les effets enregistrés sur des feuilles non pulvérisées par le sucre et après un temps relativement long indiquent que les sucres ont agit en tant que signaux déclencheurs de réactions en cascade dans toute la plante (système). Ceci est confirmé par l'analyse de modifications quantitatives de métabolites dans les tissus de feuille non traitée (plateforme analyse biochimiques de l'Université d'Orsay, Paris XII).

La pulvérisation de la plante entière (maïs stade 4-5 feuilles) par le saccharose a les mêmes effets sur l'insecte que la pulvérisation d'une seule feuille. La pulvérisation du maïs à un très jeune stade (2 feuilles) réduit aussi la ponte, alors qu'à un stade reproducteur elle augmente la ponte mais la délocalise sur les faces supérieures des feuilles plus exposées à la dessiccation des œufs que les faces inférieures (Innophyt, 2007).

2 EFFET DE L'APPLICATION DU FRUCTOSE SUR DIFFERENTES PLANTES ET LEUR PHYTO-AGRESSEURS

Le sucre et la dose qui sont efficaces dans l'induction de la résistance en serre peut varier selon la plante et son phyto-agresseur. Le saccharose à 100ppm est très efficace sur la tomate contre *Botrytis* (100% de réduction des symptômes) et l'est beaucoup moins sur le haricot (23%).

Il apparaît toutefois que le fructose parmi les trois sucres testés à plusieurs doses (de 0.1 à 100 ppm), a un effet général et ceci à des doses très faibles. L'augmentation de la dose n'augmente pas les effets obtenus à la plus faible dose. Il a des effets sur les pontes et les dégâts des ravageurs et sur la sévérité des symptômes de la pourriture grise. En verger sur le pommier le fructose réduit également les dommages causés par le carpocapse (figure 1).

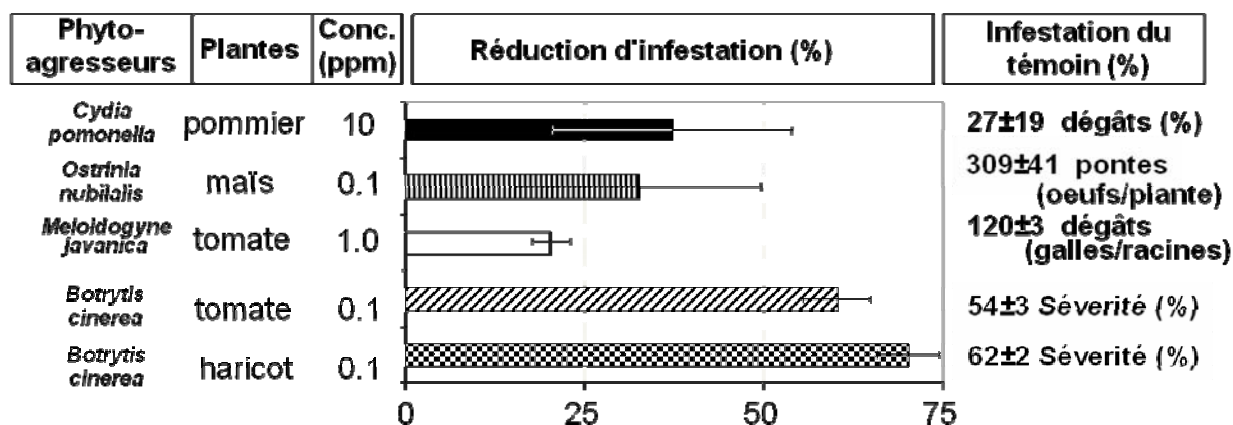


Figure 1 – Action réductrice d'infestation par les phyto-agresseurs due à l'application du fructose par rapport à l'infestation des témoins (exprimée en %). La dose de fructose la plus efficace est indiquée pour les dégâts ou pontes des insectes ravageurs *O. nubilalis* et *C. pomonella* (S. Derridj, INRA), du nématode *M. javanica* (N. Birch, SCRI) et des symptômes dus à *B. cinerea* (Y. Elad, centre de Volcani).

3 EFFICACITE DE L'APPLICATION DU SACCHAROSE ET DU FRUCTOSE SUR LA REDUCTION DES DOMMAGES DUS AU CARPOCAPSE SUR POMMIERS.

Expérimentations en vergers installés (Anadiag, Ferré et al 2008):

Les expérimentations ont été poursuivies dans treize vergers installés en Europe (France, Italie, Grèce) de 2006 à 2008. Les essais sont situés dans des zones à risque connues du carpocapse et conduits sur la 2ème génération selon les recommandations de la méthode CEB M018. Les vergers choisis ont un système de lutte conventionnelle et si possible sont éloignés des zones de lutte par confusion sexuelle. Sept essais permettent d'évaluer les effets du sucre utilisé seul sur les dégâts du carpocapse. Les variétés de pommier sont Golden et Mondial Gala.

Les applications ont été réalisées systématiquement le matin avec des appareils pneumatiques à dos (atomiseur); la pulvérisation visait l'ensemble des arbres et les deux faces des rangs. Les quantités appliquées variaient de 1000 à 1200 L/ha.

Les notations des dégâts ont été réalisées sur les fruits tombés à terre ainsi que sur la totalité des fruits des arbres centraux de chaque parcelle expérimentale (4 blocs Fisher de 3 arbres par essai). Les variables collectées sont le nombre de fruits attaqués par rapport au nombre de fruits sains ; le pourcentage d'efficacité est calculé selon la formule d'Abbott. Le premier traitement est fait 20 jours avant la période supposée de ponte de la deuxième génération de l'insecte déterminée par les premières captures de papillons de seconde génération. Le renouvellement des modalités sucres est effectué au moment du pic d'éclosion correspondant au positionnement des applications des insecticides (chimiques ou biologiques) utilisés pendant l'essai et aux cadences de 10, 14 ou 20 jours soit au total de 2 à 4 applications suivant la durée des vols et la cadence retenue.

L'essai est considéré exploitable si l'infestation des témoins présente un niveau de dégâts homogène et supérieur à 1% de fruits attaqués (seuil d'intervention maximal pour certains groupements de producteurs).

Efficacité de l'application des sucres seuls

Quels que soient les niveaux d'infestation du carpocapse, les applications de sucres seuls montrent un niveau important de réduction des dégâts de *C. pomonella* L par rapport aux témoins non traités au sucre, oscillant entre 19.52% et 63.33% (Tableau 1) avec des moyennes d'efficacité Abbott semblables pour le saccharose $40.6 \pm 16.0\%$ et le fructose $37.2\% \pm 16.8$ (Test de Student Newman Keuls $P < 0.05$).

Tableau 1 – Niveaux d'efficacité ABBOTT moyens (%) du saccharose et fructose à 10 ou 100 ppm sur l'ensemble des essais poursuivis par ANADIAG avec les valeurs minimale et maximales selon les essais. Efficacité ABBOTT= [(% de pommes attaquées sur le témoin - % pommes attaquées avec le traitement)/ % de pommes attaquées sur le témoin]*100.

Efficacité (%)	Maximale	Moyenne	Minimale
Saccharose 10 ppm	63.33	42.69	31.34
Saccharose 100 ppm	61.90	37.93	21.23
Fructose 10 ppm	60.94	37.21	19.52

La pulvérisation du sucre seul peut avoir une efficacité équivalente à certaines modalités de référence étudiées : imidan 50 WP à 100g pour 100L (organophosphoré) et le granulovirus contre les larves (CARPOVIRUSINE®). Une tendance à l'amélioration de l'efficacité des modalités de référence est observée par l'addition de sucres comme en jardins fruitiers (figure 2).

Les traitements biologiques avec le granulovirus sont variablement améliorés par le saccharose 10ppm, Melrose et Pinkgold montrent peu d'amélioration contrairement à Golden. L'étude des effets du granulovirus dans la formulation commerciale MADEx® sur deux variétés Golden delicious et Red Chief de sensibilités différentes à la ponte du carpocapse (Lombarkia et al 2007) montrent que ce produit réduit la ponte de 50% à 60% sur les deux variétés. Il induit une résistance à la ponte par des modifications des signaux connus pour l'influencer. Celles-ci sont différentes selon la variété et leur influence sur le comportement de l'insecte. Il est probable que le granulovirus et/ou la formulation induisent des effets comparables à ceux enregistrés par l'utilisation des sucres seuls. L'ajout du saccharose à ce genre de produit qui a des actions similaires aurait donc des conséquences plus faibles et peut varier avec la variété.

4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES POUR L'UTILISATION DES SUCRES EN CULTURE BIOLOGIQUE DES FRUITS ET LEGUMES

Conclusion

Ces premiers résultats démontrent un nouveau concept basé sur l'utilisation de la voie de signalisation des sucres pour induire la protection des cultures de fruits et légumes. L'application foliaire du saccharose, molécule qui associe fructose+glucose, et du fructose en infra-doses (0,1 à 10 ppm) induit des résistances de la plante vis à vis de phyto-agresseurs particulièrement difficiles à réguler. Le saccharose seul à 10 ou 100ppm peut réduire jusqu'à 63% les dégâts dus au carpocapse en verger.

Les mécanismes induits dans la plante ne sont pas élucidés et sont en cours d'étude (INRA/SCRI, proposition projet européen 7^{ème} plan). Le signal sucre induit des mécanismes qui protègent la plante avant d'être attaquée. En effet les changements biochimiques induits à la surface du pommier par le traitement saccharose réduisent la ponte du carpocapse (Derridj et al 2008) avant d'agir sur les attaques des chenilles. Dans les cas du champignon sur feuille et du nématode sur racines, les résistances induites agissent au moment ou après l'attaque par les phyto-agresseurs. Les analyses biochimiques des modifications induites des métabolites dans la plante ne montrent pas d'interférence avec la photosynthèse et ne semblent pas avoir d'incidence sur les teneurs en sucres des feuilles et des fruits.

L'originalité de cette technologie réside dans : i) l'induction de résistances systémiques de feuille à feuille et de feuille à racines par un signal « sucre » ii) l'efficacité de doses très faibles qui ne peuvent provoquer directement de proliférations de microorganismes iii) La souplesse d'utilisation due à la rapidité du signal donné après le dépôt du sucre (quelques minutes à quelques heures ?) iv) les effets à long terme qui facilitent le positionnement du traitement au cours de la culture ou d'autres traitements complémentaires v) l'implication de plusieurs facteurs de résistance qui s'expriment vis à vis de différents phyto-agresseurs vi) l'indépendance relative des effets induits vis-à-vis de l'environnement et du traitement phytosanitaire associé vii) la complexité des phénomènes et le nombre de métabolites modifiés qui permettent de penser que les effets de résistance seront plus durables que ceux qui sont dus à une seule toxine.

Perspectives

Le sucre seul a des effets intéressants et ajouté à des produits phytosanitaires chimiques il permet de réduire leurs doses tout en gardant une bonne efficacité. La production fruitière intégrée (PFI) et l'agriculture biologique sont des secteurs pour lesquels cette technologie devrait donner des résultats intéressants et permettre de réduire les doses de certains produits dont il faut aussi limiter l'utilisation.

Le fructose a montré les effets les plus généraux, il conviendrait toutefois d'analyser pour chaque culture et phyto-agresseur ciblé, le sucre et la dose les plus actives. Le saccharose restant le sucre le plus accessible il est à privilégier dans les études.

L'espèce, la variété et l'âge de la plante au moment des traitements, paraissent être des facteurs importants pour la réussite de l'induction de la résistance. Le choix judicieux des variétés et du sucre devrait limiter significativement les interventions phytosanitaires vis-à-vis d'un ou plusieurs ravageurs. Des variétés connues pour leur moindre sensibilité pourraient grâce aux sucres avoir leur résistance augmentée.

Le traitement est préventif et doit être fait avant l'arrivée du bio-agresseur, ce délai ainsi que les fréquences des traitements sont à ajuster à la culture et au phyto-agresseur dans un environnement.

L'influence possible sur plusieurs phyto-agresseurs dans une seule culture reste aussi à envisager et aussi à surveiller dans le cas où les influences du traitement seraient opposées selon le phyto-agresseurs.

L'action des changements induits de la plante pourrait aussi être examinée dans un cadre plus large d'action indirecte sur les auxiliaires et parasitoïdes des insectes ravageurs et sur les insectes pollinisateurs.

La forte recommandation de la consommation de fruits et légumes pour la prévention de maladies de l'homme, l'application de la réglementation de l'Union Européenne de réduction de produits pesticides et les encouragements pour l'agriculture biologique rendent à cette technologie un intérêt élevé et d'actualité. Elle est à développer et à intégrer dans les parcours culturels et en priorité dans les situations où il est urgent de trouver de nouvelles solutions. Parallèlement, les résultats de la recherche devraient ouvrir des voies pour une meilleure compréhension des mécanismes d'adaptation des plantes à leur environnement abiotique et biotique et plus précisément au rôle des voies de signalisation des sucres, en particulier du fructose. La connaissance des gènes régulés dans l'induction particulière des résistances par les sucres devrait permettre aussi une sélection de variétés plus résistantes et/ou plus inductibles.

BIBLIOGRAPHIE

- > BIRCH A.N.E., ROBERSON W.M., GEOGHEGAN I.E., MC GAVIN W.J., ALPHEY T.J.W., PORTER E.A. 1993- DMDP- A plant-derived sugar analogue with systemic activity against plant parasitic nematodes. *Nematologica* 39, 521-535.
- > DERRIDJ S., MOULIN F., FERRE E., GALY H., BERGOUIGNOUX A., ARNAUD I., AUGER J. 2008- Sucrose as an apple tree resistance inducer against *Cydia pomonella* L. 7th OILB, Workshop Integrated Fruit Production, IOBC/wprs Avignon 2008, Bull. (Sous-Presses).
- > FERRE E., GALY H., MOULIN F., CLEMENT G., DERRIDJ S., 2008- Le saccharose inducteur de résistance du pommier contre *Cydia pomonella* L. AFPP–8ème Conférence Internationale sur les ravageurs en agriculture. Octobre 2008 Montpellier (France). (8p)
- > INNOPHYT, Région Centre, 2007- Utilisation des sucres en protection des plantes. C.R. du programme de transfert de technologie financé par le Conseil régional du Centre (convention n°2006 0001 2641).
- > LOMBARKIA N., IORRIATTI C., BOURGUET E., DERRIDJ S., 2007- Effect of Madex (granulovirus) on *Cydia pomonella* L. egg laying on two apple varieties- Relationships with plant surface metabolites. OILB, Workshop group on integrated plant protection in orchards. IOBC/wprs Bull. 30 (4), 143-148

ACTUALITE REGLEMENTAIRE DES PRODUITS DE PROTECTION DES PLANTES EN AB

Monique JONIS

ITAB Montpellier – Maison des Agriculteurs B, Mas de Saporta - CS 50023 - 34875 LATTES
0467062393, monique.jonis@itab.asso.fr

INTRODUCTION

Beaucoup de nouveautés réglementaires en ce dernier trimestre 2009, du côté de l'utilisation des produits de protection des plantes en AB : projet de limitation des doses de cuivre, décret PNPP, poursuite des inscriptions à l'annexe 1 de la directive 91/414 CE... même si ces changements de devraient pas avoir d'effets immédiats sur la disponibilité des produits en AB. Afin de formaliser l'importance croissante de ces problématiques de santé des plantes en AB, une commission technique a été créée, à l'ITAB sur ce thème. En effet, pour que soient reconnues les spécificités des productions biologiques et la nécessité d'une cohérence entre, d'une part la volonté politique affichée de réduire l'usage des pesticides et de développer l'AB, et d'autre part l'insuffisance voir l'inexistence de solutions et de produits alternatifs légalement utilisables par les agriculteurs, il reste encore à l'ITAB et à ses partenaires beaucoup de travail.

1 UTILISATION DU CUIVRE EN AB

Les composés du cuivre ont été inscrits à l'annexe 1 de la directive 91/414/CEE le 23 avril 2009 (Directive 2009/37/CE).

Dans les dispositions spécifiques de cette directive il est indiqué que « *lors de l'évaluation des demandes d'autorisation [...] les états membres accordent une attention particulière: [...]*

- *à la protection des eaux et des organismes non ciblés. Des mesures d'atténuation des risques ainsi déterminés, telles que des zones tampons, seront appliquées s'il y a lieu,*
- *à la quantité de substance active appliquée; ils veilleront à ce que les quantités autorisées, du point de vue du dosage et du nombre d'applications, correspondent au minimum nécessaire pour obtenir les effets désirés. ».*

Avant l'inscription, et à l'issue des discussions menées au sein des PRAPeRs (groupes scientifiques européens chargés d'évaluer les risques associés aux pesticides), l'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) avait rendu un avis le 30 septembre 2008 mettant en évidence un risque pour les oiseaux, les mammifères, les organismes du sol et les organismes aquatiques. La DGAL a saisi l'AFSSA afin de préciser les conditions d'utilisation « *qui présenteraient un risque acceptable pour les organismes de l'environnement* ». Après avoir considéré que les risques pour les organismes aquatiques pouvaient être gérés par des mesures d'atténuation, les points majeurs identifiés par l'AFSSA étaient les risques aigus et à long terme pour les vertébrés terrestres (oiseaux et mammifères), et les risques à long terme pour les vers de terre. La conclusion de l'avis de l'AFSSA du 10 novembre 2008 est : « *... l'évaluation des risques pour les vertébrés terrestres et les vers de terre, sur la base des données disponibles, permet de conclure à des risques acceptables jusqu'à 8 applications par an maximum de la dose de 0,5 kg/ha, sauf pour les oiseaux vermivores en raison du risque d'empoisonnement secondaire. L'utilisation du cuivre en champ dans ces conditions et sur les usages considérés devrait donc être assortie de suivi des populations d'oiseaux.* »

L'AFSSA a demandé aux représentants européens de la « task force cuivre » une étude affinée sur les oiseaux afin de préciser la dose sans effet, ce qui devrait permettre d'accepter

une dose par application de 750 g/ha en maintenant le cumul annuel de 4 kg/ha. L'AFSSA pourrait prendre en compte ces nouvelles conditions d'applications (qui n'ont pas encore fait l'objet d'une communication) pour émettre des avis sur les dossiers en cours d'évaluation. Des préparations cupriques devraient prochainement obtenir une autorisation dans les conditions d'applications acceptées par l'AFSSA, mais uniquement dans le cas où les dossiers contiendraient des données permettant de justifier d'une efficacité aux doses retenues. Il s'agit pour l'AFSSA de rendre des avis conformes à sa propre évaluation des risques à la date d'entrée en vigueur de la directive, soit le 1^{er} décembre 2009.

En ce qui concerne les dossiers dont les conditions d'application ne satisfont pas à celles considérées comme acceptables, elles ne font pas l'objet (pour l'instant) d'un avis de l'AFSSA.

En ce qui concerne les dossiers des préparations cupriques actuelles qui rentreront dans le cadre de la révision des autorisations suite à la réinscription du cuivre: les dossiers biologiques seront déposés de telle sorte que le Ministère puisse donner une autorisation (ou ne pas la donner) avant le 31 mai 2014 (date butoir pour le retrait ou la modification des autorisations telle que mentionnée dans la directive), ce qui signifie un dépôt de dossiers auprès de l'AFSSA début 2013 au plus tard. Jusqu'à obtention de l'AMM, ces préparations conservent leurs conditions d'applications actuelles, notamment les doses, jusqu'au 31 mai 2014.

D'ici là, les conditions d'applications pourront être revues. Ce pourrait être le cas en fonction d'études de suivi de la fréquentation des cultures par les oiseaux (notamment vermivores).

Des rencontres et des discussions ont lieu entre les firmes commercialisant les produits cupriques, l'AFSSA et la DGAL pour :

- faire le point sur les usages soutenus et les essais qui seront à mettre en œuvre en tenant compte des extrapolations possibles entre usages ou entre préparations et des données déjà disponibles en France (ou dans d'autres pays).
- décider d'un niveau minimum d'efficacité (au moins pour éviter que des usages soient refusés).

Les structures bio (ITAB, AIVB LR) ont également des contacts avec les firmes pour leur faire savoir les besoins des filières biologiques et connaître leur stratégie par rapport à cette recommandation de l'AFSSA.

Dès l'officialisation de l'avis de l'AFSSA, l'ITAB a lancé (au début de l'été) une enquête auprès des viticulteurs, arboriculteurs et producteurs de légumes biologiques, afin de connaître les quantités de cuivre actuellement utilisées. Les résultats¹ montrent, sans surprise, que, les années de forte pression de maladie, la quantité annuelle maximale de 4kg/ha/an recommandée par l'AFSSA, ne permet pas, dans l'état actuel des connaissances, d'assurer une protection suffisante, des cultures biologiques, contre les champignons et bactéries pathogènes.

Un dossier rassemblant les résultats de cette étude, mais aussi ceux d'une étude de l'AIVB LR sur les besoins de renouvellement en fonction de la pluviométrie, une de l'IFV sur le lessivage, une du GRAB sur la recherche d'alternative au cuivre contre la cloque du pêcher, ainsi qu'une de l'INRA et du GOR sur la biodiversité dans les vergers et les vignobles biologiques¹. Ce dossier accompagné d'un courrier conjoint de l'ITAB et de la FNAB, a été envoyé au Ministre de l'Agriculture et de la Pêche, avec copie à la Direction Générale et à la Sous-direction de la Qualité et de la Santé des plantes de la DGAL, afin de faire valoir les besoins des productions biologiques et d'alerter sur les conséquences sur le développement de ces productions d'une telle limitation, tant que des solutions alternatives ne sont pas disponibles. Le dossier complet est en ligne et téléchargeable sur le site de l'ITAB.

¹ Les résultats de l'enquête et l'intégralité du dossier envoyé au Ministre, sont en ligne sur le site de l'ITAB: www.itab.asso.fr

2 DECRET PNPP

Afin d'encadrer la commercialisation des préparations naturelles utilisées pour la protection des plantes, le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche a fait paraître un décret (n° 2009_792 du 23 juin 2009) relatif à l'usage et à la mise sur le marché de préparations naturelles peu préoccupantes (PNPP). **Ce décret s'applique uniquement aux PNPP revendiquant des effets phytopharmaceutiques** (action directe ou action de stimulation des défenses naturelles des plantes).

Ce décret ne concerne pas les préparations ayant des actions de « stimulation de la vitalité » (augmentation de l'activité photosynthétique, augmentation des rendements, des calibres, de la résistance aux stress abiotiques ...), qui relèvent des matières fertilisantes et supports de cultures (articles L. 255-1 et suivants du Code Rural).

D'après les termes du décret : « on entend par préparation naturelle peu préoccupante toute préparation à vocation phytopharmaceutique, élaborée à partir d'un ou plusieurs éléments naturels (végétal, minéral) et obtenue par un procédé accessible à tout utilisateur final. Le ou les éléments naturels à partir desquels sont élaborées les PNPP doivent répondre aux conditions suivantes :

1. être non transformés ou uniquement transformés par des moyens manuels, mécaniques ou gravitationnels, par dissolution dans l'eau, par flottation, par extraction à l'eau, par distillation à la vapeur ou par chauffage (uniquement pour éliminer l'eau);
2. ne pas être identifiés comme toxiques, très toxiques, cancérigènes, mutagènes, tératogènes.... ;
3. ne pas faire l'objet de restriction pour leur vente directe au public ;
4. avoir fait l'objet d'une procédure à l'annexe 1 de la directive 91/414/CE en application des articles R. 253-5 et suivants du code rural, à compter du 31 décembre 2008 et n'avoir fait l'objet d'aucune décision défavorable relative à leur inscription. »

La mise en marché des PNPP fait l'objet d'une autorisation délivrée par le ministre chargé de l'agriculture. Ils devront être employés pour les usages et selon les conditions mentionnées dans cette autorisation.

Actuellement, aucun produit naturel susceptible d'être utilisé comme PNPP ne répond aux exigences du point 4.

3 ACTUALITE DE QUELQUES PRODUITS UTILISES EN AB²

Bouillie Sulfo-calcique Italienne. Des compléments ont été apportés au dossier de demande d'inscription de la BSCI à l'annexe 1 de la directive 91/414/CEE, ils sont actuellement en cours d'examen. Lors de récentes réunions nationales, les expérimentateurs et les professionnels ont insisté auprès des pouvoirs publics sur l'intérêt et l'importance de ce produit pour la protection contre les champignons pathogènes, et sur l'urgence de disposer d'une AMM en France pour ce produit, d'autant que les producteurs de pays voisins l'ont à disposition.

Neem. Un dossier d'inscription à l'annexe I de la directive 91/414/CEE a été redéposé par la société Certis Europe, le dossier est en cours d'examen. En cas d'inscription à l'annexe I de la substance active azadirachtine, des demandes d'AMM pourront être faites au niveau français.

Argiles. Les argiles (à l'exclusion de la kaolinite) peuvent être utilisées sans AMM, en tant que barrière physique et/ou mécanique entre les ravageurs et les plantes.

Bicarbonate de potassium. La substance active hydrogénocarbonate de potassium (ou bicarbonate de potassium) est inscrite depuis 2008 à l'annexe I de la directive 91/414/CE. Aucune spécialité commerciale ne dispose actuellement d'AMM sur le territoire

² La liste complètes des matières actives potentiellement intéressantes pour la protection des plantes en AB et leurs statuts vis-à-vis des réglementations européennes et françaises est disponible sur le site de l'ITAB

national. Cependant, des dossiers de demande d'AMM de l'Armicarb ont été déposés pour les usages oïdium de la vigne, oïdium petits fruits (cassis, groseille), oïdium légumes (courgette, concombre, cornichon) par la société DeSangosse. Des ADE (Autorisation d'Expérimentation) ont été demandées pour la tavelure du pommier et poirier.

Quassia. Le dossier de demande d'inscription de cette substance à l'annexe I de la directive 91/414/CEE, a été rejeté. Les produits à base de Quassia ne peuvent donc plus être commercialisés sur le territoire de l'UE.

Dernière minute : le nouveau règlement européen concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques sur le territoire de l'Union Européenne est paru au journal officiel de l'UE du 21 octobre 2009. Ce Règlement (CE) N° 1107/2009 remplace les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil. Il entrera en vigueur au 14 juin 2011. Il peut être consulté sur le lien suivant :

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:309:0001:0050:FR:PDF>

4 ACTUALITE DE L'EXPERIMENTATION SUR LES PRODUITS ALTERNATIFS

Le **programme CASDAR** proposé par l'ITAB et ses partenaires, intitulé : « Evaluation des caractéristiques et de l'intérêt agronomique de préparations simples de plantes, pour des productions fruitières, légumières et viticoles économes en intrants » (Acronyme : 4P Protéger les Plantes Par les Plantes), a été accepté.

Ce projet s'inscrit dans le contexte actuel de recherches de moyens de protection des plantes plus en adéquation avec la demande sociétale de productions agricoles durables. Il vise à initier des recherches scientifiques sur l'intérêt de préparations simples (infusions) à base de plantes, pour la maîtrise de certains ravageurs et pathogènes de la vigne (mildiou et oïdium), des cultures fruitières (pucerons et tavelure sur pommiers, pucerons et moniliose sur abricotiers) et maraîchère (pucerons et mildiou sur salades) et à élaborer une méthodologie globale d'étude de ces produits. Ces préparations seront testées seules ou en association avec « des produits phytopharmaceutiques traditionnels », dans l'objectif de réduire les doses de ces derniers. Ce projet s'organise autour d'études en laboratoire sur les aspects écotoxicologique et la connaissance des modes d'action de ces substances, et d'expérimentation au champ pour les aspects efficacité, modalités d'utilisation et reproductibilité des résultats.

Les aspects concernant la recherche fondamentale : connaissances des propriétés intrinsèques des préparations, écotoxicologie sur abeilles et typhlodromes, seront travaillés par LCBE-Université de Perpignan, Montpellier SupAgro et l'INRA d'Avignon. Les expérimentations au champ, en station ou sur des parcelles d'agriculteurs biologiques, seront assurées par les organismes de développement agricole : la FREDON Nord Pas de Calais, Inter-Bio-Bretagne, la Chambre Interdépartementale d'Ile de France, la Chambre d'Agriculture de Saône et Loire, la SERAIL, l'ADABIO, le GRAB, le CivamBio66, la chambre d'agriculture du Tarn et Garonne et l'IFV. Une large gamme de conditions pédoclimatiques sera prise en compte lors de ces essais. L'ITAB est responsable de la coordination scientifique et administrative de ce projet.

Des **groupes de travail nationaux** visant à coordonner les travaux d'expérimentations sur les produits alternatifs ont été mis en place. Ils visent à identifier les produits intéressants et les essais mis en place, à mutualiser les protocoles, les expériences et les résultats. Ces groupes permettent également d'identifier les usages non couverts et/ou les besoins de recherche, et à les porter à la connaissance des pouvoirs publics et des firmes afin que la situation puisse s'améliorer. Le groupe national sur la protection de la vigne en AB est piloté par l'ITAB, ceux sur les fruits et légumes ne concernent pas exclusivement l'AB et sont coordonnés par le Ctifl, mais l'ITAB y est présent et y participe activement.

Les 10 et 11 mars 2011 ; à Lille, l'ITAB s'associe aux programmes Interreg franco-belges VETABIO et TransBioFruit pour vous inviter à participer à **une journée technique suivie d'une journée de colloque européen sur « Produits de protection des plantes en AB : usages, réglementations et perspectives européennes »**. Le programme de ces journées vous sera très prochainement communiqué.

CARACTERISTIQUES DES EXTRAITS VEGETAUX SIMPLES ET INTERETS AGRO-ENVIRONNEMENTAL

Dr. Cédric BERTRAND

Laboratoire de Chimie des Biomolécules et de l'Environnement EA-4215
Centre de Phytopharmacie - Université de Perpignan Via Domitia
58, Av Paul Alduy - 66860 Perpignan Cedex

RESUME

Les extraits végétaux simples peuvent être obtenus par macération, décoction, ou encore infusion dans l'eau ou dans une solution hydroalcoolique. Ces préparations, constituées de composés de structures chimiques différentes ont des activités biologiques très diverses. De plus, les molécules actives extraites (antioxydantes, antifongiques, photoprotectrice,...) participent à la stabilité de l'extrait. Par ailleurs, l'utilisation de mélanges complexes diminue le risque d'apparition de résistance. Enfin, les composés naturels présentent de forts taux de biodégradation ce qui diminuerait l'impact environnemental de ces préparations.

INTRODUCTION

1 CARATERISTIQUES DES EXTRAITS SIMPLES

Les composés reconnus comme bioactifs dans les extraits de plantes appartiennent généralement aux métabolites secondaires, impliqués dans des processus écologiques complexes. Ils représentent parfois moins de 1% du poids sec de la plante.

Ces composés possèdent des structures chimiques (alcaloïdes, polyphénols, terpénoides...) et des activités (herbicides, antifongiques, insecticides, antioxydants, photoprotecteurs...) très diverses.

Les extraits simples sont issus de macération, décoction, ou encore infusion d'une partie de la plante dans de l'eau ou dans un solvant hydroalcoolique.

Complexité de la composition

Ces extraits simples sont composés de nombreuses molécules de structures chimiques différentes (exemple d'extrait hydroalcoolique de rameaux d'*Ilex aquifolium*, Figure 1), conférant à la préparation différentes propriétés.

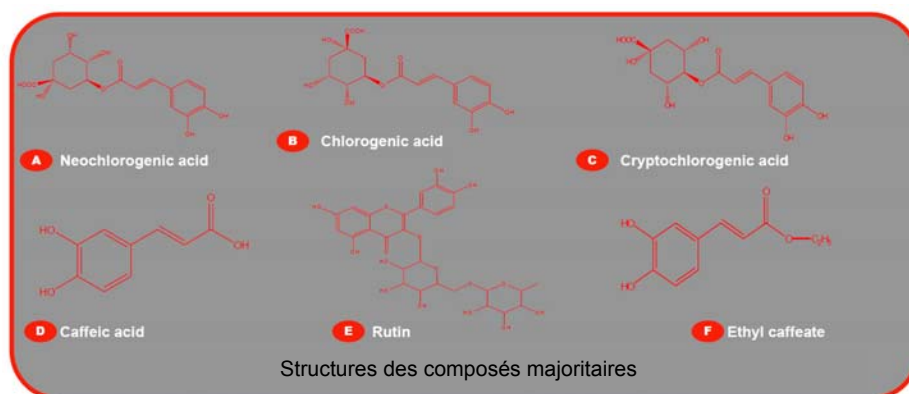


Figure 1 – Composés majoritaires d'extraits hydroalcooliques de jeunes rameaux *Ilex aquifolium*

Variabilité de la composition:

En fonction des individus, des lots et des années, la composition des extraits est variable (Figure 2). De plus la variabilité chimique dépend aussi de l'organe de la plante qui est extrait, induisant une variation de l'activité biologique (Figure 3). Il est également important de souligner que l'activité varie aussi en fonction des espèces cibles testées.

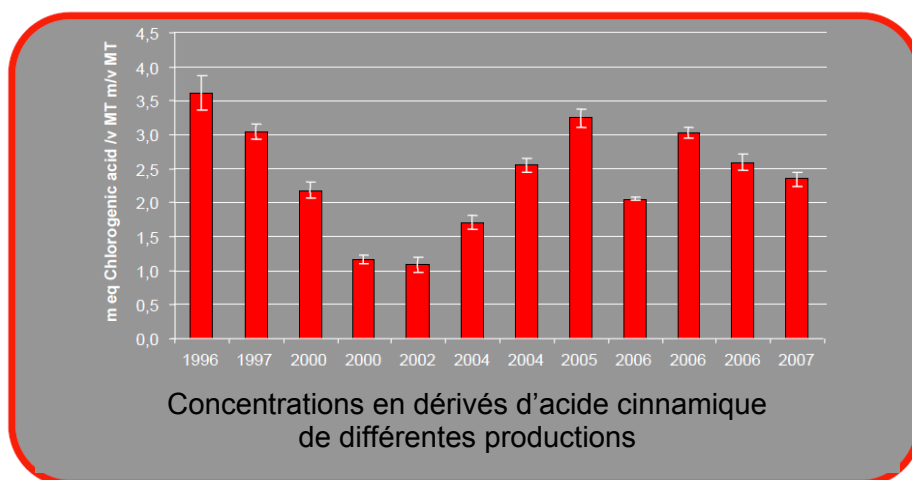


Figure 2 - Variabilité de la concentration totale en dérivés d'acide cinnamique d'extraits hydroalcoolique d'Ilex aquifolium en fonction de la production (macération différentes)

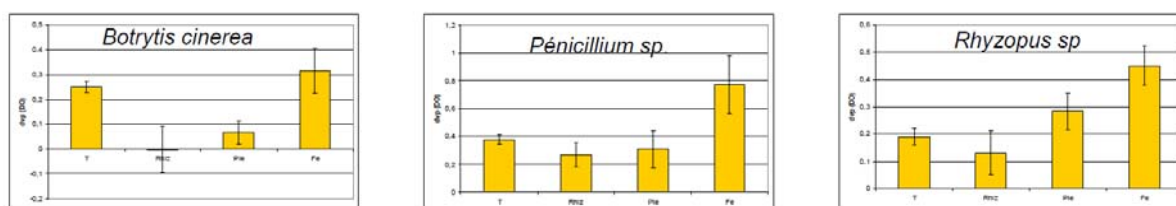


Figure 3 – Croissance fongique exprimée en DO en fonction des extraits de Renouée asiatique testé, Rhiz = rhizome, Ple = Plante entière, Fe = Feuille (0.5g/l)

La conservation des préparations

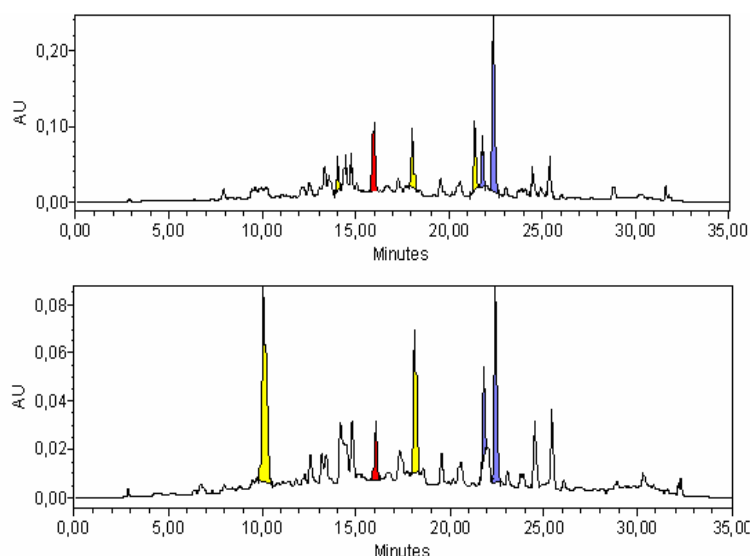


Figure 4 –Profils chromatographiques d'extraits aqueux d'Equisetum arvense après 1jour (chromatogramme du haut) après 3 jours (chromatogrammes du bas).

Après trois jours de conservation à température ambiante, la composition de l'extrait aqueux de prêle évolue (Figure 4), alors que l'extrait hydroalcoolique de grand houx paraît stable sur une année (Figure 5). L'évolution dans le temps des préparations va dépendre du solvant et de la plante à extraire ; les solutions hydroalcooliques restant moins sensibles aux contaminations microbiennes.

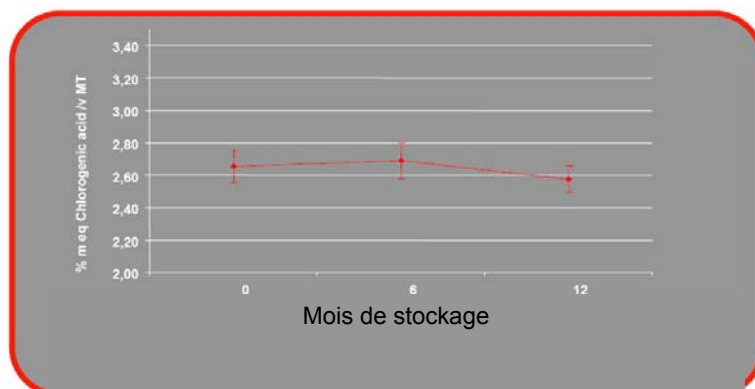


Figure 5 – Stabilité de la concentration totale en dérivés d'acide cinnamique d'extraits hydroalcooliques d'*Ilex aquifolium*

La photodégradation:

Certaines études de photodégradation sont réalisées en mode forcé (c'est à dire que les composés sont soumis à des intensités lumineuses pouvant être 500 fois supérieures à celle d'un midi solaire dans le sud de la France). Dans ces conditions, la 3-OHflavone (Figure 6) affiche une demi-vie d'environ 13 min (Figures 6 et 7). Un autre flavonol, la quercétine (de structure très proche (Figure 6), testé en laboratoire dans des conditions proches du milieu naturel (intensité équivalent à un midi solaire pendant 7 jours) révèle une quasi-absence de photodégradation.

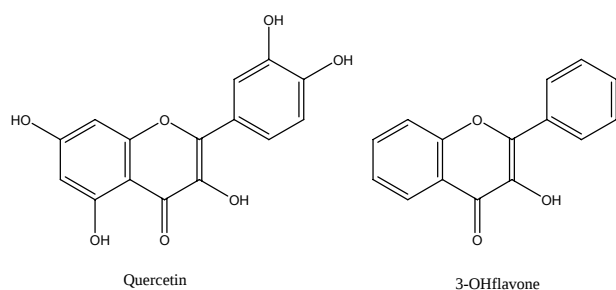


Figure 6 – formule de 2 flavonols

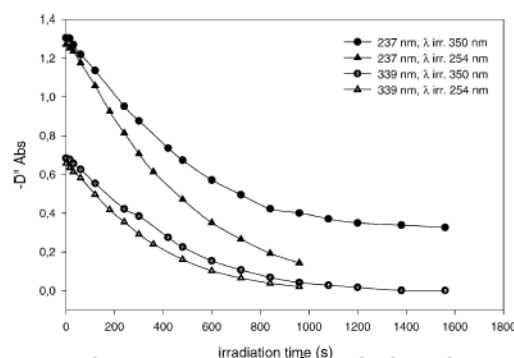


Figure 7 –Photodégradation de la 3-OHflavone en fonction des longueurs d'ondes testées

Par ailleurs, des études réalisées sur des composés naturels montrent l'importance de la présence de catalyseurs au sein de la préparation dans les phénomènes de photodégradation. Il est donc difficile de présumer de la photostabilité d'une préparation complexe dans les conditions d'utilisation.

La biodégradation

La comparaison des cinétiques de dégradation de la naringénine et de l'isovitexine-glucoside sur sol stérile et non stérile met en évidence l'importance de la composante biologique dans ce processus de dégradation. En effet, les sols non stériles sont capables de dégrader très rapidement ces composés. Il est à souligner que ces composés naturels sont produits par

des plantes locales, un phénomène de co-évolution peut donc expliquer la capacité de la microflore tellurique à dégrader ces métabolites. Cependant la question reste ouverte pour des composés naturels issus de plantes exotiques.

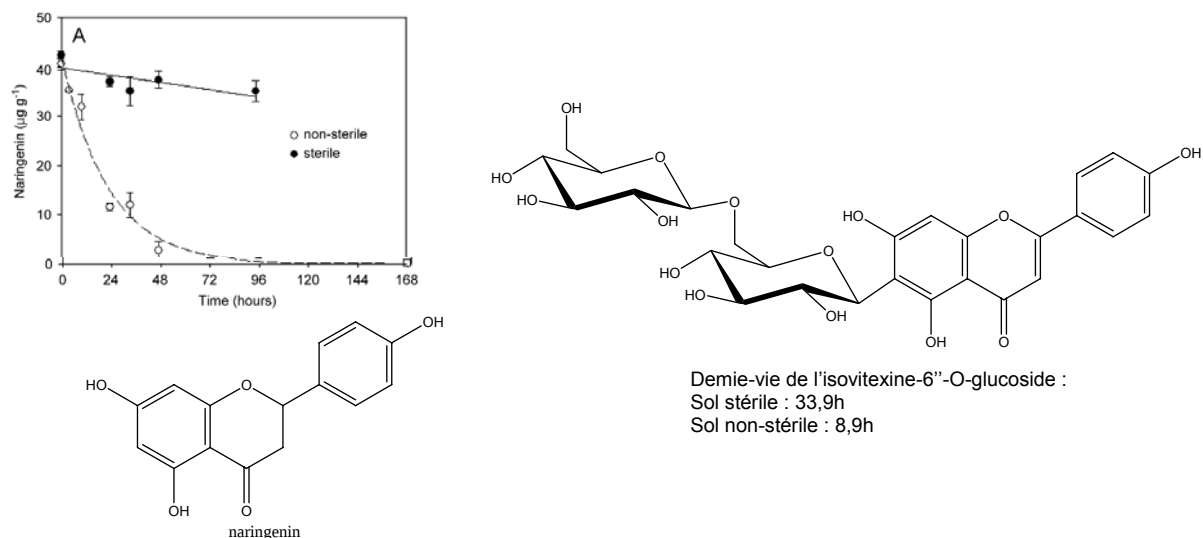


Figure 8 –Dégradation de flavonoïdes sur sol stérile et non stérile

2 L'INTERET AGRO-ENVIRONNEMENTAL DES PREPARATIONS VEGETALES SIMPLES

- Ces extraits sont constitués d'un mélange de composés et leurs activités peuvent résider dans l'action de plusieurs de ces composés ce qui réduit les probabilités d'apparition des résistances.
- Un extrait de plante peut potentiellement contenir des composés antioxydants, photoprotectants, antifongiques... en plus des composés responsables de la revendication.
- Par ailleurs, les composés naturels affichent une biodégradation importante, diminuant le risque de rémanence et donc l'impact environnemental.

CONCLUSION

Les préparations simples de plantes sont chimiquement complexes, il est nécessaire de développer des études afin de maîtriser la composition, la conservation et d'optimiser leur utilisation. Les principaux atouts de ces préparations résident dans i) la complexité de leur formulation, réduisant le risque d'apparition de résistante et ii) leur faible rémanence.

BIBLIOGRAPHIE

- AMAT A.M., ARQUES A., MIRANDA M.A. 1999 - p-coumaric acid photodegradation with solar light. *Applied Catalysis B: Environmental*; 23, 205-214.
- AMIOT A., COUSIN A., SIMON-LEVERT A., BERTRAND C. 2009 - Utilisation d'*Equisetum arvense* en agriculture biologique. 2^{ème} Journée du Groupe PO²N, Perpignan.
- BARTO E.K., CIPOLLINI. 2009 - Half-live and field soil conen trattions of Alliria peytiola secondary metabolites. *Chemosphere*, 76: 71-75.
- BELLVERT F., COULERIE P., GONCALVES F., TAOUBI K., BERTRAND C. 2008 - Hydroxycinnaic derivatives in Ilex aquifolium mother tincture. *Planta Medica*, 74, 1103-1104.
- CHANUT A., SOULIER G. ICARD C., BELLVERT F. PIOLA F., BERTRAND C. 2009 - Évaluation de l'activité antifongique d'extraits de plante invasive la Renouée asiatique. 2^{ème} Journée du Groupe PO²N, Perpignan.
- SHAW L.J., HOOKER J.E. 2008 - The fate and toxicity of the flavonoids naringenin and formononetin in soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 528-536.
- TOMMASINI A., CALABRO M.L., DONATO P., RANERI., GUGLIELMO G., FICARRA P., FICARRA R. 2004 - Comparative photodegradation studies on 3-hydroxyflavone. *Journal of pharmaceutical and Biochemical Analysis*. 35, 389-397
- VINCENTINI F.T.M.C., GEORGETTI S.R., JABOR J.R., CARIS J.A., BENTLEY V.L.B., FONSECA M.J.V. 2007 - Photosensibility of quercetin under exposure to UV irradiation. *Latin American Journal of Pharmacy*. 26, 119-124.
- WEIDENHAMER J.D., ROMEO J.T. 2004 - Allelochemicals of *Polygonella myriopphylla*. *Chemistry and soil degradation*. 30 (5), 1067-1082.

DECOCTION DE *QUASSIA AMARA* ET LUTTE CONTRE L' HOPLOCAMPE DU POMMIER (*HOPLOCAMPA TESTUDINEA* KLUG)

Karine WATEAU¹, Ludovic TOURNANT¹, Laurent JAMAR²

¹Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles (FREDON) Nord Pas-de-Calais – 265, rue Becquerel – BP 74 – 62750 Loos-en-Gohelle – France,
karine.wateau@fredon-npdc.com

²Centre wallon de Recherches Agronomiques, Dépt. Lutte biologique et Ressources phytogénétiques, B-5030 Gembloux, Belgium, Jamar@cra.wallonie.be

RESUME

Si le pouvoir insecticide d'une décoction de *Quassia amara* L. sur les insectes suceurs (pucerons) est connu depuis longtemps, il n'a été évoqué sur l'hoplocampe du pommier qu'en 1986. Depuis, divers travaux de recherche ont permis de préciser son utilisation en conditions de production. C'est le cas de la présente étude, dont les résultats ont permis de donner des éléments de réponse aux producteurs concernant l'efficacité et les modalités de mise en œuvre de la technique. Ainsi, au terme de six années d'étude en région Nord Pas-de-Calais, différents critères d'efficacité sont apparus, à savoir : l'application d'une décoction à raison de 20 kg (minimum)/ha, en début et en fin de défloraison, si le seuil de 20 hoplocampes capturés par piège durant toute la durée de floraison est atteint.

Toutefois, même si l'efficacité de l'application d'une décoction de *Quassia amara* préparée à la ferme a été confirmée, la difficulté de mise en œuvre de la technique l'a également été. Une recherche de nouvelles techniques de lutte contre l'hoplocampe du pommier a donc débuté en 2009 à travers une première évaluation de l'efficacité, en conditions contrôlées, de neuf matières actives. Des résultats prometteurs à l'égard du spinosad demanderont à être confirmés en verger et comparés à de nouveaux moyens de lutte.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la production biologique, la recrudescence de ravageurs dits secondaires est une préoccupation de premier ordre. C'est notamment le cas de l'hoplocampe du pommier, petit hyménoptère insérant ses œufs dans le calice des fleurs (Alford, 1984) et provoquant des dégâts sur (cicatrices) et/ou dans (galeries) les fruits, dont la présence grandissante dans la région Nord Pas-de-Calais au début des années 2000, a alerté les arboriculteurs. A cette période, certaines parcelles présentaient jusqu'à 98% d'arbres infestés et 40% de dégâts sur fruits. Pour répondre aux préoccupations de la profession dans ce domaine, un programme d'études sur le ravageur a donc été mis en place par la FREDON Nord Pas-de-Calais, à partir de 2004. Réalisés, jusqu'en 2007, dans le cadre du projet Transorganic II³ et, depuis 2008, dans le cadre du projet TransBioFruit⁴, ces travaux ont pour objectifs d'acquérir de solides références sur l'hoplocampe quant à son cycle de développement en zone septentrionale et les moyens de lutte envisageables. Parmi ces derniers, la possibilité d'utilisation d'une décoction de *Quassia amara* L. a été évaluée. Communément appelé « quassia », l'extrait de copeaux de *Quassia* du Surinam est inscrit au cahier des charges européen de l'agriculture biologique (règlement CEE N° 2092/91), mais aucune spécialité commerciale n'est homologuée en France. Des travaux menés par le GRAB, à partir de 2001 (Fauriel, 2001), ayant démontré l'efficacité insecticide de cette préparation (pouvoir neurotoxique par contact ou ingestion lié aux quassinoides), des recherches étaient nécessaires pour préciser les modalités d'utilisation de la technique (positionnement de l'intervention, seuil de déclenchement, dose) et ses éventuelles limites.

³ : projet réalisé dans le cadre du programme interregional III Nord Pas-de-Calais/Kent, financé par l'Europe et la Région Nord Pas-de-Calais.

⁴ : projet réalisé dans le cadre du programme Interreg IV France-Wallonie-Vlaanderen, avec le soutien du FEDER, du Conseil Régional Nord Pas-de-Calais, de la Région Wallonne et des Conseils Généraux du Pas-de-Calais et du Nord.

MATERIEL ET METHODES

L'étude a été menée selon plusieurs volets : l'évaluation de l'efficacité de la décoction, la validation du positionnement de l'application sur la base du suivi de la phénologie et la recherche d'un seuil d'intervention à partir de la dynamique de population du ravageur.

Le premier volet a été étudié de 2004 à 2009 au travers de notations effectuées sur 3 variétés au sein de 3 parcelles (A, B, C) protégées ou non avec une préparation à base de *Quassia amara*. Cette dernière a été réalisée sur l'exploitation, à raison d'une quantité équivalente à 30 kg d'écorces/ha (Fauriel, 2001). Ces notations, réalisées début juin sur 1000 fruits par variété, ont été confrontées aux niveaux de populations évalués grâce au piégeage effectué durant la floraison, à l'aide de pièges de type plaques entrecroisées (pièges Rebell®), à raison de 3 pièges pour chacune des variétés suivies.

La validation du positionnement de la protection s'est effectuée entre 2006 et 2007, selon plusieurs étapes expérimentales :

- 2006 : Sur une microparcelle, implantée d'une variété (Melrose), 50 bouquets floraux ont été prélevés chaque semaine, dès le début du vol du ravageur, afin de suivre l'avancée du développement des œufs par observation sous loupe binoculaire (l'évolution embryonnaire comprend 6 stades avant l'éclosion – Trapman, 2006) et de corrélérer cette évolution à celle des stades phénologiques du pommier. L'objectif était de mettre en évidence la période la plus propice à une intervention, à savoir celle permettant de cibler efficacement un maximum de ravageurs, en se basant, le cas échéant, sur la phénologie des arbres.
- 2007 : Mise en œuvre d'un essai sur une microparcelle de variété Cox's orange. Le dispositif comprenait deux stratégies comparées entre elles et avec un témoin non traité. Chacune de ces modalités était répétée 4 fois :
 - o m1 : témoin
 - o m2 : Deux applications de *Quassia amara*, l'une au stade phénologique G et l'autre au stade H.
 - o m3 : Une application de *Quassia amara* au stade G-H

L'évaluation des résultats s'est faite, début juin, au travers de la notation des dégâts visibles sur tous les fruits de l'essai.

Le seuil d'intervention communément utilisé par les producteurs (30 hoplocampes en moyenne capturés par piège Rebell® sur toute la durée de floraison – Wildbolz et Staub, 1984) étant remis en cause par ces derniers, une évaluation expérimentale de celui-ci a été effectuée de 2006 à 2009 au sein de deux microparcelles (l'une de jonagold dans le verger A et l'autre de Boskoop dans le verger C). En 2006 et 2007, le seuil d'intervention a été maintenu sur l'ensemble de ces deux sites à 30 hoplocampes/piège. En 2008, dans chacune des deux microparcelles des seuils différents ont été appliqués afin de comparer :

- Microparcelle A : une modalité traitée au seuil d'intervention de 20 hoplocampes/piège et une modalité témoin non traitée
- Microparcelle C : une modalité traitée au seuil d'intervention de 30 hoplocampes/piège et une modalité témoin non traitée.

En 2009, le seuil de 20 hoplocampes capturés par piège a été étendu aux deux parcelles.

L'efficacité de ces différentes stratégies a été évaluée via l'observation des taux de dégâts sur fruits.

RESULTATS ET DISCUSSION

Evaluation de l'efficacité du *Quassia amara* et notion de dose

Selon les parcelles et la pression du ravageur, les pratiques des producteurs ont été très variables. Toutefois, des résultats intéressants ont pu être tirés de ces six années de suivi (figure 1). Ainsi, si l'on considère la période 2004-2006, il apparaît nettement **un lien entre l'application de la décoction et la diminution des taux de dégâts sur fruits** : malgré des populations d'hoplocampes en augmentation dans toute la région jusqu'en 2006 (multiplication des niveaux de captures/ha variant de 1,5 à 5,5 chaque année dans la plupart des cas, à l'exception du verger B entre 2004 et 2005, pour lequel le facteur de multiplication était de 246), les proportions de fruits endommagés ont pu être fortement diminuées en 2005 dans les vergers B et C soumis à une intervention (respectivement 4% et 0,6% de fruits endommagés contre 5% et 38% en 2004) et contenues en 2006 (3% et 10%). A l'inverse, le verger A, sans aucune protection contre l'hoplocampe sur cette même période, a présenté des niveaux d'attaques sur fruits en constante augmentation (0,7% en 2005, 3,6% en 2006, 11,40% en 2007).

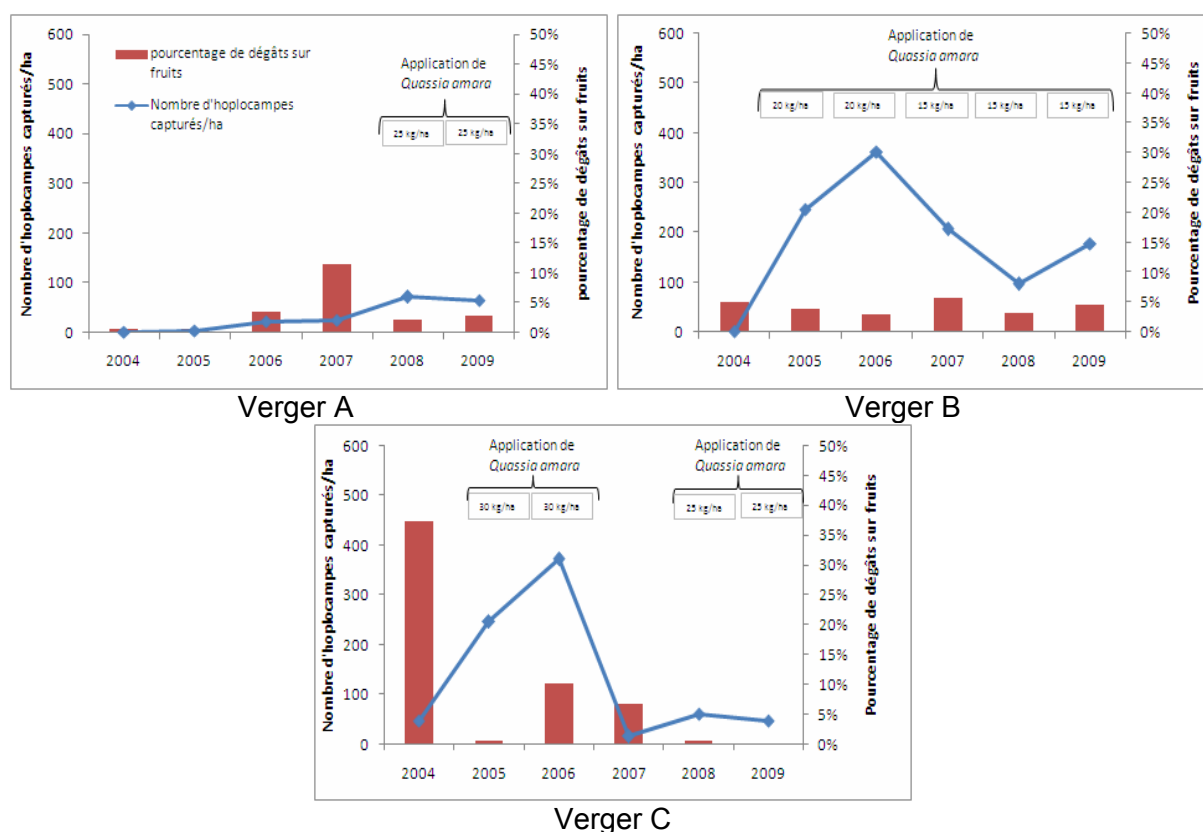


Figure 1 – Evolution des populations d'adultes d'hoplocampe du pommier capturés et des proportions de dégâts sur fruits observés entre 2004 et 2009 au sein de 3 vergers de la région Nord pas-de-Calais.

De surcroît, les notations réalisées en 2007 ont laissé entrevoir une diminution des populations de ravageurs sur **les parcelles ayant été protégées consécutivement les 2 années** précédentes (taux de captures diminuant d'un facteur allant de 1,75 à 23 entre 2006 et 2007). Cette réitération successive permettrait de cibler un maximum d'hyménoptères, dont le cycle de développement peut durer deux ans. Devant cette efficacité et la diminution des populations de ravageurs, à partir de 2007 furent testées des réductions de dose de produit (passage de 20kg/ha à 15 kg/ha au sein du verger B ; passage de 30kg/ha à 25 kg/ha au sein du verger C en 2008). Au sein du verger C les applications effectuées à partir de 2008 à raison de 25 kg de quassia/ha ont permis de maintenir les proportions de dégâts sur fruits à des niveaux très bas (0,7% en 2008 et 0,2% en 2009). Ce même dosage a

également été efficace sur la parcelle A, où les taux de fruits endommagés sont restés inférieurs à 3% en 2008 et 2009. L'utilisation d'une concentration sensiblement plus faible (15kg/ha) a donné des résultats plus discutables (verger B de 2007 à 2009 : proportions de dégâts équivalentes voire supérieures à celles de 2005 et 2006, années durant lesquelles la pression du ravageur était bien plus forte).

Il semble ainsi **possible de réduire à 25 ou 20 kg/ha la quantité de *Quassia amara* utilisée**, sans baisse significative d'efficacité. Pour cela, les conditions de préparation seront le facteur primordial pour obtenir une décoction d'efficacité optimale : bois macéré dans l'eau durant 24 h (1 kg/10 l) - eau portée à ébullition pendant 1 heure - renouvellement de l'infusion 2 ou 3 fois pour bien extraire la « quassine ». Le volume de dilution final doit également être important (800 à 1000 L) car la solution doit pouvoir descendre dans les fleurs. Il est conseillé d'intervenir le matin (présence de rosée) ou lorsque l'humidité atmosphérique est élevée (Kienzie *et al.*, 2006).

Positionnement du traitement

Effectuée sous loupe binoculaire, l'observation des bouquets floraux, tout au long de la période de vol des adultes, a permis de constater la présence des premiers œufs, environ 14 jours (10 mai) après le début du vol du ravageur (tableau 1). Tous les stades embryonnaires étant représentés et aucune larve n'étant encore visible, intervenir à cette date n'aurait pas permis de cibler un maximum de ravageurs. Le 17 mai, la quasi totalité des individus observés était soit au dernier stade embryonnaire (36%) soit déjà au stade larvaire (63%). Par conséquent, il ne peut être exclu qu'à cette date une partie des larves soit déjà sortie des fleurs. Une application de la décoction aurait là aussi été inappropriée car, cette fois, un peu tardive.

Tableau 1 – Evolution du développement embryonnaire des hoplocampes observés de manière hebdomadaire au sein de 50 bouquets floraux de variété Melrose, en 2006.

	19-avr	26-avr	03-mai	10-mai	17-mai	26-mai
Pourcentage d'œufs au 1 ^{er} stade embryonnaire	0%	0%	0%	3%	0%	0%
Pourcentage d'œufs au 2 ^{ème} stade embryonnaire	0%	0%	0%	5%	0%	0%
Pourcentage d'œufs au 3 ^{ème} stade embryonnaire	0%	0%	0%	46%	1%	0%
Pourcentage d'œufs au 4 ^{ème} stade embryonnaire	0%	0%	0%	17%	0%	0%
Pourcentage d'œufs au 5 ^{ème} stade embryonnaire	0%	0%	0%	10%	0%	0%
Pourcentage d'œufs au dernier stade embryonnaire	0%	0%	0%	19%	36%	0%
Pourcentage cumulé de larves	0%	0%	0%	0%	63%	100%

La période idéale de positionnement de l'intervention se situant lorsque toutes les pontes sont terminées, mais avant une éclosion massive des larves, d'après la schématisation du développement embryonnaire obtenu dans le cas présent (figure 2), celle-ci correspondrait à la phase où près de **80% des œufs se situent au dernier stade de développement embryonnaire**.

Cette date a été corrélée à la phénologie de la variété suivie, mettant en évidence le stade G-H comme favorable au positionnement de la décoction. Ces résultats demandant à être précisés, et la possibilité d'utilisation de ce stade phénologique en tant que seuil de déclenchement du traitement évaluée, un essai a été mis en place en 2007. Il a permis de comparer une stratégie basée sur une unique intervention au stade G-H à une stratégie à deux interventions, l'une au stade G et l'autre au stade H.

Si sur la modalité témoin, 79,71% de dégâts sur fruits ont été observés, sur la modalité ayant bénéficié d'une intervention au stade G-H, 20% de fruits endommagés ont pu être comptabilisés. La modalité sur laquelle deux interventions avaient été réalisées à 5 jours d'intervalle, n'a elle présenté que 3,96% de dégâts lors des notations.

Ces éléments ont confirmé l'effet positif de l'application de la décoction de *Quassia amara* lors de la défloraison, mais ont également mis en avant **l'intérêt d'une application de la préparation en deux fois, à quelques jours d'intervalle en début et fin de défloraison**

(Wateau *et al.*, 2006). Le fractionnement dans le temps de l'intervention permet en effet de toucher un maximum de ravageurs.

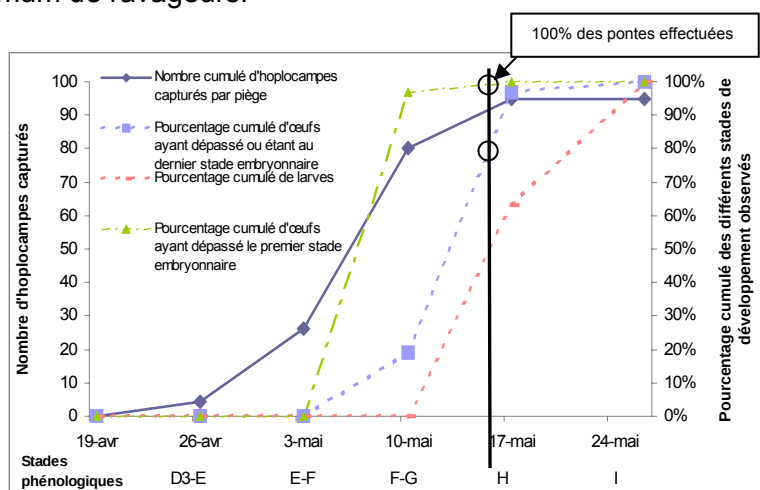


Figure 2 – Evolution, du nombre cumulé moyen d'hoplocampes adultes piégés en 2006 sur la microparcelle expérimentale de variété melrose, à l'aide de 3 pièges Rebell®, du dernier stade de développement embryonnaire et des larves écloses au sein des bouquets floraux prélevés chaque semaine.

Recherche d'un seuil d'intervention

Entre 2006 et 2007 (tableau 2), l'infestation sur les deux parcelles suivies est passée d'un niveau bas pour la parcelle A (15 hoplocampes par piège) et très élevé pour la parcelle C (459 hoplocampes par piège) à des niveaux moyens sur les deux sites d'études (entre 18 et 21 hoplocampes capturés par piège). De ce fait, si en 2006, le seuil de 30 hoplocampes capturés par piège a permis de contrôler la forte infestation du site C et d'éviter une intervention sur la parcelle A, en 2007, celui-ci n'a pas eu le même impact positif. En effet, une forte augmentation des dégâts a pu être constatée sur la parcelle A (18,3% contre 5,5% en 2006) tandis qu'ils se sont maintenus sur la parcelle C (6,7% contre 7,5% en 2006) malgré un niveau d'infestation 20 fois moins important qu'en 2006. Cette deuxième année de suivi a donc confirmé les soupçons de la profession concernant le niveau trop élevé du seuil d'intervention. En 2008, l'essai comparatif de deux seuils (20 et 30 hoplocampes/piège) a confirmé **l'intérêt d'une intervention basée sur un niveau de captures aux alentours de 20 hoplocampes par piège**. En effet, mis en œuvre sur la parcelle A (infestation à 25 hoplocampes/piège), celui-ci a permis de réduire à 0,8% la proportion de fruits endommagés contre 7,5% sur la zone « témoin ». Maintenu en 2009, ce seuil d'intervention de 20 hoplocampes par piège a permis de continuer à obtenir de très bons résultats (de 0,3 à 0,5% dégâts).

Tableau 2 – Evolution des taux de dégâts sur fruits observés de 2006 à 2009, en microparcelles expérimentales, selon les applications de décoctions de *Quassia amara* effectuées sur la base du suivi des seuils d'intervention fixés.

	2006		2007		2008			2009	
	parcelle A	parcelle C	parcelle A	parcelle C	parcelle A	parcelle C	aucun : témoin	parcelle A	parcelle C
Nombre moyen cumulé d'hoplocampes/piège Rebell®	15	459	18	21	25	55		23	30
Seuil d'intervention (en nombre moyen cumulé d'hoplocampes/piège)	30	30	30	30	20	aucun : témoin	30	20	20
Application d'une décoction de <i>Quassia amara</i>	non	oui	non	non	oui	non	oui	non	oui
Pourcentage de fruits Endommagés	5,5%	7,5%	18,3%	6,7%	0,8%	7,5%	0,0%	9,2%	0,3%

PERSPECTIVES

Malgré son efficacité, en conditions optimales d'application, la décoction de *Quassia amara* présente des difficultés de mise en œuvre (absence de standardisation, contraintes d'élaboration, difficultés de positionnement). Face à ces limites, les partenaires du projet TransBioFruit (FREDON Nord Pas-de-Calais, CRA-W Gembloux, CEB, GABNOR) ont initié, en 2009, le test de nouvelles matières actives pouvant pallier les inconvénients de cette technique de lutte. Neuf substances à 3 concentrations différentes (savon potassique, terpène d'essence d'orange (d-limonène), Spinosad, décoction de *Quassia amara*, quassine formulée, *Steinernema carpocapsae*, *Heterorhabditis megidis*, huile de neem, *Bacillus thuringiensis*) ont été testées en conditions contrôlées sur larves pré-diapausantes ou en diapause (nématodes).

L'expérimentation réalisée à l'aide des deux nématodes est encore en cours, les résultats seront obtenus dans les prochains mois. Toutefois, la première phase des travaux semble démontrer une efficacité en laboratoire du Spinosad. Celle-ci devra être confirmée en verger, tout en tenant compte des effets secondaires sur la faune auxiliaire (écotoxicité) et de la limite d'usage de la substance (homologation). Parallèlement l'évaluation d'autres produits d'origine naturelle pourra être programmée.

Les résultats présentés dans cette communication ne peuvent être utilisés en vue de préconisations.

BIBLIOGRAPHIE

- > ALFORD D., 1984 - *Hoplocampa testudinea* Klug. A colour atlas of fruits pests. Wolfe Publishing Ltd, London, 213-214.
- > FAURIEL J., 2001 - La maîtrise de l'hoplocampe du pommier en agriculture biologique. *Le dossier du GRAB, Arbo Bio Infos*, GRAB, France.
- > KIENZLE J., ZIMMER J., MAXIN P., RANK H., BATHON H., ZEBITZ C.P.W., 2006 – Control of the apple sawfly *Hoplocampa testudinea* Klug in organic fruit growing - In: Boos, Markus (Ed.) *Ecofruit - 12th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing: Proceedings to the Conference from 31st January to 2nd February 2006 at Weinsberg/Germany*, pp. 25-29.
- > TRAPMAN M., 2006 – Formation sur les techniques néerlandaises de lutte biologique en arboriculture. Formation organisée par le GABNOR, Phalempin, 26 janvier 2006.
- > WATEAU K., OSTE S. et BARNIER S., 2006 – L'hoplocampe du pommier (*Hoplocampa testudinea* Klug) : recherche de méthodes de lutte en verger de production biologique. 3^{ème} *Conférence Internationale sur les Moyens Alternatifs de Protection des Cultures*, AFPP, Lille, 13 - 15 mars 2006.
- > WILDBOTZ Th. et STAUB A., 1984 – Überwachung der Sägewespen mit Eiablagekontrollen, Befallskontrollen und weissen Fallen. *Schweizerisches Zeitschrift für Obst-und Weinbau* 120 : 228-232.

ATELIERS THEMATIQUES

MARDI 8 DECEMBRE

ARBORICULTURE ET TAVELURE

COPPER FREE PRODUCTION OF ORGANIC APPLES: THREE YEARS EXPERIENCE IN THE NETHERLANDS

Marc Trapman

Biofruitadvies, Dorpsstraat 32 4111 KT Zoelmond (Pays-Bas)

marc.trapman@biofruitadvies.nl

RESUME EN FRANÇAIS

Contestée, l'utilisation de cuivre en Agriculture Biologique est à l'heure actuelle indispensable pour le contrôle de ravageurs, notamment la tavelure. Les alternatives possibles pour lutter contre la tavelure du pommier comportent toutes des limites (soufre, bouillie sulfo-calcique et bicarbonate de potassium). Il est aussi important de mentionner que le cuivre permet de protéger le verger plus largement que seulement contre la tavelure. Il est donc d'autant plus difficile de trouver une alternative facile à accepter.

Les produits disponibles sont moins efficaces et moins persistants que le cuivre: la pluie suffit souvent à laver le produit. La maîtrise du moment de l'application est donc primordiale : il est nécessaire qu'elle soit la plus proche possible du moment prévu de l'infection.

Des suivis entre parcelles sans cuivre et parcelles témoins ont été réalisés pendant 3 ans (entre 2007 et 2009), aux Pays-Bas. Au final, une tendance globale se dégage : les différences sont plus importantes entre les différents vergers qu'entre parcelles testées et témoins au sein d'un même verger. Les techniques et la gestion de ces parcelles par les producteurs semblent donc être des facteurs plus importants que l'apport ou non de cuivre. Des erreurs techniques ou stratégiques peuvent être à l'origine de ces déséquilibres.

Les producteurs Biologiques chez qui les suivis étaient réalisés étaient très motivés et bien informés. Malgré tout, leur maîtrise de la tavelure n'a été acceptable que dans la moitié des cas.

La découverte d'une alternative réelle au cuivre n'étant que peu probable dans les prochaines années, il est nécessaire de se concentrer sur un suivi très attentif des conditions, et des précautions techniques maximales pour le traitement. Ces précautions seules pourront rendre possible le contrôle de la tavelure par des fongicides moins puissants que le cuivre.

INTRODUCTION: COPPER FREE ORGANIC PRODUCTION

The use of copper salts to control diseases is the only non-sustainable element in the organic production of apple and pear. In the way these copper salts are used, per production season, ten times more copper metal is applied than the amount that leaves the agro eco system. Over the years, the organic production of apple and pear is leading to an accumulation of copper in the orchard soil. Apart from the discussions on registration of copper as fungicide in Europe, and discussions on copper residues, the accumulation of heavy metals in the soil as a result of organic production is undesirable.

Copper as fungicide is cheap, persistent, highly active, and covering a broad spectrum of potential damaging fungal diseases. National and international research projects have not produced an alternative substance with comparable properties that is suitable for use in organic farming and has a chance to be registered in Europe as a fungicide.

In the present situation copper free organic production means optimizing the use of the materials yet registered for organic production in Europe. This talk focuses on the control of apple scab, but it should be realized that the replacement of copper by other materials could lead to other system effects as the regular copper treatments to control apple scab also control other diseases, and on the other hand, the alternative products could have unforeseen effects on the crop or in disease management.

Other important factors in scab management that are not covered in this talk are the choice of less susceptible varieties, and sanitation practices that are a key factor in sustainable apple scab management.

1 ALTERNATIVE MATERIALS FOR SCAB CONTROL

Table 1: Effectiveness and properties of the fungicides available for organic production of fruits in Europe.

Material	Kg./ha	Effectiveness	Remarks
Copper 50%	0.2-0.5	Protective +++++	- Post bloom applications cause fruit skin russetting
Sulphur 80%	5-8	Protective ++	- Unreliable after 5 mm rain - Risk for sun burn of fruits
Lime sulphur	12-20	Protective ++ Curative +++++	- Instable, degrading to sulfur in $\pm$ 24 wet-hours - Post bloom applications can cause fruit skin russetting on other varieties than Golden. - Intense use can damage leafs. - Aggressive, corrosive, pH > 12 - Not to be tank mixed with other materials.
Potassium bicarbonate	5-10	Protective + Curative +++	- Very water-soluble therefore unreliable after less than 5 mm rain. - Intense use can damage leafs. - pH 8.5 - Not to be tank-mixed with other materials then sulfur.

The materials that can be used to replace copper as fungicide all have their limitations in use. The effectiveness of a sulfur treatment decreases with 50% after 5 mm of rain. When the scab epidemic in the orchard increase over an incidence of 50 infected leafs/100 shoots it becomes almost impossible to control the disease with sulfur. Lime sulfur is much more effective than sulfur but the product is instable under wet conditions and degrades into sulfur and calcium in about 24 hours of wetness. It is aggressive on the leaves, and strongly corrosive. Potassium bicarbonate is less effective than lime sulfur and very soluble in water so it is washed off the leaves very easily and can hardly be effective as protectant in the normal sense.

2 TIMING OF APPLICATIONS

With exception of copper, the efficacy of the available materials as pre-infection treatment is low, and further unreliable as a result of their limited rain fastness. The rain causing the scab infection event may be enough to wash off the fungicide before it can perform its action.

Realizing this, the first step is to bring out protective sprays as close as possible to the predicted infection moment to lose as little as possible effectiveness. However every protective fungicide comes to work not earlier than the moment the leaves become wet, and are contaminated with spores. Therefore a second option is to treat during infection development on wet leafs, cleaning these leaves from germinating spores. These so called "Stop-Sprays" are the most effective way to use the alternative protective fungicides as the application is as close as possible to the moment they have to perform their fungicidal activity.

Nothing new here ! The small publication in 1944 that led to the well known Mills infection table to calculate apple scab infections is called: "The effective use of sulfur dusts and sprays during rain to control apple scab". The Mills table actually shows the grower the time from beginning of rain he has to apply a fungicide on wet leafs to stop the infection. The publication was based on the use of sulfur. Per definition the infection according to Mills is the stage in infection development that elemental sulfur is not effective anymore.

Where elemental sulfur is only effective until the infection starts, lime sulfur is still effective until about 30 hours after the infection has started, provided the leaves are wet during application.

The practical experience with the control of apple scab with potassium bicarbonate is still limited, but lab and field trials show that the highest efficacy is around or shortly after the moment the infection has started. As in the real world a scab infection is not a clear moment in time but involves a distribution in development of the spore population, combinations of sulfur and potassium bicarbonate offer increased effectiveness under practical conditions. Applied around or after the infection has started, the sulfur is effective on the spores that are still in their germination phase, and the bicarbonate stops the spores that are already penetrating the leaf.

3 REAL-TIME INFECTION INFORMATION

Most organic fruit growers have their own on farm weather station. The apple scab management software RIMpro is used to follow the infection development, and decide on fungicide treatments during the “infection window”. Calculations are based on the measured weather data and, when available, high resolution weather forecast. Especially where no copper is used main infections (RIM values > 300) are mostly treated twice: before and during infection development, or during and after infection. Some organic fruit growers in Europe (Italy, Austria, Netherlands) use their overhead irrigation to apply sulfur and /or bicarbonate or lime sulfur at the optimal moment. The results with this overhead system on critical moments are mostly better than with normal orchard sprayers.

4 THE COPPER FREE STRATEGY

In a working group “Copper free production of Elstar” Dutch organic fruit growers tested the possibilities to grow apples without copper in 2007-2009. Elstar is regarded as moderately susceptible for apple scab. With about 50% of the organic apple production in the Netherlands, it is the most important variety.

Each member tried to grow an orchard block of the variety Elstar without using copper, and a neighboring direct comparable block of Elstar served as control. All growers used RIMpro as decision support system. There was regular contact between members of the working group and the adviser, and the development of apple scab on leaves and fruits was followed closely through the season. Fruits from the copper-free and control orchards were stored to monitor effects of the copper-free strategy on development of storage diseases. The copper-free strategy developed through the years. Table 2 shows the strategy as advised and applied in 2009.

Table 2: Strategy for the copper free control of orchard diseases as advised by Bio Fruit Advies in the Netherlands in 2009.

	Copper-free	Standard Organic
But burst - flowering	Protective: sulfur Stop-Spray: sulfur+ bicarbonate Post infection: lime sulfur on main infections	Protective: copper Post infection: lime sulfur on main infections
Flowering- June	Protective: sulfur (+boron) Stop-Spray: sulfur+ bicarbonate	Protective: sulfur (+boron) Stop-Spray: sulfur+ bicarbonate
June-July	Stop-Spray: sulfur+ bicarbonate Lime sulfur (In case of scab problems)	Stop-Spray: sulfur+ bicarbonate Copper + sulfur (In case of scab problems)
August-harvest	Protective: sulfur + Mycosin	Protective: copper + sulfur

5 RESULTS 2007, 2008, 2009

In the three years of these trials the scab epidemic developed quite different. In 2007 the first important primary infection was not earlier than 6th of May, and the level of primary infection was low. 2008 was an average year. In 2009 an early infection on the 9th of April (mouse ear-green cluster), caused a lot of primary lesions on both fruits and leaves, and 2009 became a difficult year for scab control both in organic and in integrated orchards. In all years the disease incidence on leaves increased during summer in both the copper-free and the standard blocks. Regular treatments with sulfur and bicarbonate could not stop this development.

Differences in scab development between orchards were more important than between the two strategies in the same orchard, meaning that management and technique was more important than the availability of copper.

The percentage of fruits with scab symptoms at harvest was highly correlated to the level of primary infection. Small differences in spraying technique, spraying conditions, and timing of applications to control primary infections had important consequences for the damage at harvest. In the case of Flikweert 2009 waiting with the sulphur+ bicarbonate treatment on 9th of April for two hours until the leaves had begun drying, made the difference between 25% and 1% fruits with scab.

On average there was less fruit scab in the copper treated orchards, meaning the pre-infection copper treatments during primary season provided more security than the carefully scheduled sulfur and bicarbonate treatments. However, looking more carefully at the individual results in 2009, in 4 orchards (=50%) the results of the copper free and standard strategy were comparable, in 2 orchards the copper-free strategy was clearly less effective. In the last 2 orchards both the strategies yielded far too much fruit damage, suggesting technical or strategic errors rather than the availability of copper caused the damage.

Table 3: Percentage fruits with apple scab lesions at harvest. (Variety Elstar)

	2007		2008		2009	
	Cu-free	Standard	Cu-free	Standard	Cu-free	Standard
Korstanje	0,0	3,4	4,3	1,1		
Albers	2,2 *	3,0	6,4 *	3,0		
Flikweert	1,6 *	0,0	1,0	1,1	25,2 1,0	
Poley	3,6	0,8	11,2 *	1,9	18,3	4,3
Konijn	0,6	0,0	0,2	0,3	0,1	0,3
Peters					0,5	0,1
Van Noord					6,0	5,9
Levels					9,2	13,6
Damen					15,2 *	2,8
Stoop					18,5 *	11,3
Stoker					39,3 *	21,1
Average	1,6	1,4	4,6	1,5	13,3	7,4

*) In June-August a few applications with copper at low rate were made as in the standard block to control the epidemic.

CONCLUSION

The organic growers joining these trials were highly motivated and well informed. With all their skills and efforts, they succeed only in roughly 50% of the cases to reach an acceptable level of scab control without using copper at all.

Effective scab control during the primary infection season is the key to an acceptable level of diseased fruits at harvest. With one mistake in spring, the season is lost.

Copper as fungicide is highly effective and persistent on the crop, so makes it a robust fungicide to reach this goal. Effective control of primary infections with far less persistent fungicides as sulfur and bicarbonate requires careful decision-making based on real time infection information for optimal timing, and maximum care for spraying technique and spraying conditions.

No new fungicides as effective as copper can be expected in the coming years. Copper free production of apples with the available fungicides is only possible with a strategy where we use all available knowledge on crop, disease and products.

Success in this requires well-trained fruit growers and advisers, and highly accurate warning systems.

LITERATURE

- > BENGTTSSON M.V., HEIJNE B., DE JONG P.F., JØRGENSEN H.J.L., PAASKE K., PEDERSEN H.L., TRAPMAN M., WULFF E. & HOCKENHULL J., 2006 - Prospecting for new fungicides to control apple scab (*Venturia inaequalis*) in organic fruit growing. 8th Conference of the European Foundation for Plant Pathology & British Society of Plant Pathology Presidential Meeting KVL, 13- 17 August 2006, Copenhagen, Denmark.
- > CREEMERS P., 2003 - Unpublished results form field trials of the Royal Research Institute in Gorsem, Belgium.
- > HEIJNE B., DE JONG P.F., KÖHL J., SPEKSNIJDER A.G.C.L., HOCKENHULL J., BENGTTSSON M., LINDHARD PEDERSEN H., PAASKE K., EIBEN U., TAMM L. & TRAPMAN M., 2006 - Prevention and control of apple scab. European Joint Organic Congress, 30 & 31 May 2006, Odense, Denmark.
- > HEIJNE B., DE JONG P.F., LINDHARD PEDERSEN H., PAASKE K., BENGTTSSON M. & HOCKENHULL J., 2007 - Field efficacy of new compounds to replace copper for scab control in organic apple production. 3rd QLIF Congress, Hohenheim, Germany, March 20-23, 2007.
- > HEYNE P., KRUSSE P. & MAXIN P., 2006 - First experiences with bicarbonate against scab in Hamburg. Proceedings of the 12th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, ed. FÖKO e.V. (FÖKO e.V., Weinsberg), 98-100.
- > JAMAR L., LEFRANCQ B., & LATEUR M., 2007 - Control of apple scab (*Venturia inaequalis*) with bicarbonate salts under controlled environment. Journal of Plant Disease and Protection 114 :221-227.
- > KELDERER M., CASERA C., & LARDSCHNEIDER E., 2006 - First Results of the use of potassium bicarbonate against scab in South Tyrol. Proceedings of the 12th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, ed. FÖKO e.V. (FÖKO e.V., Weinsberg), 93-97.
- > KELDERER M., 2007 - Presentation of unpublished trial results of Research Centre Laimburg.
- > KUNZ S., MÖGEL G., VOLK F. (2008) Control of apple scab by curative applications of biocontrol agents. Proceedings of the 13th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, ed. FÖKO e.V. (FÖKO e.V., Weinsberg), 62-67.
- > ILHAN K., ARSLAN U. & KARABULUT O., 2006 - The effect of sodium bicarbonate alone or in combination with a reduced dose of tebuconazole on the control of apple scab. Crop protection Vol 25-9:963-967.
- > TAMM L., AMSLER T., SCHÄRER H., & REFARDT M., 2006 - Efficacy of Armicarb (potassium bicarbonate) against scab and sooty blotch on apples. Proceedings of the 12th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, ed. FÖKO e.V. (FÖKO e.V., Weinsberg), 87-92.
- > TRAPMAN M., 2008 - Practical experience with the use of Baking Powder (potassium bicarbonate) for the control of apple scab. (*Venturia inaequalis*) Proceedings of the 13th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, ed. FÖKO e.V. (FÖKO e.V., Weinsberg), 68-75.
- > TRAPMAN M., JANSONIUS P., 2008 - Disease management is more than applying the right product at the correct time. Proceedings of the 13th International Conference on cultivation technique and phytopathological problems in organic fruit-growing, ed. FÖKO e.V. (FÖKO e.V., Weinsberg), 16-22.

CREATION ET EXPERIMENTATION DE VARIETES DE POMMES ADAPTEES A L'AGRICULTURE BIOLOGIQUE

M. Lateur, A. Pissard, H. Bastiaanse, T. Donis, L. Jamar.

Centre Wallon de Recherches Agronomiques, Dépt. Lutte biologique et Ressources
Phytogénétiques, B-5030 Gembloux, Belgium - lateur@cra.wallonie.be

RESUME

Notre programme d'amélioration du pommier repose entièrement sur les résultats issus de nos travaux de sauvegarde, d'évaluation et de valorisation d'un riche patrimoine de ressources génétiques de pommiers de nos régions. Depuis 1975, pas moins de 1800 introductions ont ainsi été rassemblées dans nos collections et, tenant compte des doublons, erreurs et synonymes, cela représente un total d'environ 850 variétés distinctes. Celles-ci sont systématiquement évaluées dans des vergers expérimentaux ne subissant aucun traitement. Certaines variétés qui sont ainsi mises en évidence tant pour leur bon niveau de résistance aux principales maladies que pour des caractères agronomiques et de qualité des arbres et des fruits sont utilisés comme géniteurs. Nos priorités se portent principalement sur l'élargissement des bases génétiques du pommier, la résistance polygénique vis-à-vis des principales maladies (tavelure, oïdium, chancre) et toute une série de caractères présents chez certaines variétés anciennes et paysannes telle la longue conservation naturelle, la rusticité, la frugalité, l'architecture des arbres ainsi que les qualités et les propriétés nutritionnelles des fruits. Ces parents sont ensuite croisés avec des variétés, souvent plus commerciales, qui présentent des atouts de rapidité de mise à fruit, de rendement, de qualité de chair et de fonctionnement d'arbres. Le programme actuel de création variétale repose sur de nombreux travaux méthodologiques qui ont été développés spécifiquement pour sélectionner du matériel présentant une résistance partielle aux maladies et qui exprime un bon potentiel d'adaptation à des conditions de cultures simples et 'faible intrant'. Une soixantaine de sélections d'élites issues de nos travaux sont actuellement en expérimentation en culture biologique et sont en comparaison avec 48 autres variétés commerciales nouvelles afin de rechercher des alternatives variétales nettement mieux adaptées à la Production Biologique que celles cultivées actuellement. Des résultats partiels d'une vingtaine de sélections et de variétés sont présentés et notamment des résultats relatifs à la durabilité d'un panel de variétés porteuses du gène Vf.

INTRODUCTION

Au cours de l'histoire, les vergers classiques de production commerciale de pomme se sont progressivement transformé en des agro systèmes fragiles qui présentent un certain nombre de facteurs particulièrement défavorables tels : (1) la monoculture d'une espèce pérenne et (2) de variétés clonées, (3) la grande densité de plantation, (4) sur des porte-greffes faibles et plus dépendants d'intrants, (5) le choix de cultiver des variétés commerciales dont la base génétique est très étroite et qui, (6) sont extrêmement sensibles aux maladies et en particulier à la tavelure (Lateur *et al.* 2001 ; Anonyme, 2008), et enfin (7) une faible biodiversité présente dans les vergers. La production fruitière actuelle de fruits à pépins est pour cela l'une des cultures les plus intensives, elle requiert une haute technicité et exige un nombre important de traitements phytopharmaceutiques. Les très nombreux travaux impliquant à la fois les secteurs de la recherche, les praticiens et le secteur des firmes de produits phytopharmaceutiques ont conduit au développement de techniques permettant de s'inscrire dans le concept de Production Intégrée apportant notamment de sensibles améliorations pour ce qui concerne la lutte contre les ravageurs sans toutefois résoudre de façon substantielle les principaux problèmes liés à la fragilité de ce système de culture.

Alors que les bases de réflexion qui régissent une agriculture biologique durable devraient s'appuyer en priorité sur des variétés répondant aux besoins du marché mais qui présentent au moins un faible potentiel de sensibilité à la maladie principale du pommier – la tavelure – la majorité des variétés cultivées en Europe sont encore néanmoins les variétés commerciales classiques très sensibles aux maladies (Trapman et Jansonius, 2008).

Les questions qui sont débattues au sein de nos travaux actuels concernent d'une part le choix des variétés en lien notamment avec la durabilité des types de résistance (gènes majeurs de type Vf et/ou résistance partielle) et d'autre part, dans le cadre d'un programme d'amélioration, quelles méthodes de sélection doivent-elles être appliquées afin de sélectionner les variétés qui seront en meilleure adéquation avec un agro écosystème durable ? Pour tenter de répondre à ces questions, quelques résultats préliminaires sont présentés au sujet d'une série de méthodes déjà en application dans notre programme et dans le cadre d'une expérimentation conduite en culture biologique d'une vingtaine de variétés ou sélections nouvelles de pommes.

MATERIEL ET METHODE

Programme d'amélioration

L'objectif prioritaire en matière du programme d'amélioration a toujours été de valoriser le patrimoine de nos anciennes variétés en tant que parents dans les croisements. Les variétés rassemblées depuis 1975 proviennent pour les trois-quarts, de prospections réalisées dans les campagnes avec l'immense aide du public. Les critères d'introduction du matériel sont les suivants : (1) origine locale ou nationale ; (2) variétés anciennement répandues et cultivées dans nos régions ; (3) variétés très anciennes issues de sélections antérieures à l'ère des fongicides (< 1870) ; (4) variétés peu sensibles aux maladies et offrant des caractéristiques originales qui étendent la diversité de caractères déjà rencontrés. L'ensemble des variétés introduites sont greffées sur porte-greffe M9 et pour lesquelles, deux exemplaires sont plantés dans un verger conservatoire et, dans la plupart des cas, un exemplaire est planté dans des vergers d'évaluation à une densité de 1200 arbres par hectare qui, depuis le début, sont conduits sans aucun traitement. Les méthodes appliquées pour les divers relevés d'évaluation ont été antérieurement décrits. C'est dans ce contexte que les variétés offrant les meilleurs caractères sont utilisées comme géniteurs. Les croisements manuels ainsi que les techniques d'inoculation artificielles ont été décrites par Lateur *et al.* [2000]. Pour ce qui concerne la sélection des semis en pépinière, le matériel qui a été classé après inoculation artificielle, dans les différentes classes de sensibilité, est planté en pépinière à 15 cm entre plants et 1,5 m entre les rangs. Aucun traitement n'est appliqué en pépinière et les relevés de sensibilité aux maladies du feuillage (tavelure et oïdium) sont réalisés durant trois années en vue de sélectionner le matériel offrant un bon niveau de résistance. Les élites sélectionnées sont ensuite écussonnés sur le porte-greffe M9 pour être plantés en verger d'évaluation (1 x 3m) qui est également conduit sans aucun traitement. Les critères de sélections à ce niveau concernent la tolérance et la résistance aux principales maladies (tavelure, oïdium, chancre à *Nectria*, anthracnose), la rapidité de mise à fruit, la qualité gustative des fruits, le port des arbres à branches souples et pleureuses et la tenue des fruits, tant sur l'arbre qu'en cours de conservation. La période d'observation dans ce verger varie de trois à cinq ans.

Expérimentation des sélections super-élites en verger conduit en Culture Biologique

Afin de poursuivre le schéma de sélection, les individus les plus méritants sont plantés dans un verger expérimental conduit suivant le cahier de charge de l'Agriculture Biologique mais en visant à réduire au maximum les intrants. Deux périodes de plantation ont eut lieu, soit en 2004 et en 2005. Le porte-greffe utilisé est le M9, les distances de plantation sont de 1,5 m x 3,5 m. Entre 6 et 12 arbres par variété y sont implantés en deux blocs. La conduite des arbres se fait de façon standard en appliquant les principes de la « Conduite centrifuge ».

Seul un léger éclaircissage manuel est effectué si nécessaire. En 2004 et en 2005, aucun traitement n'a été appliqué, en 2006, 2007 et 2008, entre 6 et 9 traitements ont été appliqués constitués, soit de bouillies cupriques, soit de soufre et ce, en fonction des principaux risques d'infection primaire définis par le modèle RIMPRO. Aucun traitement insecticide n'y est appliqué et depuis 2008, la lutte contre le carpocapse est effectuée par confusion sexuelle. Le désherbage s'effectue à l'aide d'un désherbeur de la marque 'Spedo'. La fumure très modérée est appliquée au sol en fin d'hiver sous forme de pellets de ricin et de lin suivant les résultats d'analyse foliaire.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

1 RECHERCHE PARMIS LES ANCIENNES VARIETES, DE PARENTS OFFRANT UNE SERIE DE CARACTERES INTERESSANTS

Nos travaux relatifs à l'évaluation des ressources génétiques ont démarré 1979, parmi les variétés les plus intéressantes et diploïdes, une série de croisements ont été effectués sur un parent sensible ('Golden Delicious') afin de tester la transmission du caractère polygénique de la résistance à la tavelure. La **figure 1** illustre un des résultats obtenus à partir d'une série de dix géniteurs pour lesquels les plantules ont été triées après un test d'inoculation contrôlée à l'aide d'une suspension de conidies de tavelure. Ce simple test de descendance permet de mettre en évidence les meilleurs géniteurs et nous donne une information très utile pour orienter le choix de nos croisements. Ces résultats montrent également que en utilisant ce type de caractère polygénique, on ne sélectionne, dans le meilleur des cas, que 5 à 25 % de la descendance pour ce caractère de résistance partielle à la tavelure. Le croisement avec la variété 'Topaz' qui contient le gène Vf permet, sans la présence de souches de tavelure virulentes pour ce gène, de sélectionner nettement plus d'individus – dont un grand nombre sont totalement résistants.

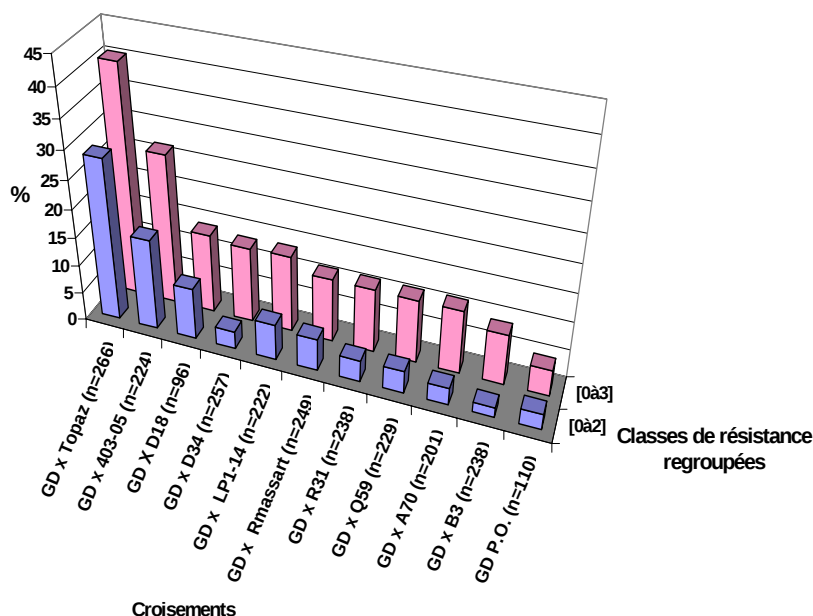


Figure 1 – Test de descendance pour la transmission de la résistance à la tavelure d'une série de dix croisements effectués sur un parent commun 'Golden Delicious' – Pourcentages de plantules reprises dans les meilleures classes de résistance après leur inoculation artificielle. Classes [0 à 2] regroupant les plantes ne présentant aucun symptôme jusqu'à 10% de la surface foliaire atteinte de symptômes et les classes [0 à 3] regroupant les plantes pouvant aller jusqu'à 25% de la surface sporulante. GD = 'Golden Delicious' ; PO = pollinisation ouverte ; () indiquant le nombre de plantules observées.

2 STRATEGIES POURSUIVIES DANS LE CADRE DE LA VALORISATION D'ANCIENNES VARIETES LOCALES ET ORIGINALES EN TANT QUE SOURCES DE DIVERSITE DE CARACTERES A INTEGRER DANS LA CREATION VARIETALE

Nos travaux ont permis dès 2002 de mettre en évidence les premières souches de tavelure contournant le gène Vf. Un monitoring plus précis effectué dans un verger piège implanté à Gembloux montre la présence dans nos sites de plus de dix races de tavelure contournant des gènes majeurs de résistance à la tavelure (**Figure 2**). Cette situation très particulière nous permet de travailler dans des conditions expérimentales idéales pour valider la durabilité de la résistance tant de géniteurs que de génotypes issus, soit de nos croisements, soit de programmes de collègues belges et étrangers. Ces résultats indiquent également que certaines variétés telles 'TN10/8' - issues du programme d'amélioration de l'INRA d'Angers -, 'Discovery' et 'Président Roulin' présentent un très bon comportement de résistance vis-à-vis de la tavelure.

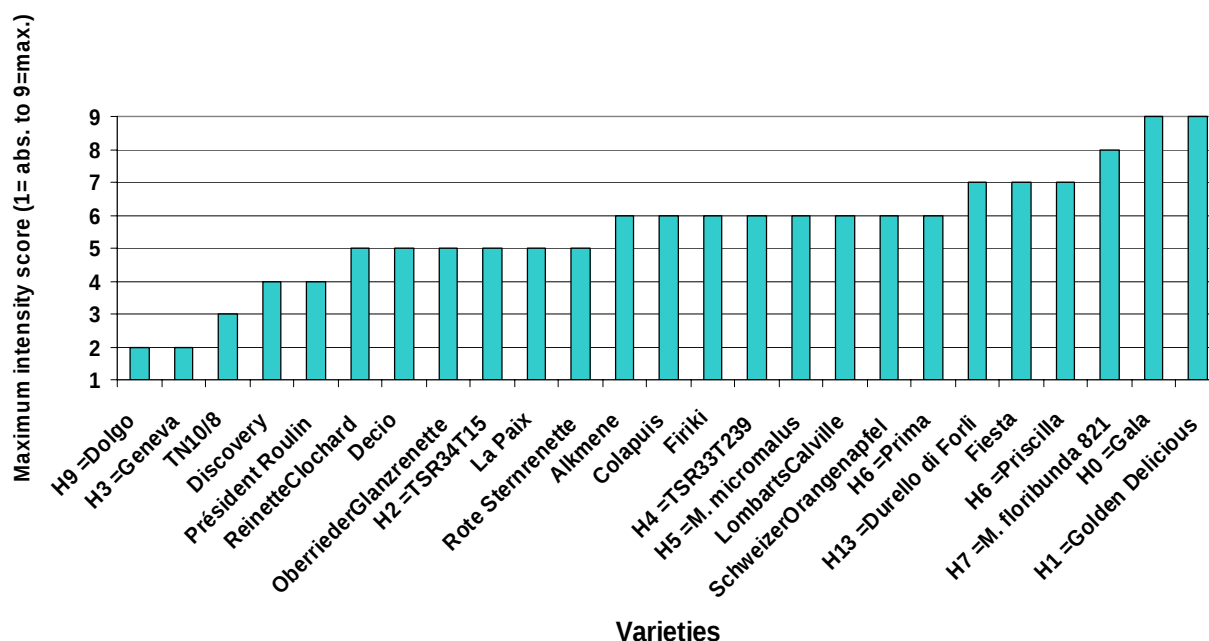


Figure 2 – Suivi de la présence de races de tavelure virulentes vis-à-vis d'hôtes spécifique - Cotes d'intensité maximales observées durant la période 2004-2009. H... = génotype caractérisé comme hôte spécifique sensible à une race particulière de tavelure.

Notre stratégie suivie consiste à valoriser au mieux la diversité des géniteurs. Entre 50 et 90 croisements sont effectués chaque année impliquant entre 15 et 20.000 fleurs fécondées manuellement. A titre d'exemple, durant l'année 2008, parmi les 74 croisements réalisés et les 19000 fleurs fécondées, plus de 40 pourcents des croisements impliquaient d'une part des anciennes variétés qui confèrent une bonne héritabilité du caractère de résistance à la tavelure et d'autre part, des variétés de type commerciales relativement sensibles à la tavelure mais présentant des caractères agronomiques et de qualité gustatives intéressantes. Un bon tiers des croisements visaient à combiner des variétés de type Vf avec ces mêmes anciennes variétés mises en évidence pour leur bon potentiel de résistance tavelure. Afin de combiner un plus grand nombre d'allèles de résistance partielle, un peu moins de 10 % des croisements ont impliqué le croisement de variétés anciennes entre-elles et enfin, certains croisements visaient à poursuivre l'élargissement des bases génétiques de la résistance à la tavelure en combinant des individus issus de croisements mixtes 'Vf x polygénique' avec des anciennes variétés peu sensibles à la tavelure et qui confèrent une bonne héritabilité de ce caractère dans leur descendance.

Co-obtention et création variétale participative.

Dans le cadre d'un projet INTERREG 'BIODIMESTICA' nous sommes tout à fait engagés dans un riche partenariat avec le Centre Régional de Ressources Génétiques de Villeneuve d'Ascq tant pour la gestion, l'évaluation et la valorisation du patrimoine fruitier et légumier, que pour la création variétale de poires et, depuis 2009, pour la création variétale de pommes. Afin de créer de nouvelles dynamiques d'échange, cette collaboration s'est également enrichie grâce à la mise en place d'un groupe franco-belge centré sur un programme commun de création variétale participative de pommes et qui rassemble des producteurs (Jean-Yves Fillatre et François Carlier), des gestionnaires de vergers conservatoires (René Sitévenard, Mathieu Lascoste et Marc Lateur) et des chercheurs (Jean-Marie Lespinasse, Alain Rondia & Marc Lateur). Le groupe réfléchit ensemble aux objectifs prioritaires, il permet l'échange des différentes expériences pour définir le choix des géniteurs et enfin, permet d'échanger librement des géniteurs. Un certain nombre de croisements ont déjà été réalisés ce printemps 2009 dans les vergers de Jean-Yves, les pépins issus des croisements seront semés à Gembloux, évalués pour leur résistance à la tavelure grâce au test d'inoculation contrôlé et les plantules poursuivront leurs étapes de sélection en partie à Villeneuve d'Ascq et en partie chez les deux producteurs.

3 RESULTATS ILLUSTRANT LA METHODE DE SELECTION FAVORISANT LA MISE EN EVIDENCE DE VARIETES RUSTIQUES, TOLERANTES AUX MALADIES ET MIEUX ADAPTEES A LA PRODUCTION BIOLOGIQUE.

L'ensemble des différentes étapes du processus de sélection est illustré à la **figure 3**.

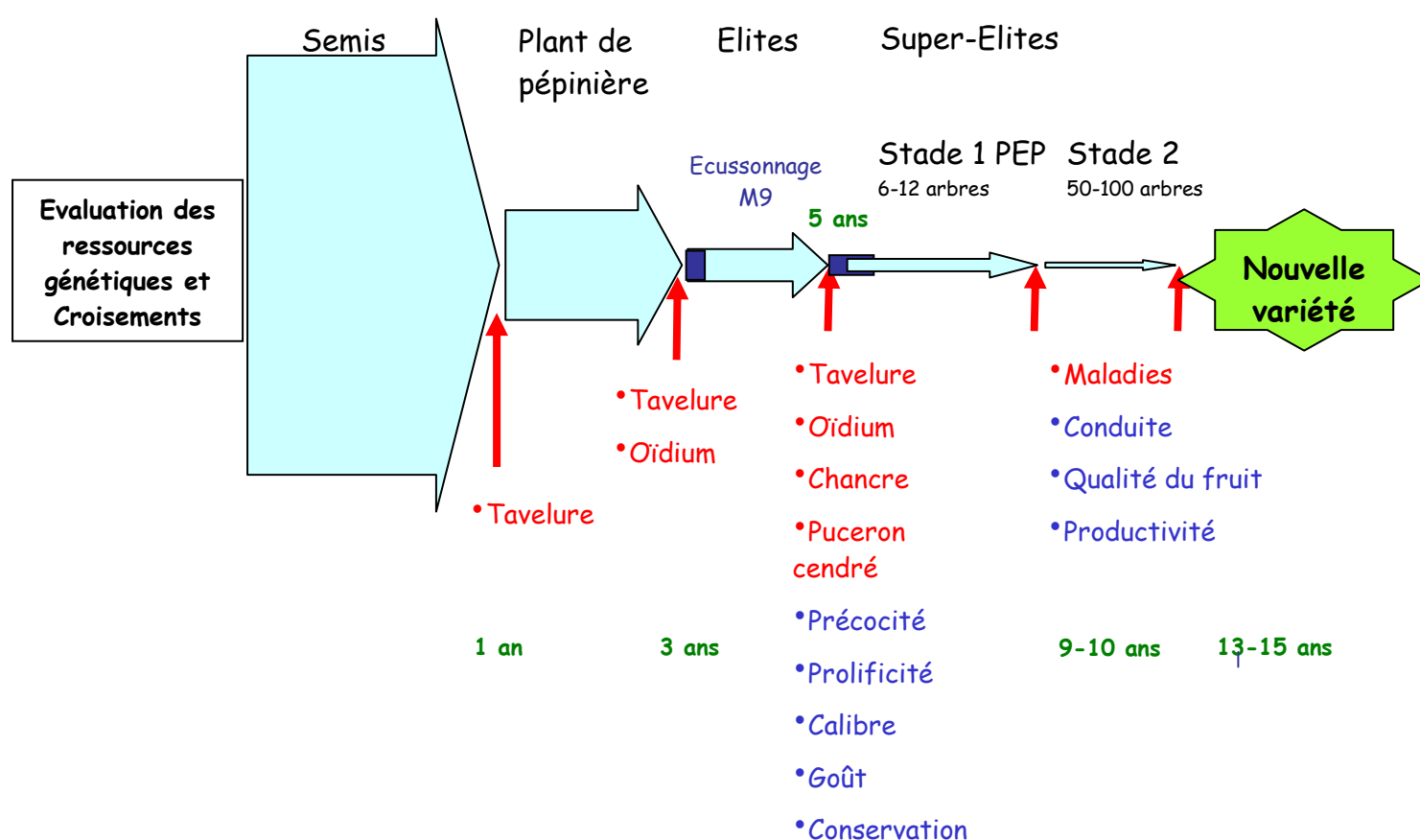


Figure 3 – Etapes principales du processus de sélection de variétés de pommes adaptées à la Production Biologique

Le premier tri effectué grâce au test d'inoculation contrôlée à l'aide de spores de tavelures issus de nos vergers non traités, permet de retenir les plantes – non pas 'résistantes' – mais tolérante ce qui veut dire que l'on tolère les plantes qui, après infection dans des conditions très favorables, présentent jusqu'à 25% de leur surface foliaire atteinte par des plages sporulantes ou partiellement sporulantes de tavelure.

Lors de la deuxième étape, les plants retenus sur leurs propres racines sont plantés en pépinière et sont évalués durant trois saisons sans aucun traitement afin, d'une part de valider leur comportement au champ vis-à-vis de la tavelure et d'autre part, pour évaluer leur sensibilité à l'oïdium et certains comportements de croissance des plants. Des symptômes d'oïdium secondaire sur feuilles seront tolérés alors que les plants atteints de nombreux symptômes d'infection primaires seront éliminés. Les plants les plus chétifs ou qui présentent des tares de croissance sont également éliminés. Au niveau de la validation des tests précoces de sélection vis-à-vis de la tavelure, nos résultats sur plusieurs années montrent que lors des évaluations en pépinière, en moyenne, entre 75 % et 95 % des plants initialement sélectionnés en serre se maintiennent dans les quatre premières classes de sensibilité à la tavelure, indiquant par là qu'à chaque fois, moins de 25 % de leurs organes sont atteints par la maladie.

L'étape suivante consiste à greffer les 'élites' sur porte-greffe M9 et de les planter dans des vergers qui sont également conduits sans aucun traitement. Les critères de sélection se portent alors principalement sur les paramètres agronomiques et de qualité tant des fruits que des arbres. S'y ajoutent les paramètres liés à la sensibilité aux maladies et ravageurs primaires et secondaires.

Toujours dans le cadre de la validation des tests précoces de sélection vis-à-vis de la tavelure et la sélection opérée en pépinière, la **figure 4** montre la répartition de plus de 1200 plantes 'élites' suivant leur classe de sensibilité à la tavelure et à l'oïdium. Avec respectivement 87 % et 82 % des plantes appartenant aux quatre premières classes de sensibilité à la tavelure et à l'oïdium, ces résultats obtenus pour l'année 2006 illustrent l'efficacité des étapes préliminaires de sélection ainsi que des seuils retenus.

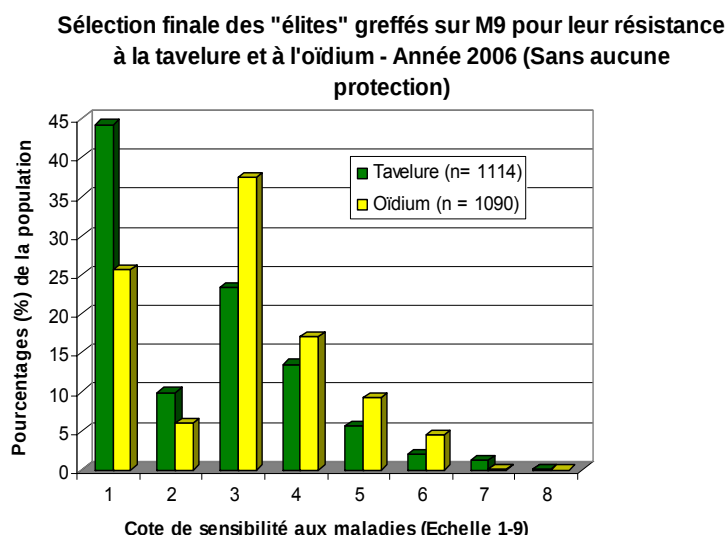


Figure 4 – Evaluation de la sensibilité des plantes 'élites' vis-à-vis de la tavelure (n = 1114) et de l'oïdium (n = 1090) lors de l'année 2006. Echelle de sensibilité : 1 = pas de symptôme observé ; 2 = 1-5 % des organes atteints ; 3 = ~10 % ; 5 = ~25 % ; 9 = >90 %).

4 ETUDE DE LA SENSIBILITE A LA TAVELURE DE NOUVELLES VARIETES CONDUITES DANS LE VERGER EXPERIMENTAL.

Bien que la plupart des producteurs en culture biologique gèrent relativement bien leurs traitements de lutte contre la tavelure dans leurs vergers plantés pour la plupart avec des variétés commerciales très sensibles à la tavelure, il nous semble important de préparer l'avenir et de mettre en évidence un certain nombre de variétés moins sensibles et dont la durabilité de résistance soit relativement fiable. Etant donné que l'apparition et l'épidémiologie de nouvelles races de tavelure dépendent d'un grand nombre de facteurs, ce phénomène fait partie du domaine de la probabilité. Les résultats obtenus dans nos vergers à partir de nouvelles variétés montrent d'une part que la plupart des nouvelles variétés restent très sensibles à la tavelure et d'autre part, que certaines variétés anciennement dénommée 'RT' (Résistantes Tavelure), lors de l'apparition des races de tavelure virulentes pour le gène Vf, sont devenues particulièrement sensibles et même plus sensibles que le témoin (Figure 5).

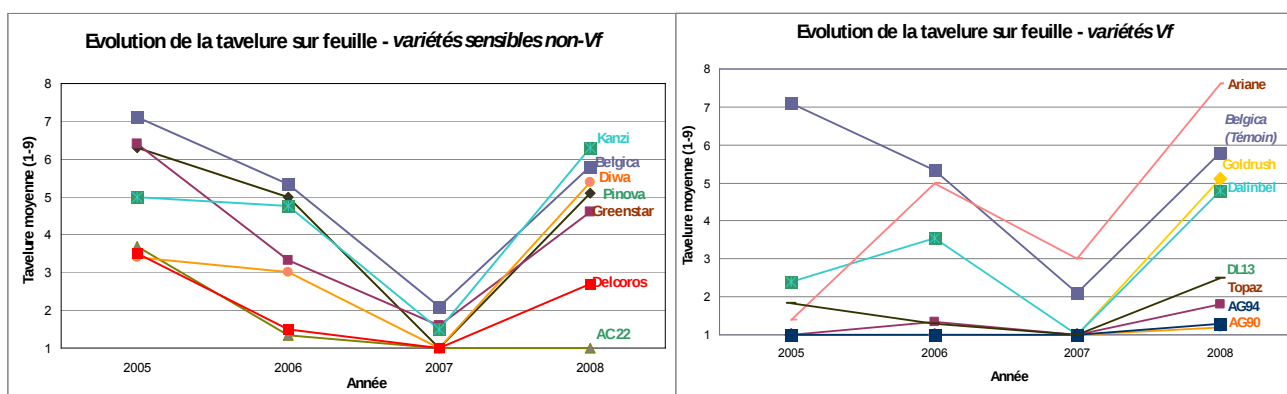


Figure 4 – Evolution de la sensibilité à la tavelure de nouvelles variétés appartenant soit au groupe de variétés non dérivées de croisements avec le gène Vf, soit au groupe de variétés porteuse de ce gène. Echelle de sensibilité : 1 = pas de symptôme observé ; 2 = 1-5 % des organes atteints ; 3 = ~10 % ; 5 = ~25 % ; 9 = >90 %).

Bien que certaines années exceptionnelles (2007), elles peuvent exprimer peu de symptômes, dans nos conditions, les nouvelles variétés commerciales 'Kanzi', 'Belgica', 'Diwa –Junami', 'Pinova' et 'Greenstar', se montrent parmi les plus sensibles à la tavelure et par ce fait sont moins adaptées aux concepts 'faibles intrants'. Signalons aussi que la variété 'Pilot' fait également partie de ce groupe (donnée non montrée). Par contre, la sélection 'CRA - AC22' issue de notre programme par pollinisation libre d'une ancienne variété et dans une moindre mesure, la variété 'Delcoros', présentent un bon potentiel de tolérance vis-à-vis de la tavelure.

Dans le cas des variétés dites 'Vf', il est surprenant d'observer le rapide et important effondrement de la résistance de la variété 'Ariane' qui devient, une fois contournée, quasi la plus sensible de toutes les variétés. Les variétés 'Goldrush' et 'Dalibel' sont également devenues très sensibles lors de l'année 2008. Les variétés 'DL 13 – Dalinette/Dalicom' et 'Topaz', commencent seulement à présenter quelques symptômes et seront des variétés dont il faudra surveiller leur évolution car certains arbres particuliers notamment de 'DL 13' ont déjà exprimé des fortes densités de taches de tavelure indiquant par là une tendance à un contournement plus intensif. Deux de nos sélections : 'CRA-AG 94' et 'CRA-AG 90' qui sont issues de croisements entre un parent porteur du gène Vf et des anciennes variétés, semblent très bien maintenir leur niveau de résistance malgré la présence de races de tavelure virulentes pour le gène Vf. L'explication de ce phénomène repose sur l'hypothèse

que ces génotypes, outre le gène Vf, possèdent également un fond de résistance non spécifique qui leur confère, jusqu'à présent, un bon niveau de tolérance à la tavelure. Il apparaît toutefois au niveau de ces deux génotypes que l'accumulation des différents mécanismes de résistance confère un frein très efficace à l'effondrement de la résistance du gène Vf. Outre les aspects agronomiques et surtout commerciaux qui dictent le plus souvent le choix des variétés, ce type de variétés serait nettement à préconiser dans des plantations en Production Biologique. Signalons aussi que les variétés 'Crimson Crisp' et 'Catarina' semblent également moins contournées que la moyenne des variétés 'Vf'. Ces résultats montrent aussi que chaque génotype aura un comportement unique vis-à-vis de la tavelure qui dépend à la fois de son fond génétique et des situations dans lesquelles elles sont plantées.

5 ETUDE DE QUELQUES CARACTERES AGRONOMIQUES DE NOUVELLES VARIETES.

Les principaux paramètres agronomiques ont été observés lors de cette expérimentation mais les **figure 5 et 6** n'en montrent que les résultats relatifs au rendement moyen par arbre, au poids moyen des fruits ainsi que la proportion de fruits qui chutent à l'approche de la maturité.

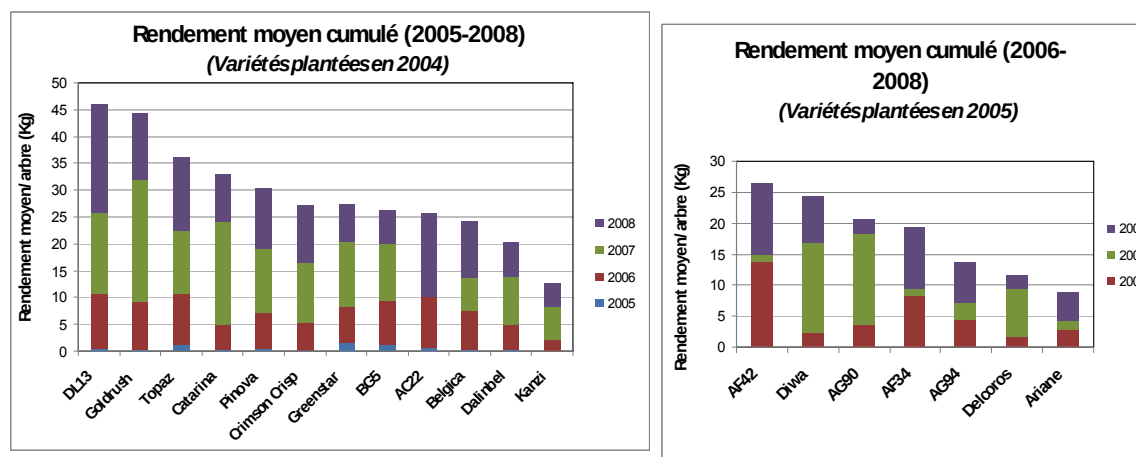


Figure 5 – Evolution des rendements moyens de fruits par arbre depuis la plantation jusqu'à l'année 2008.

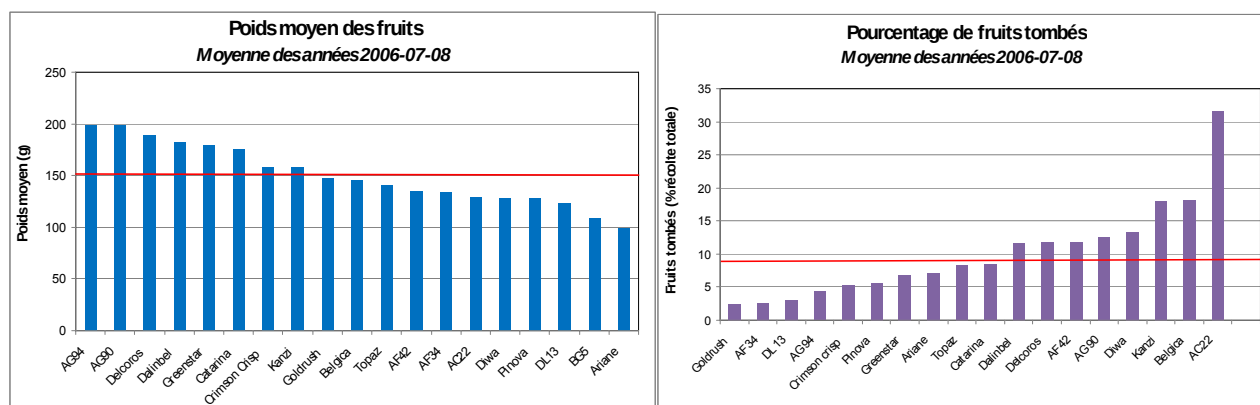


Figure 6 – Comparaison des poids moyens des fruits ainsi que des pourcentages de fruits tombés en fonction des variétés – la ligne rouge indique la moyenne de toutes les variétés observées dans le verger.

Parmi certaines variétés commerciales qui offrent de bonnes potentialités de rendement dans les systèmes en Production Intégrée, elles se révèlent nettement moins adaptées à des systèmes de culture moins intensifs : c'est particulièrement le cas des variétés 'Ariane', 'Kanzi', 'Dalinbel' et 'Belgica' et dans une moindre mesure, 'Greenstar' et 'Pinova'. D'autres variétés telles 'DL 13 - Dalinette', 'Goldrush', 'Topaz', 'Catarina', 'Diwa-Junami', 'CRA-AF 42', 'CRA-AG 90' semblent par contre présenter de bons potentiels de rendement dans des situations plus marginales.

En examinant le caractère du poids moyen des fruits qui représente l'un des caractères les plus difficiles à contrôler aisément en culture biologique, certaines variétés présentent une importante propension à produire des trop petits calibres (parmi lesquelles : 'Ariane', 'DL13 - Dalinbel', 'Pinova', 'Diwa-Junami', 'CRA-AC 22', 'CRA-AF 34', 'CRA-AF 42', 'Topaz', 'Belgica' et 'Goldrush'). Dans les mêmes conditions, les variétés : 'CRA-AG 94', 'CRA-AG 90', 'Delcoros', 'Dalinbel', 'Greenstar' et 'Catarina' ont l'avantage d'avoir des fruits soit d'un bon calibre, soit d'un calibre moyen mais très denses.

Pour ce qui concerne la bonne résistance à la chute précoce des fruits – caractère qui offre un grand avantage pour une bonne gestion des chantiers de cueillette – certaines variétés telles 'Goldrush', 'CRA-AF 34', 'DL 13 - Dalinette', 'CRA-AG 94', 'Crimson Crisp' et 'Pinova' se démarquent particulièrement alors que d'autres – à l'inverse – présentent une très forte tendance à la chute ('CRA-AC 22') ou une tendance nettement supérieure à la moyenne ('Belgica' et 'Kanzi').

Alors qu'il n'est pas du tout aisé à l'heure actuelle pour un arboriculteur en 'PFI' de faire son choix des variétés à planter, en Production Biologique les critères de choix sont encore plus nettement contraignants. Ceci rend encore plus indispensable la nécessité de se baser sur des données objectives issues d'expérimentations faites dans un souci de service public et surtout en s'appuyant sur des méthodes de sélection et d'expérimentation tout à fait en adéquation avec les principes et les objectifs de la Production Biologique.

REMERCIEMENT

Cette étude a été partiellement financée par le Ministère de la Région Wallonne, DGA Développement et actuellement par le projet 'POMINNO' du CRA-W, débuté en 2008.

BIBLIOGRAPHIE

- > ANONYME, 2008 - Verger témoin de pommes – La quasi-totalité de la récolte est perdue. *L'Arboriculture Fruitière* 630, 28.
- > LATEUR M., LEFRANCQ B. & WAGEMANS C. – 2000. Influence of scab inoculum concentration in an apple breeding programme focused on quantitative resistance. *In* : Proc. of EUCARPIA Symp. on Fruit Breeding and Genetics. M. Geibel, M. Fischer & C. Fischer (eds), Dresden, *Acta Horticulturae* **538** : 249-255.
- > LATEUR M., LEFRANCQ B., JAMAR L., VILLETTE I. et RONDIA A. 2001 - La résistance aux maladies, clé de la culture du pommier en production intégrée et en agriculture biologique. *Le Fruit Belge* 494 : 181-189.
- > TRAPMAN M. et JANSONIUS J., 2008 – Disease management in organic apple orchards is more than applying the right product at the correct time. *Proceeding of the 13th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing*, 16-22.

PROTECTION CONTRE LA TAVELURE DU POMMIER CIBLEE SUR LES INFECTIONS PRIMAIRES EN PRODUCTION BIOLOGIQUE

Laurent Jamar¹, Sandrine Oste², Ludovic Tournant², Marc Lateur¹

¹Centre wallon de Recherches Agronomiques, Dépt. Lutte biologique et Ressources
phytogénétiques, B-5030 Gembloux, Belgium, Jamar@cra.wallonie.be

²Fédération Régionale de Défense contre les Organismes Nuisibles, FREDON Nord Pas-de-
Calais, 62750 Loos-en-Gohelle, France, sandrine.oste@fredon-npdc.com

RESUME

La production européenne de pommes en agriculture biologique dépend fortement de fongicides à base de cuivre pour sa protection contre la tavelure (*Venturia inaequalis*). L'objectif de cette étude pluriannuelle (2002-2009) réalisée à Gembloux en Belgique, est de déterminer des mesures de réduction de l'usage du cuivre dans cette culture. L'efficacité d'une stratégie de traitement 'durant infection', ciblée sur les périodes d'infection primaire, avant pénétration du champignon, utilisant du soufre mouillable avec ou sans cuivre, de la bouillie sulfocalcique (BS), du bicarbonate de potassium (AR) et deux produits à base d'extraits de plante (Prev B2, QL-Agri-35) a été évaluée dans un verger expérimental. Le logiciel d'avertissement RIMpro couplé à une station météo a déterminé les périodes de risques d'infection. Le verger se composait de 4 variétés tolérantes à la tavelure (cvs 'Pinova', 'Pirouette', 'Reinette des capucins' et 'Reinette Hernaut') et de 4 variétés résistantes de type Vf (cvs. 'Initial', 'Topaz', 'Zvatava' et 'JN 20/33/58'). Un pulvérisateur tunnel a été utilisé pour l'application des traitements. Un total de 8 à 12 applications a été réalisé annuellement. Sous des pressions d'infection naturellement fortes, de faibles doses de soufre élémentaire ($\leq 40 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) combinée à de faibles doses de cuivre ($\leq 2.1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) ont fourni les meilleurs résultats en réduisant la sévérité sur les feuilles et les fruits de 85 à 100% en fonction des années et des variétés. En 2009, le schéma de traitement BS, qui utilise plus de soufre mais pas de cuivre, a fourni un contrôle de la tavelure similaire. Le AR, et les autres produits à base d'extrait de plante, ont tous réduit significativement la sévérité de tavelure sur feuilles et fruits. Tous les traitements ont augmenté les rendements des variétés sensibles comme des variétés résistantes et n'ont pas provoqué de phytotoxicité. Aucun résidu en soufre et cuivre sur les fruits à la récolte n'a été détecté.

INTRODUCTION

La demande de pommes issues et certifiées de l'agriculture biologique augmente fortement, mais les exigences des consommateurs actuels, imposent la mise sur le marché de produits biologiques de tout premier choix tant sur le plan gustatif que visuel.

La tavelure du pommier causée par *Venturia inaequalis* (Cke.) Wint., constitue la principale maladie contre laquelle sont destinés plus de 70 % des traitements phytosanitaires en culture conventionnelle. La plupart des variétés commerciales actuelles sont très sensibles et les pertes directement dues à cette maladie peuvent aller jusqu'à 100% des récoltes si aucun soin de protection n'est apporté (MacHardy, 2001).

Pour lutter contre les maladies cryptogamiques, le soufre et le cuivre sont les quelques rares substances actives autorisées en Belgique en agriculture biologique. Il s'agit de deux fongicides de contact dont l'action est principalement préventive. Depuis le 31 mars 2002, un nouveau règlement européen limite l'usage du cuivre à 6 kg par ha et par an, ce qui contraint les agriculteurs biologiques à adapter leurs pratiques (Holb *et al.* 2003).

Peu d'études scientifiques existent au sujet de la protection contre la tavelure dans nos conditions pédoclimatiques. Des recherches sont nécessaires pour (i) identifier et créer des variétés commerciales avec des caractères durables de résistance, (ii) améliorer l'efficacité des pratiques sanitaires visant à réduire l'inoculum de la maladie et les connaissances du potentiel de ces pratiques pour réduire les besoins en fongicides, (iii) trouver des substances fongicides alternatives au soufre et au cuivre, (iv) perfectionner les techniques d'application des produits de protection phytosanitaire (v) optimiser les stratégies de positionnement des traitements.

L'objectif de cette étude est de déterminer des moyens pour réduire l'usage de fongicides cupriques utilisés contre la tavelure du pommier en agriculture biologique. L'efficacité d'une stratégie de traitement 'durant-infection', exclusivement ciblée sur les périodes d'infection primaire, utilisant du soufre mouillable (avec ou sans cuivre), de la bouillie sulfocalcique, du bicarbonate de potassium et deux produits à base d'extraits de plante (Prev B2, QL AGRI 35) a été évaluée dans un verger expérimental.

MATERIEL ET METHODES

Cette étude a été réalisée dans deux vergers plantés en 2002 à Gembloux en Belgique. Le premier verger se compose de 4 variétés tolérantes à la tavelure (cvs 'Pinova', 'Pirouette', 'Reinette des capucins' et 'Reinette Hernaut') et le second de 4 variétés résistantes de type Vf (cvs. 'Initial', 'Topaz', 'Zvatava' et 'JN 20/33/58'), toutes greffées sur le porte-greffe nanifiant M9. Les arbres ont été plantés à 3,5 m entre rangs et 1,5 m dans les rangs. Ils ont reçu en moyenne 60 unités d'azote par ha et par an, sous forme de fertilisant organique d'origine végétale et fumier composté. Une moyenne annuelle de 8 traitements foliaires a été réalisée pour compenser des déficiences en Ca, B, Zn et Mn. Le dispositif expérimental en split-plot comprend 1440 arbres et intègre 10 schémas de traitement différents appliqués chaque année. La densité de plantation est de 1900 arbres par ha dans les blocs expérimentaux, ou, si l'on considère les 20% de zone de compensation écologique qui séparent les blocs expérimentaux, 1500 arbres par ha dans l'ensemble des vergers. Aucun éclaircissage n'a été réalisé sur aucune variété.

Le logiciel d'avertissement RIMpro couplé à une station météo a déterminé les périodes de risques d'infection primaire. La stratégie de traitement 'durant-infection' a été généralement suivie. Elle consiste à appliquer les traitements sur les périodes d'infection, entre 0 et 320 degré-heures après la pluie, avant la pénétration du champignon dans la feuille (**Figure 1**). Un total de 8 à 12 applications a été réalisé annuellement, dont 2, à base de soufre et cuivre, ont été appliqués en été, pour limiter les infections secondaires éventuelles de tavelure.

Afin de limiter les dérives de produits, un pulvérisateur tunnel a été utilisé pour l'application des traitements. Celui-ci permet en outre le recyclage de 30% en moyenne du liquide pulvérisé (Jamar *et al.*, 2009b). Tous les traitements ont été appliqués à faible volume d'eau correspondant à 300 litres par ha.

Dans le premier verger, trois schémas de traitement ont été maintenus identiques au cours des années sur les mêmes parcelles : (1) témoin eau (TM1); (2) bouillie sulfocalcique (Polisenio, It.) appliqué à 1,6% de soufre ou à 0,8% pendant la floraison (BS1) et (3) soufre mouillable (Thiovit jet, Syngenta Agro, Fr.) appliqué à 1,6%, combiné au cuivre de l'hydroxyde (Kocide WG, Griffin Eur.) appliqué à 0,16% ou à 0,04% durant 4 semaines après la floraison (CS1).

Dans le deuxième verger, deux schémas de traitement ont été maintenus identiques au cours des années sur les mêmes parcelles : (1) témoin eau (TM2) ; et (2) soufre mouillable et cuivre appliqué dans les mêmes conditions que dans CS1 (CS2). Les autres schémas de traitement ont varié en fonction des années.

En 2009, dans le premier verger, trois autres schémas ont été définis comme suit : pour chacun, trois traitements cuivre (Kocide WG) avant la floraison à 0,16% additionnés de (1) Prev-B2 (extrait de pelure d'orange, Vivagro, Fr) à partir de la floraison à 0,5% (RE1) ; (2) QL-AGRI 35 (extrait de *Quillaja saponaria*, Desert King Internat., US) à partir de la floraison à 1% (SF1) et (3) Armicarb (bicarbonate de potassium, Helena Chemical co., US) appliqué à partir de la floraison à 1,6% (Jamar *et al.*, 2007) et combiné avec du soufre mouillable à 0,8% (AR1).

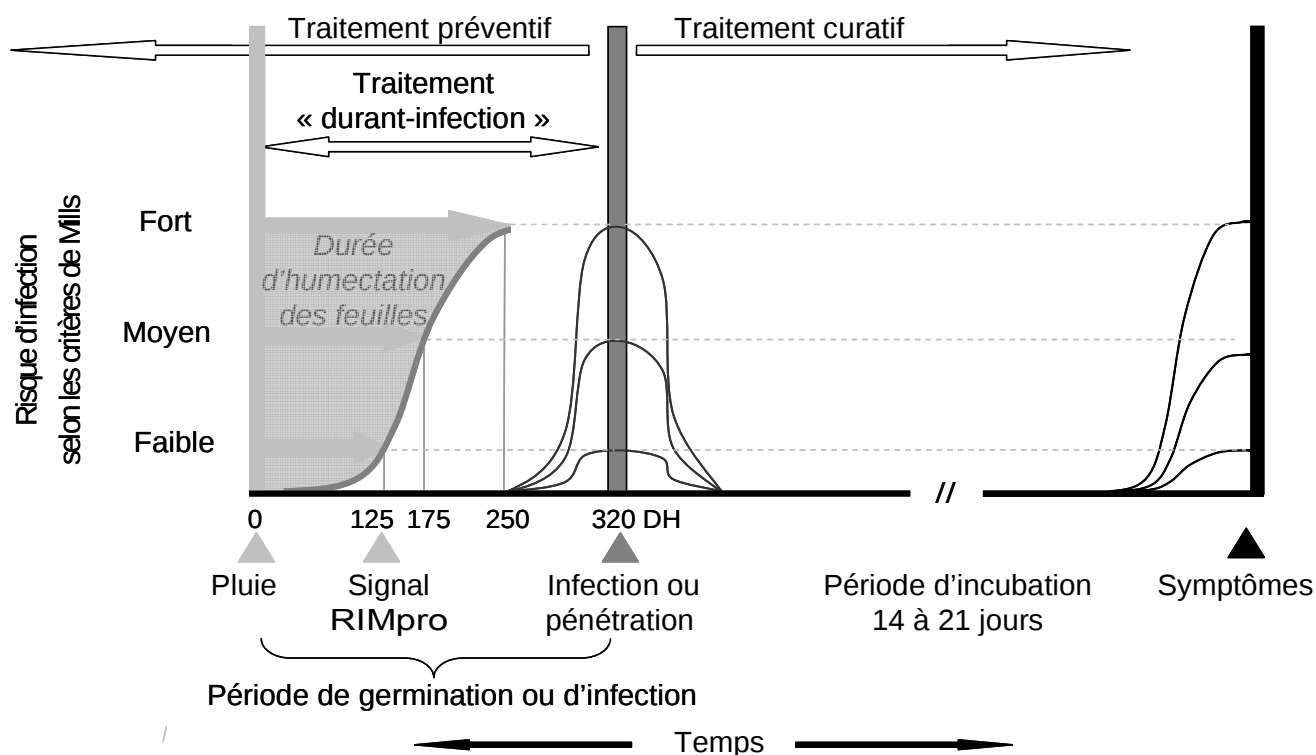


Figure 1 : Représentation schématique de la stratégie de traitement 'Durant-infection' (traitements appliqués de 0 à 320 degré-heures [DH] après le début de la pluie) en relation avec la durée d'humectation du feuillage, les risques d'infections selon les critères de Mills (Mills, 1944) révisés, l'activité du champignon (*Venturia inaequalis*) et le point de départ approximatif du signal RIMpro.

RESULTATS ET DISCUSSION

De 2003 à 2009 le logiciel RIMpro a identifié un maximum de 10 périodes d'infection par an à Gembloux, avec de 0 à 2 périodes d'infections pendant la floraison. La **figure 2** montre que sur base des symptômes de tavelure observés sur les parcelles non traitées, les variétés peuvent être classées comme suit : très sensibles pour cvs. 'Pinova', 'Initial', 'Zvatava' et 'JN 20/33/58', modérément sensibles pour 'Pirouette' et 'Topaz', et faiblement sensibles pour cvs. 'Reinette Hernaut' et 'Reinette Capucins'. Très peu d'infections ont été observées sur les parcelles non traitées des variétés Vf jusqu'en 2007, excepté pour cv. 'Initial', mais à partir de 2008, les infections de tavelure ont été sévères sur toutes les variétés Vf, indiquant que le gène de résistance Vf a été complètement contourné par de nouvelles races de tavelure.

Les résultats présentés à la **figure 2** montrent que la stratégie 'durant-infection' a été relativement efficace pour lutter contre la tavelure avec des doses réduites de fongicide à base de soufre et de cuivre. Les schémas de traitements les plus efficaces utilisés dans l'expérience (CS1 et CS2) n'ont jamais dépassé 40 kg de soufre élémentaire et 2,1 kg de cuivre par hectare et par an, appliqués en un maximum de 12 traitements par saison.

Ces performances ne peuvent pas être attribuées aux caractéristiques du pulvérisateur tunnel lui-même, qui fournit une qualité de pulvérisation dans la canopée semblable à l'atomiseur standard (Jamar *et al.*, 2009b). Par contre, ces chiffres tiennent compte du fait que le pulvérisateur recycle 30% des bouillies pendant l'application des traitements. En comparaison du témoin non traité, ces traitements ont permis de réduire la sévérité de tavelure sur les fruits de 85% à 100 % selon les variétés et les années (Jamar *et al.*, 2009a).

Tous les traitements ont augmenté le rendement en pomme aussi bien sur les variétés très sensibles et modérément sensibles que sur les variétés très peu sensibles à la tavelure (**Figure 2**). Dans les conditions expérimentales définies, aucun des traitements appliqués n'a provoqué de la phytotoxicité, ni n'a augmenté la rugosité sur fruit (Jamar *et al.*, 2008) et finalement, aucun résidu indésirable en soufre et cuivre n'a été détecté sur les fruits à la récolte et dans le sol (Jamar *et al.*, 2009a). En 2009, le schéma de traitement à base de bouillie sulfocalcique, excluant tout usage du cuivre, a donné quasi les mêmes résultats que le schéma combinant le soufre mouillable et le cuivre (**Figure 3**).

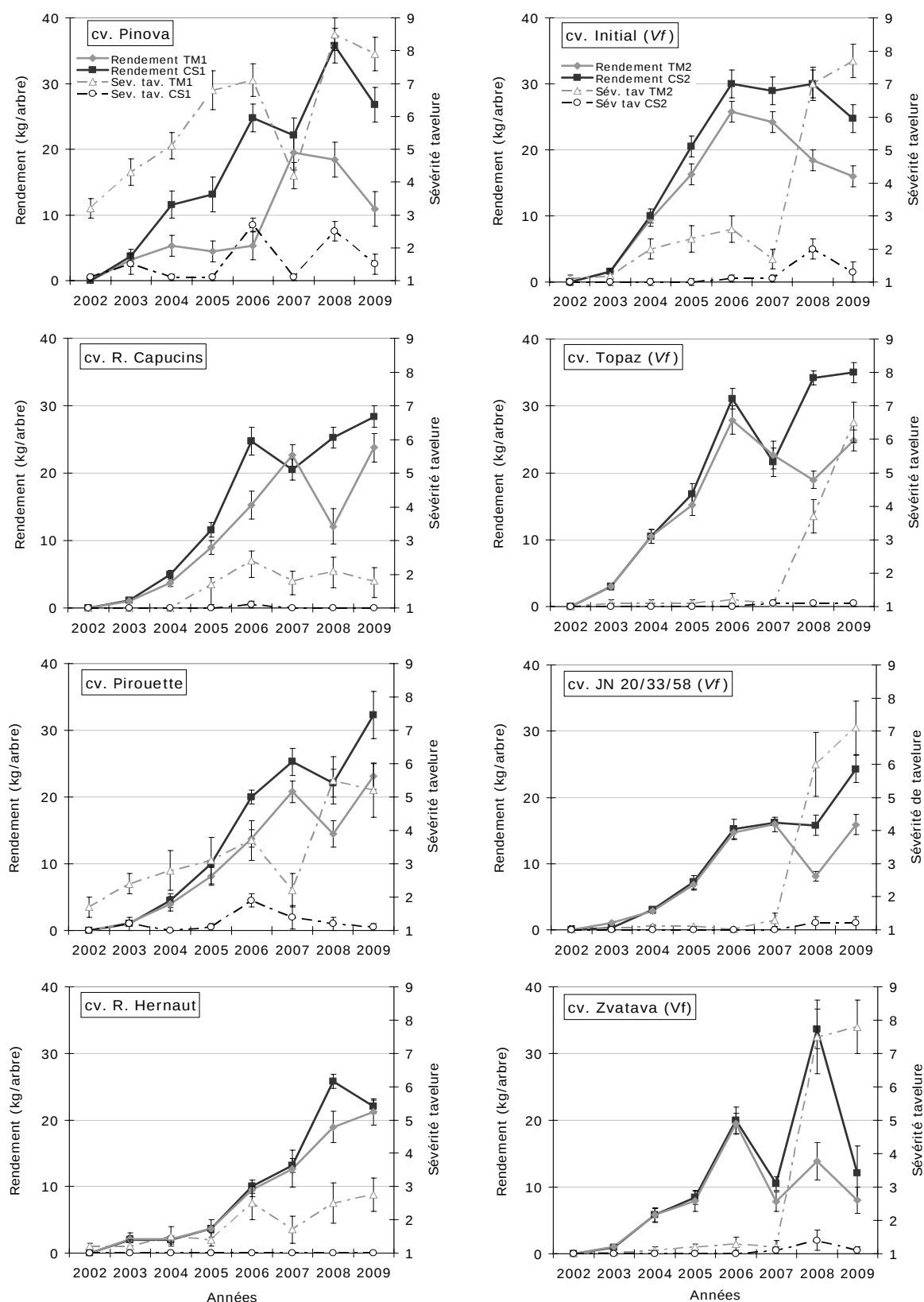


Figure 2 : Poids total de fruits récoltés en relation avec la sévérité globale de la tavelure sur les feuilles évaluée 60 jours après la floraison (échelle de 1 à 9), obtenu avec les schémas de traitement 'CS' et les schémas témoins eau 'TM', de 2002 à 2009. La densité de plantation était de 1900 arbres par ha dans les blocs expérimentaux, ou, si l'on considère les 20% de zone de compensation écologique, 1500 arbres par ha dans l'ensemble des vergers. Les barres d'erreur représentent l'erreur standard des moyennes (n = 6).

En 2009, le bicarbonate de potassium combiné avec du soufre et les 2 extraits de plante ont réduit significativement la sévérité de tavelure sur les feuilles (**Figure 3**) en comparaison du témoin eau, mais le niveau de contrôle de ces substances semble encore insuffisant pour constituer à elles seules et à ces doses, une alternative au cuivre et au soufre, principalement dans le cas de variétés sensibles. Une meilleure gestion de l'inoculum présent dans les feuilles mortes en automne devrait améliorer ces résultats. L'intégration de cette mesure prophylactique comme mesure complémentaire aux stratégies de traitement est prévue lors d'essais ultérieurs.

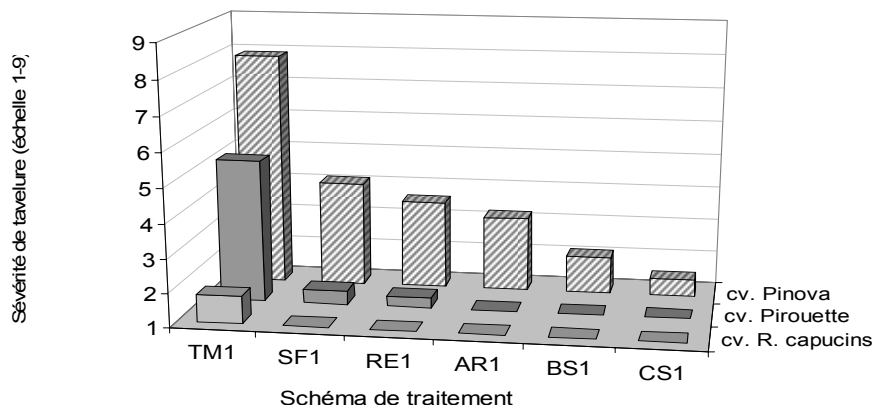


Figure 3 : Effet des schémas de traitement sur la sévérité globale de la tavelure évalué 60 jours après la floraison (échelle de 1 à 9) en 2009, sur les variétés 'Pinova', 'Pirouette' et 'Reinette des capucins'. Tous les schémas ont reçu 3 traitements de cuivre avant floraison, excepté le schéma BS1. TM1 = Témoin eau, SF1 = Agri QL 35, RE1 = Prev B2, AR1 = Armicarb + Thiovit, BS1 = Bouillie sulfocalcique italienne, CS1 = Kocide WG + Thiovit.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par le Ministère de la Région Wallonne, DGA recherche, ainsi que par les fonds FEDER dans le cadre du projet Interreg IV « TransBioFruit » débuté en 2008, avec un co-financement par le Conseil Régional Nord Pas-de-Calais, le Conseil Général du Nord, le Conseil Général du Pas-de-Calais et la Région Wallonne.

BIBLIOGRAPHIE

- > HOLB, I.J., DE JONG, P.F. & HEIJNE, B. 2003 – Efficacy and phytotoxicity of lime sulphur in organic apple production. *Ann. Appl. Biol.* 142, 225-233
- > JAMAR L., LEFRANCQ B. & LATEUR M. 2007 – Control of apple scab (*Venturia inaequalis*) with bicarbonate salts under controlled environment. *J. Pl. Dis. Prot.* 115, 221-227.
- > JAMAR, L., LEFRANCQ, B., FASSOTTE, C. & LATEUR, M. 2008 – During-infection spray strategy using sulphur compounds, copper, silicon and a new formulation of potassium bicarbonate for primary scab control in organic apple production. *Eur. J. Plant Pathol.* 122, 481-492
- > JAMAR L., CAVELIER M. & LATEUR M. 2009a – Primary scab control using a 'during-infection' spray timing and the effect on fruit quality and yield in Organic Apple Production. *Base*, sous presse.
- > JAMAR L., MOSTADE O., HUYGHEBAERT B., PIGEON O. & LATEUR M. 2009b – Comparative performance of recycling tunnel and conventional sprayers using standard and drift mitigation nozzles in dwarf apple orchards. *Crop Prot.*, sous presse.
- > MACHARDY, W., GADOURY, D.M. & GESSLER, C. 2001 – Parasitic and biological fitness of *V. inaequalis*: relationship to disease management strategies. *Plant Dis.* 85, 1036-1051.
- > MILLS W.D. 1944 – Efficient use of sulphur dusts and sprays during rain to control apple scab. *Cornell extention Bulletin*, 630, 4 p

ANALYSE DES PRATIQUES DE PROTECTION ET DU DEVELOPPEMENT DES MALADIES EN VERGERS DE POMMIERS BIOLOGIQUES DANS LE SUD-EST DE LA FRANCE

Laurent Brun^{(1) (a) (b)}, **Christophe Gros**^{(1) (a) (b)}, **Jean-François Toubon**^{(2) (a)}, **Freddy Combe**^{(1) (b)}, **Sylvaine Simon**^{(1) (b)}, **Luciana Parisi**^{(1) (b)}, **Daniel Plénet**^{(2) (a)}

⁽¹⁾INRA-UERI, Domaine de Gotheron, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence ; ⁽²⁾INRA-PSH, Domaine Saint-Paul, 84914 Avignon ; ^(a)pour l'étude sur la Zone-Observatoire-Atelier 13 ; ^(b)pour l'expérimentation BioREco

RESUME

A partir d'une enquête réalisée sur un réseau de 55 parcelles en Provence (dont 7 en AB) et d'un essai stratégies de protection en vergers AB réalisé à l'INRA Gotheron, l'importance de l'inoculum d'automne et de la sensibilité variétale pour la gestion de la tavelure est présentée.

INTRODUCTION

Le champignon phytopathogène (*Venturia inaequalis*) responsable de la tavelure se conserve dans le verger durant l'hiver sous la forme de périthèces contenus dans les feuilles de la litière. Au printemps, à partir de la litière foliaire, des projections d'ascospores ont lieu lors de chaque épisode pluvieux ; elles sont à l'origine des contaminations primaires.

Ainsi, du début du stade de sensibilité des pommiers (stade C-C3 « Gonflement apparent des bourgeons ») jusqu'à fin mai – début juin, la protection phytosanitaire vise à éviter ces contaminations primaires. En fin de contamination primaire, un contrôle en végétation est préconisé pour détecter la présence de taches de tavelure sur les feuilles. En présence d'inoculum secondaire (conidies au niveau de taches non stérilisées) la poursuite de la protection fongicide durant l'été est alors recommandée. Avant la chute des feuilles (souvent fin octobre), un deuxième contrôle en végétation (appelé « inoculum d'automne ») est recommandé afin d'estimer le potentiel d'inoculum pour l'année suivante. Selon les résultats de ces contrôles et selon la sensibilité (ou résistance) variétale à la tavelure, des stratégies différentes en terme de prophylaxie et de protection fongicide peuvent être mis en œuvre en arboriculture biologique.

Les objectifs de cette présentation sont :

- * de montrer, à partir d'une étude réalisée sur un réseau de parcelles en Provence, l'importance de la sensibilité variétale et des contrôles tavelure en vergers biologiques;
- * d'illustrer expérimentalement comment l'association de différentes méthodes de protection (prophylaxie, sensibilité variétale,...) permet de raisonner la protection contre les principales maladies du pommier (tavelure, oïdium).

1 ETUDE DES INOCULUMS DE TAVELURE ET DES PRATIQUES DE PROTECTION CONTRE LA TAVELURE DANS LES VERGERS DE POMMIERS BIOLOGIQUES DE LA ZONE-OBSERVATOIRE-ATELIER 13

55 vergers provençaux dont 7 en AB

Dans un territoire de 70 km² localisé dans la basse vallée de la Durance au sud d'Avignon, une Zone Observatoire Atelier (ZOA 13) a été mise en place par l'INRA PSH d'Avignon. Le réseau d'observation est constitué de 55 parcelles de pommiers tirées au hasard (le seul biais correspond aux parcelles en Agriculture Biologique qui ont été recherchées spécialement) appartenant à 29 exploitations agricoles assez fortement spécialisées en production de fruits à pépins (69 % de la SAU en moyenne).

Les variétés représentées (et leurs mutants) sont : Golden Delicious (16 parcelles), Gala (12 parcelles), Granny Smith (9 parcelles), Red delicious (5 parcelles), Braeburn (4 parcelles), Akane (4 parcelles), Pink Lady (2 parcelles), Elstar (1 parcelle), Reinette du Canada (1 parcelle) et Ozargold (1 parcelle). A l'exception d'un verger abandonné (Golden), tous les vergers reçoivent une protection fongicide (47 vergers en protection conventionnelle et 7 vergers sous cahier des charges AB).

Observations des niveaux d'inoculum et lien avec des pratiques

Les contrôles d'inoculum d'automne et d'inoculum secondaire ont été réalisés d'octobre 2006 à juin 2009 avec une méthodologie précise (Gros *et al.*, 2009). Il ressort de ces observations que la présence de tavelure observée en juin dans les vergers i) a fortement augmentée de 2007 à 2009 en lien avec des conditions climatiques favorables, ii) est fortement liée à la sensibilité variétale, ainsi iii) qu'au niveau d'inoculum de l'automne précédent. La figure 1 illustre le comportement des parcelles biologiques par rapport aux autres vergers : les 2 vergers Bio plantés avec la variété peu sensible à la tavelure (Akane) ne présentent pas d'attaques importantes de tavelure, malgré une protection fongicide très légère pour un des 2 vergers, alors que les vergers Bio plantés avec les variétés sensibles à la tavelure (Golden Delicious et Gala) sont fortement infestés. Dans ce cas, une forte présence d'inoculum d'automne se traduit par une forte attaque au printemps suivant.

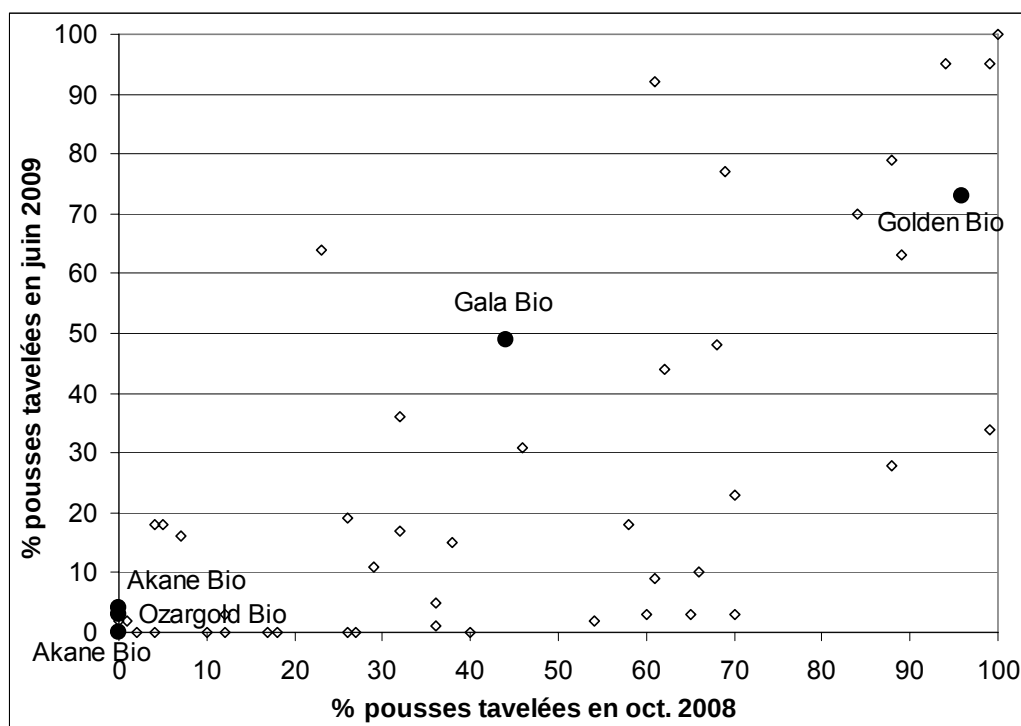


Figure 1 – Relations entre le pourcentage de pousses tavelées en octobre 2008 et le pourcentage de pousses tavelées en juin 2009 (51 parcelles)

2 STRATEGIES DE PROTECTION CONTRE LA TAVELURE ET L'OÏDIUM DANS LES PARCELLES BIOLOGIQUES DE L'EXPERIMENTATION « BIORECO »

Description et objectifs du dispositif expérimental BioREco

Le verger expérimental BioREco est situé sur le domaine INRA de Gothenon, dans la moyenne vallée du Rhône (climat semi-continentale avec influence méditerranéenne). Cet essai se situe dans un contexte d'absence de souches de tavelure virulentes vis-à-vis du gène Vf (gène qui confère la résistance à la tavelure), d'absence de feu bactérien, et de

pression du chancre européen très faible. Ainsi, les principales maladies pouvant nuire à la production de fruits biologiques sont la tavelure, l'oïdium et les maladies de conservation (« gleosporioses »).

Le dispositif expérimental comporte 9 parcelles de pommiers d'environ 3700 m² chacune, plantées en janvier 2005. Trois variétés sont étudiées : Smoothie (clone 2832), Melrose (clone 2643) et Ariane (clone 6407). Les sensibilités aux 3 principales maladies présentes sur le domaine sont décrites dans le tableau 1.

Tableau 1 – Sensibilité aux maladies des 3 variétés

	Tavelure	Oïdium	« Gleosporioses »
Smoothie	Sensible	Sensible	Sensible
Melrose	Peu sensible	Sensible	Peu sensible
Ariane	Résistant Vf	Sensible	Peu sensible

Sensibilités d'après : Protection intégrée pommier-poirier, 2006, Ed. CTIFL

Trois systèmes de production ont été retenus :

*BIO : mode de protection et de production selon les règles de l'agriculture biologique (AB : règlement CEE n° 2092/91 modifié et CEE n°834/2007).

*ECO et RAI, deux modalités de protection en production conventionnelle, dont une économe en intrants.

Les trois systèmes n'utilisent que des spécialités autorisées sur pommiers en France pour l'usage qui en est fait.

Un des objectifs de l'étude est d'appliquer en verger des méthodes de protection contre les maladies permettant de réduire, *a priori*, l'utilisation des fongicides. L'efficacité (partielle) des méthodes de protection intégrées dans le dispositif doit avoir déjà été démontrée auparavant. L'originalité de ce travail est donc de mettre en œuvre l'association de méthodes de protection au verger, et d'en réaliser une évaluation la plus complète possible.

Seuls les résultats concernant les 3 parcelles du système BIO sont présentés dans ce document.

Matériel et méthodes, règles de décisions pour les parcelles biologiques

Les 3 parcelles biologiques sont conduites de façon équivalente pour les facteurs de production autres que la protection. Le verger est conçu de manière à obtenir un verger aéré moins favorable au développement des maladies :

- distances de plantation « élevées » (5 m entre rangs et 2 m entre arbres) ;
- porte-greffe « faible » (PI80) ;
- conduite centrifuge permettant une bonne porosité de la frondaison.

Les règles de décision concernant la gestion de la tavelure sont résumées dans le tableau 2.

Tableau 2 – Stratégies de protection contre la tavelure pour les 3 parcelles biologiques

	Prophylaxie	Stratégie fongicide (Brun <i>et al.</i> , 2008)	Seuil d'arrêt de la protection en fin de contamination primaire
Smoothie	Balayage/Buttage (Gomez <i>et al.</i> , 2005)	Préventive sur tous les risques de contamination	≤ 2% de feuilles tavelées
Melrose		Préventive sur certains niveaux de risques (selon propositions Olivier)	
Ariane		Stratégie durabilité résistance Vf	

La gestion de l'oïdium est basée sur la suppression des organes oïdiés primaires lors des opérations culturales en verger (taille, extinction artificielle, éclaircissage manuel). Ensuite la décision d'intervention fongicide est prise si le seuil de 5% de feuilles oïdiées est dépassé. Ce seuil est basé sur un contrôle sur 100 pousses (5 dernières feuilles sous la dernière feuille déroulée).

Aucune protection fongicide n'est réalisée contre les maladies de conservation. Chaque intervention fongicide n'est réalisée qu'avec une seule matière active (cuivre du sulfate, soufre micronisé ou soufre polysulfure).

Quelques résultats et discussion

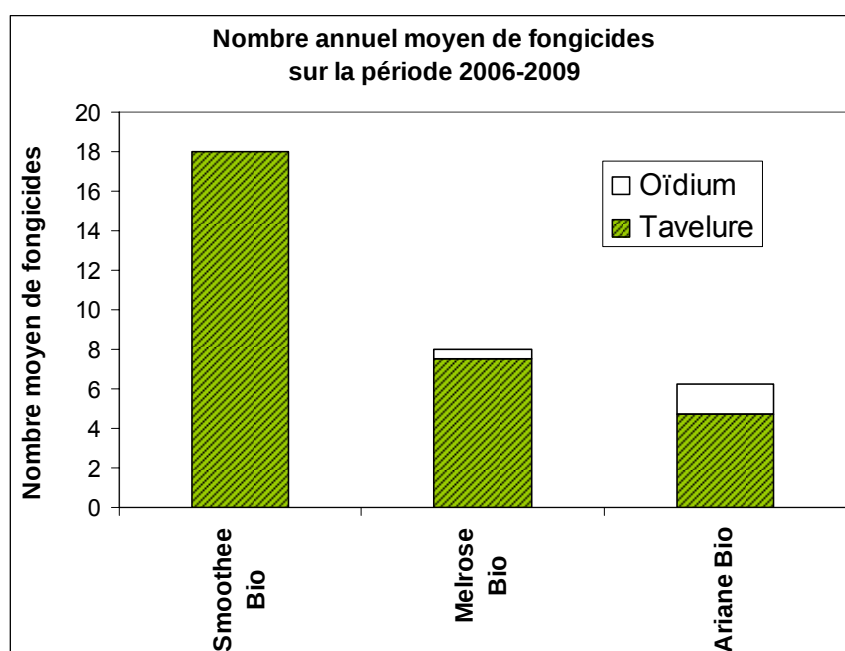


Figure 2 – Nombre annuel moyen de fongicides sur la période 2006-2009

La pression tavelure a été forte dès 2007 pour Smoothee, induisant la poursuite de la protection fongicide en phase estivale contre les contaminations secondaires en 2007, 2008 et 2009. Pour Smoothee, on observe 0.3% de fruits tavelés à la récolte 2007, 7.5% en 2008 et 3.4% en 2009. Pour Melrose, la protection fongicide n'a été poursuivie en phase estivale qu'en 2009. On observe 4% de fruits tavelés à la récolte 2008, et 1.1% en 2009. Ariane est pour l'instant toujours indemne de tavelure sur le site de Gothéron.

Le choix variétal a un fort impact sur la facilité de gestion de la tavelure, et sur le nombre de fongicides nécessaires pour assurer une production commerciale.

Les résultats seront également analysés en termes de coûts des stratégies de protection contre les maladies.

BIBLIOGRAPHIE

- > BRUN L., DIDELOT F., PARISI L., 2008 – Stratégies innovantes contre la tavelure du pommier. Conception, évaluation et intégration en vergers à l'INRA : sept ans d'expérimentation. Phytoma, n°612, 10-15.
- > GOMEZ C., BRUN L., CHAUFFOUR D., DE LE VALLEE D., 2005 - Tavelure en verger de pommier. Le ménage d'automne c'est mieux avec. L'arboriculture fruitière, n° 592, 23-26.
- > GROS Ch., TOUBON J.-F., BRUN L., PLENET D., 2009 – Démasquer la tavelure dissimulée sur feuilles en vergers de pommiers. Pister les inoculums de fin de contamination primaire et d'automne pour raisonner la protection. Phytoma, n°624-625, 9-12.

SENSIBILITES VARIETALES : BILAN DU RESEAU DE VERGERS SEMI-EXTENSIFS

Claude-Eric Parveaud¹, Christelle Gomez¹, Gilles Libourel¹, Lionel Romet¹, François Warlop¹, Laurent Brun², Sylvaine Simon², Didier Pouzoulet³, Alain Delebecq⁴, François Laurens⁵, Sandrine Oste⁶, Ludovic Tournant⁶

¹ Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, Domaine de Gotheron, 26320 Saint-Marcel-les-Valence, claudeferic.parveaud@grab.fr ; ² INRA UERI Gotheron ; ³ CIREA ; ⁴ GABNOR ; ⁵ INRA Angers ; ⁶ Fredon Nord-Pas-de-Calais

RESUME

Afin d'identifier des variétés de pommes et poires adaptées à une conduite en agriculture biologique à faible intrants, un programme d'évaluation de la sensibilité aux bioagresseurs de 36 variétés de pommiers et 8 variétés de poires a été mis en place en 2002. Ce document présente les travaux concernant les vergers de pommiers. Grâce au soutien financier du Ministère de l'Agriculture, quatre vergers de pommiers semi-extensifs conduits en agriculture biologique ont été installés dans des conditions pédoclimatiques variées. Ce programme coordonné par le GRAB et l'INRA d'Angers a été réalisé en partenariat avec l'INRA de Gotheron (26), le CIREA (47) et le GABNOR (59). Les suivis réalisés concernent (1) l'évaluation de la sensibilité aux bioagresseurs des variétés, (2) la description de l'architecture des arbres et son implication sur la conduite du verger, (3) l'estimation du rendement et de sa variabilité inter-annuelle, (4) l'évaluation de la qualité des fruits et (5) leur aptitude à la conservation. Des variétés ayant une faible sensibilité aux pucerons et à l'oïdium ont été identifiées. Le contournement de la résistance à la tavelure des variétés portant le gène de résistance *Vf* a été observé sur un site. L'observation du comportement agronomique des variétés durant plusieurs années a mis en évidence les avantages et les limites des variétés évaluées. La sensibilité variétale aux bioagresseurs et sa variabilité inter-annuelle et inter-site seront discutées durant la présentation orale.

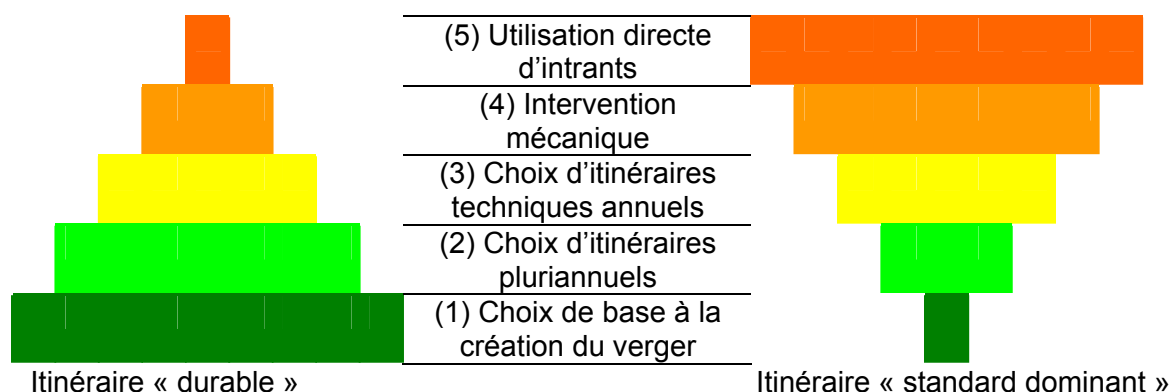
INTRODUCTION

Les méthodes courantes de sélection variétale sont basées sur des critères de rendement, de qualité et de conservation des fruits, et d'appréciation des consommateurs. Etant donné la forte présence de la tavelure dans les zones de production et l'intensité des dégâts provoqués, la sensibilité à cette maladie a été intégrée aux critères de sélection depuis plusieurs années. En revanche, la sensibilité aux pucerons et à l'oïdium est encore très rarement considérée. D'une manière générale, la sensibilité à l'ensemble des bioagresseurs n'est pas considérée comme un critère décisif dans le processus de sélection classique. Or les bioagresseurs sont une des principales limites à la production de pomme dans les systèmes conduits en agriculture biologique ou à faible niveau d'intrants.

Par ailleurs, les possibilités de traitements curatifs sont très limitées en agriculture biologique ; la protection du verger est donc essentiellement assurée par des traitements préventifs. Le nombre de traitements réalisés sur une parcelle dépend fortement de la sensibilité du matériel végétal, de la pression des bioagresseurs et des règles de décisions mises en œuvre par le producteur. Ces éléments expliquent la mise en œuvre de stratégies de protection basées sur un grand nombre d'interventions phytosanitaires en vergers de pommier conduits en agriculture biologique.

Une des clefs du contrôle des bioagresseurs dans les vergers de pommes biologiques est le choix des variétés plantées (Trapman et Janssonius, 2008). Dans ce contexte, la sélection de variétés peu sensibles aux bioagresseurs apparaît comme une des premières solutions permettant d'envisager la conduite de vergers économiquement viables à faible niveau d'intrants (figure 1).

Figure 1 : Représentation schématique des différentes catégories de moyens pour assurer la viabilité d'un verger (source : adapté du FiBL)



1 UN PROGRAMME MULTISITE

L'objectif premier de ces travaux est de quantifier la sensibilité de plusieurs variétés de pommiers aux principaux bioagresseurs dans des systèmes de conduites en agriculture biologique à bas niveau d'intrants (Gomez et *al.*, 2006). Etant donné la variabilité de l'expression de la sensibilité variétale en fonction des conditions pédoclimatiques et de la zone géographique (avec ou sans contexte de contournement de résistance), quatre vergers expérimentaux ont été mis en place en 2002 dans quatre zones de production : la Drôme (site de l'INRA de Gothenon), le Nord (lycée agricole de Genech), le Lot-et-Garonne (CIREA) et le Vaucluse (GRAB). Les vergers expérimentaux supports de cette action sont qualifiés de « vergers semi extensifs » car l'ensemble de la conduite du verger est raisonné en vue de limiter les intrants. En effet, la protection phytosanitaire est raisonnée à partir d'observations des populations de bioagresseurs réalisées sur les vergers et des risques climatiques. Les méthodes de prophylaxie sont mises en œuvre prioritairement aux actions de protection directe. Ces dernières ne sont par ailleurs utilisées qu'en périodes à haut risque et le nombre d'applications de certains produits est limité, par exemple le cuivre et la roténone, avec au maximum une application annuelle. Enfin, les autres interventions culturales (entretien de la ligne de plantation, taille, fertilisation) sont limitées en nombre ou en temps de réalisation.

Le choix initial des variétés testées a été guidé par la rusticité globale et la qualité gustative estimées. Des variétés anciennes et des hybrides Vf résistants à la tavelure ont été retenus (tableau 1). A travers le réseau des quatre parcelles, il s'agit également d'évaluer les intérêts et limites agronomiques à conduire des vergers dans des conditions semi-extensives (identification de problèmes techniques ou phytosanitaires à moyen terme).

		GABNOR	CIREA	INRA GOTHERON	GRAB
Variétés anciennes de Conservatoire	Cabarette *	X	X	X	X
	Reinette des Capucins *	X	X	X	X
	Provençale Rouge d'hiver **		X	X	X
	Pomme d'Adam **				X
	Pomme de Risoul **				X
	René Vert ***		X		
	De l'Estre ***			X	
	Court Pendu Gris du Limousin ***		X	X	X
	Azérolé Anisée ***	X	X	X	X
Variétés proposées par	Mutsu			X	X
	Coquette		X	X	X
	Reinette de Champagne		X	X	X
	Pinova	X	X	X	X

	Goldrush		X	X	X
	Topaz	X	X	X	X
	Ariane			X	X
	Florina	X	X	X	X
	Galarina (X4982)	X	X		X
	Initial	X	X	X	X
	Pitchounette (X3318)		X	X	X
	Verline		X	X	X
	Choupette				X
Hybrides proposés par l'INRA	X3263	X		X	X
	X3426	X	X	X	X
	X3454	X	X	X	X
	X3460		X	X	X
	X6398		X	X	
	X6412	X	X	X	X
	X6807	X	X	X	X
	X7368	X	X	X	X
	X7523	X	X	X	X
	DL26	X	X	X	X
	DL32				X
	DL41				X
	DL44				X
	DL48				X

Tableau 1 : Variétés plantées dans les 4 sites d'étude en 2002 (Origine des variétés : * Conservatoire Nord-Pas-de-Calais, ** : Conservatoire Gap Charance, * : Conservatoire Aquitaine)**

2 OBSERVATION DE LA SENSIBILITE AUX PRINCIPAUX BIOAGRESSEURS

Tavelure

Certaines variétés anciennes sont peu sensibles : Reinette des capucins, de l'Estre, Cabarette et Provençale rouge d'hiver par exemple. Coquette l'est dans une moindre mesure. Sur le site du Nord, la plupart des variétés présente des dégâts en raison du contournement accéléré du gène de résistance Vf.

Puceron cendré

La sensibilité au puceron cendré de quelques variétés est présentée dans le tableau 2.

Tableau 2 : Sensibilité au puceron cendré de 18 variétés observées.

Sensibilité très faible	Sensibilité intermédiaire	Sensibilité élevée
Florina, de l'Estre, Pitchounette, Reinette des capucins, Pinova, Cabarette, X7368, X7523.	Initial, Topaz, Reinette champagne et X3263, X3460 et X3454	Provençale rouge d'hiver, Verline, DL26 et X6412

Oïdium

Les variétés les plus sensibles sont Florina et X7368. D'autres variétés présentent quelques dégâts selon la pression de l'année : il s'agit de Topaz et X3263. Les autres variétés présentent en général peu ou pas de dégâts, mais les niveaux de pression n'ont jamais été très élevés.

Carpocapse

L'effet de l'hétérogénéité de la répartition de la population de carpocapse dans la parcelle sur l'hétérogénéité des dégâts observés est difficile à évaluer dans ces dispositifs. Un classement de la sensibilité variétale à ce ravageur ne peut donc pas être proposé. En

revanche, l'augmentation des populations et des dégâts en 2009 sur le site de Gotheron (parcelle de faible superficie limitant l'efficacité de la lutte par confusion sexuelle) souligne l'intérêt d'un suivi à moyen terme pour évaluer ce type de verger semi-extensif et ses règles de décision dans la durée.

3 DES VARIETES ADAPTEES A UNE PRODUCTION A FAIBLE NIVEAU D'INTRANTS

Parallèlement à l'évaluation de la sensibilité variétale aux principaux bioagresseurs du pommier, des observations de l'architecture et du port naturel des arbres, du retour à fleur, du rendement, de la qualité des fruits et de leur conservation ont été réalisées. Une synthèse prenant en compte ces aspects (tableau 3) est présentée pour quelques variétés présentes sur le site de l'INRA de Gotheron.

Tableau 3 : Port de l'arbre, nombre de ramifications secondaires, bilan et remarques sur le comportement et l'intérêt agronomique de 5 variétés du dispositif expérimental.

Variété	Port de l'arbre	Ramifications secondaires	Bilan positif	Bilan négatif	Remarques
X 3263	Branches retombantes	Très bonnes ramifications secondaires	Très beau port, beau calibre, production régulière chaque année (intéressante en AB pour gestion éclaircissage et alternance), extinction facile à réaliser (bouquets bien répartis)	Moyennement sensible au puceron cendré, conservation moyenne (commence à être farineuse au bout de 2 à 3 mois)	Maturité début septembre, couleur rouge foncé-bordeaux
X 7523	Branches étalées à tendance érigées	Bonnes ramifications secondaires	Beau calibre, beau port (très bonne ramification), très faible sensibilité aux pucerons, bonne conservation jusqu'en janvier (4 mois)	Les fruits tombent facilement quand on les touche (disposés en grappe), problème de carpocapse car fruits groupés, forme angulaire des fruits	Fin septembre, rouge violacé sur fond vert tournant
Pitchounette X 3318	Branches étalées à tendance érigées	Bonnes ramifications secondaires	Beau port, petites feuilles et entre-nœuds courts donnant un aspect caractéristique, peu sensible au puceron cendré et à l'oïdium, très appréciée par la plupart des consommateurs (très parfumée), consommable dès la récolte et jusqu'à fin mars	Petit calibre, alterne, beaucoup de ramifications donc beaucoup de travail manuel à prévoir (éclaircissage)	Début à mi sept, bicolore, normalement commercialisée par un groupe de pépiniéristes (Novadi) mais sans club Naturianes
X 3460	Branches retombantes	Bonnes ramifications secondaires	Très beau port (très bonne architecture), sensibilité moyenne au puceron cendré, bon retour à fleur dans l'ensemble (intéressante en AB pour gestion éclaircissage et alternance), extinction facile à réaliser (bouquets bien répartis), belle coloration (rouge intense), beau feuillage, bonne conservation	Petit calibre	Début à mi octobre, bicolore, la variété la plus intéressante de la parcelle
Pinova	Branches étalées	Bonnes ramifications secondaires	Beau port, beau calibre, peu sensible au puceron cendré, très tolérante à la tavelure	Conservation moyenne (commence à être farineuse au bout de 2 mois), tendance à l'alternance	Fin août début sept, témoin référence, bicolore

Dans des conditions d'essai en région ventée, aucune variété greffée sur M7 ne peut se passer de tuteurage. Ce dernier est d'autant plus nécessaire que la variété a un bois rigide et un port érigé. Il est important de noter l'interaction entre le génotype et l'environnement, puisque selon les régions, les variétés ne présentent pas le même comportement et le même classement en terme de sensibilité variétale. Sur la parcelle du GRAB, les dégâts de campagnols sont nettement plus importants sur le porte-greffe PI80. De manière générale, les variétés anciennes testées présentent une entrée en production plus lente que des variétés classiques.

BIBLIOGRAPHIE

> TRAPMAN M. ET JANSONIUS P.J., 2008 – Disease management in organic apple orchards is more than applying the right product at the correct time. Colloque Ecofruit 2008. <http://www.ecofruit.net/2008/016-022.pdf>.

> GOMEZ C., LIBOUREL G., ROMET L., WARLOP F., BRUN L., SIMON S., POUZOULET D., DELEBECQ A., LAURENS F., OSTE S., TOURNANT L., 2006 - « Semi-extensive » orchards as a model for sustainable fruit growing. 12th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing, Weinsberg, Allemagne.

➤ Rapports finaux annuels des partenaires du projet

SITUATION ACTUELLE EN FRANCE DU CONTOURNEMENT DE LA RESISTANCE Vf PAR *VENTURIA INAEQUALIS* - PROPOSITIONS DE METHODES DE LUTTE ADAPTEES.

Frédérique Didelot⁽¹⁾, Luciana Parisi⁽³⁾, Gilles Orain⁽²⁾, Arnaud Lemarquand⁽²⁾, Bruno Le Cam⁽¹⁾,
François Laurens⁽⁴⁾, Valérie Caffier⁽¹⁾.

⁽¹⁾INRA Centre d'Angers-Nantes, UMR PaVé, 42 rue Georges Morel, BP60057, 49071 Beaucouzé cedex, France; ⁽²⁾INRA Centre d'Angers-Nantes, UE Horticole, 42 rue Georges Morel, BP60057, 49071 Beaucouzé cedex, France; ⁽³⁾INRA Centre d'Avignon, UERI, Domaine de Gothon, 26320 Saint-Marcel-lès-Valence, France; ⁽⁴⁾INRA Centre d'Angers-Nantes, UMR GenHort, 42 rue Georges Morel, BP60057, 49071 Beaucouzé cedex, France.

INTRODUCTION

La plupart des variétés résistantes aux maladies créées par les améliorateurs sont de type monogénique, c'est à dire que la résistance est due à un seul gène. Souvent ce type de résistance perd rapidement son efficacité au champ en raison de l'émergence de souches virulentes : on parle alors de contournement de la résistance. Les variétés de pommier portant le gène Vf de résistance à la tavelure n'échappent pas à cette règle. Le gène Vf a été introduit dans des variétés de pommier à partir du pommier ornemental *Malus floribunda* 821 (d'où le nom Vf, « V » pour *Venturia* et « f » pour *floribunda*). Ce gène de résistance a été utilisé dans les programmes de sélection aux Etats-Unis depuis le début du XXème siècle, puis, après la deuxième guerre mondiale, il a été utilisé intensivement dans les programmes de sélection en Europe. Les premiers contournements du gène Vf ont été observés il y a 20 ans (Parisi *et al*, 2004) en Allemagne et en Angleterre, puis ailleurs en Europe et très récemment aux Etats-Unis. Pour retarder au maximum le développement des souches virulentes, il est important de gérer les variétés résistantes Vf avec une stratégie de lutte adaptée (Trapman, 2006).

Nous vous présentons ici un historique et un état des lieux de la répartition géographique des souches contournant Vf en France. Nous exposerons ensuite les résultats d'une expérimentation que nous avons menée dans un verger où la variété Ariane (Vf + Vg) venait d'être contournée. Dans ce contexte particulier, nous avons testé l'hypothèse que l'association de la lutte fongicide raisonnée avec la prophylaxie pouvait retarder efficacement l'apparition de symptômes sur cette variété.

1 HISTORIQUE DES CONTOURNEMENTS DE Vf

La première souche de *Venturia inaequalis* contournant le gène Vf a été isolée en Allemagne près d'Ahrensburg, en 1989. Cette race de tavelure, nommée race 6 est capable d'attaquer les variétés de pommiers portant le gène Vf ainsi que le gène Vg (gène issu de Golden Delicious d'où sa dénomination "g", Parisi *et al* 2004), mais n'est pas capable d'attaquer *M. floribunda* 821, qui possède deux gènes de résistance (Vfh et Vf). Vfh n'a pas été transmis aux variétés récentes portant le gène Vf. En 1993 en Angleterre, des souches ont été isolées sur *M. Floribunda* 821 (Parisi *et al* 2004). Ces souches, capables de contourner Vf et Vfh (i.e. les 2 gènes présents dans *M. floribunda*) étaient incapables de provoquer des symptômes sur Golden Delicious, et ne contournaient donc pas le gène Vg. Ces souches ont été dénommées race 7 (Parisi *et al* 2004). Depuis, des souches contournant à la fois Vf, Vfh et Vg ont également été mises en évidence (tableau 1).

Tableau 1 : Pouvoir pathogène des races 1, 6 et 7 de *Venturia inaequalis* sur 4 variétés de pommier et sur *M. floribunda* 821. (D'après Parisi et al 2004)

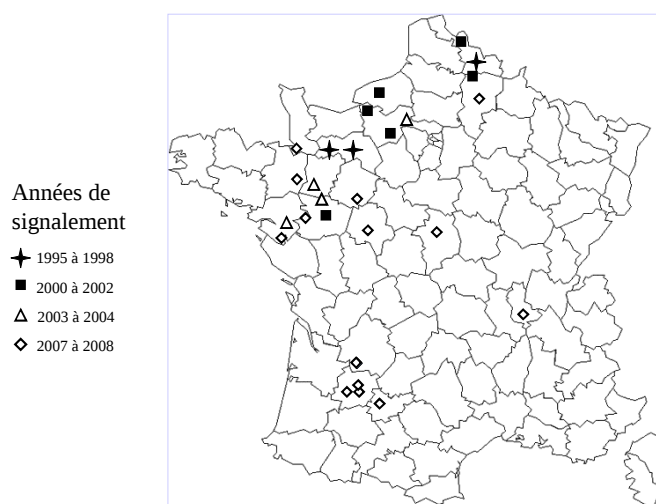
Races de <i>V. inaequalis</i>	Gala	Goden D (Vg)	Priscilla (Vf)	Prima (Vf et Vg)	<i>Malus floribunda</i> 821 (Vf et Vf ^h)
Race 1	S	S	R	R	R
Race 6	S	S	nt	S	R
Race 7	S	R	S	R	S
EUNL24*	S	S	nt	S	S

nt : non testée, S: sensible, R résistant; * : Souche isolée en 1998 aux Pays-Bas.

Le premier contournement du gène Vf en France a été observé en Normandie en 1995 sur la variété Judeline en vergers de pommier à cidre. Il s'agissait alors de la race 7. Par la suite, la présence de la race 6 a aussi été observée en Normandie (Parisi et al 2000). Dans le Nord de la France, les races 6 et 7 coexistent donc depuis les années 2000 environ (Figure1). Depuis nous avons observé des souches sur différentes variétés résistantes Vf sans réaliser systématiquement des tests permettant de déterminer leur race. Ces tests sont en effet très lourds à réaliser et n'apportent plus une information primordiale, car les variétés portant Vf et Vg peuvent être autant contournées que les variétés portant Vf seul, et les stratégies de lutte à mettre en place sont les mêmes pour les 2 types de race.

Actuellement en France (Figure 1) la région Nord et la Normandie sont très contaminées par les souches contournant Vf, ainsi que le grand Ouest (Pays de la Loire, Bretagne, Centre). Dans le Sud-Ouest et le Sud-Est, quelques cas de contournements ont été rapportés, mais ils restent pour l'instant plutôt localisés avec un niveau de maladie faible (quelques arbres atteints) et des mesures de contrôle de la maladie ont pu être mises en place (traitements systématiques de tous les risques de contamination l'année du contournement et l'année suivante) dans l'objectif de revenir à une situation « saine ».

Figure 1 : Répartition des sites d'échantillonnage de souches contournant le gène Vf en France de 1995 à 2008



2 EVALUATION DE METHODES DE LUTTE SUR LA VARIETE ARIANE DANS UN CONTEXTE DE CONTOURNEMENT RECENT

Malgré le risque de développement des épidémies liées à ces souches, il semble possible de retarder l'apparition de ce contournement en associant prophylaxie et traitements fongicides raisonnés en fonction de la quantité d'inoculum. La présence en 2004, de tavelure sur la variété Ariane dans un verger expérimental (Maine-et-Loire) nous a donné la possibilité d'expérimenter un protocole de traitement adapté (Caffier et al, in press).

Le verger se compose de 6 petites parcelles, chacune est constituée de 78 arbres répartis sur 6 rangs. De 2005 à 2008 trois d'entre elles n'ont pas été traitées (parcelles témoin). Les trois autres ont été traitées en stop ou curatif uniquement sur les risques de contamination de niveau moyen et grave (parcelles avec traitements réduits), avec des fongicides autorisés par le cahier des charges PFI du Val de Loire. Nous avons dû procéder à quelques traitements préventifs lorsqu'un traitement en stop semblait compromis et qu'une situation difficile s'annonçait : pluies sur une longue période, avant un week-end, accompagnées d'un stock d'ascospores important. En 2009, le protocole de traitement sur les 3 parcelles précédemment traitées est resté le même, mais le protocole a été modifié sur les 3 parcelles témoin afin de réduire le niveau de maladie qui était devenu important : ces 3 parcelles témoins ont été traitées sur tous les risques en suivant le cahier des charges PFI Val de Loire. Pour toutes les parcelles traitées de 2005 à 2009 nous avons associé un ramassage de litière foliaire en automne afin de réduire l'inoculum (Brun *et al* 2008). Pour les parcelles avec traitements réduits, le nombre de traitements anti-tavelure a été variable selon les années, avec un minimum de 5 traitements en 2006, et un maximum de 9 en 2008.

Des observations ont été réalisées sur l'ensemble des arbres, donnant le pourcentage d'arbres tavelés par parcelle. A la récolte, un échantillon de fruits a été prélevé sur chaque parcelle, et le pourcentage de fruits tavelés (dès la présence d'une tache de tavelure) a été estimé.

En 2005, de la tavelure a été décelée sur des arbres d'Ariane d'une parcelle voisine, mais aucune tache de tavelure n'est apparue sur les parcelles en expérimentation. En 2006 nous avons observé des taches uniquement sur les parcelles non traitées et en quantité très faible ; nous n'avons observé aucun fruit tavelé à la récolte (tableau 2). En 2007 la maladie a lentement progressé sur les parcelles témoins et a commencé à apparaître sur les parcelles traitées en très faible quantité. En 2008, la maladie a progressé fortement dans les parcelles témoin, et légèrement dans les parcelles traitées.

En 2009, la maladie a diminué dans les parcelles témoin suite aux traitements sur tous les risques, et a continué à légèrement progresser dans les parcelles traitées sur les risques moyens et graves. A la récolte le taux de maladie est inférieur à 2% sur les 2 types de parcelles (tableau 2).

Tableau 2 : Pourcentage de fruits tavelés à la récolte de 2005 à 2009 sur la variété Ariane dans un essai expérimental (Maine et Loire)

	Années					Année
Parcelle	2005	2006	2007	2008	Parcelle	2009
Traitement réduit	0%	0%	0%	0.2%	Traitement réduit	1.8%
Témoin non traité	0%	0%	1.1%	35%	Témoin traité	0.1%

Traitement réduit : ramassage de litière et traitement des risques moyens et graves.

Témoin non traité : absence de prophylaxie et de traitement anti-tavelure.

Témoin traité : ramassage de litière et traitement de tous les risques.

Ces résultats montrent la possibilité de retarder l'apparition de symptômes sur une variété résistante Vf par l'association de la prophylaxie et de traitements fongicides ciblés sur les risques majeurs d'infection, tout en réduisant d'environ 50% le nombre de traitements fongicides réalisés par rapport aux parcelles de production de variétés sensibles situées sur le même site.

CONCLUSION

Actuellement en France, la fréquence des souches contournant Vf est plus grande dans les régions Nord que dans les régions Sud. Cette situation est en évolution et la fréquence de ces souches est susceptible d'augmenter. On ne peut de toute façon plus considérer qu'il existe une aire de production de pommier encore indemne de souches contournant Vf en France. Même en absence de symptômes visibles de tavelure, il est donc important d'assurer une protection minimale sur tous les vergers plantés avec des variétés portant Vf, dans le but de retarder le contournement de la résistance.

Les résultats obtenus sur Ariane dans un contexte expérimental, donnent des arguments sur la possibilité de retarder l'apparition de symptômes sur cette variété, du moins dans les zones où les souches contournant Vf sont moins fréquentes. Des traitements doivent être appliqués entre le début du stade sensible (C-C3) et la fin des projections primaires, ils doivent être positionnés de façon à protéger le verger contre les principaux risques de contamination (graves et moyens). L'expérimentation présentée ici a été menée en verger conventionnel, mais des traitements ciblés sur les risques de contamination majeurs sont possibles en agriculture biologique, même si l'usage de fongicide en stop est difficile. (L Brun, présentation précédente). Dans cet essai, nous n'avons testé qu'une seule variété Vf. Les programmes de traitements à mettre en oeuvre sont probablement à adapter à chaque variété, en fonction de leur sensibilité à la tavelure une fois contournée. Dans tous les cas, il est important d'associer les traitements à des mesures prophylactiques de destruction de la litière foliaire : ramassage, broyage ou balayage/butage (Brun et al 2008).

Remerciements pour leur collaboration technique à Maël Baudin, Florian Blanchet, Christine Boursier, Danièle Chalain, Mélanie Colin, Pascale Expert, Jacqueline Gaudin et tout le personnel de l'unité expérimentale horticole de l'INRA d'Angers-Nantes, ainsi qu'à toutes les personnes ayant contribué aux échantillonnages.

L'expérimentation sur Ariane a été en partie financée par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche) dans le cadre du programme « Agriculture et Développement Durable », projet « ANR-05-PADD-005, Cedre ».

BIBLIOGRAPHIE

- > BRUN L., DIDELOT F., PARISI L. 2008 – Stratégies innovantes contre la tavelure du pommier. Conception, évaluation et intégration en vergers à l'INRA : sept ans d'expérimentation. Phytoma, n°612, 10-15.
- > CAFFIER V., DIDELOT F., ORAIN G., LEMARQUAND A., PARISI L. Efficiency of association of scab control methods on resistance durability of apple: the case study of the cultivar Ariane. IOBC wprs Bulletin. In press.
- > PARISI L., FOUILLET V., SCHOUTEN H. J., GROENWOLD R., LAURENS F., DIDELOT F., EVANS K., FISCHER C., GENNARI F., KEMP H., LATEUR M., PATOCCHI A., THISSEN J., TSIPOURIDIS C. 2004 - Variability of the pathogenicity of *Venturia inaequalis* in Europe Acta Horticulturae 663, 107-113.
- > PARISI L., DUREL CE, LAURENS F. 2000 - First report on the presence of *Venturia inaequalis* race 7 in French apple orchards. IOBC wprs Bulletin.n°23, 99-104.
- > TRAPMAN, M. 2006 - Resistance management in Vf resistant organic apple orchards. IOBC wprs Bulletin. n° 29, 253-257.

ATELIERS THEMATIQUES

MERCREDI 9 DECEMBRE

ARBORICULTURE

EFFETS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA BIODIVERSITE, TENDANCES OBSERVEES AU BOUT DE 9 ANNEES D'OBSERVATIONS

LIBOUREL Gilles

GRAB (Avignon) ; gilles.libourel@grab.fr

INTRODUCTION

Ces éléments sont le résultat de suivis, sur un cas particulier des vergers de poirier en basse Vallée de la Durance.

Objectif :

Inventorier les éventuels effets positifs ou négatifs des pratiques en verger, sur la biodiversité et sur la qualité de l'environnement.

Les observations réalisées :

- oiseaux en 2000, 2001 et 2003
- arthropodes de la litière par berlèse et pièges au sol en 2002,
- activités biologiques des sols en 2003
- mycorhizes en 2004
- relevés botaniques en 2005
- observations lombrics en 2006 et 2007
- approche de la diversité fongique des écorces en 2008

Contexte général des parcelles :

- Toutes situées (sauf parcelle Grab) dans une même zone pédoclimatique entre Alpilles, Durance et petite Crau.
- Sols d'alluvions calcaires de la Durance.

Les parcelles 1 et 2 sont dans une zone plus sèche où la nappe phréatique est à plus de 6 m de profondeur. Les autres parcelles ont une nappe phréatique proche à 1 m de profondeur maximum. Les parcelles 3 et 4 ont des sols de nature tourbeuse (marais drainés dans les années 50).

- Climat méditerranéen :

75 jours de pluie par an en moyenne, principalement en automne et au printemps pour 600 mm environ.

Hiver doux et sec (fortes amplitudes)

Été chaud et sec

100 jours de vent/an dominant nord sec et frais

Insolation 2000 à 2500 heures/an

Description des parcelles :

Ces parcelles peuvent être regroupées par proximité géographique (et de type de sol) de la façon suivante: 1 et 2, 3 et 4, 5 avec 6 et 7.

Parcelle 1 : AB. plantation est-ouest ½ ha

Nord et sud : haie de cyprès de semis et lierre dans la partie basse

Ouest : talus puis route. Pruniers abandonnés sur le talus

Est : berge puis canal. Berge avec végétation spontanée. Frêne oxyphylle, repousses d'ormes, genêts, aubépines, ronces...

Parcelle 2 : **Raisonnée.** plantation nord-sud 1ha
séparée de la parcelle 1 par le canal
Nord et sud: peupliers d'Italie et lierre
Ouest et est: berge puis canal. Berge avec végétation herbacée basse

Parcelle 3 : **Biodynamie.** plantation est-ouest. Parcelle très allongée 0,6 ha
Nord : haie très claire et diversifiée cyprès, frêne, lierre, hêtre, cornouiller, noyer, ronce, clématite
Sud : prairie permanente
Ouest : haie de thuya, ronces, noyer
Est : bord de route. Un grand platane. Un canal de l'autre côté de la route
A noter présence de sureaux dans le verger

Parcelle 4 : **Raisonnée.** 2 ha environ. Plantation est-ouest
Dans la zone au-delà du canal cité pour la parcelle 3
Nord et sud: haie de cyprès de semis non taillée, très épaisse avec ronce, lierre, clématite
Ouest : habitation
Est : noyers et merisiers épars
A noter un entretien très extensif.

Ensuite, les parcelles 5, 6 et 7 sont très proches voire contiguës

Parcelle 5 : **parcelle abandonnée** 0,07 ha. Remise en culture en 2005
Nord : pommiers entretenus
Sud : haie de frêne, noyer, saule, ronce,...
Ouest : pruniers entretenus
Est : haie de thuya taillés

Parcelle 6 : **AB.** Plantation est-ouest 0,4 ha environ
Nord : haie de frêne, ronce
Sud : route
Ouest : chemin
Est : haie jeune cyprès

Parcelle 7 : **AB.** Plantation nord-sud 0,7 ha environ
Nord : haie composite très diversifiée très épaisse
Sud : cyprès de semis et lierre, et parcelle de prunier
Ouest : pommiers
Est : haie diversifiée et autres poiriers

Les parcelles 6 et 7 ont le même exploitant à partir de 2006, donc à partir de cette date les opérations d'entretien sont identiques

Parcelle GRAB : AB faible intrant, faible densité. Plantation est ouest 1ha environ
Nord: cyprès de semis, mûriers, lierre...
Sud: route puis grands platanes
Ouest: cyprès de semis, lierre
Est: ripisylve, chêne pédonculé, peuplier blanc, cornouiller, cannes de Provence...

Cette dernière parcelle a été rajoutée en 2006 comme référence de faible intervention après la remise en culture de la parcelle 5.

RESULTATS

1 Au niveau ornithologique en 2000, 2001, 2003 :

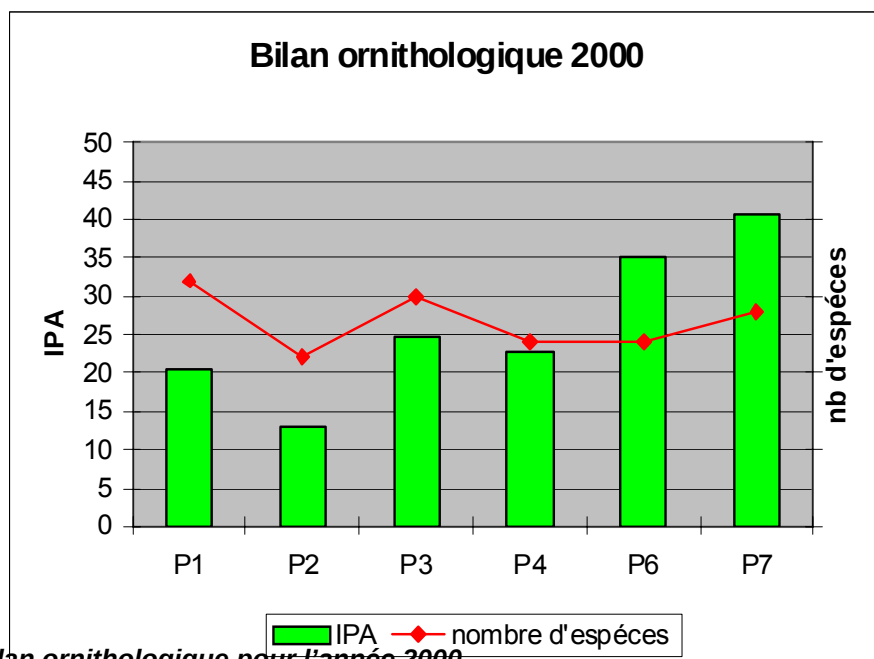


Figure 1 : Bilan ornithologique pour l'année 2000

Le graphique ci dessus représente la somme des observations hiver-printemps-été 2000. Le nombre d'espèces rencontrées par site en juin 2001 varie de 8(P2) à 22(P6 et 7) les parcelles 1, 3 et 4 sont respectivement à 20, 19 et 19. A la même date, une autre parcelle hors réseau habituel et peu favorable (pas de haies) aux oiseaux n'arrive qu'à 5 espèces, avec cependant la plus forte présence de Chardonneret élégant.

En mars 2003 une série de 4 observations a encore été effectuée:

	P1	P2	P3	P4*	P5	P6	P7
Nb d'espèces	14	16	13	12	7	9	16
Nb d'individus	144	58	115	29	39	56	61

*: 1 date d'observation sur 4 a été perturbée par la présence du chantier de taille.

Les résultats peuvent paraître contradictoires mais en fait la différenciation selon le mode de culture se fait en été. Les différences n'apparaissent pas en hiver et au début du printemps. Les observations de mars 2003 ont relevé des échanges importants entre la ripisylve de la parcelle 1 et la parcelle 2, notamment pour la mésange à longue queue que l'on retrouve dans la parcelle 7 (1 et 7 étant les 2 seules parcelles possédant une haie diversifiée de feuillus épaisse et « tranquille »)

Les observations confirment l'importance de haies épaisses, connectées et diversifiées.

Le mode de culture a également son importance car l'Inra Avignon(Bouvier et al) a prouvé que le nombre de jeunes mésanges à l'envol (nids dans le verger) est décroissant selon le type de traitements effectués: AB, conventionnel en confusion, conventionnel sans confusion, et ce dans le même secteur que nos parcelles. La diminution du nombre de coupes de l'herbe est probablement favorable par la présence accrue de graines et d'insectes.

2 Au niveau arthropodes du sol en 2002 :

Résultats pièges au sol

(les staphylinidés ne sont pas en effectifs suffisants pour permettre une analyse)

Nbre individus	P1 AB	P2 Rais.	P3 Biodyn.	P4 Rais.	P5 Abandon	P6 AB	P7 AB
Carabes	89	218	18	37	4	22	24
Aranéides	18	3	46	24	39	22	18

Nbre familles	P1 AB	P2 Rais.	P3 Biodyn.	P4 Rais.	P5 Abandon	P6 AB	P7 AB
Carabes	8	7	7	7	2	3	9
Aranéides	6	1	8	8	9	9	3

On voit un effet probable de la nature des sols (+ sec) favorisant les carabes sur les parcelles 1 et 2. Par contre sur p2, le fort effectif de carabes (sans augmentation du nombre de familles) et la faible occurrence d'aranéides est le signe d'un déséquilibre important.

Sur le doublon 3/4 le nombre de familles est identique mais les effectifs sont inversés entre les 2 parcelles, avec plus d'aranéides mais moins de carabes dans le verger en biodynamie.

Sur les 3 dernières parcelles enfin : les effectifs sont très proches entre les p6 et 7, par contre, la parcelle abandonnée (5) est pauvre en carabe mais plus riche en aranéides. Au niveau des familles, bizarrement, le regroupement se produit entre les p5 et 6, et la p7 nous montre une répartition inversée. Tout se passe comme si le nombre de familles était lié à la proximité géographique, et les effectifs aux pratiques agricoles (les p5 et 6 ne sont séparées que par une haie).

Il se confirmerait par ces observations que les aranéides seraient indicateurs de situation peu perturbées.

Résultats par extraction Berlese de la faune de la litière.

Total de 2 prélèvements	P1 AB	P2 Rais.	P3 Biodyn.	P4 Rais.	P5 Abandon	P6 AB	P7 AB
Effectifs totaux	536	226	1073	423	1120	790	616
Nb taxons	25	18	29	26	25	30	29

57 taxons ont été répertoriés sur l'ensemble des parcelles. A noter une chute d'effectif très importante entre les 2 prélèvements sur la parcelle 7 suite à un fauchage (548 à 68).

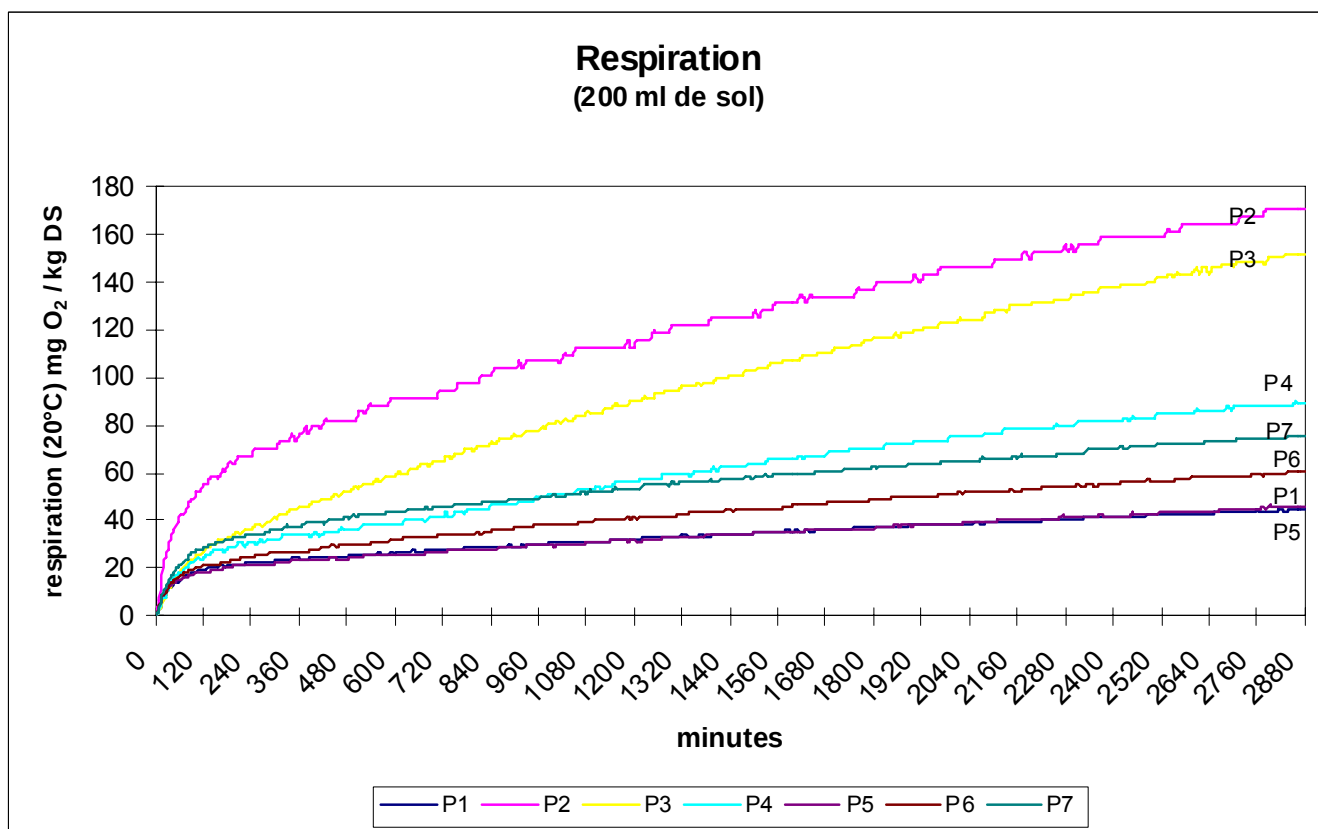
Une parcelle se détache à nouveau nettement de son doublon mais également de l'ensemble des parcelles. Il s'agit de la parcelle 2 avec à la fois moins d'effectifs et moins de taxons. La norme des parcelles se situe donc entre 25 et 30 taxons.

Une différence « significative » apparaît entre les parcelles 3 et 4, mais seules des hypothèses explicatives peuvent être avancées (produits phytosanitaires, types d'enherbement, pratiques d'entretien du sol...).

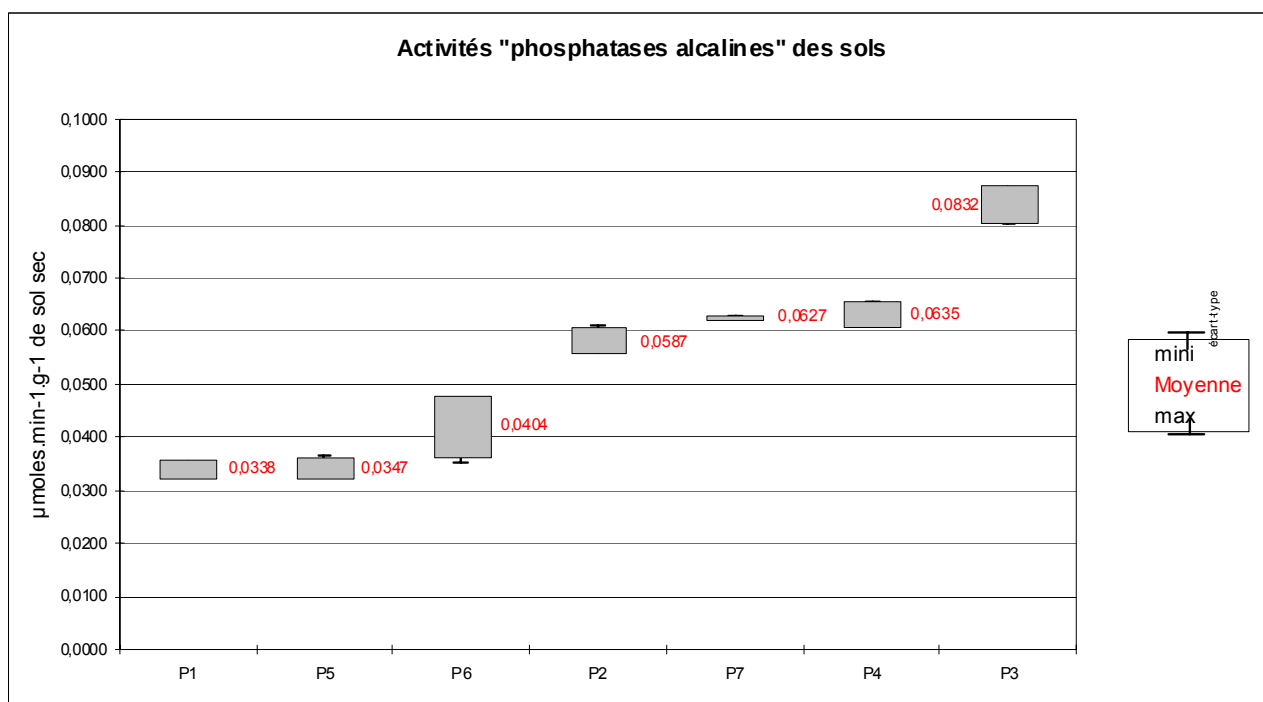
Les parcelles 6 et 7 sont très comparables, par contre, la parcelle 5 (abandonnée) présente des effectifs élevés mais sans diversité supplémentaire (en fait les fourmis sont très dominantes), cependant, la faune est nettement différente.

3 Au niveau activités microbiennes du sol en 2003

Respirométrie



Phosphatase alcaline



Résultats FDA hydrolase

(Graphique non présenté, proche des « phosphatases alcalines »)

La parcelle 3 présente toujours des activités biologiques très élevées à l'opposé des parcelles 1 et 5 situées dans les valeurs les plus faibles.

Les parcelles 4, 6 et 7 sont toujours dans les valeurs centrales avec un avantage pour la N°4.

La parcelle 2 est atypique avec des analyses enzymatiques cohérentes entre elles mais totalement différentes de la respirométrie dont les valeurs sont très élevées.

Les activités biologiques, du moins les méthodes de mesures utilisées ici semblent corrélées fortement au taux de MO de l'analyse classique, ce qui explique les positions favorables des parcelles 3 et 4.

Pour les parcelles 1 et 5, l'absence d'irrigation (irrigation goutte à goutte pour parcelle 1) entre les roues du tracteur (zone de prélèvement) semble les pénaliser fortement, bien que l'ensemble des mesures soient faites après réhumectation comparable de l'ensemble des échantillons. La faiblesse voire l'absence d'apports organiques « rapides » (engrais, végétaux verts de fauche) peuvent également expliquer la faiblesse des activités biologiques.

Pour la parcelle 6, ce dernier point peut également être pris en compte au niveau des pratiques de l'agriculteur. De plus, le taux de calcaire total est particulièrement élevé pour cette parcelle, comme pour les parcelles 5 et 7.

Concernant la parcelle 2, il semble qu'elle fasse ressortir une différence d'information entre les méthodes d'analyses utilisées. La respirométrie utilisée ici faisant ressortir une activité instantanée, alors que les enzymes sont des indicateurs stockés d'activités biologiques.

Les fauches plus fréquentes et l'utilisation d'engrais azotés minéraux peuvent éventuellement expliquer cette explosion d'activité dans la mesure respirométrique. Il est vrai que l'analyse classique de la parcelle 2 présente le C/N le plus bas.

4 Au niveau des mycorhizes en 2004

Observation du taux de mycorhization du sol de chaque parcelle à 2 profondeurs différentes (0-20cm , 30-40cm) et en 2 localisations (entre les passages de roues au centre de l'inter rang, et sur la ligne de plantation).

Les mycorhizes sont des champignons associés aux racines des végétaux, ils puisent des minéraux inaccessibles pour la plante en échange de produits de la photosynthèse. Cette association est une des formes d'adaptation naturelle des végétaux à des milieux nutritifs pauvres. Elle est indispensable à une agriculture à faibles intrants.

Pour chaque modalité 4 répétitions géographiques ont été effectuées, soit 16 échantillons par parcelle. Chaque échantillon est mis dans un pot.

Les observations directes sur les racines de ligneux sont très difficiles car les opérations nécessaires pour rendre la racine translucide et donc observable, détruisent les hyphes mycéliens. Un semis de légumineuse a donc été effectué, pour estimer le potentiel d'endomycorhization du sol, à priori extrapolable aux rosacées.

Le tableau ci dessous donne les moyennes des pourcentages de longueur de racines mycorhizées par modalité, ou taux d'endomycorhization (TEM)

	parcelles							Moyenne par situation
	P1b	P2r	P3bd	P4r	P5a	P6b	P7b	

0–20cm	Sous le rang	16.0	28.8	23.1	18.3	21.0	34.8	32.1	24.9
	Inter rang	30.1	23.4	18.9	18.5	36.0*	27.0	21.7	25.1
30–40cm	Sous le rang	21.9	18.9	25.5	12.8	25.8	41.8	35.4	25.5
	Inter rang	22.3	28.8	15.0	32.4	25.9	35.2	30.5	27.2
Moyenne par parcelle		22.6	25.0	20.6	20.5	27.2	34.7	29.9	

- * nombre d'échantillon insuffisant.
- (b=biologique, bd=biodynamie, r=raisonnée)

Les parcelles 6 et 7 sont les plus anciennes en Agriculture Biologique (minimum 10 ans). Entre les autres parcelles aucune tendance ne semble se dégager, pas plus qu'entre les moyennes des situations.

Par ailleurs, pour la profondeur 0-20cm, la tendance générale (parcelles 2, 3, 6, 7) est à des valeurs inférieures pour l'inter rang par rapport au rang. Seule la parcelle 1 a une valeur supérieure. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que cette parcelle est la seule où les apports de P et K ont été pendant de longues années plutôt concentrés sur l'axe du rang. Or la richesse en P est un facteur limitant la présence des mycorhizes.

Le phosphore étant non lessivable, la tendance ne se retrouve pas à 30-40cm.

A la profondeur 30-40cm, on trouve également des valeurs inférieures pour l'inter rang (parcelles P 3, 6, 7) ou égales (P 1, 5). Par opposition, celles des parcelles 2 et 4 sont supérieures ; le facteur limitant la présence des mycorhizes sous le rang à cette profondeur reste à déterminer.

5 Au niveau botanique en 2005

Ce tableau fait la synthèse des espèces rencontrées entre 2 lignes d'arbres sur une longueur de 200 m sur 2 rangées (100m par rangée).

3			p1 ab	p2 r	p3 bd	p4 r	p6 ab	p7 ab
4	<u>NB TOTAL D'ESPECES</u>	77	35	30	35	30	25	20
	Nb total de vivaces	39	17	13	16	14	13	13
	Nb total d'annuelles	27	11	14	12	14	10	04
	Nb total de bisannuelles	8	04	02	05	01	01	01
	Nb total de familles	36	15	13	21	18	10	10
	Nb de fabacées	7	04	03	00	01	04	02
	Nb de poacées	14	08	07	06	07	06	07
	Nb d'astéracées	17	09	07	10	05	06	03

Espèces spécifiques de la parcelle :

P1 : 10 espèces. *Verbena officinalis*, *Epilobium hirsutum*, *Malva sylvestris*, *Lotus corniculata*, *Crepis vesicaria*, *Crepis sancta*, *Anagallis arvensis*, *Medicago arabica*, *Agrostis Sp*, *Aster squamatus*

P2 : 5 espèces. *Oxalis corniculata*, *Vicia cracca*, *Lactuca seriola*, *Polygonum persicaria*, *Chenopodium Sp*,

P3 :12 espèces. *Phragmites communis*, *Chelidonium majus*, *Carex Sp*, *Bryonia dioica*, *Artemisia verlotiorum*, *Cornus sanguinea*, *Humulus lupulus*, *Sambucus nigra*, *Lappa communis*, *Silybum marianum*, *Cardus Sp*, *Eupatorium cannabinum*,

P4 : 4 espèces. *Lythrum salicaria*, *Cardaria draba*, *Hedera helix*, *Euphorbia nutans*,

P6 : 1 espèce. *Sorghum halepense*

P7 : 0 espèce

Espèces communes ne se retrouvant pas sur une des parcelles :

P1 :
P2 : *Rumex crispus*
P3 : *Festuca arundinacea*, *Trifolium pratense*
P4 : *Picris echioides*,
P6 :
P7 : *Senecio vulgaris*

Cet inventaire permet déjà de faire ressortir de fortes particularités :

- La parcelle 3 est marquante par le nombre d'espèces (dont 12 spécifiques à la parcelle) et de familles rencontrées, et ce malgré l'absence de fabacées. Ceci peut s'expliquer par la conjonction d'un sol tourbeux très riche et d'un entretien soigneux de la biodiversité. Les espèces vivaces ligneuses en sont les révélateurs (bien que quelque peu encombrants). A noter que les inter-rangs de cette parcelle sont alternativement travaillés, contrairement à toutes les autres, ce qui peut expliquer partiellement la spécificité de sa flore.
- La parcelle 4 est sur le même type de sol que la 3, mais sans aucun travail du sol et avec désherbage chimique sur la ligne de plantation. Le lierre est bien caractéristique d'une absence de travail du sol que ne compense pas le désherbage chimique, par contre ce dernier maîtrise bien le houblon, le sureau et le cornouiller comparativement à la P3. On remarquera également la faible présence des fabacées, probablement due à la richesse de ces sols tourbeux. A noter dans cette parcelle le faible nombre de fauchages annuels qui participe probablement à un nombre d'espèces somme toute intéressant.
- Les parcelles 6 et 7 étaient les plus entretenues au moment de l'inventaire (surtout la 7). Le sol au pied des arbres était propre car récemment travaillé, et les inter rangs récemment broyés (très récemment pour la 7) pour les bois de taille, ce qui explique la faible diversité. On remarquera le faible nombre de bisannuelles, mais aussi d'annuelles pour la 7, qui pénalise la biodiversité au moment du relevé. A noter la présence de trèfle blanc uniquement sur ces 2 parcelles, ce qui semble confirmer la pratique de tontes régulières.
- La parcelle 1 se caractérise par un sol travaillé sur la ligne de plantation où certaines germinations spontanées sont au stade 1^{eres} feuilles à la date de l'inventaire. De plus, à l'automne 2003 un travail du sol 1 rang sur 2 entre les passages de roues a été effectué. Quant à la parcelle 2, la ligne de plantation est désherbée chimiquement, avec un travail de sol par an au printemps pour maintenir une rigole d'irrigation entre le passage de roue et la zone désherbée. Le nombre d'espèces légèrement supérieur de la 1 (avec 10 espèces spécifiques) pourrait être attribué au travail de sol en 2003. Par contre les annuelles plus nombreuses de la 2 sont surtout des annuelles d'été favorisées par le travail du sol de printemps.

6 Au niveau lombrics en 2006 et 2007

Observations et identifications des lombrics par sondages sur le terrain en 2006

Seules les moyennes par prélèvement des effectifs et du nombre d'espèces (ou diversité) sont présentées ici, pour le prélèvement du mois de mars. Les valeurs suivies d'une lettre indiquent les différences statistiques (Newmann-keuls 5%) entre parcelles.

- Parcelles 1 et 2 :

effectifs	P1 ab	P2 r
rang	13.5 a	5 b
inter rang	20.25	15.75

diversité	P1 ab	P2 r
rang	4	2.75
inter rang	5.5 a	3.75 b

Outre les interventions phytosanitaires, dont le désherbage chimique, les pratiques pouvant intervenir dans ces différences sont :

- l'irrigation est gravitaire sur P2, localisée au pied par goutte à goutte sur P1
- un travail du sol sur le rang est effectué 1 à 2 fois par an sur P2 et 2 à 3 fois sur P1
- les fauchages sont plus fréquents sur P2, d'où une Matière Organique plus cellulosique sur P1

• Parcelles 3 et 4 :

effectifs	P3 bd	P4a r	P4b r
rang	10.75	25	25.25
Inter rang	8 b	38.25 a	45 a

diversité	P3 bd	P4a r	P4b r
rang	2.5 b	3.75 ab	5.5 a
Inter rang	2 b	5 a	5.5 a

La parcelle 4, a été divisée en sous parcelles qui se différencient par un taux d'humidité très élevé pour P4a. Cette dernière est la plus ressemblante à P3. Globalement, pour ce trio, l'eau est très proche de la surface, d'où la réduction des sites refuges profonds notamment pour les anéciques.

Outre les interventions phytosanitaires, dont le désherbage chimique, la pratique pouvant intervenir dans ces différences est le travail du sol superficiel sur toute la surface une fois par an sur P1

• Parcelles 5, 6 et 7 :

effectifs	P5 ab	4.1.1 P 6 a b	P7 ab
Rang	1.25 b	8.25 a	8.5 a
Inter rang	9 b	25 a	21 a

diversité	P5 ab	4.1.2	P7 ab
Rang	0.75 b	3.5 a	3.5 a
Inter rang	3 b	5.25 a	5.5 a

La remise en culture avec labour profond de l'ancienne parcelle référence abandonnée (P5) est la seule pratique pouvant expliquer cette différence.

Il ressort de ces résultats, conformément à la bibliographie, l'effet très pénalisant du travail du sol sur les lombrics. Il semblerait cependant que l'hypothèse d'un impact -direct ou/et indirect- du désherbage chimique soit à retenir :

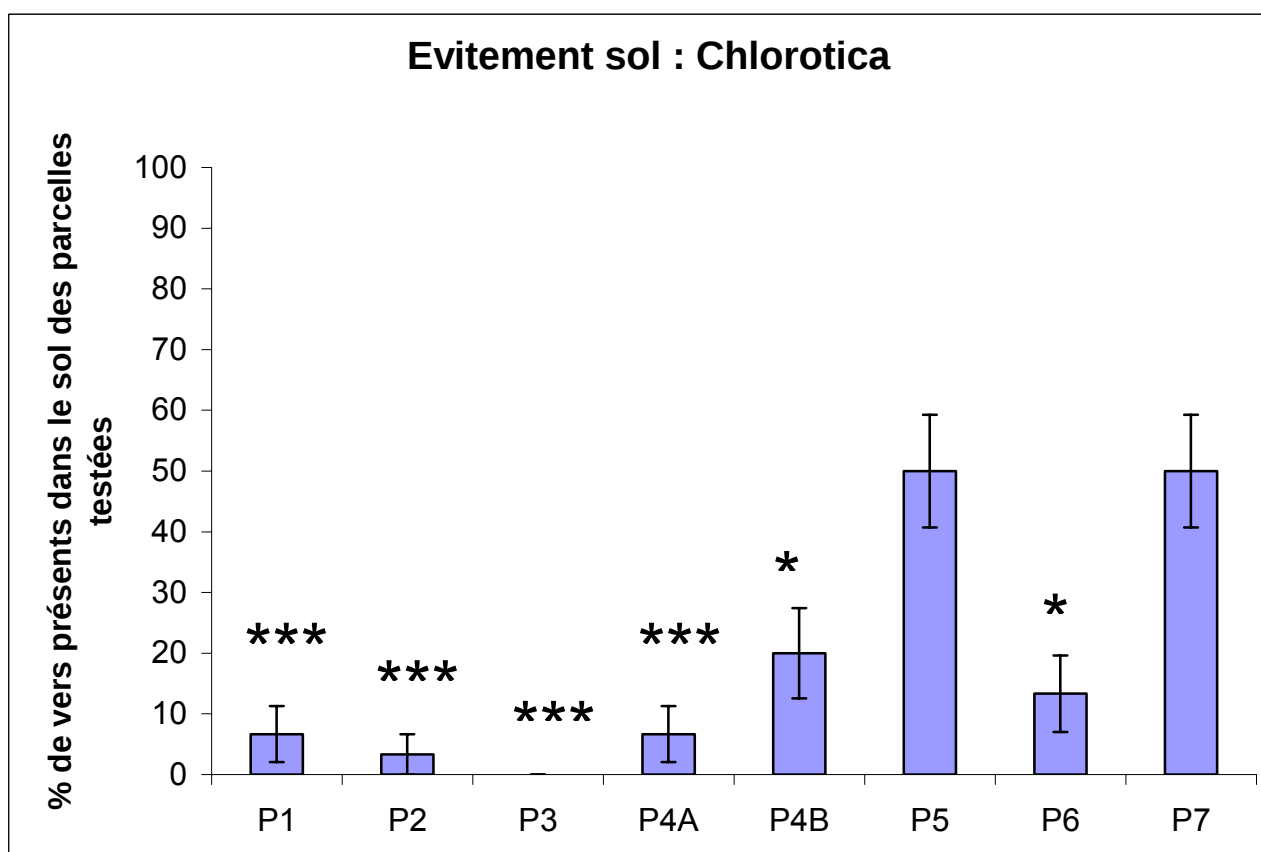
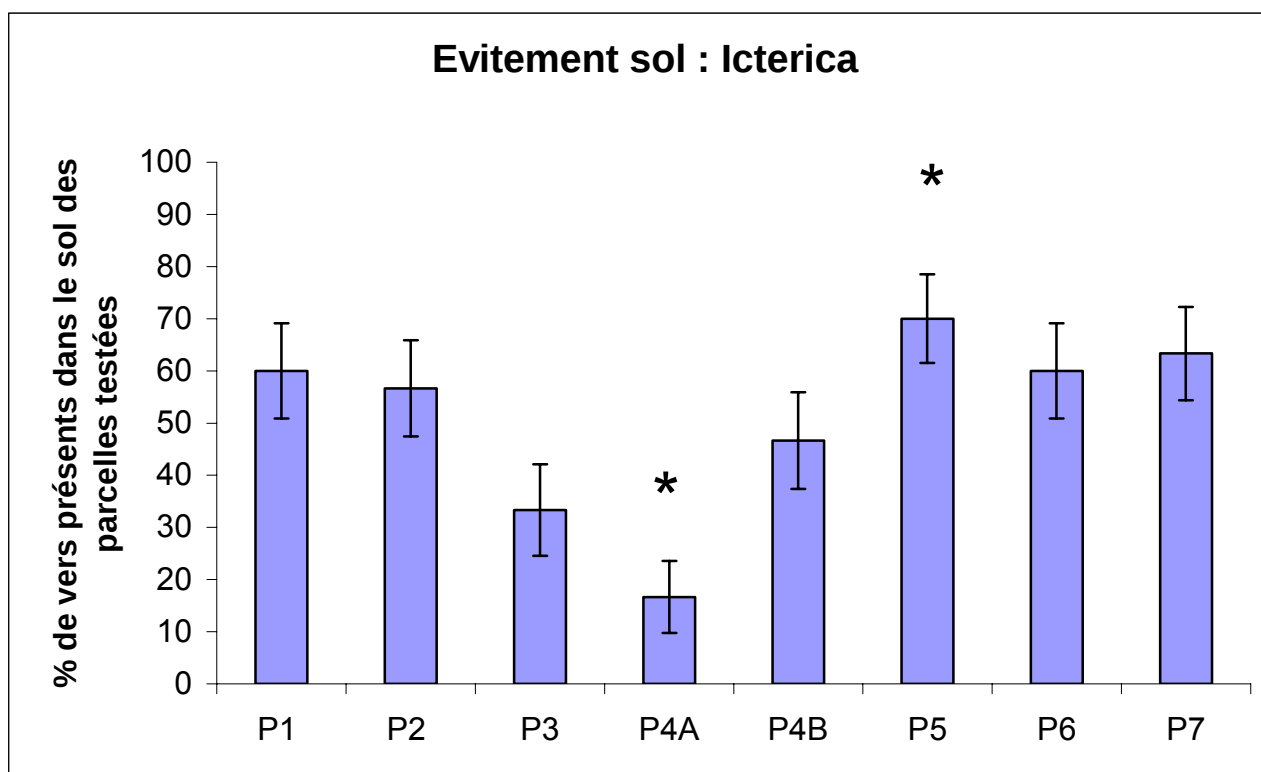
- pour la P2 (r), car la différence est significative avec P1 (ab) malgré un travail du sol comparable. De plus la baisse de populations par rapport à l'inter rang est nettement plus élevée en P2 (division par 3.1 contre 1.5)
- et pour P4a (r) (en comparaison de P4b(r)) notamment pour la diversité des anéciques, probablement pénalisés par le cumul humidité et désherbage.

Il est important de noter que toutes les parcelles, sauf P3 (bd) et 4(r), ont le plus souvent peu de végétation sur le rang d'où de faibles retours de Matière Organique pour les lombrics dans cette zone.

La baisse des populations observées entre mars et juin a été très importante. Aucune différence n'apparaît entre parcelles. Quelles que soient les pratiques d'entretien et d'irrigation, la baisse est toujours d'environ 80%. Le facteur déterminant semble être la température du sol.

Tests de préférence de sol en laboratoire en 2007

Les graphiques ci dessous présentent pour chaque espèce de lombric la moyenne et l'erreur standard des 5 répétitions du % de la population retrouvée dans la partie de sol testée. (statistique : test t de student ; * = $p < 0.05$, *** = $p < 0.01$)



- Parcelles 1 et 2 :

Les 2 parcelles ne se différencient pas entre elles, mais l'espèce *Chlorotica* préfère nettement le sol de la parcelle du GRAB alors qu'*Icteria* est indifférent. Les différences significatives de population observées sur le terrain entre les 2 parcelles ne sont donc pas intrinsèques au sol, mais plutôt liées aux pratiques agricoles

- Parcelles 3 et 4 :

Les tests d'évitement sont cohérents avec les observations de populations entre P4a et P4b, cette dernière ayant toujours un plus. Par contre P4 est globalement notée « répulsive » 3 fois sur 4 alors qu'il s'agit de la parcelle nettement la plus riche de tout le réseau initial. P3 n'est pas différente de P4a alors que les populations sur le terrain sont très inférieures. Le travail du sol régulier pourrait en être l'explication

Rappel : La parcelle 4, a été divisée en sous parcelles qui se différencient par un taux d'humidité très élevé pour P4a. Cette dernière est la plus ressemblante à P3. Globalement, pour ce trio, l'eau est très proche de la surface.

- Parcelles 5, 6 et 7 :

P5 est le seul sol significativement attractif alors que c'est la parcelle aux populations les plus faibles. Une seule pratique peut expliquer cette différence ; la remise en culture avec labour profond de cette ancienne parcelle référence abandonnée.

P7 est la seule parcelle qui ne se différencie jamais du témoin, c'est aussi la plus anciennement en AB.

P6 a désormais le même entretien que P7, mais différemment de cette dernière en situation de choix les lombrics *A. chlorotica* préfèrent le témoin Grab, alors que les populations sur le terrain sont identiques.

En résumé tous les sols semblent répulsifs en situation de choix pour *A. chlorotica*, sauf une parcelle abandonnée récemment remise en culture et une parcelle en AB depuis les années 70. Mais aucune corrélation n'apparaît avec le comptage des populations in situ.

Il ressort de ces résultats, conformément à la bibliographie, l'effet très pénalisant du travail du sol sur les lombrics, car cette pratique explique majoritairement les différences entre les observations labo et terrain.

Plus globalement, il semble que les lombrics sont un bio indicateur ne pouvant être pertinent qu'au terme d'un grand nombre d'observations lourdes. Le rapport entre lourdeur des manipulations et pertinence des indications fournies semble trop défavorable. Mais d'autres tests avec les lombrics sont peut être envisageables.

7 Au niveau des champignons sur écorces en 2008

Le 8 avril, dans chaque parcelle (en évitant les bordures) des raclures fines d'écorces (« mémoire » des pratiques notamment phytosanitaires) sont prélevées sur 4 arbres. Le prélèvement de chaque arbre est réparti, sous hotte à flux laminaire, sur 3 milieux différents (PDA, Malt Agar, Sabouraud) , soit un total de 12 boîtes de pétri par parcelle. Les milieux sont maintenus à 20°C.

Les lectures sont faites à j+3, j+7 et j+14. A j+7 et j+14, chaque champignon d'aspect différent est repiqué sur un milieu de culture neuf.

Une fois repiqués et développés les champignons sont classés par morphotypes (type de morphologie).

Analyses statistiques quantitatives :

Pour chaque milieu une analyse de variance (newman-keuls 5% sous stat-box) du nombre de morphotypes par arbre a été effectuée.

Les données issues du milieu Sabouraud ne permettent pas de différencier les parcelles.

Tableau 1 : Pour le milieu PDA une différence statistique apparaît :

PARCELLE	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
P1ab	6	A	
P3bd	4		B
P7ab	3,5		B
PGrab	3,25		B
P4r	3,25		B
P6ab	2,25		B
P2r	2,25		B

Tableau 2 : Pour le milieu Malt Agar une différence statistique apparaît également, avec un plus grand nombre de parcelles différenciées :

PARCELLE	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
P4r	5,5	A	
P1ab	5,5	A	
P3bd	4,75	A	B
PGrab	4	A	B
P2r	4	A	B
P7ab	3,25		B
P6ab	3		B

Tableau 3 : La même analyse de variance a été effectuée sur le nombre total de morphotypes identifiés sur les 3 milieux pour chaque arbre.

PARCELLE	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
P1ab	9	A	
P3bd	8,75	A	
P7ab	8,25	A	
PGrab	7,5	A	B
P4r	6,5	A	B
P6ab	5,25		B
P2r	5		B

Le **tableau 4** ci-dessous donne - à titre indicatif - le nombre de morphotypes différents trouvé par parcelle et par milieu :

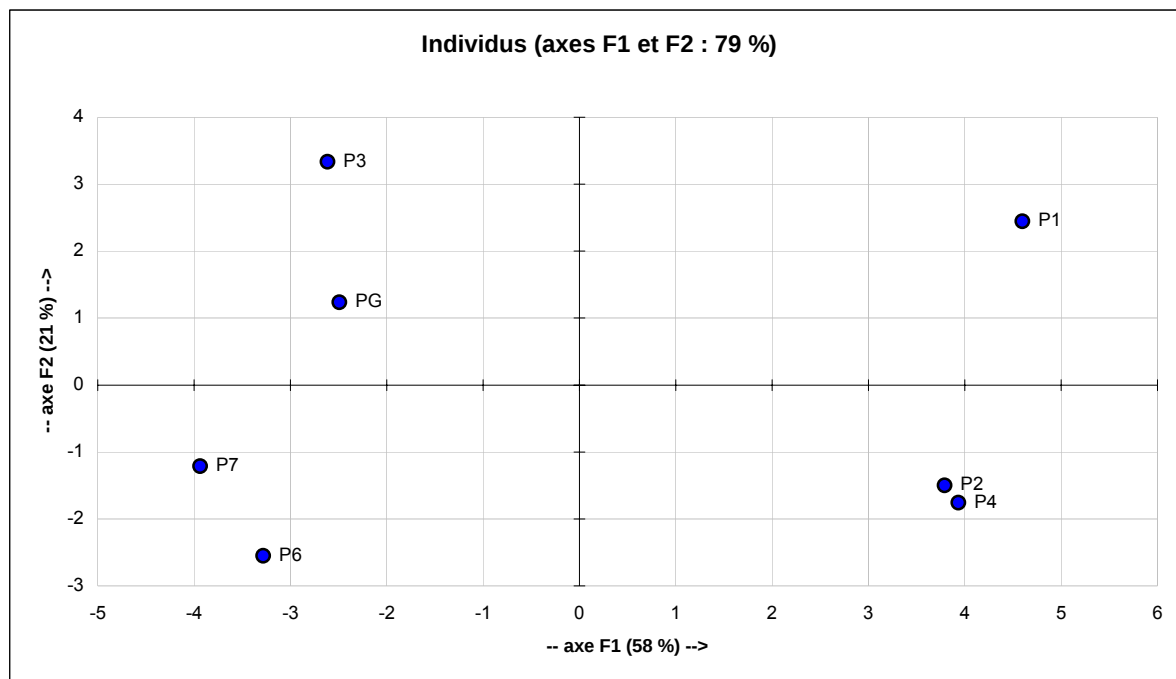
	P1a b	P2 r	P3b d	P4 r	PGra b	P6a b	P7a b
Sabouraud	9	3	9	6	8	6	12
PDA	10	3	7	6	9	4	6

Malt Agar	12	8	10	12	13	4	4
3 milieux	19	8	16	12	21	11	14

53 morphotypes différents ont été identifiés lors de cette expérimentation

Analyses descriptives et qualitatives :

Des analyses en composantes principales (ACP) ont été effectuées pour visualiser des regroupements éventuels de parcelles en fonction des morphotypes présents. L'ACP présentée ci dessous concerne le milieu PDA, car elle permet de représenter 79% de la variabilité (taux maximal de l'ensemble des ACP réalisées).



Les analyses quantitatives et qualitatives donnent des informations différentes :

L'ACP regroupe bien les 2 parcelles entretenues par le même producteur (6 et 7) alors que l'approche quantitative ne les rapproche pas (effet historique bio plus ancien de la parcelle 7 ?).

On remarquera que le seul regroupement géographique de l'ACP est celui des parcelles 6 et 7, ce qui confirme l'effet prépondérant des pratiques sur la localisation géographique dans le contexte de cette étude.

De même pour les 2 parcelles conventionnelles qui sont très proches sur l'ACP. Cependant dans ce cas les 2 parcelles ne sont statistiquement jamais dans un groupe différent bien que la parcelle 4 ait systématiquement plus de morphotypes présents que la parcelle 2.

Les 3 autres parcelles (P1, P3, Pgrab) se dispersent dans le graphique, avec une proximité relative entre la P3 et la Pgrab. La P1 est seule dans sa zone ce qui peut corroborer sa présence systématique dans le groupe statistique quantitatif le plus élevé. Il est notable que, malgré l'absence de fongicides, la parcelle Grab n'a pas de biodiversité fongique très supérieure aux autres parcelles. L'hypothèse la plus probable est son jeune âge, moins de 10 ans, alors que toutes les autres parcelles ont au moins 30 ans.

Une des autres variables explicatives est probablement la rigueur de l'entretien des vergers, avec 2 groupes à distinguer :

- entretien « standard » visant à maintenir le verger d'aspect propre, pour les parcelles 2, 6 et 7.
- entretien « allégé » visant à minimiser les interventions pour des raisons de coût et/ou de respect de l'écosystème, pour les parcelles 1, 3, 4 et grab.

Il pourrait être intéressant de vérifier l'hypothèse de la présence de communautés fongiques révélatrices de certaines pratiques phytosanitaires comme le laisse supposer le regroupement des 2 parcelles conventionnelles sur cette ACP, alors que les autres pratiques culturales sont très différentes entre ces 2 parcelles.

Par ailleurs il apparaît que les pratiques intensives, même avec des produits bios aboutissent à des réductions de biodiversité (parcelle 6 en particulier mais également la 7).

BILAN DES 9 ANNEES D'OBSERVATIONS

Les conditions pour maximaliser le service rendu par l'écosystème pourraient être celles-là :

- haies épaisses, broussailleuses, diversifiées et connectées entre elles,
- présence d'eau à proximité (canal, étang,...),
- végétation herbacée dans le verger peu fauchée,
- présence de « buissons » à l'intérieur du verger (noisetier, sureau,...),
- réduire la fertilisation phosphatée et favoriser les légumineuses,
- pratiquer ponctuellement le travail du sol en rangs alternés lorsque la flore s'appauvrit,
- minimiser les traitements d'assurance, privilégier les stops contre la tavelure. Se méfier du Spinosad.

EVALUATION DE L'ACTIVITE BIOLOGIQUE DU SOL EN VERGER BIOLOGIQUE ET CONVENTIONNEL

Laurent Jamar¹, Marc Aubinet², Marc Culot², Hugo Magein¹, Marc Lateur¹

¹ Centre wallon de Recherches Agronomiques, Dépt. Lutte biologique et Ressources phytogénétiques, B-5030 Gembloux, Belgium, jamar@cra.wallonie.be

² Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques, Laboratoire de Physique des Biosystèmes et Laboratoire d'Ecologie microbienne et d'Epuración des eaux, B-5030 Gembloux, Belgium, aubinet.m@fsagx.ac.be

RESUME

L'objectif de cette étude a été d'évaluer l'effet de sept années de culture fruitière sur certaines propriétés biologiques du sol de deux vergers, l'un conduit selon le mode de production conventionnel, l'autre selon le mode de production biologique. Les deux vergers ont été plantés en 2002, à Gembloux en Belgique, sur un site dont l'historique cultural est commun. En année '2' de l'étude (2003), le processus d'oxydation du méthane, un indicateur de l'activité microbiologique du sol, a été mesuré dans les deux vergers. En année '5' de l'étude (2006), l'activité microbienne globale du sol a été évaluée par mesure de la respiration basale (BAS), de la respiration induite par substrat (SIR) et du flux de CO₂ in situ (CDE). En année '5' et '7' (2006 et 2008), la biomasse et l'abondance de vers de terre, considérés comme des bio-indicateurs essentiels de la durabilité des agro-écosystèmes ont été évalués en parallèle avec la teneur en éléments chimiques du sol. Aucune différence significative du taux d'oxydation du méthane n'a été observée entre les deux types de verger en année '2'. En année '5', cependant, d'importantes différences d'activité microbienne ont été observées entre les deux vergers. Dans la plupart des cas au cours de la saison, les valeurs de BAS, de SIR et de CDE ont été significativement plus élevées dans le sol du verger biologique que dans le sol du verger conventionnel. De 2006 à 2008, les valeurs de la biomasse et de la densité de vers de terre enregistrées ont été faibles et même en diminution dans le verger conventionnel alors qu'elles ont été plus élevées et en croissance dans le verger biologique. Les analyses minérales du sol, par contre, n'ont pas montré d'importantes différences entre les deux systèmes de conduite de verger.

INTRODUCTION

Stimuler la fertilité biologique du sol et développer la micro- et macro-faune du sol sont des priorités en agriculture biologique (Mäder et al., 2002). Différents processus impliquant les organismes vivants du sol sont par exemple la fixation de l'N atmosphérique, le recyclage du carbone et des nutriments organiques en éléments disponibles pour les plantes, la réduction des organismes pathogènes du sol, la structure du sol, la décomposition des feuilles mortes. Le sol et son mode de gestion peuvent influencer le mode de croissance des plantes (Mäder et al., 2002) ainsi que leur tolérance aux maladies (Holb, 2006).

En analyse de gestion de sol, le vers de terre représente un bio-indicateur souvent utilisé d'une part car il est facile à identifier et d'autre part car il est très sensible aux paramètres physiques et chimiques du sol et donc aux pratiques agricoles telles que le travail du sol, l'abondance de résidus organiques, l'usage de fertilisants et de pesticides (Paoletti et al., 1998). Plusieurs études montrent que le vers de terre commun (*Lumbricus Terrestris*) participe notamment à la décomposition des feuilles mortes déposées sur le sol des vergers et peut réduire de ce fait significativement l'inoculum primaire de tavelure (Holb, 2006).

L'objectif de cette étude est de définir l'importance de l'activité biologique du sol en verger biologique et de comparer quatre approches méthodologiques entre-elles. Même si très peu de références existent dans ce domaine (Glover et al., 2000), les résultats obtenus pourront le cas échéant être confrontés avec ceux obtenus sur d'autres parcelles cultivées. Dans le

cas présent, ces observations ont été comparées à l'évolution de ces paramètres dans un verger voisin, conduit selon le mode conventionnel.

MATERIEL ET METHODES

L'expérience a été réalisée à Gembloux, en Belgique, sur deux vergers adjacents d'une superficie d'1 ha. Le premier est un verger de pommiers conduit selon le mode de production biologique alors que le deuxième est un verger de cerisiers conduit selon le mode conventionnel. Les deux vergers ont été plantés en 2002 sur porte-greffe nanifiant, sur un site commun dont l'historique cultural est identique. Dans le verger biologique, les fertilisants ont été du fumier de bovin, composté, ainsi que des engrais d'origine végétale (5% N) ; le contrôle des adventices a été réalisé avec une machine de désherbage mécanique. Dans le verger conventionnel, la gestion du sol a impliqué l'usage de fertilisants de type minéral (7/9/16) et des herbicides pour le contrôle des adventices (Paraquat et Diquat à 2 kg/ha trois fois par an, plus propyzamide à 1,5 kg/ha les années 5 et 6). Le contrôle des maladies a impliqué annuellement environ 3 kg/ha de cuivre et 40 kg/ha de soufre dans le verger biologique. Dans le verger conventionnel, la lutte contre les maladies a impliqué annuellement du cuivre (10 kg/ha) et du thirame (6 kg/ha) avec en plus du tolylfluanide (1,25 kg/ha) et fenhexamide (0,5 kg/ha) en année 5 et du captan (1,2 kg/ha) deux fois pendant la durée de l'étude. En ce qui concerne les insecticides, des pleines doses de virus de la granulose ont été appliqués deux fois par an dans le verger biologique et dans le verger conventionnel, du cyclofurine (0,015 l/ha), du pyrimicarb (0,345 l/ha) et du teletox (0,24 l/ha) ont été appliqués 4, 4 et 5 fois durant la totalité de l'étude, respectivement.

En année '2' de l'étude (2003), le processus d'oxydation du méthane du sol, indicateur de l'activité microbiologique du sol, a tout d'abord été mesuré dans les deux sols. Pendant l'année 5 (2006), l'activité microbiologique globale du sol a été évaluée sur trois paramètres (i) les flux de respiration de sols *in situ* sans modification du milieu, (ii) la respiration basale et (iii) la respiration induite d'échantillons de sol analysés en laboratoire.

Le flux de respiration de sol (CDE) *in situ* est le processus complexe par lequel le CO₂ est émis à la surface du sol. C'est le principe de la chambre fermée dynamique, mis au point par l'Unité de Physique des Biosystèmes de la FUSAGx (Belgique), qui a été utilisé pour mesurer ce paramètre. Il est constitué d'une chambre de mesure reliée à un analyseur de gaz par spectrométrie infrarouge. Suite à la respiration du sol, la concentration en CO₂ dans le système augmente. La réponse des CDE aux deux modes de culture (conventionnel et biologique) a été mesurée au même moment durant 5 campagnes de mesures au cours de la saison 2006, de mai à septembre, sur 60 points (30 points par verger) situés sur la bande non enherbée sous les arbres. Les conditions de température et d'humidité du sol ont été mesurées et étaient semblables pour les deux vergers.

La respiration de sol en laboratoire a été réalisée par deux méthodes classiques d'analyse faites, pour chaque période, à partir de 12 échantillons de sol par verger, chacun constitués de 25 prélèvements. Il s'agit de la **respirométrie basale (BAS)** qui est la mesure de la vitesse de respiration d'un échantillon de sol tamisé (2mm) et réhydraté (50%) et de la **respirométrie induite (SIR)** qui est la mesure de la vitesse de respiration d'un échantillon de sol tamisé à 2 mm et réhydraté (50%) et amendé avec un substrat carboné. Cette mesure exprime le potentiel respiratoire ou la biomasse microbienne globale contenue dans un échantillon de sol.

L'estimation du **poïds et du nombre de vers de terre** dans la couche supérieure de terre se base sur la méthode d'extraction par des solutions de moutarde appliquées sur 1 m² (Chan et Munro, 2001). La méthode appliquée permet de distinguer les espèces endogéiques des espèces épigéiques et/ou anéiques. L'expérience a été réalisée en année 5 (2006) et année 7 (2008), à raison de 8 répétitions par verger décrit plus haut.

Des analyses minérales des sols ont été réalisées en parallèle sur les deux vergers, en 2006 et 2008.

L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée par le logiciel SAS afin d'estimer l'erreur standard de chaque moyenne ($P \leq 0.05$).

RESULTATS

Aucune différence significative du taux d'oxydation du méthane n'a été observée entre les deux types de vergers en année '2' (résultats non présentés). Cependant, en année 5 (2006), les résultats mettent en évidence une tendance favorable des pratiques utilisées en arboriculture biologique sur la vie microbienne globale du sol (**Figure 1**). Pour la plupart des observations, les valeurs de BAS, SIR et CDE ont été significativement supérieures dans le verger biologique en comparaison du verger conventionnel.

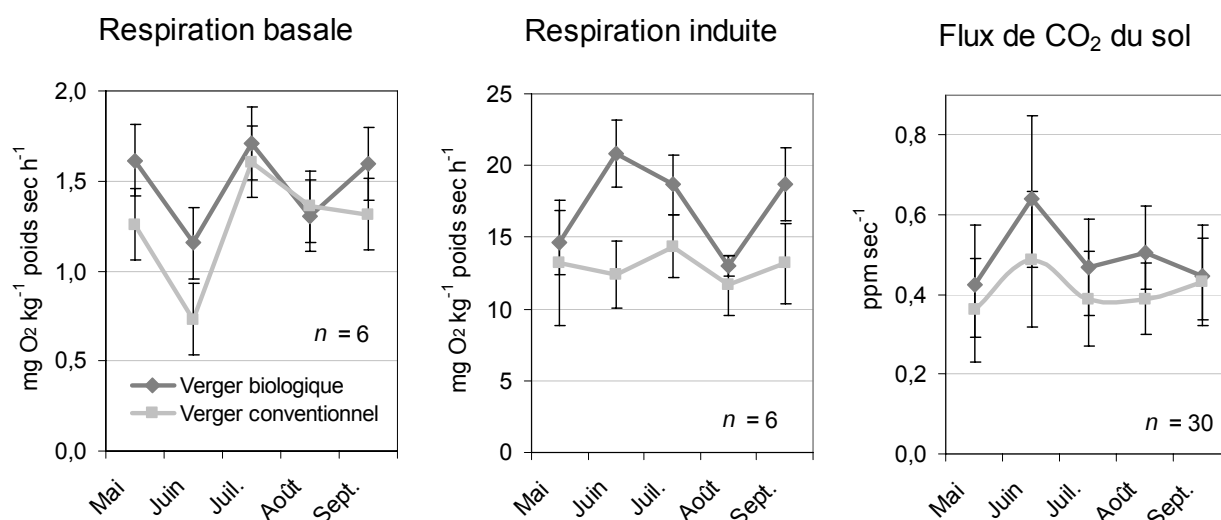


Figure 1 : Evolution durant la période de croissance de la respiration basale, de la respiration induite et des flux de CO₂ du sol dans deux vergers adjacents, biologique et conventionnel, à Gembloux en 2006. La barre d'erreur indique l'erreur standard de la moyenne.

La biomasse et la densité totale de vers de terre ont significativement augmenté de 2006 à 2008, au sein du verger biologique contrairement au verger conventionnel. La densité de vers de terre semble sévèrement réduite par les pratiques conventionnelles (**Figure 2**). Les analyses minérales du sol et les valeurs de pH n'ont pas montré de différences significatives entre les deux systèmes de verger, ni en 2006 ni en 2008, excepté pour les éléments bore et cuivre (Jamar et al., 2008).

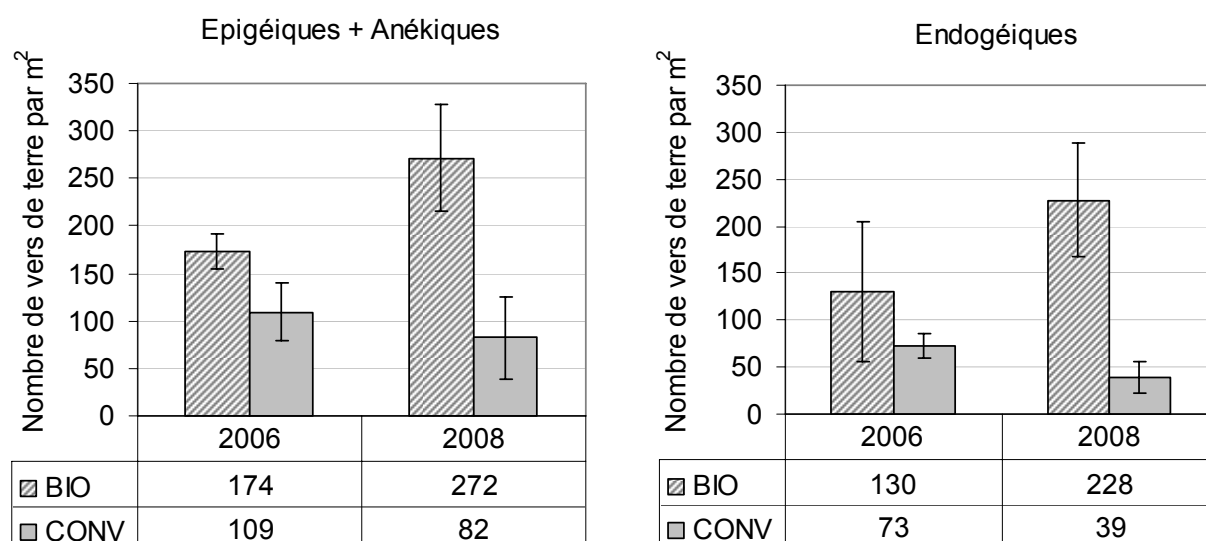


Figure 2 : Evolution des quantités moyennes de vers de terre par m² (groupe épigéiques et anéكية, et groupe endogéiques) rencontrées dans le verger biologique et dans le verger conventionnel de 2006 à 2008. La barre d'erreur indique l'erreur standard de la moyenne (n= 8).

DISCUSSION

L'appauvrissement de la biodiversité des agro-écosystèmes peut remettre en cause la durabilité des systèmes cultureux (Altieri, 1999). Il est important d'encourager les pratiques agricoles qui favorisent l'abondance et la diversité des organismes du sol par l'amélioration des conditions d'habitat et l'augmentation des ressources disponibles.

La respiration est probablement le processus le plus étroitement lié à la vie. La respiration du sol est attribuée principalement aux micro-organismes tels que les champignons, les bactéries, les protozoaires et les algues, qui transforment la matière organique ainsi qu'à ceux associés aux racines des plantes. Ils jouent un rôle fondamental dans les processus d'assimilation des éléments chez les plantes (Bloem et al., 2006).

La part de la respiration du sol associée aux micro-organismes qui transforment la matière organique du sol est de l'ordre de 90%, comparé à 10% provenant de la macro-faune du sol. A cela s'ajoute la part provenant de la respiration rhizo-microbienne correspondante à la respiration racinaire et des micro-organismes associés au système racinaire. Les méthodes de mesure *in situ* donnent la somme de respiration due à l'ensemble des organismes (dont les racines) alors que les méthodes en laboratoire ne donnent que la respiration microbienne (Bloem et al., 2006). La méthode de mesure *in situ* mise en œuvre sous des conditions incontrôlées montre une importante variabilité spatiale et temporelle des flux de gaz enregistré et donc des résultats plus aléatoires que ceux obtenus en laboratoires.

Les mesures de la biomasse montrent que ce paramètre est directement lié à la densité de vers de terre. Par exemple, en 2008, la biomasse totale moyenne mesurée est de 25 g par m² pour le verger conventionnel et de 168 g par m² pour le verger biologique.

L'analyse minérale du sol et les valeurs de pH ne montrent pas de différences significatives entre les deux systèmes de conduite de verger, ni en 2006, ni en 2008. Dans les deux systèmes, la teneur en cuivre des sols (28 et 21 mg/kg en moyenne respectivement en verger conventionnel et verger biologique) a été maintenue en dessous du niveau toxique pour les vers de terre (80 mg/kg). Les valeurs mesurées pour le zinc sont également semblables dans les deux vergers : 6,2 et 5,3 mg/kg respectivement dans le verger conventionnel et le verger biologique.

Les deux vergers étudiés retiennent des itinéraires techniques très différents et notons bien que les causes précises des écarts d'activité biologique observés restent encore à définir.

BIBLIOGRAPHIE

- > Altieri M.A., 1999 – The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31.
- > Bloem, J., Hopkins, D.W. and Benedetti, A. 2006. Microbiological methods for assessing soil quality. Wallingford, UK: CABI Publishing, pp. 307.
- > Chan K.Y. & Munro, K. 2001 – Evaluating mustard extracts for earthworm sampling. *Pedobiologia* 45: 272-278.
- > Glover, J.D., Reganold, J.P. & Andrews, P.K. 2000 – Systematic method for rating quality of conventional, organic and integrated apple orchards in Washington State. *Agric. Ecosyst. Environ.* 80: 29-45.
- > Holb, I.J., Heijne, B. & Jeder, M. 2006 – Effects of integrated control measures on earthworms, leaf litter and *Venturia inaequalis* infection in two European apple orchards. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114:287-295.

- > Jamar L., Aubinet M., Fievez T., Magein H. & Lateur M. 2008 – Soil microbial activity and earthworm abundance in orchards under conventional and organic growth management systems. Proceeding of 13th International Conference Eco-Fruit, Weinsberg, 167-171
- > Mäder, P., Fliessbach, A, Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. & Niggli U. 2002 – Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296: 1694-1697.
- > Paoletti, M.G., Sommaggio, D., Favretto, M.R., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B. & Barbafieri, M., 1998 –. Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology* 10: 137-15

SYNTHESE DE TROIS ANNÉES DE SUIVIS SUR LA FERTILITÉ EN ARBORICULTURE BIOLOGIQUE

Jean-François LARRIEU

Chambre d'Agriculture de Tarn et Garonne/APCA
130, avenue Marcel Unal -82 017 Montauban Cedex
Tél : +33-563-636-371
Email : jf.larrieu@tarn-et-garonne.chambagri.fr

RESUME

Les processus qui déterminent la disponibilité en azote minéral sont pour la plupart sous le contrôle de la microflore du sol. Il en résulte une grande sensibilité de ces transformations aux facteurs du milieu (oxygène, température) et par conséquent une difficulté à en prévoir l'intensité. Cependant, on peut distinguer les processus qui auront lieu en toutes circonstances (sauf exceptions extrêmes) : **minéralisation, organisation et nitrification** et les pertes : **volatilisation, dénitrification, lessivage** qui se produisent de manière beaucoup plus discontinue. Un indicateur simple permet de suivre ces processus, il s'agit de l'analyse de la teneur en azote, sous forme nitrate et ammoniacal du sol, qui permet de connaître la disponibilité immédiate en azote assimilable et d'ajuster ainsi la fertilisation azotée. Les suivis réalisés de 2007 à 2009 sur dix parcelles de pommiers en agriculture biologique ont permis de bien caractériser l'impact de différents types d'entretien du sol sur la libération d'azote au printemps. Le semis de trèfle blanc nain sur le rang de plantation, sur 30 cm, combiné avec un désherbage mécanique de part et d'autre, est la méthode qui semble la plus prometteuse.

INTRODUCTION

Le but de l'étude était de mieux connaître l'impact de l'entretien du sol sur sa fertilité. Un indicateur simple de suivi a été retenu : la fourniture d'azote, résultat de la minéralisation des engrais, amendements organiques et de l'humus, dans les conditions de sols et de climat de Midi-Pyrénées, en vergers de pommiers. Cela est mis en œuvre par le suivi mensuel du reliquat azoté dans le sol. Ces suivis ont été réalisés sur des vergers de pommiers plantés avec la variété, résistante à la tavelure, Delisdor®, mise en place par l'organisation de producteurs Pyrénées Fruits.

Le but est d'adapter ensuite la fertilisation organique aux conditions de sols, d'entretien et de climat de l'année, pour faire correspondre la fourniture en azote assimilable aux besoins des arbres fruitiers, tout en limitant les pertes par lessivage et les déséquilibres en alimentation minérale, responsables de problèmes phytosanitaires.

1 LE RELIQUAT AZOTE

Les deux phénomènes de minéralisation et organisation ont lieu simultanément. La minéralisation nette, selon B. Mary (1996), prend en compte ces différents éléments.

Minéralisation nette = Minéralisation brute - Organisation

et Minéralisation brute = Minéralisation de base + Reminéralisation + effet " flush "

L'organisation correspond à l'assimilation de l'azote par la microflore du sol.

La minéralisation de base peut être définie comme la minéralisation brute de la matière humifiée organique d'un sol qui n'a reçu aucun résidu de culture ou autres matières organiques et où l'organisation de l'azote est faible.

La *reminéralisation* apparaît après la phase de décomposition primaire des matières organiques telles que celles des résidus de culture. L'azote des résidus est dans un premier temps organisé, mais ensuite est partiellement reminéralisé, à plus ou moins long terme.

L'*effet flush* est dû aux successions dessiccation/réhumectation ou gel/dégel qui entraîne la mort des micro-organismes et leur décomposition, produisant de l'azote minéral. Il s'accompagne d'une variation rapide de la biomasse.

Ces quatre processus nous permettent donc d'obtenir la minéralisation nette, c'est à dire la quantité d'azote minéral disponible pour la plante. Cependant, ces différents phénomènes sont sensibles aux changements de l'environnement. Seule une mesure directe permet d'en évaluer l'importance.

Préparation des échantillons pour l'analyse d'une terre

Le prélèvement est réalisé, selon la norme AFNOR XP X 31-100, à deux profondeurs de 0 à 30 cm et de 30 à 60 cm.

L'azote minéral du sol évolue de façon significative et dans des laps de temps courts, sous l'action des micro-organismes présents dans le sol. La température de l'échantillon est un facteur important de l'évolution de l'azote minéral. L'augmentation de température accroît l'évolution de l'azote, alors que le froid peut l'inhiber.

Pour chaque horizon dix prélèvements sont réalisés, au hasard, par parcelle à la tarière et mélangés entre eux. Tous les points non représentatifs de la parcelle sont évités (mouillères, bordures de haies, zones d'affleurements de la roche sous-jacente,...)

L'échantillon obtenu est ensuite réduit par quartage pour arriver à un poids d'environ 500 g. Les prélèvements de sols sont ensuite transportés dans une glacière jusqu'au laboratoire d'analyses de sols de la Chambre d'Agriculture du Tarn et Garonne. Si le délai, avant analyse, doit dépasser 72 h, les échantillons sont conservés à -18°C au congélateur. La décongélation, avant analyse, se fait en moins de 4 h à température ambiante. De ce fait il est conseillé que les échantillons à congeler aient une masse inférieure à 500 g. L'azote total de chaque échantillon est alors mesuré sur une chaîne d'analyse.

Les résultats donnés par la chaîne d'analyse sont exprimés en mg/l d'azote soit sous forme nitrate (N-NO₃⁻), soit ammoniacal (N-NH₄⁺)

Si on veut passer en mg/l de nitrate ou d'ammonium on applique les facteurs de conversion suivant :

$$\text{N-NO}_3^- \times 4,427 = \text{NO}_3^-$$

$$\text{N-NH}_4^+ \times 1,288 = \text{NH}_4^+$$

Les données obtenues en mg/l de N-NO₃⁻ ou mg/l de N-NH₄⁺ sont ensuite traduites en kg/ha d'azote par la formule suivante :

$$\text{N-NO}_3^- (\text{Kg/ha}) = \text{N-NO}_3^- (\text{mg/l}) \times [R \times (1 + \text{Hp}/100) + \text{Hp}/100] \times h \times \text{da} \times (\text{TF}/100) \times 10$$

$$\text{N-NH}_4^+ (\text{Kg/ha}) = \text{N-NH}_4^+ (\text{mg/l}) \times [R \times (1 + \text{Hp}/100) + \text{Hp}/100] \times h \times \text{da} \times (\text{TF}/100) \times 10$$

avec :

R = inverse du rapport d'extraction : 5 généralement par défaut

Hp = humidité pondérale en %, calculée à partir de l'humidité volumique par la formule

$$\text{Hp} \% = (10\,000 / (100 - \text{Hv})) - 100 \text{ ou } \text{Hv} \text{ est l'humidité volumique}$$

h = épaisseur de l'horizon en m (0,30 m généralement)

da = densité apparente du sol, successivement 1,3 – 1,4 – 1,5 en général pour les 3 horizons de 0 à 90 cm

TF = % de terre fine

Seuils d'interprétations

Les suivis réalisés par la Chambre d'Agriculture de Tarn et Garonne depuis 1995 ont conduit à proposer, pour Midi-Pyrénées, les seuils d'interprétation suivants :

Tableau 1 : Teneur dans le sol de 0 à 60 cm en azote minéral suivant les stades phénologiques

	Débourrement à la floraison	Floraison à fin mai	Début juin à la récolte
Niveau faible $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$	<30 unités	<40 unités	<30 unités
Niveau normal $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$	30 à 40 unités	40 à 60 unités	30 à 40 unités
Niveau fort $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$	>40 unités	>60 unités	>40 unités

Les teneurs faibles sont toujours corrélées avec des teneurs faibles en azote à l'analyse foliaire. Une seule exception a été rencontrée en 2009, dans le cas bien particulier de l'enherbement sur le rang avec du trèfle blanc nain.

Les teneurs fortes sont toujours corrélées avec des teneurs fortes en azote à l'analyse foliaire. Dans ce dernier cas ces **fortes teneurs en azote** correspondent toujours, aussi, à des **problèmes graves de pucerons cendrés et lanigères**.

2 LES RESULTATS DES SUIVIS DE 2007 A 2009

Le suivi est réalisé dans la zone d'étude sur 10 parcelles de références conduites par l'organisation de producteurs Pyrénées Fruits en arboriculture fruitière biologique. Elles sont plantées avec la variété Delisdor®, conduites en axe, à des densités de plantation allant de 1500 à 3000 arbres par hectare.

Une seule parcelle est enherbée naturellement sur le rang de plantation avec une dominante graminée. Sur trois ans la minéralisation de la matière organique n'est pas suffisante en mai pour arriver à 40 unités d'azote dans le sol sur le pic des besoins. Cela se traduit par un jaunissement des arbres en juin très marqué. Le travail du sol en juillet et l'apport d'engrais organique permet de faire reverdir les arbres en août. En octobre le niveau d'azote est juste suffisant pour une bonne mise en réserve.

Il n'y a que début 2008, suite à de bonnes conditions de minéralisation à l'automne 2007 et aux faibles pluviométries durant l'hiver, que le reliquat azoté a été élevé. Mais début avril, lorsque les besoins des pommiers commencent à augmenter, le niveau d'azote est retombé très bas. Ceci est lié à la compétition de l'enherbement sur le rang de plantation.

Ce verger est très alternant, malgré un bon travail de taille et d'éclaircissage. Par contre aucun problème de pucerons (cendré ou lanigère) n'est à signaler de 2007 à 2009.

Le désherbage mécanique du sol donne de bons résultats agronomiques en permettant d'éviter la concurrence des adventices et l'enfouissement des apports organiques. Deux parcelles sont travaillées avec un porte-outil hydraulique polyvalent. En hiver, en général, un passage a été fait en débutage/butage. Puis un nouveau passage débutage/butage est réalisé au printemps, suivi d'un passage ou deux avec la houe rotative, puis avec la lame. En 2009, comme en 2008 et 2007, un nombre de passage élevé a donc été nécessaire. La mise en œuvre est longue et couteuse. Le résultat nécessite souvent un complément de désherbage manuel. Par contre en permettant un réchauffement plus rapide du sol au printemps, le désherbage mécanique peut aboutir à des teneurs trop élevées en azote assimilable dans le sol. Dès que ces teneurs dépassent 60 unités d'azote, dans le sol, cela aboutit en juillet à des teneurs en azote, dans les feuilles, de plus de 2,5 % de la matière sèche. Il en résulte toujours, dans les conditions de Midi-Pyrénées, des problèmes de pucerons cendrés et de pucerons lanigères difficiles à contrôler.

En 2008, les essais d'implantations de légumineuses montrent toute la difficulté de réussir les semis en vergers installés.

La légumineuse qui semble la plus intéressante est le trèfle blanc nain, qui en fin de première année est la seule à s'être implantée correctement.

En 2008, toutes les parcelles enherbées avec du trèfle présentent un niveau d'azote, au mois de mai, suffisant pour assurer une fourniture correspondant aux besoins des pommiers. Les résultats agronomiques de ces parcelles sont comparables aux parcelles désherbées mécaniquement. Il faut toutefois faire attention à la disponibilité en eau. En effet la consommation des modalités enherbées avec du trèfle est plus élevée que celles désherbées mécaniquement.

En 2009, quatre modalités différentes ont été comparées : enherbement naturel, enherbement avec du trèfle blanc nain, travail du sol avec différents outils et la méthode sandwich.

L'enherbement sur le rang de plantation avec du trèfle blanc nain a abouti en 2009 à des teneurs trop élevées en azote. Ces fortes teneurs en azote ont eu comme répercussion de graves problèmes de pucerons lanigères.

La méthode sandwich correspond à un enherbement, avec une espèce peu concurrente, sur le rang de plantation, sur une largeur de 20 à 30 cm et à un désherbage mécanique de part et d'autre sur une largeur de 50 à 60 cm. Cette dernière solution permet de désherber mécaniquement beaucoup plus rapidement en évitant le contact avec les arbres, tout en maintenant la ligne de plantation relativement propre avec une espèce peu concurrente pour l'azote. Les résultats de cette dernière méthode semblent prometteurs en 2009.

BIBLIOGRAPHIE

- > BLAIZE D. 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie, INRA. 123 p.
- > CHAMBONNIERE S., LARRIEU J.F., SAGNES J.L. 1997 - L'azote en arboriculture fruitière. Chambre d'agriculture Tarn et Garonne.
- > GIGLEUX C. 1997 - Mirabelier, Approche des besoins en azote. Infos Ctifl, pp 34 - 39.
- > HUGUET C. 1988 - L'arboriculture fruitière. *Spécial fertilisation*. n °406
- > ADISCOTT T.M. 1990 - Measurement of nitrate leaching : a review of methods. Nitrates-Agriculture-Eau, International Symposium organized by Institut National Agronomique Paris-Grignon. INRA, pp 157-168
- > LARRIEU J.F., SALSE J., CHAMBONNIERE S., SAGNES J.L. 1998 - Raisonnement de la fertilisation azotée en verger. Chambre d'Agriculture de Tarn et Garonne.
- > LARRIEU J.F. 2000 - Gestion d'un réseau de parcelles de références fertilisation azotée en verger. Chambre d'Agriculture du Tarn et Garonne.
- > MARTIN-PREVEL P., GAGNARD J., GAUTIER P. 1984 - L'analyse végétale dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales. 131 p.
- > SOING P., VAYSSE P. 1994 - *Prélèvements annuels par quelques arbres fruitiers*. Infos Ctifl.

ATELIERS THEMATIQUES

MERCREDI 9 DECEMBRE

MARAICHAGE : GESTION DE LA FERTILITE

EFFET D'APPORTS DE DIFFERENTS AMENDEMENTS ORGANIQUES SUR LES PROPRIETES DU SOL

BILAN DE 15 ANNEES D'ESSAI EN CULTURE LEGUMIERE

Sophie DRAGON

SERAIL - 123 chemin de Finday - 69126 BRINDAS - 04 78 87 97 59

RESUME

En 1995, la SERAIL a mis en place un essai visant à déterminer les effets à court et long terme de différents amendements organiques sur les propriétés d'un sol dans le cadre d'une rotation de cultures légumières biologiques. Trois composts végétaux et deux fumiers de bovin ont été testés. Leur influence sur la qualité du sol a été comparée à un témoin sans apport d'amendement. Au terme des 15 années d'essai, un bilan a été réalisé. Il révèle que tous les produits testés ont un effet globalement très positif sur les propriétés du sol. Mais ces effets diffèrent selon les produits de par leur intensité, leur durée dans le temps et le mode d'action des matières organiques. Il en ressort des éléments permettant de conseiller les maraîchers dans le choix et la dose de l'amendement à apporter, en fonction du type de sol et des propriétés qu'ils cherchent à améliorer en priorité.

INTRO

La matière organique est considérée comme un élément majeur de la fertilité des sols. Elle fait notamment l'objet d'une attention particulière en maraîchage où il y a beaucoup d'exportations et peu de restitutions de matière organique au sol dans la plupart des cas. Les maraîchers ont donc généralement largement recours aux amendements organiques dans le but de maintenir voir améliorer la qualité de leurs sols. Mais depuis quelques années une grande diversité d'amendements organiques est disponible. Se pose alors la question du choix de l'amendement et de la dose à laquelle il doit être apporté. En 1995, à la demande des maraîchers de la région Rhône-Alpes, la SERAIL a donc mis en place un dispositif expérimental longue durée visant à évaluer les effets de différents amendements – composts et fumiers – sur les propriétés du sol. Quinze années d'essai ont permis de mieux appréhender les propriétés à court et long termes des produits testés et d'apporter ainsi des éléments de choix aux agriculteurs en fonction des propriétés de leurs sols et des problématiques rencontrées.

1 LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Les amendements organiques testés et leurs doses d'apport

Cinq amendements organiques ont été étudiés et comparés à un témoin sans apport :

- un fumier de bovin frais,
- un fumier de bovin déshydraté sous forme de granulés de même origine que le fumier frais,
- un compost de déchets verts (DV),
- un compost d'écorces enrichi en fumier de volaille, lisier et algues,
- un compost de tourteaux de café enrichi en chiquettes et fumier de mouton.

Deux doses d'apport ont été différenciées (TABLEAU 1) :

- la dose « Equivalent Carbone » (EqC) vise à apporter l'équivalent en carbone de 30 t/ha de fumier frais qui sert de référence. La composition du fumier pouvant beaucoup varier d'une année sur l'autre, une limite maximale de 3 t de carbone /ha/an a été fixée.

- la dose « Equivalent Humus » (EqH) vise à apporter l'équivalent en humus de 30 t/ha de fumier frais. La quantité d'humus apportée par chaque amendement est calculée à partir de leurs Indices de Stabilité Biologique (ISB) respectifs.

Tableau 1 – Apports moyens annuels (t/ha) pour chaque dose d'apport

	Quantité de produit		Quantité de carbone organique		Quantité d'humus	
	EqC	EqH	EqC	EqH	EqC	EqH
Fumier frais	28,2	28,2	2,6	2,6	2,6	1,7
Fumier déshydraté	7,5	7,8	2,6	2,7	2,7	1,7
Compost déchets verts	23,1	14,7	2,6	1,6	1,8	1,7
Compost écorce enrichi	25,3	19,1	2,6	2,1	2,0	1,7
Compost tourteaux enrichi	10,7	6,2	2,6	1,5	1,7	1,7

Contexte et itinéraire technique

Le sol de l'essai est de type sablo-argileux. La parcelle expérimentale est conduite en planches permanentes selon une rotation légumière (FIGURE 1). Elle est également conduite en agriculture biologique depuis 1999.

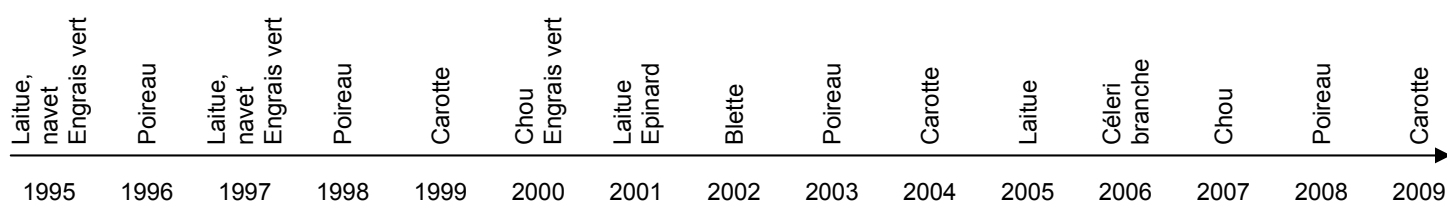


Figure 1 – Rotation culturale de l'essai

Les amendements sont apportés chaque année au printemps avant la première mise en culture. Afin de s'affranchir des différences de fourniture en éléments fertilisants (sauf azote) des amendements, un rééquilibrage en P, K, Mg et Ca est réalisé chaque année. Pour chaque modalité « amendement », deux conduites azotées différentes sont réalisées : d'une part, un apport d'N selon sa disponibilité au sol et les besoins de la culture, et d'autre part aucun apport d'N pour mieux appréhender le potentiel fertilisant azoté de chaque produit.

2 LA COMPOSITION DES AMENDEMENTS ET LEUR INFLUENCE SUR LE STATUT ORGANIQUE DU SOL

Composition et stabilité des amendements

Le fractionnement biochimique des amendements organiques (Lineres et Djakovitch, 1993) permet de connaître la composition de leur fraction organique et d'en déduire une estimation de leur stabilité dans le sol via le calcul de leur ISB. Parmi les 5 amendements étudiés, on distingue 3 types de produits (Figure 2) :

- Le fumier frais et le fumier déshydraté, riches en cellulose et hémicellulose, pauvres en lignine et donc assez rapidement décomposables (ISB les plus faibles) ;
- Les composts de DV et d'écorces, riches en lignine, pauvres en hémicellulose, et donc plus « stables » que les fumiers ;
- Le compost de tourteaux de café, encore plus riche en lignine et donc a priori encore plus « stable » que les deux autres composts (ISB le plus élevé).

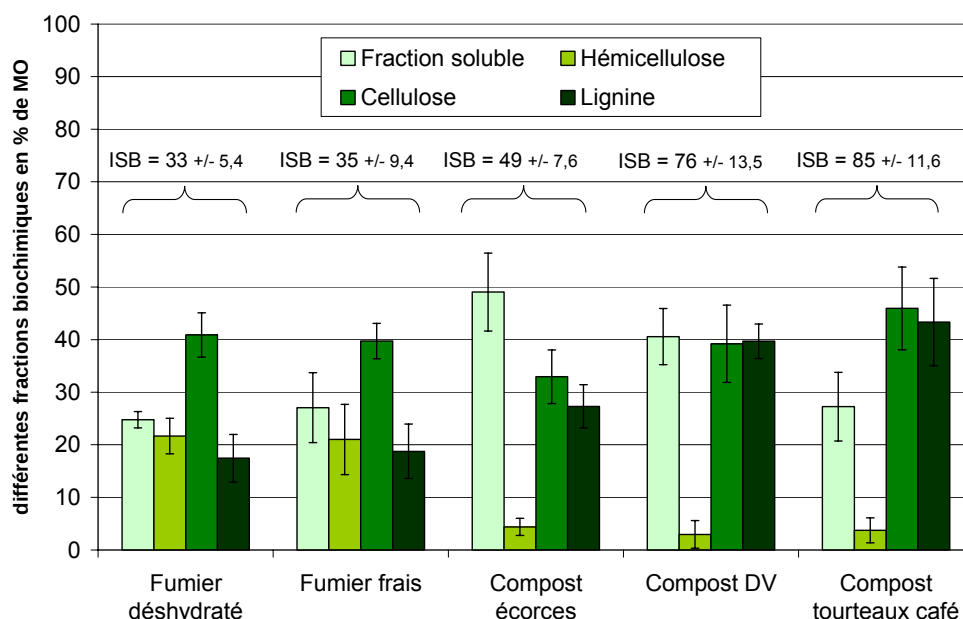


Figure 2 – Composition biochimique et ISB des différents amendements (moyenne sur 15 ans)

Effets sur la teneur en matière organique du sol

Tous les amendements permettent d'augmenter le taux de matière organique (MO) du sol par rapport à la parcelle témoin. Après 15 années d'apports annuels, ce sont les parcelles ayant reçu les composts de DV et d'écorces qui présentent les taux les plus élevés de MO (+1% de MO par rapport à 1995). Le fumier frais, le fumier déshydraté et le compost de tourteaux de café ont entraîné une augmentation moins importante (+0,5% de MO). Ainsi, contrairement à ce que semblait indiquer son ISB, ce n'est pas le compost de tourteaux de café qui permet d'augmenter le plus le statut organique du sol. Il est intéressant de noter que la différenciation de deux doses d'apports ne se traduit pas, au final, par des différences statistiquement significatives de teneur en MO dans les parcelles. Pourtant, les quantités épandues peuvent presque aller du simple au double pour certains produits (Tableau 1).

Devenir des matières organiques de chaque amendement

Les différences de teneur en MO observées dans le sol peuvent en partie être éclairées par l'étude de leur dynamique pour chaque produit. En effet, le devenir et le temps de résidence des MO dans le sol dépendent beaucoup de leur localisation et de leur association avec les autres constituants du sol (Chenu et Balabane, 2001). Ces caractéristiques peuvent être appréhendées grâce à un fractionnement granulométrique de la MO du sol qui distingue :

- les MO particulières grossières (MOPg) : non liées à la matière minérale (MM) du sol, elles sont en général rapidement dégradables ;
- les MO particulières fines (MOPf) : situées à l'intérieur des agrégats du sol, elles sont temporairement protégées de la dégradation ;
- les MO humifiées (MOH) : intimement associées aux argiles et limons du sol, elles sont résistantes à la décomposition et ont un temps de résidence long dans le sol.

Les composts de DV et d'écorces sont ceux qui alimentent le plus la fraction « MOH ». Cela signifie qu'une grande partie de leur MO se lie à la MM, ce qui lui confère une grande stabilité et explique en partie les taux élevés de MO obtenus dans le sol. En revanche, les MO apportées par le compost de tourteaux de café évoluent moins vers l'humification. Elles alimentent plus que les autres amendements la fraction MOPg. Cela expliquerait en partie le fait que le compost de tourteaux ne permet pas d'augmenter autant que les deux autres composts le taux de MO du sol.

3 L'EFFET DES AMENDEMENTS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DU SOL

Le pH du sol

Les composts de DV, d'écorces et de tourteaux de café permettent d'augmenter le pH du sol. Par contre, les fumiers frais et déshydratés ont peu d'effet sur le pH. Cela doit inciter à prendre des précautions lors de leur utilisation. En effet, à terme, la minéralisation de la MO peut avoir un effet acidifiant sur le sol. En sol à tendance acide, l'épandage de fumier devra donc, si nécessaire, être complété par un amendement basique.

La Capacité d'Echange Cationique (CEC) du sol

L'apport de MO au sol permet d'augmenter la CEC de ce dernier. De ce fait, les apports d'amendements ont bien entraîné une hausse de la CEC. Les trois composts végétaux permettent d'augmenter la CEC du sol, d'une part grâce à leur composition intrinsèque et leur effet alcalinisant, mais aussi grâce au comportement de leur MO dans le sol. En effet, plus le degré d'humification des MO est élevé, plus l'effet positif sur la CEC est important. Sur ce dernier point, ce sont les composts de DV et d'écorces qui ont l'effet le plus marqué puisqu'une grande partie de leur MO évolue vers l'humification. Le compost de tourteaux de café a une action moins intense qui ne se distingue pas de celle du fumier frais et du fumier déshydraté.

La fourniture en azote

Bien qu'ils soient essentiellement utilisés pour leur action sur les propriétés du sol, les amendements organiques peuvent aussi avoir une valeur fertilisante non négligeable. La disponibilité de l'N durant les cycles de culture a été mesurée sur les parcelles ne recevant pas d'engrais azoté complémentaire. Il en ressort que le compost de tourteaux de café et le compost d'écorces (tous deux enrichis en fumier et/ou lisier) sont les amendements qui fournissent le plus d'N disponible à court terme. Les autres amendements ne fournissent presque exclusivement que de l'N disponible à long terme (une à plusieurs années). Le compost de DV est le produit qui fournit globalement le moins d'N. Mais quel que soit l'amendement apporté, l'absence de fertilisation complémentaire ne permet pas d'atteindre les mêmes niveaux de rendement qu'avec une fertilisation azotée.

La concentration en Eléments Traces Métalliques (ETM) du sol

Des mesures de teneur en ETM dans les amendements ont montré qu'aucun des produits ne dépassait les seuils imposés par la norme NFU 44051. De même, les mesures de teneur en ETM dans le sol tout au long de la période de l'essai n'ont pas révélé de dépassement des seuils de tolérance. Les fluctuations des concentrations en ETM semblent principalement liées à d'autres sources : atmosphère, eau d'irrigation, etc.

4 L'EFFET DES AMENDEMENTS SUR LA VIE DU SOL

L'apport d'amendements organiques permet d'augmenter significativement la biomasse microbienne du sol, c'est-à-dire la quantité de « carbone vivant » contenu dans les microorganismes du sol, essentiellement bactéries et champignons. Ce sont le fumier frais et le fumier déshydraté qui ont l'effet le plus bénéfique. Les composts de DV et d'écorces ont l'effet le moins marqué. Le compost de tourteaux de café est en position intermédiaire. Pour les trois composts, l'augmentation de la dose d'apport (EqC vs EqH) permet d'augmenter la taille de la BM. Mais au final, si on exprime la taille de la biomasse microbienne par rapport au taux de MO du sol de chaque modalité, il ressort que seuls les fumiers (frais et déshydraté) et le compost de tourteaux de café permettent d'augmenter la part de MO sous forme vivante du sol.

5 L'EFFET DES AMENDEMENTS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DU SOL

L'état structural du sol

Les différences potentielles d'effets des amendements sur l'état structural du sol n'ont pas clairement été mises en évidence par les observations de profils culturaux et les mesures de porosité totale du sol. Cela est probablement dû au fait que le travail du sol est le principal facteur de variation de la porosité structurale du sol. Il atténuerait donc les différences potentielles induites par les différents types de produits. Néanmoins, des observations à une échelle plus fine – celle de la porosité texturale – ont montré que le compost de DV et le compost de tourteaux de café permettent d'augmenter significativement ce type de porosité. Le fumier frais améliore également cette porosité mais dans une moindre mesure.

NB : le compost d'écorces et le fumier déshydraté n'ont pas été testés pour cet indicateur.

La résistance aux contraintes hydriques

La stabilité structurale d'un sol correspond à la résistance de sa structure à la dégradation, notamment sous l'effet de la pluie (Soltner, 2005). Neuf mois après le 15ème apport d'amendement, il ressort que ce sont les fumiers frais et déshydraté qui confèrent au sol la meilleure stabilité structurale. Les trois composts auraient une action moins prononcée. Notons néanmoins que les différences entre les produits sont très faibles et non statistiquement significatives. C'est l'effet des amendements sur la biomasse microbienne du sol qui semble différencier ces derniers. La biomasse, favorisée notamment par les apports de fumiers, produirait des composés glucidiques qui agissent fortement sur l'agrégation des particules de sol (Le Bissonnais et Le Souder, 1995). Toutefois, il semblerait que cet effet des fumiers dû à la biomasse microbienne ne soit pas durable dans le temps (pas plus d'une année culturale). Les composts agiraient plutôt sur la stabilité structurale directement grâce à la MO stable qu'ils apportent, qui aurait un effet protecteur. Cet effet serait moins intense mais plus durable dans le temps.

La résistance aux contraintes mécaniques

Le phénomène de compactage du sol dépend d'une part de la charge qui lui est appliquée (et donc des types de véhicules et d'outils utilisés), mais aussi de la sensibilité du sol au tassement. Pour une humidité du sol relativement élevée (20%), le compost de DV et le fumier frais permettent d'améliorer la résistance du sol au compactage un mois après leur épandage. Cela est valable pour les contraintes de pression couramment appliquées en maraîchage. Cet effet serait lié à la granulométrie élevée de ces produits qui conférerait une certaine élasticité au sol. En revanche, le compost de tourteaux de café qui est sous forme de poudre n'aurait pas d'effet bénéfique dans les domaines de pressions rencontrés en maraîchage.

NB : le compost d'écorces et le fumier déshydraté n'ont pas été testés pour cet indicateur.

CONCLUSION

Les résultats de cet essai permettent d'apporter des éléments de choix aux maraîchers quant au type et à la dose d'amendement à utiliser. On distingue globalement trois types de produits parmi les amendements testés : les produits « stables » (compost de DV et d'écorces), les produits plus rapidement dégradables (fumiers frais et déshydraté), et le compost de tourteaux de café qui a un comportement intermédiaire. Les différents types de produits ayant des effets complémentaires, il est intéressant de combiner leur utilisation. Un apport annuel de fumier peut être recommandé pour son action rapide et efficace sur la qualité du sol (notamment via l'activation de la biomasse microbienne). Tous les trois ans environ, il peut être complété par l'apport d'un produit plus stable comme le compost de DV ou d'écorces, qui a une action intéressante sur la fertilité chimique du sol (CEC) et permettra d'améliorer plus durablement le statut organique du sol. Pour des sols particulièrement pauvres en MO, la fréquence d'apport de ce type de compost pourra être augmentée. Rappelons néanmoins que les préconisations d'utilisation doivent être réalisées au regard du type de sol et de la problématique rencontrée. On ne visera par exemple pas le même objectif de teneur en MO selon que l'on se trouve en sol argileux ou en sol sableux.

BIBLIOGRAPHIE

- > CHENU C., BALABANE M., 2001 - Matières organiques et activité biologique des sols cultivés. Une approche des matières organiques par leur fonctionnement. Perspectives agricoles n°272, 46-48.
- > LINERES M., DJAKOVITCH J.L., 1993 - Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. 159-168. *In* DECROUX S., IGNAZI J.C., 1993 - Matières organiques et agriculture. Actes des 4èmes journées d'analyse de terre. COMIFER-GEMAS, Blois, France.
- > SOLTNER D., 2005 - *Les bases de la production végétale. Tome 1. Le sol et son amélioration. 24^{ème} édition.* Collection Sciences et Techniques Agricoles. 472 pages.
- > LE BISSONNAIS Y., LE SOUDER C., 1995 - Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. *Etude et Gestion des sols* n°2,1, 43-56.

FERTILITE ET PATHOGENES TELLURIQUES :

EFFETS DU COMPOST

Jacques G. Fuchs

Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Ackerstrasse, CH-5070 Frick (Suisse)

Tél. +41 62 865 72 30, courriel : jacques.fuchs@fibl.org

RESUME

Les cultures maraîchères mettent, par leur intensivité, le sol à rude contribution. Ceci peut avoir des effets négatifs sur sa fertilité en général et en particulier causer une augmentation de la pression des maladies telluriques. Pour remédier à ces problèmes, le compost de qualité offre une alternative très intéressante. Son action positive sur la santé des plantes est indirecte (entre autres en apportant un mélange d'éléments fertilisants équilibré et en améliorant la structure du sol, son aération et son bilan hydrique) et directe (la microflore bénéfique qu'il contient influençant l'activité biologique du sol). Les effets positifs des composts ne se limitent pas à protéger les plantes contre les maladies telluriques, mais peuvent également s'observer au niveau des maladies foliaires. L'emploi de composts (ou du compost) peut renforcer la résistance globale des plantes.

Divers exemples pratiques de l'utilisation de compost en maraîchage sont présentés ici. Il s'agit d'utilisations après stérilisation du sol à la vapeur, dans les substrats de culture et en plein champs.

Tous les composts ne montrent cependant pas la même efficacité. Les aspects de qualité des composts sont à prendre impérativement en compte pour obtenir les résultats souhaités. Les composts ne permettent certainement pas de résoudre tous les problèmes rencontrés, mais peuvent représenter un élément important dans la mosaïque des mesures utilisées pour favoriser la fertilité des sols et la santé des plantes.

INTRODUCTION

Les cultures maraîchères sont, même en mode de production bio, relativement intensives. La rotation des cultures est souvent limitée, les quelques cultures économiquement les plus importantes dominant largement les plantations. De ce fait, le sol est mis à rude contribution. L'utilisation unilatérale de certains sols peut avoir un effet négatif sur sa fertilité en général, par exemple suite à la diminution du taux d'humus stable. De plus, les agents pathogènes telluriques des cultures principales peuvent se développer de manière plus ou moins importante et peuvent devenir un facteur limitant pour les rendements. Plusieurs techniques peuvent être mises en œuvre pour diminuer ces problèmes, comme l'emploi de variétés résistantes, le greffage, l'emploi de microorganismes antagonistes, etc. Toutefois, ces techniques ne sont pas toujours possibles ou n'ont parfois qu'une efficacité partielle.

L'apport par le compost d'éléments fertilisants comme l'azote, le phosphore, la potasse, le magnésium et le calcium est reconnu de manière générale. Les autres effets positifs que peuvent démontrer les composts de qualité sur la fertilité des sols et sur la santé des plantes sont insoupçonnés par nombre de praticiens.

1 COMPOSTS, FERTILITE DES SOLS ET LA SANTE DES PLANTES

Effets des composts sur les propriétés physiques et chimiques des sols

Les composts livrent au sol de la matière organique plus ou moins stabilisée suivant le degré de maturité du produit. Environ la moitié du carbone organique ainsi apporté est intégrée de manière durable dans le sol et forme ce que l'on appelle l'humus stable. Grâce à cet humus, la structure du sol et sa porosité sont améliorées. Ceci influence positivement la régulation hydrique des parcelles ayant été amendées, diminue les effets de l'érosion et améliore l'aération du sol.

Du point de vue chimique, les composts apportent une quantité non négligeable d'éléments fertilisants. L'apport en calcium est particulièrement intéressant, et explique en partie les effets positifs des composts sur la valeur du pH des sols, et l'apport en oligoéléments essentiels pour l'équilibre des plantes.

1.1.1 Azote : cas particulier

Le compost contient par m³ environ 5 kg d'azote. Cependant, plus des 90% de cet azote n'est pas disponible pour les plantes, car il est fixé dans la matière organique. Suivant le degré de maturation du compost et sa composition, il se peut que dans un premier temps non seulement le compost ne livre pas d'azote pour les plantes, mais encore qu'il immobilise l'azote minéral présent dans le sol, les microorganismes responsables de la dégradation des produits ligneux entrant effectivement en concurrence avec les plantes pour cet élément (Kupper et Fuchs, 2007). C'est une des raisons importantes pour lesquelles le choix d'un compost assez mûr et composté selon les règles de l'art est essentiel en maraîchage.

Effets des composts sur la biologie des sols

La biologie du sol est principalement influencée de deux manières (Fuchs, 2009). D'une part, le compost livre aux microorganismes telluriques du substrat sur lequel certains peuvent se développer. Plus le compost est jeune, plus cet effet est important, les substances facilement dégradables y étant en plus grandes quantités. D'autre part, l'activité et l'équilibre microbien du sol peuvent être influencés par les microorganismes apportés par le compost. Si le compost a été produit selon les règles de l'art, sa microflore est bénéfique. Les agents pathogènes sont en effet dégradés pendant la phase thermophile du processus tandis que des agents antagonistes se développent pendant la phase de maturation.

Effets des composts sur la santé des plantes

L'amélioration des caractéristiques chimiques, physiques et biologiques des sols par des amendements de compost créent de meilleures conditions de croissance pour les plantes. Ces dernières sont ainsi moins stressées, ce qui les rend plus résistantes aux maladies. En plus de leur action indirecte, les composts peuvent, suivant leur qualité microbiologique, influencer directement la santé des plantes par l'action de microorganismes antagonistes qu'ils contiennent. Ces derniers agissent directement sur les agents pathogènes présents dans le sol en les concurrençant, les parasitant ou les inhibant. Ainsi un compost de haute qualité microbiologique a le pouvoir de protéger les plantes contre des maladies (fig.1, compost A), alors qu'un compost microbiologiquement moins actif ne possède pas cette capacité (fig.1, compost B). Par ailleurs, en traitant le compost actif à la chaleur, ce qui détruit sa microflore active, il perd son pouvoir suppressif.

2 UTILISATION DE COMPOSTS DANS LA PRATIQUE

Compost après traitement du sol à la vapeur

La technique du traitement des sols à la vapeur est relativement répandue dans les cultures maraîchères couvertes en Suisse afin de lutter contre les mauvaises herbes et les maladies telluriques. Cependant, ce mode de traitement présente deux inconvénients. D'une part, divers composés phytotoxiques, dus à la décomposition des matières organiques détruites par le traitement, sont produits dans un premier temps. Ainsi, suivant les cultures, deux à trois semaines d'attente sont nécessaires pour éviter des problèmes de phytotoxicité. D'autre part, la non spécificité du traitement laisse un sol microbiologiquement inactif : si un agent pathogène y pénètre en premier, il peut s'y développer rapidement, rendant l'effet recherché caduque. L'incorporation superficielle de compost dans le sol immédiatement après le traitement à la vapeur permet de résoudre les deux problèmes. Les microorganismes présents dans le compost décomposent non seulement instantanément les substances toxiques (fig. 2) mais ils empêchent également une recolonisation du sol par des agents pathogènes en occupant la place.

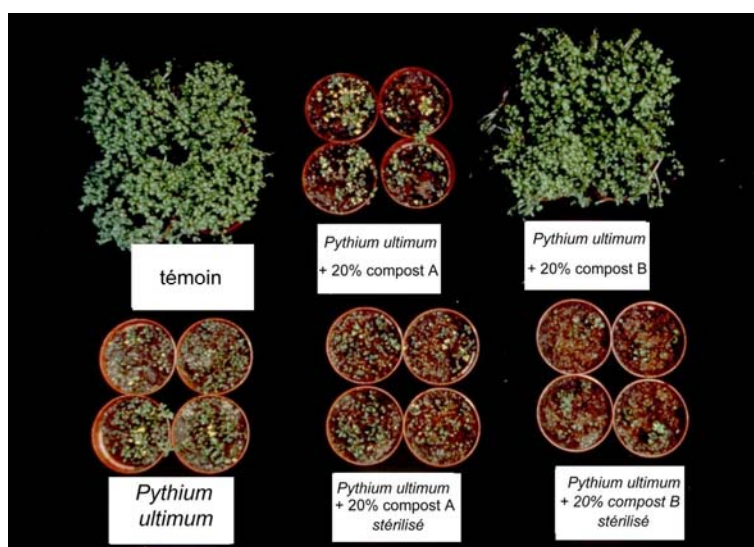


Figure 1 – Capacité de deux composts à protéger des plantes de cresson contre la maladie de fonte des semis (agent pathogène *Pythium ultimum*).

Utilisation des composts dans les terreaux de culture

Les substrats tourbeux usuels sont microbiologiquement inactifs. De ce fait, si un agent pathogène rentre en contact avec de tels substrats, il peut s'y développer rapidement et causer d'importants dégâts. Les microorganismes présents dans un compost de qualité permettent de tamponner le substrat microbiologiquement. De ce fait, un agent pathogène ne peut plus s'y répandre avec autant de facilité (fig. 3).

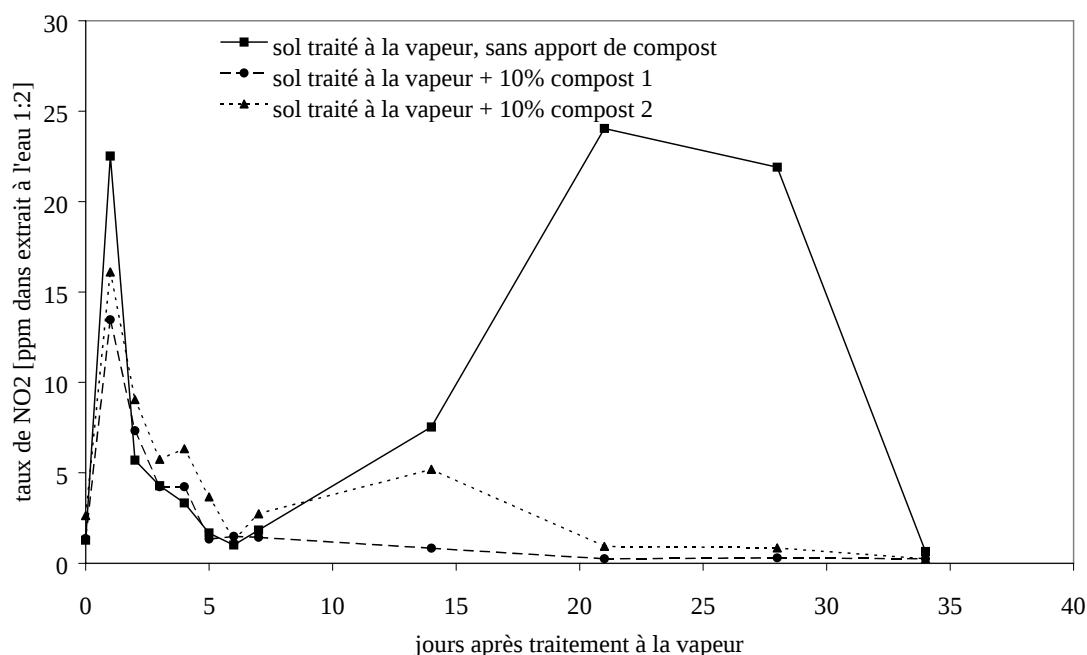


Figure 2 – Influence de données de compost immédiatement après le traitement d'un sol maraîcher à la vapeur sur l'évolution du taux de nitrite dans ce sol.

Ceci permet au praticien de mener une production de plants ou de jeunes pousses moins risquée sans avoir besoin de recourir à des pesticides, ce qui est particulièrement important pour les producteurs biologiques. Les avantages économiques qu'ils peuvent en retirer sont évidents, sous réserve de maîtriser les autres facteurs de production.

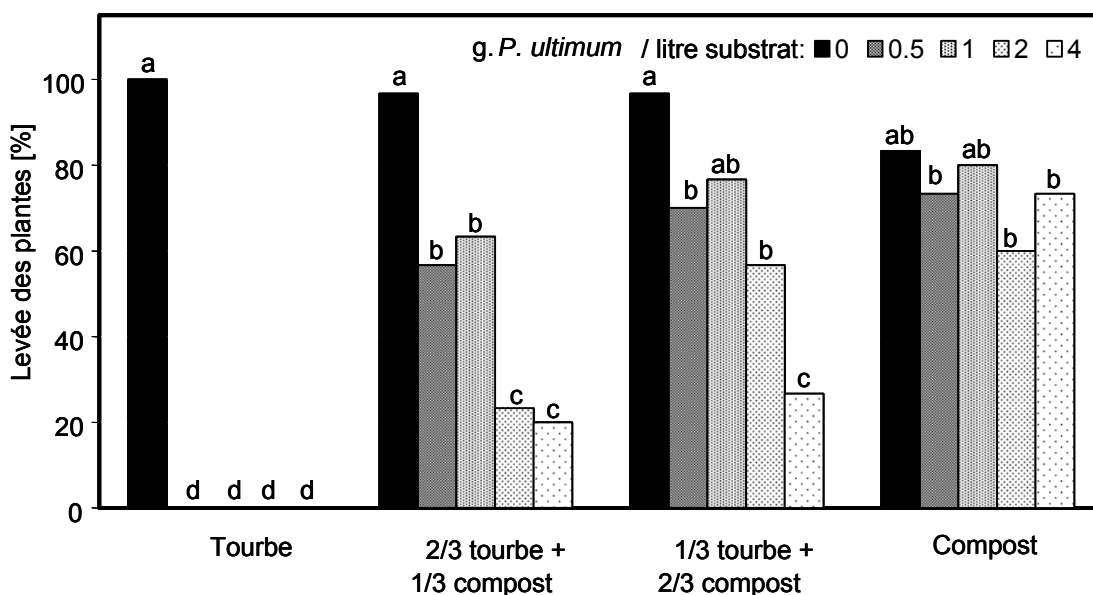


Figure 3 – Influence de compost sur la levée de plantes de concombre dans des terreaux de semis en présence d'une pression croissante de la maladie de la fonte des semis, agent pathogène *Pythium ultimum*.

Utilisation des composts en pleins champs

L'influence d'apports réguliers de compost dans des parcelles maraîchères sur la réceptivité des sols aux maladies champs est également très intéressante. Des inoculations artificielles d'échantillons de sols avec divers agents pathogènes ont démontré que la terre ayant reçue du compost était nettement moins sensible aux maladies que celle qui n'en n'avait jamais reçue (fig. 4). Cet effet est non seulement visible immédiatement après l'apport de compost, mais reste évident durablement. A ce sujet, il est intéressant de souligner que l'effet du compost est plus manifeste dans des sols employés de manière intensive, et ainsi biologiquement déséquilibrés, que dans des champs cultivés extensivement et avec une rotation des cultures riche.

Effet des composts sur la plante entière

Les effets positifs des composts sur la santé des plantes ne se limitent pas aux maladies telluriques. L'apport de compost dans le sol peut influencer positivement la résistance globale des plantes aux maladies. Ainsi, certains composts appliqués dans le sol ont par exemple pu induire une résistance dans les pieds d'orge qui ont alors été significativement moins attaqués par l'oïdium (fig. 5).

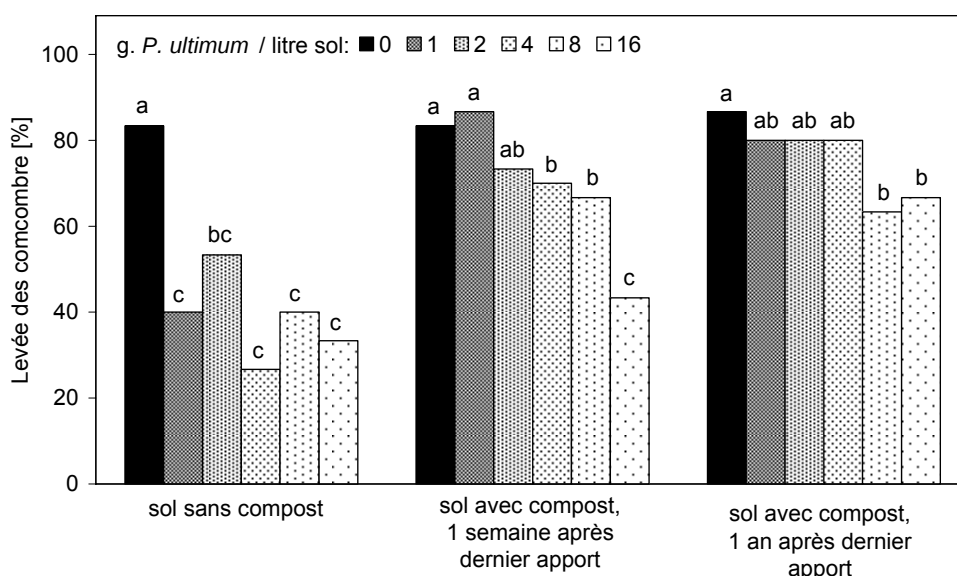


Figure 4 – Influence d'amendements de compost sur la réceptivité d'un sol à la fonte des semis (agent pathogène : *Pythium ultimum*)

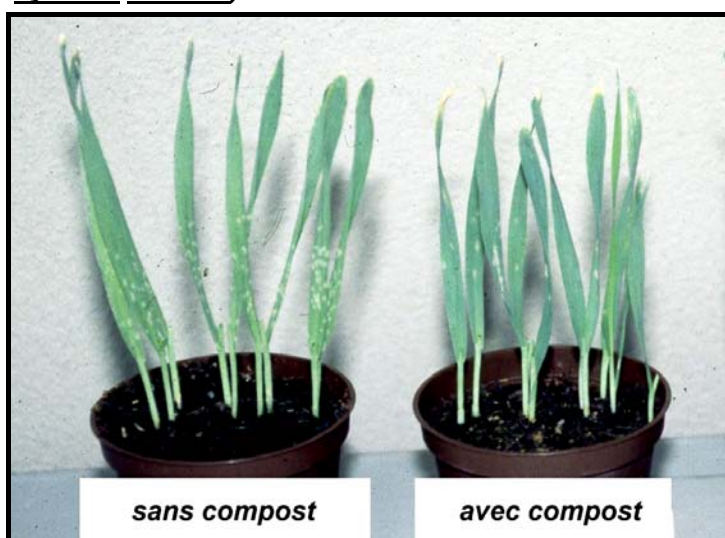


Figure 5 – Influence d'un apport de compost dans le sol sur le développement de l'oïdium sur les feuilles de plantes d'orge

3 CONCLUSION : LE COMPOST, UN AUXILIAIRE DE CHOIX POUR LE MARAICHER

Les résultats présentés ici démontrent que l'utilisation de compost en culture maraîchère est très intéressante non seulement de par son apport en éléments fertilisants, mais également de par ses effets sur la fertilité des sols et sur la santé des plantes. Il est toutefois évident que seul l'emploi de compost ne va pas permettre au cultivateur de résoudre tous ses problèmes. Le compost peut améliorer la situation par exemple en diminuant la pression des maladies, mais n'est pas un produit miracles éliminant les pathogènes. C'est pourquoi il est important d'intégrer l'utilisation de compost dans le concept de production et de la coordonner avec les autres facteurs mis en jeu.

Un autre point important pour obtenir une utilisation de composts couronnée de succès est la question de la qualité (Fuchs et Larbi, 2005 ; Fuchs *et al.*, 2006). Tous les composts n'ont pas les mêmes caractéristiques et les mêmes propriétés (Kupper et Fuchs, 2007). Le choix du compost approprié à l'utilisation voulue est essentiel. Ainsi, une collaboration étroite entre producteurs et utilisateurs de composts est nécessaire. De plus, un système d'assurance qualité est indispensable. La production d'un compost de qualité n'est pas due au hasard, et le savoir-faire du maître-composteur y est un élément primordial.

BIBLIOGRAPHIE

- > FUCHS J.G., 2009 - Interactions Between Beneficial and Harmful Microorganisms: From the Composting Process to Compost Application. Dans: Microbes at work: from wastes to resources, H. Insam, I. Franke-Whittle et M. Goberma (eds), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, en presse.
- > FUCHS J.G., BAIER U., BERNER A., MAYER J., TAMM L., SCHLEISS, K., 2006 - Potential of different composts to improve soil fertility and plant health. Dans: Proceedings of the International Conference ORBIT 2006 "Biological Waste Management: From Local to Global", Part 2 Composting – Quality, Application and Benefit, Life Cycle Analysis, Sludge and Soil; E.Kraft, W. Bidlingmaier, M. de Bertoldi, L.F. Diaz & J. Barth. (eds.) ; Verlag ORBIT e.V. D-Weimar; pp. 507-518.
- > FUCHS, J.G., LARBI, M. , 2005 - Disease control with quality compost in pot and field trials. Paper presented at I International Conference on SOIL and COMPOST ECO-BIOLOGY, León - Spain, 15.-17. Sep. 2004, page pp. 157-166. SoilACE, Biomasa Peninsular, c/Cartagena, 58, 1 , SP-Madrid 28028.
- > KUPPER T., FUCHS, J.G., 2007 - Compost et digestat en Suisse. Étude n° 2 : Influences des composts et des digestats sur l'environnement, la fertilité des sols et la santé des plantes. Connaissance de l'environnement n° 0743, Office fédéral de l'environnement, Berne (Suisse), pp 49-124.

QUALITE DES COMPOSTS DE DECHETS VERTS EN FRANCE

Blaise Leclerc* (ITAB et Orgaterre), Dominique Plumail (CEDEN), Pascale Chenon (RITTMO)³.

*Rue Costa Caoudo, BP 16, 84160 Cucuron, tél. 04 90 77 23 35, blaise.leclerc@itab.asso.fr

RESUME

En 2006, l'ADEME a confié à sept bureaux d'études et deux laboratoires d'analyses la mission de recenser et d'étudier les installations de compostage de déchets organiques en France métropolitaine et notamment d'auditer un échantillon de 100 installations représentatif du parc existant. Une caractérisation des fertilisants organiques fabriqués sur ces installations a été réalisée. Sur les 45 plates-formes de l'échantillon traitant uniquement des déchets verts, la qualité des composts est en progression, notamment en comparaison des autres types de composts étudiés (de boues, de biodéchets des ménages, etc.). Néanmoins, 12,5 %, soit le compost d'une plate-forme sur huit, ne respecte pas la norme NFU 44-051.

INTRODUCTION

Sur les 100 plates-formes de compostage auditées en France métropolitaine en 2006⁴, 45 traitaient des déchets verts seuls. Nous proposons dans cet article une synthèse concernant la production et la qualité des composts issus de ces 45 plates-formes, qui représentent l'échantillon le plus complet et le plus récent au niveau national pour ce type de données.

1 LES TONNAGES TRAITES

En 2005, sur les 6 millions de tonnes de déchets compostés⁵ en France sur un peu plus de 550 installations, environ les deux tiers étaient des déchets verts. Ainsi dans l'échantillon des 100 plates-formes auditées en 2006, la part des déchets verts est majoritaire (figure 1).

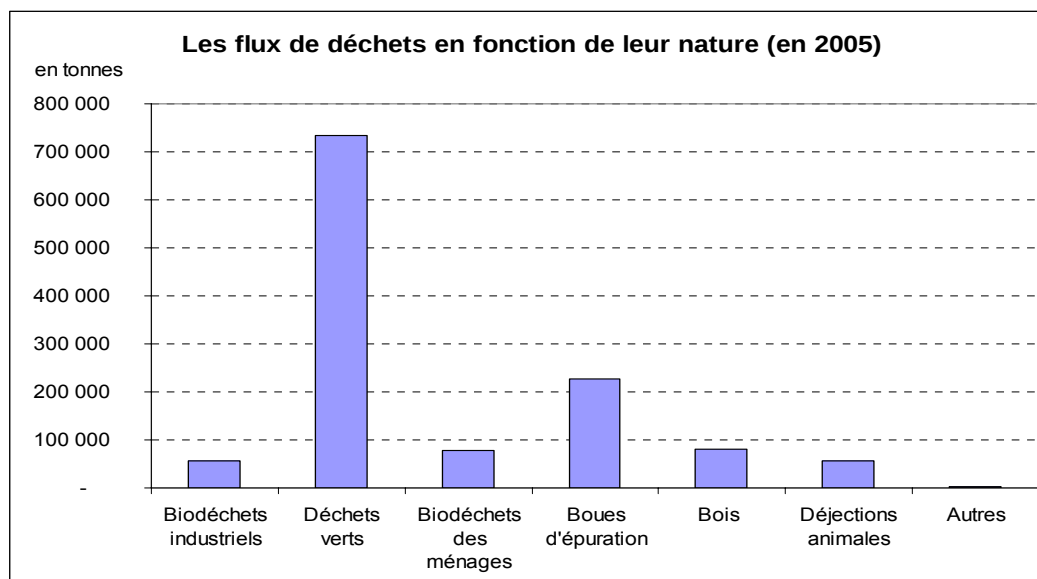


Figure 1 – Importance du tonnage des déchets verts dans les 100 plates-formes auditées en 2006 (matière brute).

³ Avec le concours de tous les membres du groupement, qui ont participé activement à la collecte des données.

⁴ « Audit des plates-formes de compostage de déchets organiques en France avec analyses de composts, d'eaux de ruissellement et bilan des aides ADEME au compostage des déchets verts » (Marché ADEME n° 0306C0057). Voir les principales conclusions de cette étude dans *Echo-MO* n° 69, de janvier février 2008.

⁵ Hors plates-formes traitant moins de 1 000 t par an et ne traitant que des ordures ménagères résiduelles.

Saisonnalité de la production

La production de déchets verts est très saisonnière : beaucoup plus importante au printemps et en été, elle est sensiblement réduite en période hivernale. Par ailleurs, les déchets générés en hiver sont plus ligneux (élagages) qu'en été (tontes).

La fréquence d'entretien des espaces verts est conditionnée par la température et l'eau dont dispose la plante pour sa croissance (arrosage, pluie). Sur la base de graphiques synthétisant la production mensuelle moyenne (exprimée en % de la production annuelle), plusieurs enseignements émergent des éléments recueillis au cours des audits :

On distingue deux périodes distinctes de production (figure 2) :

- La morte saison, de décembre à mars (4 mois), où la production de déchets verts, à dominante ligneuse, est plutôt modeste (1/5^{ème} des flux annuels).
- La pleine saison, d'avril à novembre, où les déchets verts sont principalement constitués de tontes (et de feuilles à l'automne).

On constate de forts écarts de production en fonction des zones climatiques⁶ :

- Dans la région méditerranéenne, la production de déchets verts est régulière (de 6 à 10 % des flux annuels chaque mois). Les températures clémentes réduisent la période de repos végétatif. Une sécheresse relative entraîne une baisse de la quantité de déchets verts réceptionnés sur les plates-formes de compostage à l'automne.
- Le climat océanique se caractérise, au contraire de la région méditerranéenne, par une production de déchets verts beaucoup plus contrastée : 3 % en février, contre 12 % en mai du flux annuel. En été, les espaces verts de ces régions, réputées pour leur vocation touristique, sont sans doute mieux entretenus par les résidents secondaires et par les collectivités ou les gestionnaires des lieux d'hébergement (camping, hôtels, gîtes, chambres d'hôtes...), soucieux de préserver leur attractivité.
- Les climats océanique dégradé et continental présentent de fortes similitudes en terme de production de déchets verts : concentration des flux au printemps (32-33 % en avril-mai-juin). Dans l'intérieur des terres (climat océanique dégradé), on constate cependant un « plafonnement » de la production en début d'automne (octobre), probablement en raison de la sécheresse relative de l'arrière saison.
- En montagne, les flux mensuels de déchets verts sont naturellement plus faibles au printemps (températures fraîches tardives) alors que la production semble atteindre son paroxysme à l'automne. Les fluctuations mensuelles apparaissent extrêmement importantes, notamment au mois d'août où la production de déchets peut représenter de 4 à 24 % des apports de l'année. Celles-ci sont en relation avec les pluviométries ponctuelles et abondantes (orages d'été) associées à des températures chaudes, lesquelles conditionnent l'activité photosynthétique des plantes.

⁶ Moyennes sur trois années : 2004, 2005 et 2006.

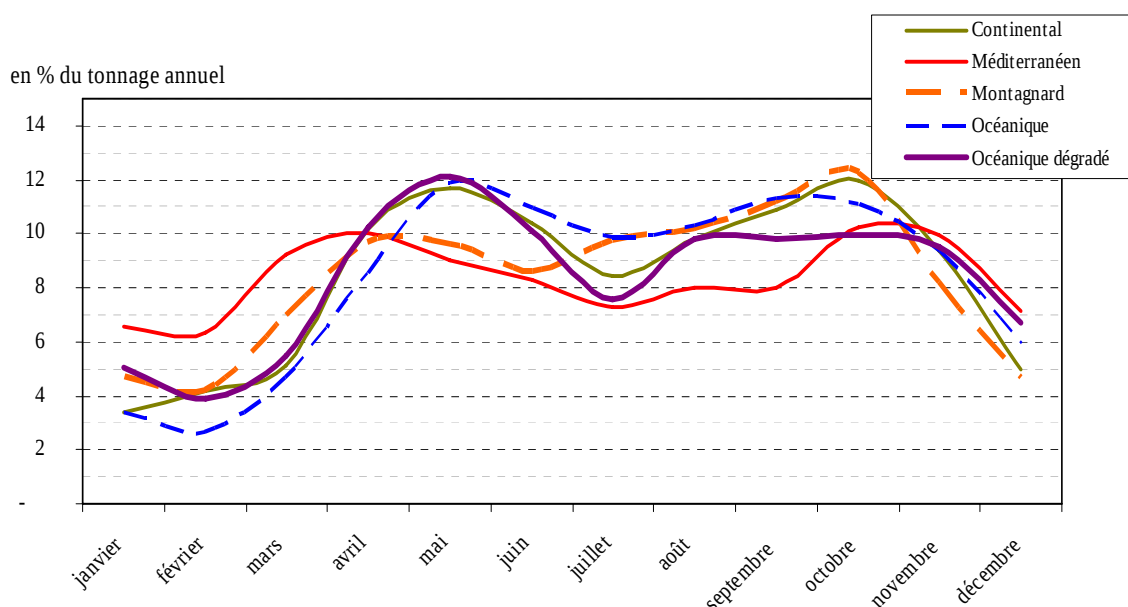


Figure 2 – Saisonnalité des déchets verts en fonction du climat.

Ratio de collecte

Le ratio de collecte de déchets verts, qui s'appuie sur une population de 5 millions d'habitants en 2006, s'établit à 68 kg/habitant/an. Il se décline par région de la manière suivante :

- océanique : 161 kg/hab.,
- océanique dégradé : 109 kg/hab.,
- méditerranéen : 96 kg/hab.,
- continental : 52 kg/hab.,
- montagnard : 45 kg/hab.

La production des espaces verts semble fluctuer en fonction des conditions pédoclimatiques. Ainsi, la production de déchets verts est, dans l'ouest océanique, trois fois supérieure à celle des secteurs continental et montagnard. Ce constat ne paraît pas incohérent ; toutefois, les bassins de population concernés restent relativement modestes. On retiendra donc qu'il s'agit d'ordres de grandeur et de grandes tendances ; ces données demanderaient en effet à être complétées par une exploitation, par exemple, des informations des Observatoires régionaux des déchets.

2 CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES

Tableau 1 – Caractéristiques agronomiques des composts de déchets verts (45 échantillons).

	Moyenne	Coefficient de variation
Matières sèches (g/100g MB)	59	14 %
Matières organiques (g/100g MS)	46	23 %
Azote organique (g/100g MS)	1,4	18 %
Azote ammoniacal (g/100g MS)	0,1	4 %
Phosphore (P2O5) (g/100g MS)	0,6	27 %
Potasse (K2O) (g/100g MS)	1,4	26 %
Chaux (CaO) (g/100g MS)	7,8	51 %
Magnésie (MgO) (g/100g MS)	0,7	37 %
pH	8,4	8 %

Minéralisation de l'azote : La minéralisation de l'azote des composts de déchets verts, après 91 jours d'incubation, atteint en moyenne environ 2 % de l'azote organique du produit. A noter que cette minéralisation est également très faible pour les autres types de composts de l'étude : quasi nulle pour les composts de biodéchets des ménages, 6 % pour les composts de boues. Dans l'hypothèse d'un apport de 20 tonnes de composts de déchets verts à l'ha, pour une concentration en azote organique de 1,4 % sur sec, la minéralisation de cet azote représenterait à peine 3 kg d'azote à l'ha ($20\,000 \times 0,59 \times 0,014 \times 0,02$). Par comparaison, on peut citer les chiffres de 20 % à 40 % d'azote minéralisé dans l'année de l'apport pour du compost de fumier de bovins (source Institut de l'Elevage et B. Godden *et al.* 2007).

Minéralisation du carbone : Après 91 jours d'incubation, elle est un peu plus importante que celle de l'azote, mais reste également très faible, en moyenne 9 % du carbone organique du produit pour les composts de déchets verts.

Indice de stabilité de la matière organique : Les composts de type "déchets verts" et "autres déchets" apparaissent comme ceux présentant la matière organique la plus stable compte tenu des valeurs moyennes de l'ISB et du taux de carbone résiduel (tableau 2). En accord avec les taux de minéralisation du carbone faibles, les résultats de la stabilité biologique ne montrent pas de différence importante selon le type de déchets entrant.

Tableau 2 – Résultats des indices de stabilité biologique en fonction des déchets entrants.

Type de déchets entrants	Fractions (% MO)					Indice de Stabilité Biologique	Taux de carbone résiduel (% MO)
	CEL	CEW	HEM	LIC	SOL		
Déchets verts*	24,30	41,79	4,66	30,99	40,07	0,53	41,04
Boues	25,03	37,63	6,06	23,25	45,66	0,41	38,32
Biodéchets des ménages	22,11	37,97	4,24	27,81	45,84	0,48	33,81
Autres déchets	24,92	38,12	4,42	28,38	42,30	0,55	47,74

* 45 échantillons

Dans le cadre du groupe de normalisation de l'AFNOR "U44E", un nouvel **Indice de la Stabilité de la Matière Organique** (ISMO) a été proposé. Cet indice correspond au pourcentage de la matière organique du produit qui sera potentiellement incorporée à la MO du sol, après transformation et humification ou parce que récalcitrante à la minéralisation ; il est exprimé en pourcentage de la matière organique du produit. Sur l'ensemble des composts des 100 plates-formes auditées, il n'apparaît pas de différence notable de la valeur de cet indice selon le type de déchets entrant. Ce groupe de travail a aussi proposé une classification des produits en fonction des résultats du fractionnement biochimique et des teneurs en azote organique. Il apparaît que la grande majorité des composts correspondent à la classe 5 : « *produits qui ont un potentiel de minéralisation de N organique très faible et ne dépassant pas 5 kg N par tonne de MS au cours de l'année suivant l'épandage* ». De plus, l'apport de ces produits peut entraîner une immobilisation d'azote minéral dans le sol allant jusqu'à 5 kg N par tonne de MS au cours de l'année suivant l'épandage. Seuls 3 composts sur les 100 plates-formes auditées, dont 1 de déchets verts, n'appartiennent pas à cette classe.

Test de maturité basé sur la germination et la croissance du cresson

Ce test discrimine de façon positive les composts de déchets verts par rapport aux trois autres catégories de composts de l'audit : il révèle globalement leur degré de maturité plus élevé. Ainsi les essais réalisés sur les composts de déchets verts montrent qu'1/3 des échantillons entraînent une diminution significative de la biomasse aérienne, qu'1/3 entraîne une augmentation significative de cette biomasse, et que le dernier 1/3 n'a pas d'effet significatif en comparaison des témoins (tableau 3). Par contre, la grande majorité des composts issus des autres types de déchets entrants (boues, biodéchets des ménages et

autres déchets) entraînent une diminution significative de la biomasse fraîche ainsi que des autres paramètres étudiés (nombre de plantules émergées à 7 jours), ce qui traduit soit un déficit de maturité soit une phytotoxicité.

Tableau 3 – Résultats statistiques (test de Student, $\alpha < 5\%$) des tests cresson réalisés sur les composts en fonction du type de déchets entrants. Les résultats sont exprimés en pourcentage sur le total des plates-formes par type de déchet entrant. NS : effet non significatif par rapport au témoin ; S : diminution significative par rapport au témoin ; S+ : augmentation significative par rapport au témoin.

	Plantes émergées à 3 jours		Plantes émergées à 7 jours		Biomasse fraîche des plantules à 7 jours / 1 000 plantules			Plantes anormales à 3 jours	
	NS	S	NS	S	NS	S	S+	NS	S
Déchets verts	67	33	78	22	31	33	36	84	16
Boues	20	80	20	80	15	85	0	50	50
Biodéchets des ménages	27	73	40	60	27	60	13	73	27
Autres déchets	24	76	29	71	24	65	12	76	24

3 CRITERES D'INNOCUITE

Eléments traces métalliques

En moyenne générale toutes les teneurs sont inférieures aux seuils de la norme NFU 44-051 (tab. 4). Cependant sur quelques plates-formes ces seuils sont dépassés : 1 pour le plomb, 1 pour l'arsenic, 1 pour le mercure. Par rapport aux données de 2001, on constate une diminution notable des teneurs.

En moyenne générale toutes ces teneurs sont également inférieures aux seuils proposés par certains labels de qualité (exemples de l'Ecolabel européen et de la certification Ecocert). Ainsi elles sont toujours inférieures aux seuils de ces deux labels pour le cadmium, le chrome, le cuivre, le nickel, et le mercure si l'on écarte la seule valeur qui ne respecte pas la norme NFU 44-051. Pour le zinc 3 composts dépassent le seuil proposé par Ecocert, et pour le plomb ce sont 16 plates-formes, soit le tiers de l'échantillon, qui dépassent ce seuil (plus de 65 mg/kg de MS). On peut cependant considérer qu'il existe encore une marge de progrès pour cet élément, plusieurs composts présentant déjà des teneurs voisines de 40 mg/kg de MS.

Tableau 4 – Teneurs en éléments traces métalliques des composts de déchets verts (45 échantillons), comparaison avec un inventaire précédent (2001), la norme NFU 44-051 et deux labels de qualité, en mg/kg MS.

Élément	Moyenne des 45 échantillons de l'audit	Données de 2001 (source Ademe)	NFU 44-051	Ecolabel européen ⁷	Ecocert ⁸ (société Ecocert)
Arsenic	5,6		18		
Cadmium	0,5	1,4	3	1	1,5
Chrome	18	45	120	100	65
Cuivre	50	51	300	100	70
Mercure	0,2 ⁷	0,5	2	1	0,6
Plomb	60 ⁷	87	180	100	65
Nickel	12	22	60	50	40
Sélénium	< au seuil de détection	1	12		
Zinc	145	190	600	300	210

⁷ Source : http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/pdf/soil_improvers/si_criteria2.pdf

⁸ <http://www.ecocert.fr/intrants/fertilisants.php>

⁷ Sur 44 plates-formes (parmi les 45 plates-formes de l'échantillon, 1 présente une teneur en plomb dépassant de très loin la norme NFU 44-051, de même 1 autre pour le mercure ; ces deux valeurs extrêmes n'ont pas été prises en compte pour le calcul de ces deux moyennes).

Aspects microbiologiques

Les pathogènes recherchés sont très rarement détectés dans les 45 composts de déchets verts analysés (tableau 5). Notons que les absences de *Pythium* et de *Listeria* ne sont pas demandées par la réglementation.

Tableau 5 – Résultats des analyses microbiologiques des composts de déchets verts. Les résultats sont exprimés en nombre d'échantillons répondant positivement (présence) ou négativement (absence) à la recherche du microorganisme considéré.

Recherche de Pythium SPP		Recherche de Listeria monocytogenes		Recherche d'œufs d'helminthes viables		Recherche de salmonelles	
Présence : 3	Absence : 42	Présence : 2	Absence : 43	Présence : 0	Absence : 45	Présence : 1	Absence : 44

Indésirables

Les valeurs trouvées pour les fractions soumises à la réglementation pour les composts répondant à la norme NFU 44-051 (films et matières plastiques, cailloux, métaux, verre) sont, pour tous les composts, en dessous des seuils réglementaires.

CONCLUSION

Malgré une qualité en progression et en comparaison des autres types de composts étudiés (de boues, de biodéchets des ménages, etc.), sur les 45 plates-formes de notre échantillon traitant des déchets verts, 12,5 % (1 sur 8) ne respecte pas la norme NFU 44-051.

Les non-conformités portent sur :

- La teneur en matière organique (qui doit être supérieure à 20 % sur matière brute) : pour 5 plates-formes (1 sur 9), soit 11 % de l'échantillon, ce pourcentage n'est pas atteint.
- La teneur en arsenic (1 dépassement) et en plomb (1 dépassement).
- La recherche de Salmonelles, positive sur 1 plate-forme.

BIBLIOGRAPHIE

> LECLERC B., PLUMAIL D. et CHENON P. 2008 – Production et qualité des composts de déchets verts en France métropolitaine. Echo-MO, n° 70, 3-6.

> LECLERC B., PLUMAIL D., CHENON P. et COULOMBEL A., 2008– Composts de déchets verts – Qualité en progression. Alter Agri, n° 90, 27-29.

CONFERENCES COMMUNES

MERCREDI 9 DECEMBRE

VERS DE TERRE : ROLES IDENTIFIES ET IDEES PRECONCUES

Yvan Capowiez

INRA UR1115 Plantes et Systèmes Horticoles
Domaine Saint Paul, 84914 Avignon cedex 09

RESUME

Les vers de terre exercent des rôles variés dans les sols et sont à ce titre qualifiés d'ingénieurs de l'écosystème du sol. Ce concept masque cependant mal que nos connaissances sont encore incomplètes. De plus, dans certaines conditions, les vers de terre peuvent également avoir un rôle négatif sur l'état du sol ou la biodiversité. Nous proposerons donc une vision critique des rôles et des intérêts des lombriciens à travers 2 exemples agronomiques : (i) la régénération des sols tassés en grandes cultures et (ii) les effets des modes de protection phytosanitaires en verger de pommiers.

INTRODUCTION

Les lombriciens (ou vers de terre) bénéficient d'une image positive auprès des agriculteurs et du grand public. Et si leur rôle dans la fertilité des sols reste non entièrement élucidé, les multiples influences que les vers exercent sur le sol ont abouti au fait que l'on considère que les lombriciens sont des « ingénieurs de l'écosystème du sol ». Ce concept d'ingénieurs de l'écosystème, développé en 1994, concerne des animaux qui, par leurs activités, vont modifier physiquement les propriétés de leur environnement et donc les conditions de vie des espèces avoisinantes. L'exemple extrême étant celui du castor qui, à partir d'un petit cours d'eau, peut créer un lac de plusieurs hectares. De manière moins spectaculaire, les lombriciens par leurs activités (enfouissement de la matière organique et création de galeries et de turrículos ou excréments rejetés par les vers) exercent potentiellement une influence importante sur certains phénomènes physiques (transfert d'eau, de gaz et de solutés), chimiques (cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote) et biologiques (interactions avec les autres composantes de l'écosystème du sol) dans le sol. À titre d'exemple, en ce qui concerne les interactions biologiques, il a été démontré à de nombreuses reprises que dans les turrículos ou dans la paroi des galeries produites par les vers, le nombre de micro-organismes et leur activité étaient plus importants que dans la matrice du sol, les conditions d'humidité, d'aération et d'alimentation (présence de nutriments) y étant plus favorables.

L'influence des vers n'est pas la même selon les espèces, il existe également 3 types écologiques représentant d'ailleurs 3 pôles évolutifs, certaines espèces ayant des caractéristiques intermédiaires :

- les vers épigés qui vivent dans la litière et qui induisent une dégradation rapide de celle-ci
- les vers endogés qui vivent exclusivement dans le sol à la recherche de matière organique, construisant donc des réseaux de galeries qui communiquent entre elles, sans orientation préférentielle et souvent superficiels (dans les 20 premiers centimètres)
- les vers anéciques qui se nourrissent de la matière organique à la surface du sol mais se réfugiant en profondeur dans leur galerie verticale et peu ramifiée qui peut atteindre pour certaines espèces plusieurs mètres de profondeur.

Ce dernier est donc celui qui participe le plus à l'enfouissement de la matière organique et qui construit les galeries les plus utiles *a priori* à l'infiltration de l'eau.

Cependant, ce concept d'ingénieur de l'écosystème est peu opérationnel, il masque mal le fait que le rôle exact des vers dans le sol, en fonction des types écologiques et des espèces, est encore mal connu et surtout que la contribution de ces animaux à certains phénomènes repose sur quelques observations éparses et non sur une compréhension précise et quantifiée des phénomènes en jeu.

Certains sols agricoles canadiens en sont dépourvus (ces derniers n'ayant pas, pour des raisons inconnues, recolonisé ces terres après la dernière glaciation) et ont pourtant des rendements similaires à ceux de sols équivalents en Europe. Il existe également quelques cas connus, en Amazonie après déforestation ou dans certaines forêts canadiennes, où l'invasion par une espèce de vers de terre a eu des conséquences négatives soit sur la structure du sol, soit sur la biodiversité végétale. Par ailleurs, les expériences, volontaires ou non, ayant conduit à une exclusion des populations lombriciennes, ont surtout démontré des conséquences sur la structure du sol : augmentation importante de la densité du sol et diminution de la macroporosité pour les sols non labourés (vergers et prairies). Le rôle physique des vers dans les sols semble donc prédominant.

Par ailleurs, les vers sont très souvent considérés comme des indicateurs de l'impact des pratiques agricoles. En effet, ils sont très sensibles aux modifications de leur environnement immédiat : structure du sol, humidité, quantité et localisation de la matière organique. Le travail du sol (type de labour) a un effet maintenant bien connu, non seulement sur les abondances lombriciennes mais aussi sur la répartition en types écologiques, les anéciques étant désavantagés et les endogés avantagés par des labours classiques. D'autre part, l'effet de la protection phytosanitaire sur ces communautés, s'il est souvent avancé, n'a jamais réellement été démontré. Seul l'effet de l'utilisation importante, dans le passé, de cuivre comme fongicide en verger ou en vigne a eu des effets dépressifs reconnus sur ces populations.

A partir de deux exemples, nous discuterons du rôle réel que peuvent avoir les vers de terre dans la régénération des sols tassés et des difficultés à utiliser les lombriciens comme bioindicateurs des modes de protection phytosanitaires en verger de pommiers.

1 RÔLE DES LOMBRICIENS DANS LA RÉGÉNÉRATION DES SOLS TASSÉS

Lors de certaines opérations culturales, surtout si elles sont pratiquées en conditions très humides, des tassements importants du sol peuvent se produire. L'amélioration de l'aération du sol peut être obtenue, au moins partiellement, grâce au labour. Cependant, dans un contexte de labour minimum ou même de zéro labour, il faut alors compter sur la régénération naturelle, quelle soit physique (alternance de cycles gel/dégel ou d'humectation/séchage) ou biologique (action des lombriciens et des racines).

Sur le site expérimental de l'INRA de Mons, sur une parcelle en travail du sol limité, nous avons réalisé des compactations de sol importantes (passage d'engins de récolte de betteraves) puis observé au cours du temps (2 fois par an sur 3 années), (i) le retour des populations de lombriciens et (ii) l'amélioration de la structure du sol par l'apparition de macropores.

Il ressort de ces analyses que :

même si la densité apparente atteint 1,6 g/cm³ sous les traces de roues, les vers de terre recolonisent très vite (moins d'un an) ces zones compactées qui sont localisées. La restauration des aspects fonctionnels liés aux macropores est plus lente (il faut au moins 2 années pour observer des réseaux de galeries similaires entre zone compactée (sous roue) et zone non compactée (hors roue))

Ces résultats, à valider dans d'autres contextes agronomiques, montrent que le rôle des vers de terre dans la régénération des sols tassés a été jusqu'ici sous-estimé. On notera cependant qu'il est probable que les conditions de labour superficiel (7 cm de profondeur), observé sur le site de Mons, ont pu favoriser un rapport rapide des vers de terre.

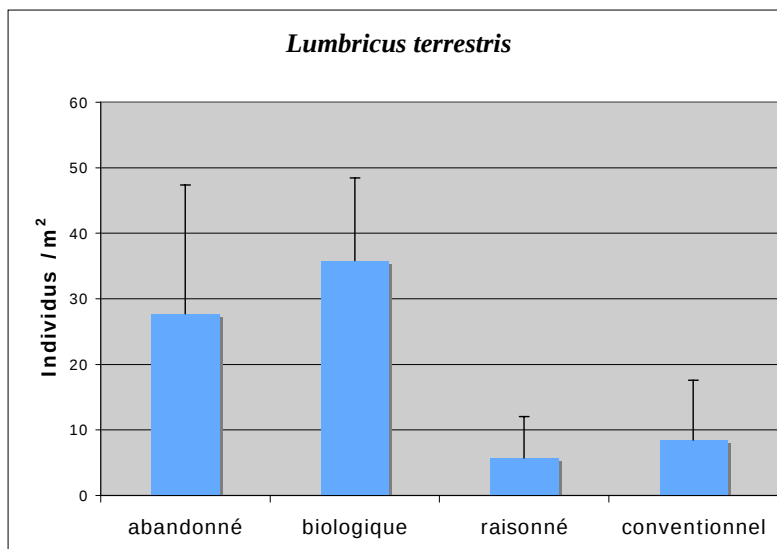


Figure 1 – Abondances moyennes (et écart types) des vers de l'espèce *Lumbricus terrestris* dans 37 vergers différenciés par leur mode de protection phytosanitaire.

2 EFFETS DES MODES DE PROTECTION PHYTOSANITAIRES SUR LES COMMUNAUTÉS DE LOMBRICIENS EN VERGER DE POMMIERS

L'arboriculture est un des rares secteurs agricoles où la consommation de pesticides ne baisse pas. En verger de pommiers, cela est dû notamment aux problèmes liés au carpocapse des pommes et à la tavelure.

Pour mettre en évidence si ces fortes utilisations de produits phytosanitaires ont un impact sur les communautés lombriciennes dans les sols, nous avons réalisé des prélèvements dans 37 vergers de pommiers au sud d'Avignon. Ces vergers se répartissent en 34 catégories : (i) des vergers abandonnés, (ii) des vergers dit « conventionnels », (iii) des vergers en protection raisonnée (utilisation de la confusion sexuelle contre le carpocapse des pommes) et (iv) des vergers en agriculture biologique. Les 3 derniers modes de protection diffèrent significativement soit par la nature des matières actives employées soit par les quantités épandues.

Il ressort de ces analyses que :

- (i) l'abondance (ou la biomasse) des lombriciens n'est que peu affectée par les modes de protection phytosanitaires (même si des différences significatives sont observées)
- (ii) l'abondance de l'espèce anécique *Lumbricus terrestris* est-elle, par contre, très influencée par ces modes (avec un maximum dans les vergers abandonnés et en agriculture biologique).

En conclusion, les vers de terre sont sensibles à de nombreux facteurs (fertilisation, compaction, gestion de l'enherbement, retour de matière organique au sol,...) si bien qu'il est difficile d'isoler l'effet de la seule protection phytosanitaire. Globalement, on peut quand même affirmer que ces organismes sont peu sensibles à des usages pourtant intensifs d'insecticides, ce qui tendrait à montrer que ceux-ci sont rapidement dégradés dans l'environnement.

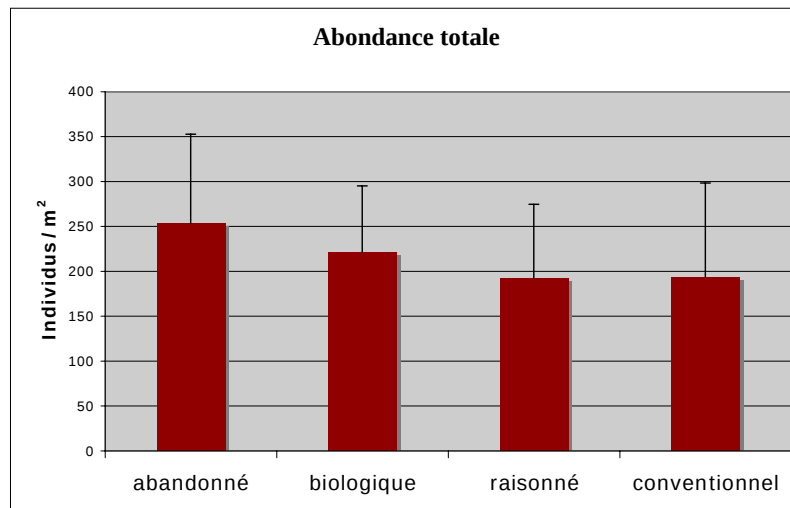


Figure 2 – Abondances moyennes (et écart types) des lombriciens dans 37 vergers différent par leur mode de protection phytosanitaire

TRAVAIL DU SOL ET ACTIVITES MICROBIENNES EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

Jean-François Vian ; vian@isara.fr

ISARA-Lyon, 23 rue Jean Baldassini, 69364 Lyon cedex 07

RESUME

Les techniques sans labour présentent des avantages agronomiques à long terme mais, au cours des premières années de leur application, elles peuvent générer des problèmes de nutrition des cultures et de tassement du sol. Afin de mesurer l'effet de ces techniques en agriculture biologique (AB), différentes expérimentations ont été mises en place en grandes cultures et maraîchage. Il ressort de ces expérimentations que les activités microbiennes sont supérieures au sein des horizons d'enfouissement des résidus de culture et réduites au sein des zones compactées, principalement sous les zones de passages de roues. La structure du sol est donc un facteur important qui gouverne le niveau de minéralisation du carbone et de l'azote organique du sol. La réduction ou la limitation à certaines zones de ces passages de roues s'avère donc être un enjeu important afin de limiter au maximum l'effet des zones compactées sur les activités de minéralisation des microorganismes du sol.

INTRODUCTION

On assiste depuis quelques décennies à une transition graduelle qui s'effectue entre les techniques de travail du sol conventionnel (labour) et des formes variées de techniques sans labour (TSL). Mais, ces TSL se sont développées de façon quasi-exclusive dans les systèmes de production conventionnels. La plupart des techniques culturales employées en AB nécessitent en effet un travail du sol fréquent voire intensif afin de palier, entre autres, l'absence d'utilisation d'herbicides. Les effets bénéfiques des systèmes agrobiologiques peuvent être alors réduits ou annulés par l'utilisation intensive des interventions mécaniques (pertes de matière organique, tassement des sols, érosion) (Teasdale *et al.*, 2007). L'AB est donc confrontée à un paradoxe car le recours fréquent au travail du sol semble nécessaire mais il peut engendrer une dégradation de la qualité des sols.

Depuis quelques années, l'IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements standards) encourage les agriculteurs à adopter les TSL en AB afin de limiter l'érosion des sols et d'améliorer la qualité des sols (Peigné *et al.*, 2007). Cependant, sur le court terme (< 5 ans) l'adoption de ces techniques peut occasionner des problèmes de nutrition des cultures en raison d'une immobilisation de l'azote importante (Pekrun *et al.*, 2003) et d'une dégradation de la structure du sol. Or, les systèmes agrobiologiques reposent, plus qu'en conventionnel, sur les processus chimiques et biologiques du sol pour la fourniture d'éléments assimilables pour la culture en place. Les microorganismes du sol sont des acteurs clefs de la nutrition des cultures en AB et une dégradation même transitoire de leur environnement physique et chimique, réduisant leur capacité à minéraliser la MOS et à libérer des éléments nutritifs pour la culture en place, peut être fortement préjudiciable pour les cultures et la situation économique de l'exploitant agricole. Cependant, peu de références sur l'effet des techniques de travail du sol de conservation sont disponibles en AB.

C'est dans ce cadre que plusieurs organismes de développement et de recherches ont lancé des programmes sur les TSL en AB afin d'évaluer leur efficacité et leur adaptabilité en grandes cultures et maraîchage biologiques.

Cette communication présente quelques résultats sur l'influence de différentes techniques de travail en AB (systèmes céréaliers et maraîchers) sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation de la matière organique et de l'azote en lien avec les modifications structurales et trophiques engendrées par un changement de pratique de travail du sol.

1 INFLUENCE DE LA REPARTITION DES RESIDUS DE CULTURE ET DE LA STRUCTURE DU SOL SUR LES MICROORGANISMES EN AB

Dispositif expérimental

En 2005 l'ISARA-Lyon a mis en place un essai expérimental en grandes cultures céréalières comparant 4 techniques de travail du sol sur un sol sableux : (1) labour traditionnel (LT) (0-30 cm), (2) labour agronomique (0-18 cm) (LA), (3) travail du sol réduit (0-15 cm avec un outil à dents) –TR) et (4) travail du sol très superficiel (0-7 cm - TTS). Différents indicateurs ont été suivis depuis la mise en place de l'essai : composantes du rendement, adventices, composantes chimiques, structure du sol, vers de terre et microorganismes du sol.

Afin d'étudier simultanément l'effet de la répartition des résidus de culture et de la structure du sol sur les microorganismes, les prélèvements ont été effectués au sein de profils culturaux. Ainsi, les mesures microbiennes ont été effectuées à différentes profondeurs sur des mottes de structure différentes : mottes non compactées (Γ) et mottes compactées (Δ).

Des mesures de biomasse microbienne, potentiels de minéralisation du carbone et de l'azote (Cmin et Nmin) ont été réalisées en sortie d'hiver ainsi qu'une analyse de la structure génétique des communautés microbiennes du sol au cours des premières années d'application des traitements (Vian, 2009).

Résultats : minéralisation de la matière organique (Cmin)

La figure 1 permet de voir l'influence de la répartition des résidus de culture et de la structure du sol sur le potentiel de minéralisation de la MO (Cmin) au sein des profils culturaux.

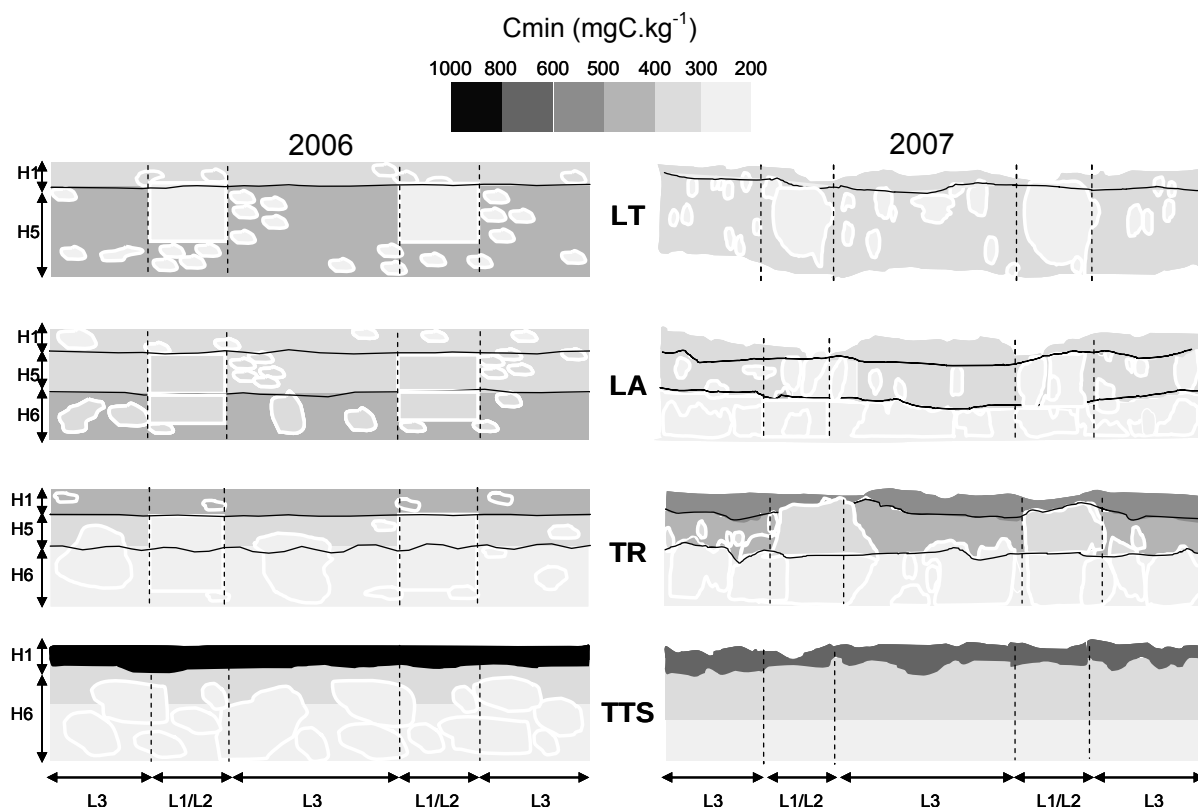


Figure 1 : Influence de la structure du sol et de la répartition des résidus de culture sur la répartition du potentiel de minéralisation du C (mgC.kg⁻¹) au sein du profil cultural (4 m x 30 cm). Les zones compactées sont délimitées en blanc.

L'activité des microorganismes (Cmin) est localisée au sein des couches de sol où les résidus de culture sont enfouis. L'activité globale des microorganismes est donc répartie de façon homogène sur la profondeur labourée (0-30 cm pour LT et 0-18 cm pour LA) et présente une stratification verticale en non labour (TR et TTS, gradient de couleur sur la figure 1).

La figure 1 montre également que l'activité des microorganismes est réduite au sein des zones compactées dans le profil de sol. Cet effet ne se manifeste que dans les horizons d'enfouissement des résidus de culture, dans les horizons où la quantité de substrats organiques est plus faible, le tassement du sol n'a pas d'influence sur la minéralisation de C. La diminution de l'activité microbienne au sein des zones compactées est principalement due aux conditions anoxiques qui limitent la croissance microbienne et diminuent leur capacité à oxyder la MO du sol. La diffusion de l'oxygène et les échanges gazeux sont déterminés en grande partie par les vides et les macro-pores du sol qui sont supérieurs au sein des mottes Γ par rapport aux mottes Δ (Vian *et al.*, 2009).

2 LE TRAVAIL DU SOL EN MARAICHAGE : INTERET DES PLANCHES PERMANENTES

Dispositif expérimental

En 2000, la station expérimentale la SERAIL a mis en place un essai (sur un sol limono-argileux-sableux) comparant deux itinéraires techniques de travail du sol en maraîchage : (1) un itinéraire technique classique avec labour (rotobèche) et outils animés et (2) un itinéraire technique en planche permanente (butteuse, cultibute et vibroplanche).

Les principes de la planche permanente sont : des passages de roues toujours au même endroit et non travaillés, une utilisation exclusive d'outils à dents et la formation et le maintien de la butte avec des disques. Entre 2001 et 2006 plusieurs mesures ont été effectuées : suivi des composantes du rendement, évolution de la structure du sol et de la fertilité chimique du sol, mesures microbiennes (biomasse microbienne et potentiels de minéralisation du C et N) (Berry et Demeusy, 2006).

Résultats : activité minéralisatrice de l'azote (N_{min})

La figure 2 montre l'influence en 2006 de l'itinéraire technique de travail du sol et des zones de tassements (passages de roues) sur le potentiel de minéralisation de l'azote organique du sol.

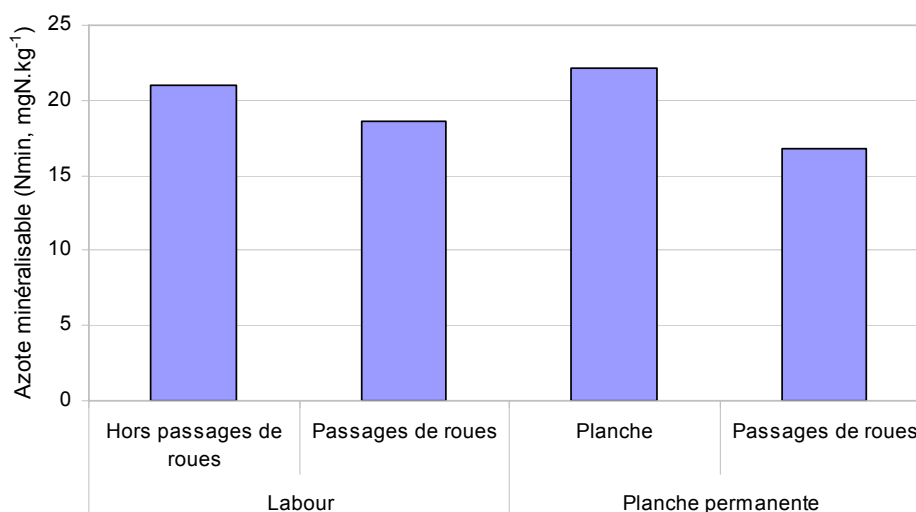


Figure 2 : Effet du type de préparation et de la structure du sol sur le potentiel de minéralisation de l'azote (N_{min} , mgN.kg⁻¹) en système maraîcher.

Les deux modalités comparées présentent la même quantité de carbone organique labile (matière organique particulaire) et la même activité de minéralisation de l'azote organique du sol (Berry et Demeusy, 2006). En revanche l'activité microbienne est réduite sous les zones de passages de roues. Or, la quantité de matière organique labile (résultats non montrés) est identique entre les zones de passages de roues et les planches cultivées, indiquant ainsi que les différences observées sont principalement dues à la structure du sol. Les zones de

passages de roues présentent en effet une structure continue composée majoritairement de mottes Δ par rapport aux planches cultivées dont la structure plus ouverte est composée de mottes Γ . Ainsi, tout comme en grandes cultures, l'activité des microorganismes est réduite au sein des zones compactées en raison d'une limitation de la circulation de l'oxygène et des échanges gazeux.

CONCLUSION

Le travail du sol modifie l'environnement chimique et physique des microorganismes du sol. Les activités microbiennes sont concentrées dans les horizons d'enfouissement des résidus de culture et au sein de ces horizons, les activités de minéralisation de la matière organique et de l'azote peuvent être réduites par la présence de zones compactées. Le premier facteur limitant l'activité microbienne semble donc être la quantité de substrats disponible. En effet, le niveau de tassement du sol modifie l'activité des microorganismes lorsque qu'ils ont à disposition une quantité suffisante de MO. La limitation des échanges gazeux et de la circulation de l'oxygène au sein de ces zones compactées semble en être à l'origine.

En grandes cultures, l'adoption de techniques de travail du sol sans labour en AB n'entraîne pas une diminution du potentiel de fourniture des éléments nutritifs pour la culture en place et ce, malgré une baisse de la qualité physique et chimique du sol observée en profondeur. L'augmentation des activités microbiennes en surface compense leurs baisses en profondeur. Toutefois, la concentration des activités microbiennes en surface et la prise en masse du sol en profondeur peuvent limiter l'enracinement des cultures et occasionner ainsi d'autres problèmes agronomiques.

En maraîchage on observe les mêmes effets de la structure du sol sur les activités microbiennes qu'en grandes cultures. Ainsi, même si il n'y a pas de différences entre les itinéraires techniques en planche permanente et classique, la localisation des zones tassées (passages de roues) toujours au même endroit limite l'incidence de ces zones sur le développement des cultures. Elles ne sont en effet pas déplacées par l'action de la charrue et ne limitent donc pas l'activité microbienne au sein des planches cultivées. Par ailleurs, cette technique présente d'autres avantages comme un gain de temps de travail affecté aux opérations de travail du sol et une amélioration des conditions physiques et biologiques du sol.

BIBLIOGRAPHIE

- > BERRY, D., DEMEUSY, J., 2006 – Travail du sol en planches permanentes. Bilan de 6 années d'essai. SERAIL, compte rendu d'expérimentation. Synthèse planches permanentes SERAIL 2001-2006. <http://www.itab.asso.fr/programmes/wdusol.php>.
- > PEIGNE, J., BALL, B.C., ROGER-ESTRADE, J. et C. DAVID. 2007 - Is conservation tillage suitable for organic farming? A review. *Soil Use and Management* 23:129-144.
- > PEKRUN, C., KAUL, H.P., et W. CLAUPEIN. 2003 - Soil tillage for sustainable nutrient management, p. 83-113, In A. El Titi, ed. *Soil Tillage in Agroecosystems*. CRC Press LLC, Boca Raton.
- > TEASDALE, J.R., COFFMAN, C.B., et R.W. MANGUM. 2007 - Potential Long-Term Benefits of No-Tillage and Organic Cropping Systems for Grain Production and Soil Improvement. *Agronomy Journal* 99:1297-1305.
- > VIAN, J.F. 2009 - Comparaison de différentes techniques de travail du sol en agriculture biologique : effet de la structure et de la répartition des résidus de cultures sur les microorganismes du sol et leurs activités de minéralisation du carbone et de l'azote. PhD thesis, AgroParisTech, Paris.
- > VIAN, J.F., PEIGNE, J., CHAUSSOD, R., ROGER-ESTRADE, J. 2009 - Effects of four tillage systems on soil structure and soil microbial biomass in organic farming. *Soil Use and Management* 25:1-10.

APPROCHE BIODYNAMIQUE DE LA FERTILITE DES SOLS

Pierre Masson

Conseiller en agriculture biodynamique

Lors d'un cycle de conférences tenu en 1924 devant des scientifiques et des agriculteurs, connu sous le nom de "cours aux agriculteurs", Rudolf Steiner, philosophe spiritualiste autrichien, partant d'une critique de l'évolution de l'agriculture productiviste de son époque a fourni des indications permettant de réaliser une agriculture conforme à la nature propre du vivant, respectant au mieux le sol, la plante et l'animal et destinée à fournir une alimentation de qualité pour l'être humain.

Depuis 1924 de nombreux chercheurs et praticiens ont œuvré pour mettre en place des applications pratiques de cette nouvelle méthode. On peut citer en particulier E. Pfeiffer, et A. Podolinsky auxquels je ferai référence durant cet exposé.

Les processus de vie sont complexes, la méthode analytique parfaitement adaptée pour travailler avec la nature inorganique est insuffisante pour comprendre les phénomènes relevant du vivant et encore moins ceux qui relèvent de la psyché ou de la destinée des humains et des sociétés. Steiner sur les traces de Goethe tenta de mettre au point une méthode adaptée à l'exploration de cette complexité du vivant et de l'être humain. On peut trouver dans son œuvre une sorte de discours de la méthode permettant d'accéder à une pensée vivante.

Comment caractériser la méthode biodynamique ?

1) La méthode d'agriculture biodynamique s'appuie comme toute agriculture sur l'observation des bonnes règles de base de l'agronomie. Si on se réfère à E. Pfeiffer (Fécondité de la terre, éd Triades), les grandes règles agronomiques classiques doivent être respectées, par exemple : un préalable à toute pratique agricole est la gestion des excès ou des manques d'eau dans les sols. Si les carences en calcium ou en magnésium sont effectives, des apports doivent être effectués de manière progressive et modérée. Il en est de même de la nécessaire adaptation des espèces, variétés, portes greffe, etc. au terroir.

2) L'agriculture biodynamique s'inscrit dans la dimension des agricultures biologiques, elle respecte donc les règlements en vigueur qui concernent celles-ci, en Europe, le règlement européen relatif à l'AB (RCE n° 889/2008).

3) Mais elle se caractérise par plusieurs aspects spécifiques parmi lesquels on peut citer:

a) L'idée d'organisme agricole individualisé et autonome. La deuxième conférence du cours aux agriculteurs introduit cette notion d'individualité en tant que principe d'organisation. On peut y lire la description moderne d'une économie écologique fonctionnant en cycle : "Une agriculture idéale devrait en vérité se rapprocher de cet état (...) cela signifie qu'il faudrait disposer au sein même du domaine de tout ce qui est nécessaire à la production, y compris bien entendu, du cheptel approprié" R. Steiner 1924. Pour avoir une agriculture durable et féconde, il est souhaitable de réunir dans un même domaine une grande diversité de cultures, de plantes sauvages et des animaux en nombre et en espèces adaptées à la nature du sol et au contexte climatique afin de conduire à une autonomie de la fumure. Il est souhaité aussi dans l'idéal de rechercher une autonomie locale en ce qui concerne les semences, les plants et aussi les préparations biodynamiques.

b) L'emploi de préparations utilisées à des doses infinitésimales qui sont destinées soit à être pulvérisées sur les sols ou les plantes soit à être introduites dans les composts. Ces préparations sont réalisées à partir de bouse de vache, de farine de quartz et de plantes ayant subi pour certaines un processus d'évolution fermentaire dans des organes animaux appropriés. Elles sont connues sous le nom de préparations biodynamiques.

c) Un travail inséré dans les grands rythmes cosmiques, solaires prioritairement (rythmes des saisons et rythmes du matin et soir) et secondairement lunaires et planétaires.

d) L'emploi de méthodes régulatrices préventives pour aider les plantes à mieux résister à leurs bio-agresseurs. On peut citer : l'emploi d'extraits végétaux sous forme de tisanes, décoctions, macérations; la pratique des incinérations et obtention de cendres employées seules ou en dilutions homéopathiques décimales (D8) qui sont destinées à réguler une espèce végétale ou animale indésirable dans un lieu donné. On peut aussi considérer une pratique fondamentale pour l'arboriculture et la viticulture qui consiste à appliquer des badigeons à base d'argile, de bouse de vache et de décoction de prêle des champs pour nourrir et régénérer les écorces.

e) Une recherche sur des semences et des plants adaptés au lieu et à l'alimentation animale et humaine.

f) Un travail conscient sur le paysage et les interactions qui peuvent naître de la présence des haies, des bosquets, des zones humides, des insectes, des vers de terre, des oiseaux, des abeilles, etc.

Ceci est indiqué à titre d'introduction pour caractériser les principes fondamentaux de la méthode.

Sur le thème "fertilité du sol en biodynamie", voici quelques manières de faire et quelques résultats.

Du point de vue des biodynamistes, la fertilité est la capacité du sol et des plantes à accueillir ce qui vient de l'atmosphère (du cosmos). On peut citer l'eau, les gaz (azote, oxygène, dioxyde de carbone), la chaleur, la lumière et aussi ce qui arrive par la voie atmosphérique et peut être "capté" par le sol et les plantes (phosphore, calcium, potassium et oligo-éléments divers)⁹ ainsi que les forces formatrices issues du monde stellaire et planétaire.

Une préoccupation centrale est celle de l'azote, de son stockage dans le sol et de sa mise à la disposition des plantes. C'est une question fondamentale posée par Steiner dès le début de son cycle de conférences : "Comment introduire de la bonne manière l'azote dans le monde végétal ?"

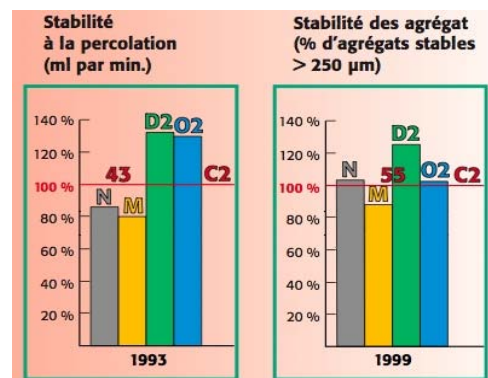
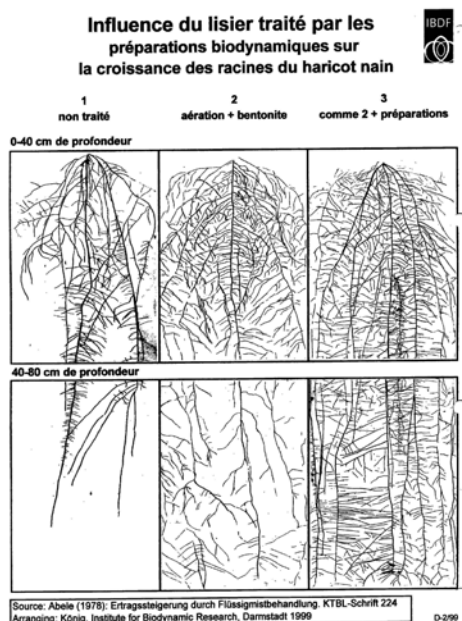
Un autre problème est celui de la formation d'humus et de la mise en œuvre de ses qualités fondamentales : "rétention et circulation de l'eau, circulation d'air et de gaz divers, augmentation de la chaleur spécifique et absorption des rayons solaires, structuration et stabilisation du sol, mobilité des ions et pouvoir tampon élevé, réservoir de substances azotées et carbonatées, stockage de minéraux indispensables à la croissance" (André Birre).

Pour cela il faut développer la capacité respiratoire du sol, ses qualités de porosité donc sa structuration. Il est important de fournir des modèles de comportement au sol et aux matières organiques en évolution dans le sol. Edwin Scheller, chercheur, agronome et biologiste allemand a développé le concept de "mobilisation active des nutriments par la plante"¹⁰ par prélèvement dans l'humus, l'argile ou les gels colloïdaux présents dans le sol (colloïdal = non-soluble). Il est indispensable de stimuler cette mise à disposition pour les plantes des éléments minéraux stockés par une activation de la vie du sol.

L'idée première pour améliorer le fonctionnement du sol est d'avoir un système racinaire puissant et profond à la fois pour prélever les éléments minéraux dans la totalité du profil mais aussi pour apporter au sol par les exsudats racinaires de quoi nourrir au mieux les microorganismes présents dans la rhizosphère. Les recherches d'Abele confirment cette possibilité des préparations biodynamiques (Tableau 1).

⁹ Voir les travaux de Jacques Labeyrie et Elaine Ingham cités par Joseph Pousset dans "Engrais verts et fertilité des sols" France Agricole Editions, 2002

¹⁰ Edwin Scheller : Aktiv Nährstoffmobilisierung durch die Pflanzen. Selbstverlag Zeitlofs-Eckarts 1988



Tableau

2

Tableau 1

Les plantes excrètent dans le sol une partie importante des substances qu'elles élaborent dans le processus de la photosynthèse. Entre 20 et 40 % des sucres totaux formés par les plantes sont ainsi excrétés sous forme d'exsudats, de polysaccharides, de mucilages, etc. Ceci permet la nutrition des microorganismes de la rhizosphère. Une activité biologique intensifiée permet de faire évoluer ces corps microbiens en fin de cycle vers la formation d'humus et d'accroître ainsi le réservoir de nutriments où peut puiser la plante. Ceci ne peut se dérouler correctement que dans des sols disposant d'une bonne stabilité structurale et de conditions aérobies correctes. Un emploi soigné des préparations biodynamiques permet d'atteindre ces objectifs.

Les résultats de l'essai DOC¹¹ conduits par le FIBL¹² en Suisse depuis plus de 30 années sont positivement significatifs pour la biodynamie, en particulier sur les critères de formation d'humus stable et d'humines, sur la porosité et la stabilité structurale ainsi que sur l'activité microbienne et la création de diversité. Voir les tableaux 1, 2, 3 et 4.

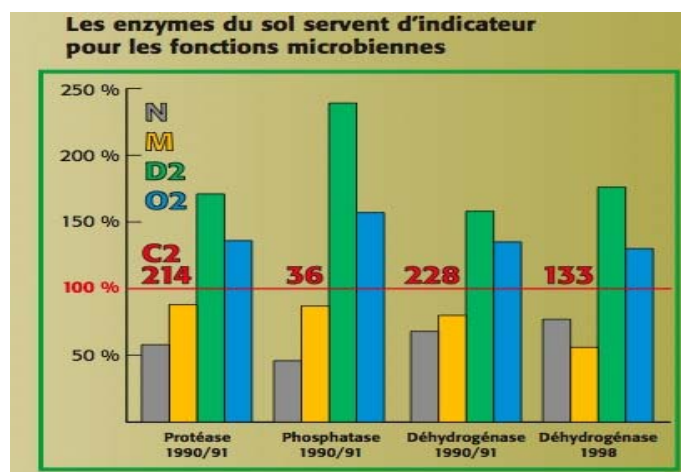
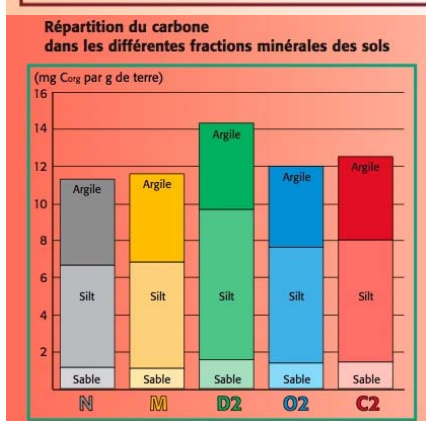
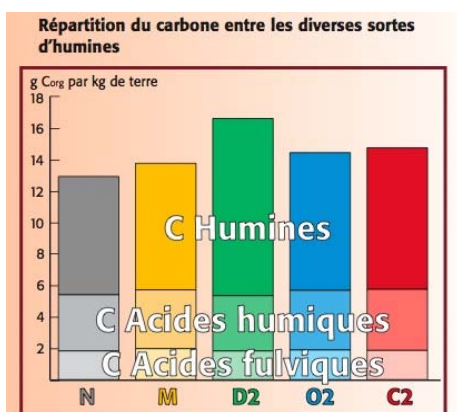


Tableau 3

¹¹ Cet essai compare cinq méthodes agricoles D - biodynamique, O - biologique, C - conventionnel-intégré avec fumure organique et minérale, M - fertilisation exclusivement minérale, N - sans fertilisation.

¹² FIBL/IRAB Institut Suisse de recherche en agriculture biologique <http://www.fibl.org>



Nature et emploi des préparations biodynamiques.

Il existe huit préparations qui sont complémentaires et doivent être employées chaque année plus ou moins intensivement selon le contexte et les résultats désirés. Elles donnent, si elles sont bien utilisées, des résultats intéressants pour le maintien et l'accroissement de la fertilité des sols. Les observations pratiques sur le terrain montrent cela de manière évidente.

1) La préparation bouse de corne dite "500" :

Obtenue par une fermentation de bouse de vache de bonne qualité dans des cornes de vache enfouies dans le sol durant la période d'hiver, c'est une substance particulièrement destinée au sol. Elle favorise la structuration du sol, l'activité microbienne et la formation d'humus. Elle renforce aussi la croissance des racines et leur développement en profondeur. C'est la préparation de base pour l'agriculture biodynamique.

2) La préparation silice de corne dite "501" :

Obtenue à partir de quartz broyé finement et placée dans des cornes de vache enfouies dans le sol durant la période estivale, cette préparation améliore le métabolisme de la lumière (photosynthèse) et apporte une vigueur et une qualité lumineuse aux plantes. Elle équilibre la trop grande luxuriance et atténue les tendances aux maladies. Cette préparation est essentielle pour la structuration interne des plantes et pour leur développement. Enfin, elle est importante pour assurer une bonne qualité alimentaire, le goût et les arômes sont mis en valeur. Elle constitue un complément indispensable de la bouse de corne.

Ces deux préparations doivent être diluées dans l'eau et brassées (dynamisées) durant exactement une heure. La formation d'un tourbillon (vortex) profond suivi d'un chaos énergétique en alternant le sens de rotation sont essentiels. Elles sont ensuite pulvérisées rapidement pour entrer en contact avec le sol ou les plantes. Les quantités employées sont très faibles, 90 à 120 grammes dans un volume de 30 à 50 litres d'eau par hectare pour la bouse de corne et seulement 4 grammes par hectare pour la silice dans des volumes d'eau comparables.

3) Six préparations sont destinées à être introduites dans les fumiers et les composts.

Achillée millefeuille - *Achillea millefolium* (502) Elle joue un rôle particulier dans la mobilité du soufre et de la potasse.

Camomille - *Matricaria recutita* (503) : Liée au métabolisme du calcium, elle régularise les processus de l'azote.

Ortie - *Urtica dioica* (504) : En rapport avec l'azote et le fer, elle renforce l'influence des deux premières préparations. Elle donne au compost et au sol une sensibilité, une sorte de "raison" et favorise une bonne humification.

Écorce de chêne - *Quercus robur* (505) : Elle a un rapport avec le calcium et régularise les maladies des plantes dues à des phénomènes de prolifération, d'exubérance.

Pissenlit - *Taraxacum dens leonis* (506) : Elle joue, entre autres, un rôle important vis-à-vis de l'assimilation de l'acide silicique.

Valériane - *Valeriana officinalis* (507) : Elle aide à la mobilité du phosphore dans les sols et pulvérisée sous forme liquide, elle forme une sorte de manteau protecteur et régulateur autour du compost, une sorte de peau indispensable à tout organisme.

Ces préparations sont pour la plupart obtenues au travers d'un processus fermentaire dans des organes animaux : vessie, méésentère, intestin et crâne d'animal domestique. Les doses d'emploi sont très faibles : deux grammes de chacune suffisent pour des volumes allant jusqu'à 10/15 mètres cube de matière à composter. L'efficacité de ces préparations est fortement dépendante des soins liées à leur élaboration : la cueillette des plantes, leur conservation, la qualité des enveloppes animales et le savoir faire de celui qui les prépare et les soigne.

Il existe plusieurs préparations composées qui permettent d'épandre les six dernières préparations sur le sol, sous forme liquide, là où l'on n'emploie pas de compost préparé. L'une est très connue en France, sous le nom de compost de bouse selon Maria Thun (CBMT).

L'Australien Alex Podolinsky a mis au point une préparation composée qui contient la bouse de corne (500) et les six préparations destinées habituellement au compost (502 à 507). Elle est dénommée "bouse de corne préparée" (500P). Elle est très efficace (Goldstein 1990) et employée largement en France, Suisse, Italie, et Australie. Les résultats d'évolution de sols et de comportements des plantes présentés au cours de cet exposé sont obtenus avec l'emploi de cette préparation.



Évolution de sols limoneux avec cinq années d'emploi des préparations biodynamiques sans apport de fumure. (Essai vigne Cortons, biologique à gauche, biodynamique à droite.)

D'autres pratiques sont largement employées pour mieux gérer la fertilité.

Pour la fumure, la base de la fertilisation biodynamique est **le compost d'origine végétale et /ou animale** de préférence réalisé sur le domaine sinon d'origine locale avec l'introduction des préparations spécifiques citées plus haut. Le cahier des charges DEMETER¹³ autorise en cas de besoins prouvés l'emploi de fertilisants minéraux ou organiques pour le phosphore, la potasse, etc. On peut noter dans les résultats de recherche (essais du FIBL et travaux de l'IBDF¹⁴) que les affirmations du cours aux agriculteurs de R. Steiner concernant le rôle des différentes préparations vis-à-vis du comportement des éléments sont partiellement vérifiées. Par exemple les échanges du phosphore entre la matrice du sol et la solution du sol sont plus intenses dans les modalités biodynamiques alors que la teneur du sol en phosphore y est assez basse. De même, les difficultés du métabolisme du potassium ou du fer (expression de carences foliaires en vigne) peuvent être levées avec l'emploi de très faibles doses de préparations biodynamiques ou de tisanes de plantes appropriées.

L'emploi des **engrais verts**, associé à un bon usage de la préparation bouse de corne (500P), permet de développer plus d'autonomie en matière de fumure. Il existe des praticiens en viticulture et en arboriculture biodynamique qui associent plus de 50 plantes différentes pour disposer de systèmes racinaires complémentaires.

Les rotations longues comprenant des prairies temporaires riches en légumineuses et des cultures de protéagineux sont une clef pour le maintien d'une bonne fertilité. On trouve des exemples de rotations de 6 à 13 ans dans les systèmes évalués par Koepf, Schaumann et Haccius -EAR 2001.

Le **paillage et le mulching** à base d'herbe fraîche sont des outils efficaces en maraîchage¹⁵ et partiellement en arboriculture (Pb des rongeurs).

Le problème du **travail du sol** en butte (planches permanentes) et du **non-labour** ou au contraire du travail de ripage en profondeur sont des thèmes qui agitent les milieux biodynamiques. Il n'y a pas de vérité toute faite et l'on rencontre plusieurs écoles. Depuis les tenants des engrais verts semi-enfouis sans séchage préalable, suivi d'un ripage avec passage de la préparation "bouse de corne préparée" (500P) et les partisans des techniques culturales simplifiées avec semis sous couvert ou encore ceux qui tiennent à la pratique des labours peu profonds. Tout cela dépend beaucoup du contexte pédoclimatique (génétique du sol, pluviométrie, etc.) et demande à être réévalué avec la nouvelle donne de la crise de l'énergie.

On peut noter que l'on ne peut pas séparer du problème de la fertilité celui de **l'adaptation au contexte des espèces et des variétés cultivées**. La création de variétés adaptées à une minéralisation lente de l'azote au printemps par exemple est directement en lien avec les problèmes de fécondité du sol.

Enfin, le travail conscient sur **l'aménagement du paysage** est essentiel. Il existe un lien entre la biodiversité régnant dans le sol et à sa surface avec la fertilité. Une conférence entière du cours aux agriculteurs de R. Steiner (7e conférence) est consacrée aux interactions subtiles qui se nouent dans le paysage entre cultures, vergers, haies, bosquets, zone humides, etc. Le rôle des insectes, des papillons, des oiseaux dans l'atmosphère et celui de la faune du sol avec ses larves, ses insectes, ses vers de terre, etc. est examiné dans la perspective de développer une agriculture plus prospère.

 13 est la marque internationale déposée qui caractérise les produits de l'agriculture biodynamique contrôlée et certifiée.

14 IBDF Institut für Biologisch-Dynamisch Landwirtschaft : <http://www.forschungsring.de>

15 On peut trouver sur le site " eco-dyn.com " un diaporama sur le mulch d'herbe de Stephan Funke qui permet de visualiser tout l'intérêt de cette méthode jumelée avec l'emploi des préparations biodynamiques.



Exemple de comportement de plantes avec l'emploi soigné des préparations biodynamiques et la création de diversité dans le paysage (haies, bandes fleuries).

Conclusion

Dans la situation actuelle de crise de l'agriculture, la méthode biodynamique peut apporter quelques réponses. Le maintien du carbone dans les sols sous des formes qui soient suffisamment actives est un aspect positif pour l'évolution climatique. Les recherches sur le métabolisme du phosphore avec l'emploi de la préparation à base de valériane officinale sont des pistes fécondes face à un épuisement rapide des ressources. L'avenir est sans doute aux fermes qui pourront maintenir ou accroître leur fertilité à partir d'organismes autonomes avec une part la plus faible possible de surfaces consacrées aux productions animales. Beaucoup reste à faire en ce sens dans de nombreuses fermes biodynamiques. Il reste à explorer comment des échanges locaux entre domaines où la part de l'élevage est importante pour des raisons de pente, d'altitude ou de climat et des domaines plus orientés vers les productions végétales (maraîchage, arboriculture, viticulture et arboriculture) peuvent se faire en maintenant un bon niveau de fertilité pour les uns et les autres tout en ayant un bilan carbone correct. R. Steiner dans son cours d'agriculture exprime le fait que dans l'activité agricole, nous sommes quelque peu obligés de nous comporter comme des pillards vis-à-vis de la terre et que nous devrions compenser en forces ce que nous prélevons en substances. La question du comment reste en partie posée.

BIBLIOGRAPHIE

- > KOEPF H.-H., SCHAUMAN W., HACCIIUS M., 2001 - Agriculture biodynamique. Introduction aux acquis scientifiques de sa méthode. Éditions Anthroposophiques Romandes, 381p.
- > MÄDER P., FLEISSBACH A., DUBOIS D., GUNST L., FRIED P. and NIGGLI U. 2002 - Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. Science, Vol. 296, 5573, 1694-1697.
- > MASSON P. 2005 - L'agriculture bio-dynamique. Alter Agri n° 73 sept –oct 2005.
- > Masson P. 2007 - Guide pratique de la biodynamie à l'usage des agriculteurs. Dossiers techniques du mouvement de culture bio-dynamique. Edition MCBd, Colmar, 180p.
- > STEINER R. 1924 - Agriculture, Fondements spirituels de la méthode bio-dynamique; Éditions Anthroposophiques Romandes, 320p.



ITAB
149, rue de Bercy
75 595 PARIS
Cedex 12
Tél.: 01.40.04.50.64
www.itab.asso.fr



GRAB
Maison de la Bio
Agroparc - BP 1222
84 911 Avignon cx 9
Tél. : 04 90 84 01 70
www.grab.fr



GAB - IDF
10 rue des Fr. Lumière
77 100 MEAUX
Tél. : 01 60 24 71 84
www.bioiledefrance.fr



CA IDF
2, avenue Jeanne d'Arc
78153 Le Chesnay
Tél : 01.39.23.42.00
www.ile-de-france.chambagri.fr

Les **Journées Techniques Fruits & Légumes biologiques** sont organisées tous les ans dans une région différente, par l'ITAB et le GRAB en partenariat avec les structures régionales et départementales impliquées dans l'agriculture biologique.

Ces journées, au travers de **conférences, ateliers et visites de fermes innovantes**, sont un lieu d'échanges et de convivialité destiné aux acteurs de la filière.

Objectifs :

- faire le point sur les dernières innovations techniques
- identifier les problèmes rencontrés par les producteurs et les besoins en expérimentation
- mener une réflexion globale sur l'organisation des filières
- développer les relations entre agriculture conventionnelle et biologique
- permettre des échanges de connaissances et savoir-faire