

Gestion des maladies, des parasites et des ravageurs



1^{ère} JOURNEE
« DE LA RECHERCHE
A L'ACTION EN
AGRICULTURE
BIOLOGIQUE »



Foyer Communal de Gembloux

Le 05 février 2015



Centre wallon de Recherches Agronomiques
Cellule transversale de recherches en agriculture
biologique

Gestion des maladies, des parasites et des ravageurs

TABLE DES MATIERES

Accueil et introduction : René COLLIN, Ministre de l'Agriculture, de la Nature, de la Ruralité, du Tourisme, des Sports et des Infrastructures sportives, ou un de ses représentants

Président de séance : Bernard WATILLON, Chef du Département Sciences du vivant, CRA-W

Etat des lieux des problèmes phytosanitaires en 2014 :

Michel DE PROFT, CRA-W.....p 1

Mieux vaut prévenir que guérir : la résistance variétale, un levier à actionner :

Julie LEGRAND, VEGEMAR - Morgan ABRAS, CRA-W.....p 21

La gestion du problème posé par le Campagnol :

Geoffroy COUVAL, INRA/FREDON.....p 29

La gestion du problème posé par le Ramier :

Frédéric DEBODE, CRA-W.....p 35

Mieux vaut prévenir que guérir : Didier STILMANT, CRA-W.....p 43

Le cas des rotations légumières : Lieven DELANOTE, INAGROp 48

Le cas des cultures pérennes, l'arboriculture : Laurent JAMAR, CRA-Wp 67

Président de séance : Marc LATEUR, Coordinateur de l'Unité Amélioration des espèces et Biodiversité, CRA-W

Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales :

Guénaëlle CORRE-HELLOU, ESA ANGERS.....p 77

Le problème posé par l'anthracnose :

Charlotte BATAILLE, CRA-W et Louis HAUTIER, CRA-W.....p 95

Alternatives pour améliorer la conservation des fruits :

Laurent JAMAR, CRA-W.....p 99

Alternatives pour réduire les apports en cuivre :

Quentin LIMBOURG, Vincent CESAR et Laurent JAMAR, CRA-W.....p 106

Conclusions : Véronique DEWASMES, DGARNE

SUIVI SANITAIRE DE PARCELLES BIO EN GRANDES CULTURES

*C. Bataille, c.bataille@cra.wallonie.be, F. Ansseau,
N. Berger, F. Henriët, H. Rousseau et M. De Proft*
(CRA-W : Centre wallon de Recherches agronomiques)

RÉSUMÉ : Au cours de la saison 2014, l'état sanitaire d'une trentaine de parcelles BIO a été suivi par quelques agronomes du CRA-W spécialisés dans la protection des plantes et impliqués dans les avertissements agricoles, mais ne connaissant pas bien l'agriculture BIO. Cette immersion dans quelques exploitations BIO a été l'occasion de découverte et d'échanges. Elle aboutit aussi sur quelques réflexions pouvant être utiles, tant aux agriculteurs conventionnels que BIO.

CONTEXTE ET OBJECTIFS

Plusieurs équipes du CRA-W participent ou animent depuis longtemps des réseaux d'observations en grandes cultures, afin de mesurer les risques liés aux bioagresseurs et à informer les agriculteurs des enjeux et des options possibles. Ces avertissements (CADCO, APPO, FIWAP, etc.) ne donnent pas de conseil individualisé, et se centrent sur les situations les plus courantes. Les réseaux d'observation tentent de couvrir au mieux le territoire, de manière à permettre à chaque agriculteur de se référer aux observations faites dans les parcelles suivies le plus près de chez lui. Plus encore qu'une aide à la décision, ces avertissements constituent une aide à la réflexion, et une invitation systématique à observer ses propres parcelles. Ces initiatives d'encadrement et de conseil se situent dans le cadre de la protection intégrée des cultures et vise essentiellement à éviter tout abus de pesticides, par des mesures tant préventives (choix des variétés, des dates de semis, des rotations, etc.) que curatives (prise en compte de seuils de tolérance, sélection des produits).

Dans le cadre du projet BIOPRO, l'Unité Protection des Plantes et Écotoxicologie a proposé d'étendre son réseau d'observation à une trentaine de parcelles BIO. Cette initiative ne visait pas à faire l'objet d'avis en cours de saison, ni à traduire en conseils immédiats les différentes observations, mais plutôt à identifier en agriculture BIO, les particularités de la relation entre les cultures et les bio-agresseurs, qu'il s'agisse de ravageurs, de pathogènes ou bien d'adventices.

Le présent rapport est donc une réflexion d'agronomes, observateurs chevronnés en matière de protection des plantes, mais ne connaissant pas bien, ni les pratiques, ni le

contexte précis de l'agriculture BIO (filières, prix, équipements, etc). Cette prise de contact des agronomes de toutes les spécialités de la protection des plantes était un objectif à part entière de cette partie du projet BIOPRO. Ce qui les frappe, eux, pourra quelquefois constituer des évidences aux yeux des agriculteurs BIO. Toutefois, leur regard pourra attirer l'attention sur quelques problèmes avérés ou potentiels en agriculture BIO. D'un autre point de vue, ces tournées dans les fermes BIO sont aussi une occasion de se souvenir de vérités simples, un peu oubliées en agriculture conventionnelle, et pourtant fort utiles. Des exemples précis illustrent ces différents angles de vue.

RÉSEAU D'OBSERVATION BIO-PRO

Après désignation des exploitations faisant partie de la grappe « grandes cultures » par Daniel Jamar (cellule BIOPRO), les contacts ont été pris par l'Unité avec sept agriculteurs en vue de localiser les parcelles à suivre.

37 parcelles de cultures appartenant à sept exploitations ont été sélectionnées pour le suivi. Les parcelles des deux exploitations les plus décentrées n'ont fait l'objet que de deux visites, les autres ont été visitées entre 6 et 9 fois selon les cultures, à rythme approximativement hebdomadaire.

Six membres de l'Unité, de spécialités variées (entomologie, phytopathologie, malherbologie), ont été impliqués dans ces tournées, de manière à couvrir au mieux l'ensemble du champ de compétences de la protection des cultures (certaines visites ensemble, d'autres en alternance).

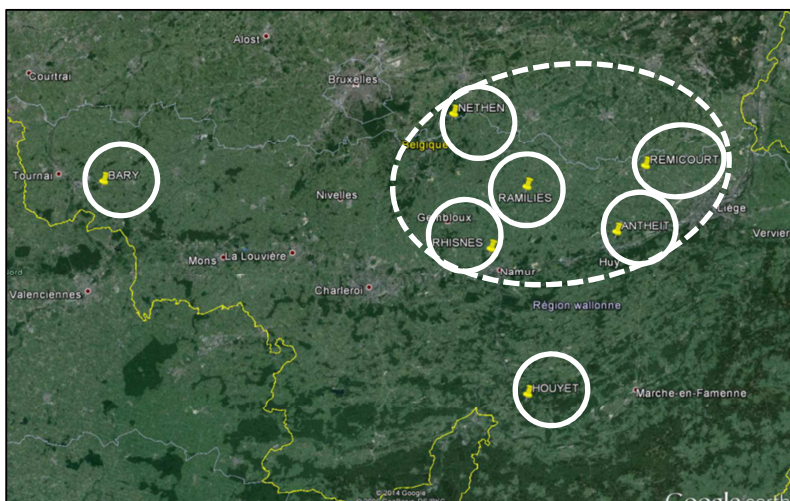


FIGURE 1 : Localisation des sept exploitations suivies

Les cultures suivantes faisaient partie du réseau : froment d'hiver, orge de printemps, épeautre, escourgeon, seigle, triticale, pommes de terre, pois frais et carotte.

PROTOCOLE D'OBSERVATION EN SAISON

A chaque passage dans une parcelle, les informations suivantes étaient consignées :

- 1) Stade de développement de la culture,
- 2) Etat général de la culture (densité, régularité, vigueur),

- 3) Etat de propreté de la culture (adventices, nature et niveau d'invasion),
- 4) Etat sanitaire de la culture (maladie, présence et sévérité),
- 5) Infestation par les ravageurs (nature et niveau),
- 6) Impressions générales - remarques - questions à poser à l'agriculteur.

Plusieurs centaines de photos ont été prises, dont 328 ont été conservées.

CONFRONTATION DES OBSERVATIONS AU CHAMP, DES PARAMÈTRES CULTURAUX ET DES RENDEMENTS

Après récolte, une entrevue a eu lieu avec chaque exploitant, afin de confronter les observations effectuées aux données culturales et aux résultats de rendement.

OBSERVATIONS EN COURS DE CULTURE

Pour chaque parcelle, seules les observations principales et jugées dignes d'intérêt sont signalées et commentées.

BIOPRO 1 : Antheit ; escourgeon

Densité, régularité, vigueur

La céréale (variété Emotion) était très bien implantée. Elle présentait une bonne densité, une bonne régularité et une excellente vigueur. Une fumure de 800 kg/ha d'engrais à base de guano avait été apportée à la sortie de l'hiver.



PHOTO BP01 2014 05 06 c : Aspect général de la parcelle au début du mois de mai

Absence de jaunisse nanisante de l'orge

Dès la première visite dans cette parcelle (semaine 16-17), un élément frappait : l'absence de tout symptôme de jaunisse nanisante, alors que la localisation de la parcelle dans un fond de cuvette protégé des vents froids constitue un facteur aggravant.



PHOTO 2014 (L. Doyen) : jaunisse nanisante dans une parcelle d'escourgeon située à Loën, dans des conditions topographiques similaires (cuvette protégée, le long de la Meuse)

Au printemps 2014, les parcelles situées dans des conditions similaires présentaient presque toujours des symptômes, voire des dégâts de jaunisse nanisante de l'orge. En effet, les infestations d'automne n'avaient pas été interrompues, à cause de la quasi-absence de gel. La parcelle d'Antheit n'a pu échapper à l'infection que grâce à sa date

de semis tardive (7-8 octobre 2013), et donc à une date de levée postérieure à la fin des vols de pucerons. Les semis précoces de céréales exposent les jeunes emblavures aux pucerons. Cette vérité vaut évidemment dans tous les types d'agriculture, mais elle est particulièrement importante en BIO.

Adventices

La flore adventice était variée (moutarde, mouron, coquelicot, chénopode, vulpin, matricaire, pensée, galinsoga, pâturin, laiterons, quelques chardons, etc.), mais pas excessivement envahissante. Le désherbage mécanique avait été effectué en deux interventions espacées de 5 jours à la fin mars : d'abord un passage à la houe

rotative ; ensuite, une fois que la terre avait bien « blanchi », un passage à la herse étrille. Plus tard, une correction manuelle a été faite pour détruire les chardons. Le désherbage obtenu était jugé satisfaisant par l'agriculteur.



PHOTO BP01 2014 06 06 b : coquelicots et quelques chardons dépassant la culture au début juin

Maladies

Dès le début du mois de mai, la culture était fortement atteinte par la rouille naine et légèrement par l'helminthosporiose. A la fin mai, le feuillage était complètement envahi par la rouille naine. A noter : la présence de quelques épis charbonneux. Les maladies transmises par les semences de céréales,

telles que le charbon nu (*Ustilago nuda*), ou la carie commune (*Tilletia faetida*) sont potentiellement très nuisibles, mais sont depuis longtemps

tombées dans l'oubli du fait de la très grande efficacité des fongicides organo-mercuriques (déjà utilisés dans les années 50), puis de produits issus de la chimie organique, dont l'usage s'est généralisé. La présence de cette maladie sur les semences BIO utilisées dans cette parcelle pose le problème de la garantie sanitaire du matériel de propagation. En effet, un seul épi charbonneux peut contaminer un très grand nombre de



PHOTO BP01 2014 05 06 : épis charbonneux dispersés dans la culture au début mai
PHOTO BP01 2014 05 30: rouille naine généralisée

grains récoltés, si bien que l'utilisation en tant que semences de grains issus d'un champ contaminé, même très faiblement comme la parcelle d'Antheit, pourrait conduire à une infestation très grave, et rendre la récolte impropre à la consommation. L'origine des semences et l'état sanitaire des champs de multiplication doivent être connus et certifiés. En agriculture BIO, une attention toute particulière à ces maladies doit être portée pour les semences qui seraient produites à la ferme.

Ravageurs

Aucun ravageur, ni aucun dégât de ravageur n'a été observé dans cette parcelle.

Rendement-satisfaction

Le rendement obtenu a été de 5 770 kg / ha, niveau jugé satisfaisant par l'agriculteur, qui a pu vendre sa récolte au prix de 300 € / T. Un meilleur résultat aurait pu être obtenu si la récolte avait pu être faite en une fois. En effet, entre les différents jours de récolte, beaucoup d'épis ont cassé.

BIOPRO 2 : Antheit ; épeautre

Densité, régularité, vigueur

La parcelle était bien implantée (semis de la 2^e quinzaine d'octobre), de bonne densité, assez régulière et de bonne vigueur. Deux variétés ont été semées : Cosmos et Zollenspelt (semences non traitées, mais non BIO ; => dérogation).



PHOTO BP02 2014 05 06 a : épeautre, au début mai

Adventices

Désherbage : houe rotative + herse étrille (cf. parcelle 1). Résultat jugé satisfaisant par l'agriculteur, avec une réserve en ce qui concerne la moutarde des champs, adventice que l'agriculteur dit avoir du mal à gérer. Nettoyage manuel rapide pour détruire les chardons.



PHOTO BP02 2014 05 06 c : rouille jaune généralisée

Maladies et ravageurs

Très forte attaque de rouille jaune sur tout le feuillage, beaucoup plus forte sur Cosmos que sur Zollenspelt. Aucun ravageur, ni aucun dégât de ravageur n'a été observé dans cette parcelle pendant toute la saison.

Rendement-satisfaction

Le rendement approximatif a été de 5.000 kg/ha en Cosmos, et de 7.000 kg/ha, en Zollenspelt. Il est évident que la rouille jaune, extrêmement grave, a grevé les rendements, particulièrement ceux de la variété Cosmos, plus sensible que Zollenspelt à cette maladie. Cette observation indique la grande importance du choix variétal, particulièrement en agriculture BIO où, en cas d'épidémie grave, on ne dispose pas de moyens pour bloquer les infections. Tout progrès dans les connaissances, qui pourrait, dès avant les semis, conduire à une mesure même approximative des risques de maladies ou même d'insectes tels que la cécidomyie orange du blé, serait très utile pour guider le choix variétal. A noter, que le niveau des rendements est apparu étonnement élevé au vu de la gravité de l'infection par la rouille jaune dès la sortie de l'hiver.

BIOPRO 3 : Antheit ; seigle

Densité, régularité, vigueur

Le semis a été effectué au cours de la seconde quinzaine d'octobre après froment, et avec des semences BIO. Le choix du seigle (variété Recrut) a été fait parce que la parcelle était assez fortement envahie de coquelicots. 400 kg d'engrais à base de guano ont été appliqués à la sortie de l'hiver.

Début mai, la parcelle présentait une bonne densité, mais un développement quelque peu « moutonnant » en stade et en hauteur, comme s'il y avait eu des irrégularités de fumure ou de disponibilité en éléments nutritifs.

Adventices

Le désherbage a été fait en deux passages de herse étrille à la sortie de l'hiver. La flore adventice était très variée, à dominante vulpin et coquelicots. L'envahissement était modéré et la culture prenait clairement le dessus. Coquelicot, gaillet, vulpins sont restés présents en sous-étage. Quelques chardons ont été détruits manuellement.



PHOTO BP03 2014 06 06 b : rouille brune

Maladies, ravageurs

La culture est restée saine jusqu'à la mi-mai, après quoi la rouille brune a commencé à s'étendre sur le feuillage inférieur. La dernière feuille était encore à peu près intacte début juin. Quelques pucerons (*R. padi*) ont été observés en début de saison, mais de manière fugace et sur moins de 1% des talles, ce qui est insignifiant.

Rendement-satisfaction

Le rendement obtenu a été de 4960 kg / ha, résultat considéré comme satisfaisant par l'agriculteur, qui en a obtenu 260 €/T.

BIOPRO 4 : Antheit ; pommes de terre

Densité, régularité, vigueur

Les plants de la variété Connect n'étaient pas issus de l'agriculture BIO, mais utilisés via dérogation, et non traités. La plantation et le buttage en une opération ont eu lieu fin avril, après application de 5 tonnes/ha de fientes de poules et trois passages à la herse rotative. En début de culture, le champ présentait quelques irrégularités de croissance, qui se sont estompées plus tard.



PHOTO BP04 2014 06 06 c : quelques irrégularités en début de développement

Adventices

Au-delà du premier buttage, le désherbage a été effectué en deux passages de herse étrille, effectués en sens opposés, le premier juste avant la levée et le second lorsque les plantules avaient 7 à 8 cm de haut. Au second passage, les dents situées à l'aplomb des buttes étaient maintenues relevées. A la fin mai, un rebutage a été opéré, puis deux passages manuels ont été faits ultérieurement pour arracher principalement les chénopodes et les chardons. Les adventices, nombreuses et variées, observées pendant les deux premiers mois de culture ont donc fini par être maîtrisées.

A noter que l'agriculteur signale des terres infestées de chénopodes sur son exploitation. Vu qu'il envisage une culture de quinoa en 2015, il serait judicieux de choisir pour cette culture les terres les moins infestées de chénopodes, difficiles à combattre en quinoa.

Maladies

En début de culture, une petite proportion de plantes paraissaient malingres et présentaient des symptômes faisant penser à des viroses. Au fil du développement, ces symptômes et ces irrégularités ayant disparu, il est vraisemblable que l'origine en soit plutôt d'ordre mécanique (dégâts herse ou buttages) que pathologique. La qualité sanitaire des plants, un moment mise en question, s'est donc avérée irréprochable.

Le mildiou, dont la pression était assez forte en 2014, a été bien maîtrisé par cinq passages à 1 kg d'oxychlorure de Cuivre. Quelques traces de mildiou ont été observées à partir de début août. Début septembre, la maladie prenant de l'ampleur, le défanage mécanique a été opéré.

Ravageurs

À la fin mai (semaine 22), le champ de pommes de terre d'Antheit était le plus infesté de pucerons de tous, y compris ceux suivis en agriculture conventionnelle. En effet, 78 % des feuilles étaient occupées par 1 à 4 pucerons (principalement *M. persicae* et *A. fabae*). Une semaine plus tard (semaine 23), l'infestation s'était déjà réduite et ne concernait plus qu'une espèce (*M. persicae*), avec une apparition brutale de pucerons parasités, de pucerons mycosés, et de pontes de coccinelles. Deux semaines plus tard, plus aucun *M. persicae* n'était comptés, et quelques *A. nasturtii* ont très brièvement pu être observés dans le bas de la végétation. Les pucerons pourtant arrivés en grand nombres, ont été efficacement maîtrisés par le cortège d'ennemis naturels, comme c'est habituellement le cas lorsqu'aucun insecticide n'est appliqué.

Rendement-satisfaction

La récolte a commencé le 26/09 et s'est terminée le 22 octobre. Le rendement (60 tonnes/ha) et la qualité étaient satisfaisants.

BIOPRO 5 : Antheit ; carottes

Densité, régularité, vigueur

Sans défaut.

Adventices

Dès avant la levée des carottes, la parcelle était fortement envahie de mauvaises herbes, malgré le système de buttage, passage au brûleur juste avant levée, « pelage » des flancs de buttes et binage des interlignes. La flore adventice était composée de crucifères, de chénopodes, de gaillet, mais surtout de séneçon et de graminées.

Trois désherbages manuels ont été nécessaires entre le début juillet et la récolte pour maintenir la culture propre (coût évalué à 1200 €/ha).



PHOTO BP05 2014 06 18 f : envahissement du sommet des buttes par les adventices

Maladies et Ravageurs

Aucun problème n'a été constaté, pas même des dégâts de campagnol agreste (*Microtus arvensis*), pourtant très abondants et très nuisibles dans de nombreux champs en 2014.

Rendement-satisfaction

Le rendement n'a pas été mesuré à proprement-parlé, mais la récolte a été jugée satisfaisante en quantité et en qualité par l'exploitant.

BIOPRO 11 : Rhisnes ; froment d'hiver

Densité, régularité, vigueur

Le champ de froment de Rhisnes se caractérisait par un interligne de 24 cm permettant, d'une part un binage et, d'autre part une bonne aération jusqu'au sol. Ce champ était très régulier, et les tiges étaient assez courtes (variété TABASCO, semences non BIO, mais non traitées => dérogation). Le champ avait été semé le 18/11/13, sur précédent haricot, à raison de 366 grains / m². Le seul défaut d'implantation était peut-être un semis trop profond, effectué par peur de dégâts de corvidés. Ce retard à la levée s'est peut-être traduit par un léger manque de tallage.



**PHOTO BP11 2014 05 06 :
Var. Tabasco ; interligne 24 cm**

Adventices

Le désherbage a été assuré par deux binages (31/03 et 09/04) suivi par deux passages à la herse étrille, le premier en biais (11/04) et le second (30/04) dans le sens des lignes. Le grand interligne permettant de circuler facilement sur toute la surface, un dernier passage manuel a pu être effectué principalement pour détruire les chardons (travail d'1h28/ha), et le champ était dans un état de propreté proche de la perfection.

Maladies

Le choix de la variété TABASCO, résistante à la rouille jaune, était une excellente inspiration en 2013-14. Un essai variété installé dans cette parcelle a en effet montré combien les variétés sensibles avaient pu souffrir de cette maladie. Ceci illustre une nouvelle fois l'importance du choix variétal en agriculture BIO.

Outre la rouille jaune, la céréale est restée extrêmement saine tout au long de la saison. Ainsi, à la mi-juin, les trois feuilles supérieures étaient encore quasi parfaitement saines. Ceci résulte très certainement de la bonne aération permettant à la végétation de sécher nettement plus vite que lorsque l'interligne est plus étroit.

Ravageurs

Les criocères ont été les ravageurs les plus abondants dans cette parcelle (jusqu'à 56 larves par 100 talles au maximum de la pullulation). Cette abondance nettement plus forte que dans les autres champs de blé pourrait être liée à l'interligne très large. Il



**PHOTO BP11 2014 06 13 e : criocères plus abondant
qu'ailleurs : effet de l'interligne (0.24m) ?**

est possible que cette architecture du peuplement convienne particulièrement à ce ravageur, et cette piste mériterait d'être vérifiée expérimentalement. En effet, si l'interligne large s'avérait particulièrement favorable à ce ravageur, cela pourrait conduire à une situation délicate où, lors d'année favorable à l'insecte, de fortes populations pourraient coloniser de faibles surfaces foliaire, créant une situation de vulnérabilité aggravée de la culture.

Les pucerons, quant à eux, ont atteint un maximum de 62 individus / 100 talles, ce qui est conforme aux niveaux observés un peu partout dans les champs de froment en 2014.

Rendement-satisfaction

Le rendement de 4.900 kg/ha, vendu à 350 €/T, a satisfait l'agriculteur.

BIOPRO 12 : Rhisnes ; pois frais

Densité, régularité, vigueur

Le semis a été fait le 22/04/14 (variété Misty, semences non BIO, mais non traitées et utilisées via dérogation). Le peuplement était très régulier et le développement de la culture assez rapide. Toutefois, en raison du déficit en précipitations, le champ a reçu un apport d'eau d'irrigation (15 L / m²) au début du mois de juin.

Adventices

Le désherbage a été effectué par 2 passages successifs à la herse étrille : le premier le 28/04 juste avant la levée, et le second le 19/05, au stade 2 feuilles de la culture. Le 23/05, un dernier passage a été effectué à la houe rotative. Le résultat de ces opérations a été très satisfaisant. Cinq heures de désherbage manuel ont complété le nettoyage, en particulier pour les plantes de chardon, de laiteron, de fumeterre et de morelle noire.

Maladies, ravageurs

Seule une légère infection par l'anthracnose a été constatée dans ce champ. En début de culture, quelques morsures de sitones ont été notées en bordure de champ, mais sans aucune conséquence, vu le faible niveau d'attaque. Plus tard, *A. pisum*, le puceron vert du pois a colonisé jusqu'à 20 % des pousses, avant d'être intensivement parasité, puis de disparaître sans avoir causé de dégâts. Ces observations sont conformes à celles effectuées ailleurs dans la région.



PHOTO BP12 2014 06 06 e :
A. pisum parasité

Rendement-satisfaction

Le rendement de 9.273 kg / ha avec un indice tenderométrique moyen de 128.5, ce qui a largement satisfait l'agriculteur sur le plan technique. En revanche, la fixation du prix (50 %) donné pour le surplus au quota de 3700 € / ha a laissé un sentiment de frustration.

BIOPRO 14 : Rhisnes ; épeautre

Densité, régularité, vigueur

En avril 2013, la parcelle avait reçu 10 T de fiente de poules à l'hectare. Le semis a été effectué le 19/10/13, sur précédent haricot, à raison de 227 g/m² de semences BIO (variété COSMOS) produites à la ferme, et à un interligne de 0.24m. En avril 2014, la densité de cette culture est apparue trop faible, par manque de tallage résultant sans doute d'un manque de précipitations.

Adventices

Le désherbage a été réalisé par deux passages à la houe rotative (10/03, 13/03), un binage (31/03), et deux passages à la herse étrille (04/04, 30/04). Globalement, la terre était plutôt propre. Grâce à l'interligne très large (0.24m), un nettoyage manuel a pu être opéré pour parachever le désherbage (6.82 heures/ha).

Maladies, ravageurs

La rouille jaune a très tôt infecté la culture et a assez tôt touché tous les étages foliaires. A la fin juin, le feuillage était quasi complètement détruit.

Les ravageurs ont été très discrets dans cette parcelle. Au maximum de la pullulation, les criocères occupaient 24 % des talles. Quant aux pucerons, les populations n'ont pas dépassé 45 individus /100 talles, ce qui est faible et conforme aux observations faites dans plusieurs dizaines de champs en Wallonie au printemps 2014.



PHOTO BP14 2014 06 13 c :
Rouille jaune sur dernière feuille (mi-juin)

Rendement-satisfaction

Le rendement de 3.900 kg a laissé un sentiment d'insatisfaction à l'agriculteur. Sans doute la rouille jaune y est-elle pour beaucoup, mais aussi un assez piètre redémarrage

printanier par manque d'éléments nutritifs disponibles, en raison notamment du peu de précipitations au printemps.

BIOPRO 15 : Eghezée ; pois

Densité, régularité, vigueur

Les semences BIO ont été fournies par Hesbaya Frost. Le peuplement était régulier et de densité idéale. La culture était bien implantée et le développement printanier a été rapide.



PHOTO BP 15 2014 05 23 a :
Peuplement régulier, excellente croissance

Adventices

Le désherbage a été effectué par un passage de houe rotative en pré-émergence (germes de 1 cm), suivi par deux passages de herse étrille en biais. Un dernier passage de houe rotative a encore été fait alors que les plantes avaient 15 cm de haut et que les vrilles des lignes voisines se touchaient. Ce passage a donné un aspect très peu flatteur pendant quelques heures à la parcelle (plantes « brutalisées »), mais cette intervention énergique juste avant la fermeture des lignes a donné d'excellents résultats de désherbage. En effet, aucun nettoyage manuel, en dehors de quelques chardons n'a plus été nécessaire par la suite.

Maladies, ravageurs

En dehors de quelques taches d'anthracnose, la culture n'a pas présenté de problème de maladies. L'examen des pousses terminales et surtout des fleurs a révélé une présence modérée de pucerons pendant la seconde quinzaine de mai et la première semaine de juin (semaine 21 : 42% des pousses porteuses de 1 à 2 *A. pisum* ; semaine 22 : 35% des pousses porteuses de 2-3 *A. pisum* ; semaine 23 : 25% des pousses porteuse de 1 à 10 *A. pisum*). En outre, assez bien de thrips ont été observés dans les fleurs (> 50% des fleurs occupées) pendant la seconde quinzaine de mai, mais plus du tout en juin.

Même en agriculture conventionnelle, l'impact de ces ravageurs n'est pas bien connu. *A. pisum* est surtout redouté en tant que vecteur du virus de l'énation. L'impact dans le champ d'Eghezée est impossible à estimer.

Rendement-satisfaction

Le rendement de 8737 kg/ha, avec un indice tendérométrique de 109 a satisfait l'agriculteur. De la même manière que pour l'exploitant du champ BIOPRO 12, une frustration est ressentie quant au prix (50%) auquel sont vendues les quantités de pois dépassant le quota équivalent à 3700 €/ha.

BIOPRO 16 : Branchon ; épeautre

Densité, régularité, vigueur

Le champ a été ensemencé sur précédent pomme de terre au début novembre 2013, à raison de 220 kg/ha de semences de Cosmos non BIO, produites à la ferme et triées à façon. Le peuplement résultant était très régulier, de bonne densité et de belle croissance. A la mi-avril, le champ a reçu 2T/ha de vinasse de betterave (46 % K2O).

Adventices

Le désherbage a été opéré en un passage à la houe rotative à la reprise de végétation, suivi d'un passage à la herse étrille. Toutefois, en raison du manque de gel hivernal, la houe rotative n'a pas donné d'aussi bons résultats qu'à l'ordinaire. Au début mai, la parcelle était assez fortement envahie par une flore adventice très variée : véronique, stellaire, coquelicot, matricaire, lamier, moutarde des champs, chénopode, capselle, fumeterre, gaillet, etc. Cet envahissement assez important ne dépassait toutefois pas la culture, et était considéré comme satisfaisant pour de l'épeautre par l'agriculteur.

Maladies, ravageurs

Très tôt dans le développement de la culture, la rouille jaune est apparue très envahissante dans ce champ de Cosmos. Cette maladie a progressé pour toucher tous les étages foliaires dès la mi-mai. Toutefois, à la fin juin, la dernière feuille était encore verte et fonctionnelle sur 50 % de sa surface.

Cette maladie qui donnait une impression d'explosion en début de printemps, a connu un développement nettement plus lent dans un second temps.

Comme dans quasi tous les champs de céréales, les ravageurs ont été très peu nombreux : < 10 % talles porteuses de lémas au maximum des populations, et à peine une trentaine de pucerons par 100 talles.



PHOTO BP16 2014 05 30 d :
30/05, rouille jaune sur
dernière feuille

Rendement-satisfaction

Au vu des infections de rouille jaune, très graves et très précoces, le rendement de 6000 kg/ha a finalement agréablement surpris. La satisfaction de l'agriculteur se fonde, d'une part sur le sentiment d'avoir échappé à ce qui se présentait comme une catastrophe « rouille jaune » et, d'autre part, sur les excellents prix auxquels il a pu vendre sa récolte : 600 € au contrat, et 750 € pour le surplus (hors contrat). Toutefois, les

observations faites dans cette parcelle et les points de repères fournis par l'ensemble des champs visités nous donnent à penser que le potentiel de rendement de ce champ était bien supérieur. Un désherbage plus complet et une variété plus résistante aurait vraisemblablement permis d'accroître le rendement d'une bonne vingtaine de pourcents.

BIOPRO 17 : Ramilies ; orge de printemps

Densité, régularité, vigueur

Le champ a été semé en mars, après un labour effectué sur paille de chanvre, à raison de 120 kg de semences de Concerto / ha. Toutefois, la terre était assez humide et de structure médiocre faute de gel hivernal. Le peuplement résultant était très insuffisant et irrégulier. Les petites dimensions de la parcelle et l'isolement de ce semis aggravaient le risque de dégâts d'oiseaux (pigeons et corvidés). Cependant, l'agriculteur ne croit pas fort à cette hypothèse et incrimine plutôt l'état du sol.



PHOTO BP17 2014 05 06 e :
peuplement début mai

Adventices

Le désherbage a été opéré en un passage de houe rotative suivi, dès que la terre avait bien séché, par un passage à la herse étrille. Cette technique n'a pas maîtrisé les adventices du fait de la très faible densité d'orge et, selon l'opinion de l'agriculteur, par un manque d'agressivité du passage de la herse étrille. Selon son expérience, un passage plus agressif aurait donné de bien meilleurs résultats et aurait permis à la culture de taller très fort, l'orge supportant assez bien ce genre de traitement.



PHOTO BP17 2014 05 30 a : orge
dépassée par la moutarde des champs

La petite taille de cette parcelle (quelques dizaines d'ares), ne plaidait sans doute pas non plus pour la mettre en tête des priorités dans l'organisation des travaux.

Maladies et ravageurs

Les observations sur maladies et ravageurs n'ont rien révélé de flagrant ; elles sont évidemment anecdotiques et sans guère d'intérêt vu le contexte de ce champ.

Rendement-satisfaction

Malgré tout, la récolte a donné 3.500 kg par hectare, ce que l'agriculteur -évidemment insatisfait- évalue tout de même à un demi-rendement.

BIOPRO 22 : Remicourt ; épeautre

Densité, régularité, vigueur

Le semis a été effectué en octobre sur précédent haricot, avec des semences BIO de la variété Cosmos produites à la ferme. L'interligne était de 17 cm.



PHOTO BP22 2014 05 07 cb :
Peuplement d'épeautre, propre et régulier

Adventices

Le désherbage a mis en œuvre un passage à la rotobèche, suivi d'un passage à la herse étrille.

La première opération soulève les mottes et en permet un séchage partiel, la seconde éclate les mottes et déracine complètement les plantules d'adventices.

Cette technique, clairement efficace, exige beaucoup de précision quant au moment des interventions pour assurer le résultat.

Maladies et ravageurs

A l'approche du stade dernière feuille, l'infection par la rouille jaune était extrêmement forte, et se révélait notamment par une sporulation spectaculaire. A côté de cela, les infections d'oïdium visibles dans le bas des tiges étaient anecdotiques. Après l'épiaison, une application d'engrais foliaire à base d'écorce d'orange a été effectuée, avec une possible efficacité fongicide. A la mi-juin, il ne restait déjà plus que 15% de la dernière feuille comme surface foliaire fonctionnelle. A l'approche de la récolte, la parcelle a été atteinte par de la verse sur environ 85% de sa surface.

Rendement-satisfaction

De façon tout-à-fait inattendue après l'attaque extrêmement forte de rouille jaune, mais de façon concordante avec les observations faites dans d'autres champs d'épeautre, le rendement a atteint 6.900 kg/ha. Ce niveau de rendement, couplé au prix obtenu (800 €/T), a évidemment satisfait l'agriculteur.

BIOPRO 23 : Remicourt ; froment

Densité, régularité, vigueur

Le semis a eu lieu au printemps et constituait le seul semis du moment dans les environs, ce qui aggrave le risque de dégâts d'oiseaux. L'agriculteur confirme avoir eu -et avoir régulièrement- beaucoup de problèmes avec les corvidés, soit des corbeaux freux arrachant les plantules pour consommer le reste de semence, soit moins probablement des corneilles arrachant les plantules pour consommer les insectes (particulièrement les tipules) qui s'en nourrissent. Le résultat est un froment très clair,

qui de surcroît n'a pas eu l'occasion de taller beaucoup en raison des faibles précipitations printanières.

Adventices

Dans ces conditions de faible couvert par la culture, le désherbage très efficace en début de printemps n'a pas pu contenir les nouvelles germinations d'adventices qui ont fini envahir le champ, d'autant plus facilement que le couvert offert par le froment a disparu prématurément à cause de la rouille jaune. Cette montée des mauvaises herbes avant la récolte a forcé l'agriculteur à une récolte en catastrophe, en levant la table presque au ras des épis, et en abandonnant la paille sur le champ.



PHOTO BP23 2014 06 18 d: adventices envahissant le champ, faute de couvert par la

Maladies, ravageurs

La sévérité de l'infection par la rouille jaune observée dans cette parcelle a été la plus forte de tout ce qui a été vu cette année : certains jours, la sporulation était telle que le sol était jaune, de même que les bottes et les pantalons des observateurs.

A la mi-juin, le feuillage était complètement envahi par la rouille jaune. Deux semaines plus tard, les plantes étaient complètement desséchées. Curieusement, c'est dans ce champ au feuillage très abîmé que la plus forte population de pucerons de l'année a été observée : 200 *S. avenae*/100 talles. Ce niveau reste très bas, l'infestation a été très fugace, et cette observation est anecdotique.



PHOTO BP23 2014 05 06 f: sporulation extrêmement intense de rouille jaune

Rendement-satisfaction

Le rendement de 3 tonnes/ha est évidemment un mauvais rendement, mais une demi-déception seulement, en fonction de la gravité de l'infection de rouille jaune qui a sévi sur une emblavure déjà malingre.

BIOPRO 24 : Remicourt ; pois (à compléter-valider)

Densité, régularité, vigueur

Début mai, le développement de la culture était bon, le peuplement adéquat et régulier.

Adventices

Un passage à la rotoherse juste après une pluie de 2 mm succédant à une période de vent du nord desséchante, a permis l'écrasement des mottes et le bon désherbage de la culture. Début mai, la terre était propre en dehors de quelques renouées des oiseaux éparses.



PHOTO BP24 2014 05 30 e :
mildiou sur stipules du bas

Maladies, ravageurs

Jusqu'à la fin du mois de mai, aucune maladie n'a été observée, après quoi l'antracnose a touché les stipules du haut de la végétation, celles du bas étant atteintes par un peu de mildiou. Un traitement a été fait à l'aide d'un engrais foliaire à base d'écorce d'orange, avec une possible efficacité fongicide.

A. pisum a été observé en population faible (maximum 316 individus / 100 pousses terminales) vers la mi-mai. Début juin, il ne restait que des pucerons parasités.

Rendement-satisfaction

Le rendement de 7.5/ha a satisfait l'exploitant qui, lui aussi, a ressenti une frustration quant au prix octroyé pour les quantités dépassant le quota.

BIOPRO 25 : Remicourt ; pomme de terre

Densité, régularité, vigueur

La parcelle a été plantée de deux variétés : Pirolle et Agria, d'abord avec des demi-buttes. Dès les premières semaines, le peuplement était régulier et de bonne croissance.

Adventices

Le champ était remarquablement propre, et l'est resté jusqu'à la fermeture des lignes.

Maladies, ravageurs

Le champ est resté quasi indemne de ravageurs pendant toute la saison. Seuls quelques pucerons ont pu être observés de manière très fugace. Le mildiou a été combattu par des applications quasi hebdomadaires d'oxychlorure de cuivre, à très petites doses (200g/ha), pour un total de 3 kg sur l'ensemble de la saison. A partir de juillet, la variété Pirolle a été assez fortement atteinte par le mildiou. Elle a été défanée mécaniquement, et passée au brûleur pour éviter l'infection des tubercules. La variété Agria a été touchée par le mildiou au début août, en fin de végétation.

Rendement-satisfaction

Le rendement de 35-40 T, couplé au prix (330 € / T)n'est pas jugé satisfaisant, compte tenu des frais et pertes au triage et au stockage.

BIOPRO 26 : Remicourt ; orge de printemps

Densité, régularité, vigueur

Le semis a été effectué avec des semences BIO produites à la ferme. Le peuplement était très régulier, quoiqu'un peu clair.

Adventices

Le champ était très propre, à l'exception de taches de renouée des oiseaux.

Maladies, ravageurs

La rhynchosporiose, la rouille naine et l'oïdium ont été observés dans le champ, mais à des niveaux négligeables. Les pucerons ont fait une brève et faible pullulation (maximum 22 % des talles occupées). Les criocères étaient quasi absents.

En revanche, des épis charbonneux ont été observés en assez grand nombre (> 30 / 100m²). Une telle infection est discrète, et n'a évidemment aucune conséquence sur la récolte. En revanche, si du grain issu de ce champ devaient être utilisé comme semences, il faudrait s'attendre à une infection généralisée.

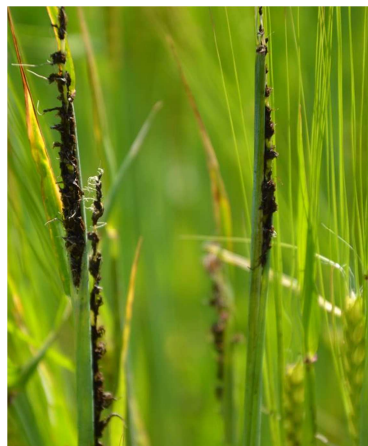


PHOTO BP26 2014 06 06 b :
> 30 épis charbonneux / 100 m²

Rendement-satisfaction

Le rendement de la parcelle a été de 5.100 kg / ha, et a satisfaisait l'exploitant.

CONCLUSIONS

Le suivi de parcelles BIO effectué en 2014 a donné lieu à diverses réflexions, parmi lesquelles les plus significatives sont reprises ci-dessous.

Importance de l'eau, importance de la vitesse de croissance

L'absence d'apport d'azote immédiatement assimilable fait que les cultures de printemps doivent tirer leurs nutriments de la réserve du sol. Lorsque les précipitations font défaut, cette réserve peut ne pas être immédiatement disponible et entraîner des lenteurs de croissance conduisant au salissement des parcelles par manque de couvert. Ce point de vulnérabilité touche particulièrement les céréales de printemps, dont la

culture en BIO est peut-être un risque à ne pas prendre. En revanche, le pois est moins sensible à ce problème, grâce à sa vitesse de croissance et à son pouvoir couvrant.

Importance de l'état sanitaire du matériel de propagation

La présence de charbon en orge et en escourgeon rappelle l'importance de la qualité sanitaire du matériel de propagation. C'est vrai en agriculture conventionnelle, et plus encore en BIO. L'utilisation de semences produites à la ferme mérite une attention toute particulière. En effet, dans deux des trois champs d'orge suivis, la proportion d'épis charbonneux était élevée et l'utilisation comme semences du grain récolté pourrait, sans traitement fongicide efficace, conduire à une infection très grave.

Importance du choix variétal

La rouille jaune et les différences de comportement selon les variétés ont illustré la très grande importance du choix variétal en agriculture BIO. C'est certainement le levier le plus efficace pour maîtriser les pertes dues aux pathogènes. Cette voie de protection des cultures est loin d'avoir été complètement exploitée. En effet, après avoir conduit à des variétés résistantes ou tolérantes à des maladies cryptogamiques, pareils travaux s'appliquent maintenant aussi à des ravageurs. Le CRA-W a, par exemple, développé une méthodologie permettant d'identifier les plantes résistantes à la cécidomyie orange du blé, un ravageur bien moins connu que les pucerons, et quelquefois bien plus nuisible. Cette piste pourrait également être utilisée pour la maîtrise des adventices, en privilégiant les variétés les plus couvrantes en début de culture.

Il mérite d'être rappelé que l'évaluation des variétés de céréales en vue de leur inscription au Catalogue belge se fait dans des essais de plein champ, en l'absence de traitement fongicide ou régulateur. Contrairement à ce qui est fréquemment imaginé, les variétés les plus récentes sont souvent les plus résistantes aux pathogènes. Ce travail d'évaluation est utile dans tous les types d'agriculture. Il l'est tout particulièrement pour l'agriculture biologique.

Des observations surprenantes : des pistes pour les chercheurs

En 2014, la rouille jaune a connu une explosion inédite, suscitant les pires craintes dès le début du printemps. L'évolution de cette épidémie dans la deuxième partie du printemps et les rendements finalement assez bons qui ont été obtenus sont une surprise. Cette observation pose aux chercheurs des questions fondamentales sur les mécanismes de défense des plantes.

La plus forte densité de criocères a été observée dans un champ de froment BIO semé à 24cm d'interligne. Cette observation résonne comme une mise en garde et devra faire l'objet de vérifications soigneuses. En effet, les interlignes larges, qui présentent de multiples avantages (binage aisé, désherbage manuel aisé, bonne aération de la culture

et séchage du feuillage), pourraient se heurter à un problème s'il s'avérait qu'ils favorisent exagérément les criocères.

L'efficacité des traitements préventifs ou correctifs

Divers traitements sont appliqués en agriculture BIO, sans mesure d'efficacité. Il y a dans ce domaine un gros travail à faire. Toutefois, pour pouvoir tirer des conclusions utiles, il est nécessaire de préparer correctement les essais en identifiant les questions pertinentes, les comparaisons à faire, les autorisations à obtenir, etc. Cette réflexion explique pourquoi, alors que l'inquiétude était immense concernant les conséquences de la rouille jaune, le CRA-W ne s'est pas rué dans une expérimentation spécifique sur ce thème, d'autant plus qu'une recherche bibliographique effectuée dès le mois de mars par Charlotte Bataille n'avait révélé aucune piste crédible. L'improvisation qui, dans le métier d'expérimentateur, peut quelquefois donner des résultats, conduit le plus souvent à lâcher la proie pour l'ombre. Si une expérimentation spécifique sur rouille jaune est jugée utile, elle peut très bien s'organiser de façon méthodique et utiliser des infections forcées.

Au-delà de cet exemple précis, l'agriculture biologique peut tirer parti d'une multitude d'essais effectués en dehors du contexte strict de l'agriculture biologique. Ainsi, des essais visant à étudier l'efficacité de certains traitements sur des maladies ou des insectes peuvent très bien se mener dans des terres non BIO, quitte à faire l'objet d'observations post-expérimentales dans les exploitations BIO. La frontière entre BIO et non-BIO doit peut-être rester étanche sur le plan de la production et des filières. En revanche, les transferts de connaissances utiles peuvent se faire, au bénéfice de tous.

S'inspirer de ce qu'il y a d'utile ou d'efficace chez le voisin, quel que soit le système de production dans lequel il s'inscrit : c'est sans doute une leçon que nous donnent aujourd'hui les agriculteurs BIO, que nous avons trouvé particulièrement enclins à l'échange et au partage d'information, et nous les en remercions.

MIEUX VAUT PREVENIR QUE GUERIR : LA RESISTANCE VARIETALE, UN LEVIER A ACTIONNER

*Julie LEGRAND julie.legrand@provincedeliege.be (CPL-VEGEMAR¹) -
Guillaume JACQUEMIN et Morgan ABRAS m.abras@cra.wallonie.be (CRA-W²)*

RESUME : La lutte contre les maladies en agriculture biologique passe par des mesures préventives, et notamment par un choix de variétés présentant des résistances à un large panel de maladies. Depuis plusieurs années, un réseau d'essais de variétés de céréales bio est mis en place par les organismes de recherches wallons (CPL-VEGEMAR, CARAH³, CEB⁴, CRA-W). Ces essais permettent d'évaluer d'une part le potentiel des variétés en termes de rendement et de qualités technologiques et d'autre part, leur comportement face aux maladies. Dans la plupart des cas, plus une variété est sensible aux maladies, plus grand est le risque de voir son rendement diminuer. Les essais réalisés mettent en évidence quelques variétés résistantes à la plupart des maladies et d'autres, au contraire, qu'il est préférable d'éviter en bio.

INTRODUCTION

En agriculture biologique, un des grands principes de la protection des plantes est la **PREVENTION** : il faut éviter autant que possible que la plante ne soit atteinte par la maladie ou le ravageur et lorsque ces derniers sont présents, il importe de limiter au maximum leur impact sur la culture. Dans le cadre de la protection fongique, plusieurs actions sont possibles : choisir des variétés moins sensibles aux maladies, assurer un environnement favorable au développement de la culture et défavorable au développement de la maladie, nourrir la plante correctement, ...

Peu importe la culture, le choix variétal est le premier levier à actionner pour lutter contre les maladies. Par exemple, en culture de pomme de terre, le choix de variétés résistantes ou peu sensibles au mildiou est indispensable pour la réussite de la culture. Lors d'années à forte pression de mildiou, des variétés sensibles ne sont pas valorisables. En effet, très peu de traitements curatifs biologiques existent pour lutter contre les maladies, il faut donc empêcher que la maladie ne se développe. Pour cela, outre le choix variétal, il existe dans certains cas des produits préventifs de contact qui vont empêcher ou du moins ralentir l'installation de la maladie.

RÉSEAU D'ESSAIS DE COMPARAISON VARIÉTALE EN CÉRÉALES EN WALLONIE

Le comportement des variétés de froment vis-à-vis des différentes maladies n'est pas le même. Certaines variétés sont résistantes à la plupart des maladies des céréales.

¹ Centre Provincial Liégeois des Productions Végétales et Maraîchères

² Centre Wallon de Recherches Agronomiques

³ Centre pour l'Agronomie et l'Agro-industrie de la province du Hainaut

⁴ Centre d'Essais Bio

D'autres sont sensibles à certaines maladies et résistantes ou moyennement sensibles à d'autres. Il existe une panoplie de nuances de comportement propre à chaque variété dans un environnement donné. La mise en place d'essais variétaux permet de comparer le comportement des différentes variétés dans un même environnement face à une pression fongique particulière (typique de l'année et de l'endroit). Le même essai doit être répété dans le temps et l'espace pour augmenter la fiabilité des résultats par la multiplication des situations testées. Depuis 2010, un réseau d'essais bio est mis en place, avec au départ le CEB et à présent le CRA-W en étroite collaboration avec les institutions provinciales : l'asbl CPL-VEGEMAR en Province de Liège et le CARAH en province de Hainaut. Le nombre de sites d'essais et la localisation a fluctué en fonction des années mais en 2014, trois sites d'essais étaient en place : Emines, Verlaine et Antheit. Pour 2015, trois sites d'essais sont implantés à Horion-Hozémont, Emines et Ath. Au cours de ces essais, le comportement des variétés vis à vis des maladies et de la verse est évalué et les caractéristiques technologiques sont mesurées à la récolte.

Maladies et rendement. Toutes les maladies n'ont pas le même effet sur le développement de la plante. Certaines maladies sont plus préjudiciables que d'autres en termes d'impact sur le rendement ou sur la qualité du grain. En outre, la virulence des maladies varie d'une année à l'autre. De nombreux facteurs extérieurs influencent le développement de celles-ci. Les conditions météorologiques de la saison y contribuent principalement. Le stade de développement auquel la maladie se développe a également une influence sur la sensibilité de la plante. Il faut donc évaluer le comportement moyen d'une variété face aux différentes maladies et ce dans des situations différentes.

En céréale, on distingue deux grands types de maladies : les maladies foliaires et les maladies de l'épi. Les maladies foliaires endommagent le feuillage et pénalisent la variété en termes de rendement car la photosynthèse est réduite. Les maladies de l'épi diminuent la qualité finale du grain.

En ce qui concerne les maladies foliaires, la septoriose est la maladie fongique la plus préjudiciable en froment car elle est présente chaque année et débute tôt dans la saison. Les dégâts varient fortement selon les années et les conditions météo. Le cycle de développement de la maladie est tel que la maladie continue sa progression au cours de la croissance de la plante et au final, la plupart des feuilles sont atteintes. La littérature et l'expérience des essais précédents montrent qu'aucune variété n'est totalement résistante et que le niveau de sensibilité est très variable.

Le développement de la rouille jaune est quant à lui plus variable d'une année à l'autre. La rouille jaune peut être fort préjudiciable pour le rendement les années de forte pression comme cela a été le cas en 2014 où les conditions favorables à son développement étaient réunies (absence d'hiver, humidité élevée, température entre 10-15°C...).

L'impact de la rouille brune est aussi très variable d'une année à l'autre. Cette maladie se développe souvent en fin de saison et est généralement moins pénalisante pour le rendement. Elle peut cependant être virulente sur des variétés très sensibles. Pour la rouille brune comme pour la rouille jaune, il existe des variétés très résistantes et d'autres très sensibles pouvant potentiellement mener à des dégâts importants les années de forte pression.

L'oïdium, par contre, est une maladie moins préjudiciable, elle se cantonne généralement dans le fond de végétation.

Enfin, la fusariose est une maladie des épis dont le développement est très variable d'une année à l'autre et dépend des conditions météo observées durant la période de floraison. En cas de présence, elle peut également être préjudiciable au rendement et induire des problèmes sanitaires (développement possible de mycotoxines). En outre pour l'année suivante la présence de fusariose sur les grains peut entraver la levée des semis.

Comme expliqué ci-dessus, le comportement d'une variété vis-à-vis des maladies est variable d'une année à l'autre et n'est pas identique pour toutes les maladies. L'impact sur le rendement va dépendre de la virulence de la maladie et de la capacité de la variété à contrer cette maladie. On a pu observer au cours des essais, des variétés très sensibles avec un feuillage très atteint par la maladie diminuant fortement la capacité photosynthétique des feuilles. D'autre part, certaines variétés ayant un comportement moyen vis-à-vis des maladies s'en sont finalement bien sorties. Malgré les attaques foliaires, ces plantes ont visiblement compensé les pertes de surfaces photosynthétiques pour poursuivre leur développement sans entrave. La durée de remplissage des grains s'étend de la floraison à la maturité, stade auquel est observée la sénescence partielle ou complète des dernières feuilles émergées. La vitesse de sénescence des dernières feuilles à la période post-floraison dépend notamment des maladies présentes et le rendement sera donc d'autant plus affecté que cette vitesse est élevée.

Compromis résistance-rendement. La variété idéale n'existe pas. L'objectif est donc de choisir des variétés résistantes à un maximum de maladies en prenant également en compte les autres caractéristiques de la variété. La résistance à la verse est un élément important en bio comme en conventionnel. Enfin, il faut que ces variétés respectent les normes qualitatives demandées par l'acheteur. C'est pourquoi dans les essais, l'ensemble des paramètres est mesuré et, sur cette base, un compromis doit être fait pour choisir la variété la plus adaptée. Il faut bien garder à l'esprit que c'est à la récolte que l'on peut calculer la rentabilité. Une variété sensible peut être sévèrement touchée lors d'une année à forte pression de maladie et toutefois aboutir à des rendements et une qualité supérieure à d'autres variétés réputées plus résistantes. Même si sensibilité et rendement sont souvent liés, c'est au final à l'agriculteur à analyser la situation et à évaluer le risque encouru par son choix variétal. En fait, le comportement de la variété pendant la saison a peu d'importance tant que la qualité et la quantité sont au rendez-vous à la moisson. Les résultats des essais présentés ci-dessous apportent des éléments de réponse et des pistes pour orienter son choix variétal.

Risque de contournement des résistances. Dans le cas des rouilles notamment, de nouvelles races de champignon contournent régulièrement les résistances. Des variétés qui présentent une très forte tolérance à une maladie peuvent se montrer sensibles l'année suivante face à l'apparition de nouvelles souches de la maladie en question. Il est dès lors très important d'évaluer annuellement les niveaux de résistance variétale.

LE CAS DU RÉSEAU D'ESSAI 2014

L'année 2014 a été caractérisée par une forte pression de rouille jaune ayant débuté tôt. Il a été difficile d'évaluer l'ensemble des maladies pour les variétés sensibles à la rouille jaune car le feuillage était fortement « grillé » par la rouille jaune. Une notation NC : « Non coté » a été attribuée à ces variétés pour les autres maladies. Les cotations des différentes maladies (moyenne sur 3 sites) sont reprises dans le tableau 1.

Variétés	Qualité	2014 (Moyenne 3 sites)			
		Septoriose	Rouille jaune	Rouille brune	Rdt 15 % (t/ha)
MOZES	Fourrager	++	++	+	8,28
ATTLASS	BPS	=	++	++	8,19
OXEBO	BPS	=	=	+	8,17
INTRO	BPS	++	++	--	8,16
EDGAR	BPS	+	++	-	8,09
MEMORY	BP-compromis	+	=	-	7,95
COLONIA	BPS-compromis	+	+	=	7,89
SOKAL	BPS	=	++	--	7,73
PIONIER	BPS	+	=	=	7,72
ATOMIC	BPS	-	=	++	7,71
TABASCO	Fourrager	++	++	+	7,69
FORUM	BPS	=	++	--	7,52
SY EPSON	BB	+	=	=	7,48
HOMEROS	Fourrager	+	-	-	7,47
LENNOX	BAF	+	+	++	7,33
JB DIEGO	BPS	=	+	--	7,27
MIDAS	BAF	-	-	++	7,20
SKERZZO	BPS	=	=	+	7,14
ENERGO	BAF-compromis	=	=	+	7,13
BAROK	BAU	NC	=	+	7,04
UBICUS	BAF	=	++	+	6,85
GALLUS	BPS	=	=	+	6,68
ANGELUS	BPS	--	-	++	6,45
RENAN	BAF	--	+	+	5,80
BELEPI	BB	NC	--	NC	5,71
WIWA	BP	+	=	=	5,57
TOGANO	BAF	=	-	+	5,54
JB ASANO	BP	NC	--	NC	4,60
SATURNUS	BPS	NC	--	NC	4,54

TABLEAU 1: Cotations de la résistance aux maladies des variétés testées en 2014 sur trois sites expérimentaux ('BAF' = Blé Améliorant de Force ; BPS = Blé Panifiable Supérieur ; BP = Blé Panifiable ; BB = Blé Biscuitier ; BAU = Blé Autres Usages / '++' : résistant ; '+' : moyennement résistant ; '=' : moyennement sensible ; '-' : sensible ; '--' : très sensible ; 'NC' = non coté)

La sensibilité variétale est exprimée par une cote de 1 à 9 ; 1 étant la cote pour les variétés les plus sensibles et 9 pour les plus résistantes. La moyenne des rendements est reprise dans la dernière colonne pour donner un aperçu de l'impact sur le rendement. Ces données permettent de faire un classement des variétés les unes par rapport aux autres.

A la lecture de ces résultats, on a pu mettre en évidence le bon comportement des variétés MOZES, TABASCO et LENNOX qui ont montré un bon comportement à l'ensemble des maladies et des rendements moyens à élevés.

Inversement, des variétés comme BELEPI, SATURNUS et JB ASANO sont trop sensibles et non adaptées à l'agriculture biologique même si ce sont des variétés présentant des caractéristiques technologiques intéressantes.

Enfin, les variétés comme ATTLASS, EDGAR, COLONIA, PIONIER, SY EPSON, WIWA, UBICUS, GALLUS, SKERZZO et ENERGO ont un comportement moyen vis-à-vis des maladies. Les quatre dernières variétés représentent le meilleur compromis entre rendement et qualité. MIDAS est sensible à la rouille jaune et à la septoriose et INTRO, SOKAL, FORUM et JB DIEGO vis-à-vis de la rouille brune ; malgré cela, ces variétés ont pu compenser leur manque de résistance et atteindre finalement un rendement supérieur à la moyenne des 3 sites.

Ces résultats de 2014 sont à considérer avec précaution car ils diffèrent des conclusions établies sur la synthèse des résultats de plusieurs années d'essais (voir ci-dessous).

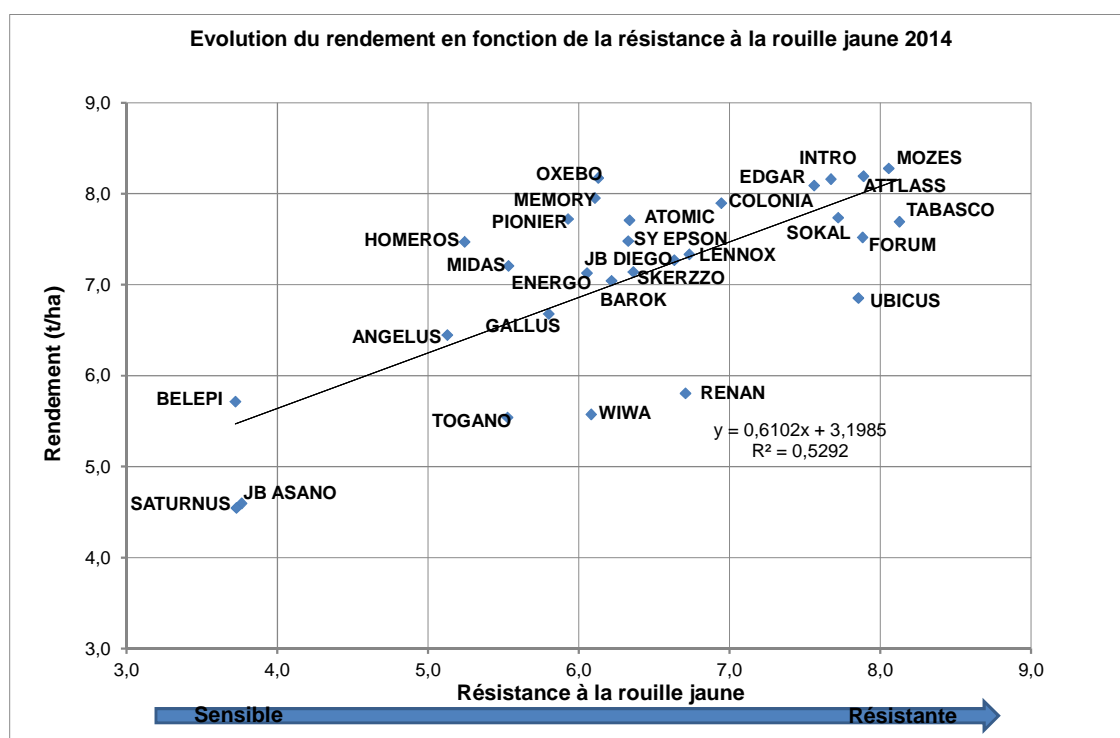


FIGURE 1 : Evolution du rendement en fonction de la résistance à la rouille jaune

La figure 1 illustre l'évolution du rendement en fonction de la résistance à la rouille jaune. On a mesuré une régression linéaire avec un R^2 de 0.5292. Cette année à forte pression de rouille jaune, une tendance se dégage : plus la variété est résistante à la rouille jaune et plus le rendement augmente. Cependant, le coefficient de corrélation n'est pas plus élevé car d'autres facteurs que la rouille jaune pénalise le rendement. Certaines variétés ont été affectées plus ou moins fort par la septoriose. D'autre part, certaines variétés ont un potentiel de rendement initial plus faible.

SYNTHESE DES QUATRE ANNEES D'ESSAIS

La même régression est effectuée sur les quatre dernières années pour les onze variétés testées au minimum trois ans. Elle est présentée à la figure 2 et aboutit à un R^2 nettement plus élevé ($R^2 = 0,7282$). Dans ces onze variétés, la variété Renan est la seule sensible à la septoriose, ce qui explique son décrochage et sa perte de rendement. Si on supprime cette variété, on obtient un coefficient de corrélation plus élevé encore (courbe rouge). En effet, les autres variétés sont moins sensibles à la septoriose et la perte de rendement est principalement due la rouille jaune. Ce type de corrélation n'a pas pu être mis en évidence pour les autres maladies, ni pour l'année 2014, ni sur les quatre dernières années. Ceci est vraisemblablement dû au manque de données (répétabilité des variétés et de sites d'une année à l'autre) depuis le début des essais. Il serait intéressant de poursuivre cette analyse les années à venir afin de dégager une tendance des maladies ayant l'impact le plus grand sur le rendement.

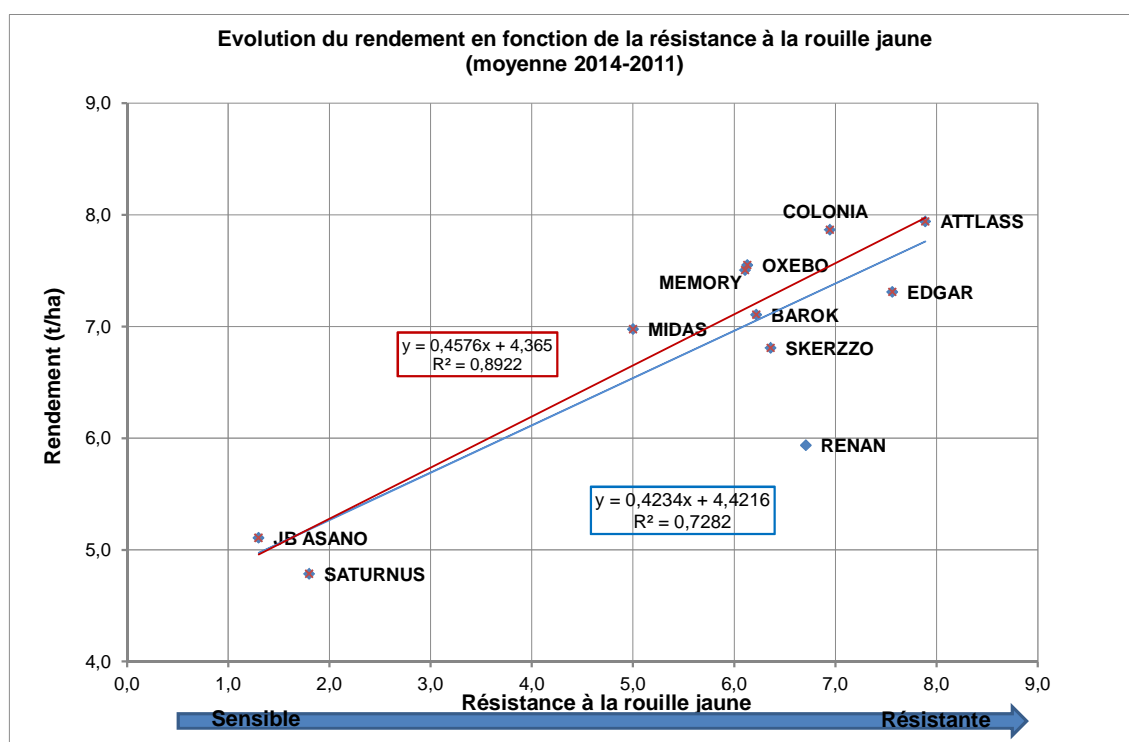


FIGURE 2 : Evolution du rendement en fonction de la résistance à la rouille jaune pour les variétés testées au minimum durant 3 ans.

Le tableau 2 reprend une synthèse des comportements des variétés face aux maladies évalués depuis 2011. Le turn-over des variétés testées chaque année est important et le nombre de sites et d'années d'essai est indiqué à titre indicatif dans la dernière colonne. Il faut rester vigilant à propos des cotations des variétés évaluées depuis un ou deux ans seulement. Etant donné la pression variable des maladies d'une année à l'autre, ces cotations pourraient être fortement modifiées l'année prochaine.

Variétés	Comportement vis-à-vis des maladies entre 2011 et 2014					Sites-années
	Septoriose	Oidium	Rouille Jaune	Rouille brune	Fusariose	
ANGELUS	--	+	=	++	-	4-2
ATOMIC	=	++	+	++	NC	3-1
ATTLASS	=	--	++	=	--	7-3
BAROK	+	--	+	+	--	10-4
BELEPI	NC	NC	-	NC	NC	3-1
CH CAMEDO	+	++	++	-	--	2-2
COLONIA	+	--	+	+	-	5-3
EDGAR	++	++	++	=	--	7-3
ENERGO	-	++	+	--	-	4-2
FORUM	+	++	++	=	NC	3-1
GALLUS	+	++	=	+	NC	3-1
HOMEROS	+	++	=	=	NC	3-1
INTRO	++	++	++	=	NC	3-1
JB ASANO	=	--	--	=	+	9-3
JB DIEGO	=	++	+	=	NC	3-1
LENNOX	=	=	+	++	--	4-2
MEMORY	+	+	+	+	-	5-3
MIDAS	--	+	=	--	-	10-4
MOZES	=	+	++	=	++	6-2
OXEBO	-	-	+	-	+	10-4
PIONIER	++	++	+	+	NC	3-1
RENAN	--	--	+	+	-	10-4
SATURNUS	++	-	--	NC	--	10-4
SKERZZO	=	+	+	--	-	7-3
SOKAL	+	++	++	-	NC	3-1
SY EPSON	+	++	+	+	NC	3-1
TABASCO	++	++	++	++	NC	3-1
TOGANO	+	++	=	++	NC	3-1
UBICUS	+	++	++	++	NC	3-1
WIWA	+	++	+	+	NC	3-1

TABLEAU 2 : Comportement des variétés face aux maladies ('++' : résistant ; '+' : moyennement résistant ; '=' : moyennement sensible ; '-' : sensible ; '--' : très sensible ; NC = non coté)

On remarque qu'en moyenne sur 3 ou 4 ans, peu de variétés sont tolérantes à l'ensemble des maladies. En ne tenant pas compte de l'oïdium qui est moins préjudiciable, COLONIA, MEMORY et EDGAR sont assez résistants aux maladies exceptées à la fusariose, et obtiennent de bons rendements. Par contre, MIDAS et OXEBO sont sensibles à certaines maladies mais obtiennent néanmoins des rendements supérieurs à la moyenne des essais. De nouvelles variétés testées semblent intéressantes mais doivent être confirmées. Par exemple, MOZES sur 2 années d'essai est assez résistant à l'ensemble des maladies avec des rendements dans la moyenne.

Les variétés qui se démarquent sur une période de plusieurs années ne sont pas les mêmes que celles mises en évidence en 2014. Ceci démontre l'intérêt de répéter les essais d'années en années et de ne pas se fier aux résultats d'une seule année d'expérimentation, particulièrement en ce qui concerne la résistance aux maladies.

CONCLUSIONS

La protection des cultures contre les maladies en agriculture biologique passe invariablement par un choix variétal approprié. Dans le cas des céréales, les essais installés en Wallonie chaque année permettent d'évaluer les caractéristiques d'un certain nombre de variétés choisies comme étant intéressantes pour l'agriculture biologique. En fonction des conditions climatiques, les maladies ne s'exprimeront pas de la même manière d'une année à l'autre, c'est pourquoi il est judicieux d'opter pour des variétés résistantes à la plupart des maladies. Le choix doit tenir compte que la rouille jaune peut causer de gros dégâts les années de forte pression et que la septoriose, quoi que moins spectaculaire, est présente chaque année. Outre la résistance aux maladies, le comportement final de la variété est très important. C'est le rendement et la qualité technologique à la moisson qui feront la rentabilité de la culture.

Enfin, c'est à l'agriculteur de faire son choix en tenant compte de toutes les caractéristiques de la variété.

Le concept de lutte raisonnée : combiner des méthodes collectives contre le campagnol terrestre afin de conserver une autonomie fourragère

G. Couval^{1,2}, D. Truchetet³

Le concept de lutte raisonnée s'inscrit dans une approche globale de gestion de l'exploitation et de l'écosystème. Les travaux de recherche et les recherches - actions engagés ont conduit à proposer une « boîte à outils » qui a fait ses preuves pour réguler les pullulations de campagnols.

RÉSUMÉ

L'objectif est d'agir le plus précocement possible sur des facteurs de contrôle identifiés des populations de campagnol terrestre afin de conserver l'autonomie fourragère de l'exploitation tout en minimisant les impacts environnementaux indésirables des interventions (par ex. lutte chimique). Cette stratégie permet d'associer plusieurs méthodes de lutte de façon collective (dont la modification des itinéraires techniques), qui défavorisent l'habitat du campagnol terrestre (ou de la taupe laquelle facilite la colonisation des parcelles) et favorisent ceux de ses prédateurs. Ce concept de lutte raisonnée est valorisé réglementairement sous la forme d'un contrat passé entre l'éleveur et l'Organisme à Vocation Sanitaire régional reconnu dans le domaine végétal.

SUMMARY

Integrated control practices: combining complementary methods to combat water vole outbreaks with a view to maintaining foraging system self-sufficiency

Research aimed at controlling vole outbreaks has led to the development of different integrated control measures. The goal is to act as early as possible to limit the growth of water vole populations using a holistic approach that involves managing both farmlands and ecosystems with the intention of preserving the self-sufficiency of foraging systems while simultaneously minimising undesirable environmental impacts (such as may occur when pesticides are used). Several complementary control measures can be employed in tandem (such as modifying the crop management sequence) to decrease habitat favorability for the vole (or the mole, a species that makes it easier for voles to colonise fields) and to increase the presence of predators. To this end, farmers have been offered the chance to establish formal partnerships with government-recognised health-focused organisations in the region.

Dans les années 1980, la lutte contre le campagnol terrestre est passée par l'emploi de carottes empoisonnées à la bromadiolone (dose autorisée de 40 kg/ha), puis de grains de blé empoisonnés (dose autorisée de 20 kg/ha) distribués à la charrue sous-soleuse lors des pics de pullulations. Cette méthode permettait de sauver la récolte mais l'impact sur la faune

non-cible, dont les prédateurs de campagnols, était désastreux. Aujourd'hui, il n'est possible de traiter à la bromadiolone qu'avec du grain de blé empoisonné, mais à des quantités de produit beaucoup plus faibles (dose autorisée de 7,5 kg/ha), lorsque les niveaux de population sont faibles, ce qui réduit l'impact sur la faune non-cible. Mais cette méthode exige de repérer les individus (foyers)

AUTEURS

1 : INRA, UMR CBGP 1062, Campus international de Baillarguet, CS 30016, F-34988 Montferrier-sur-Lez cedex

2 : FREDON Franche-Comté, Parc du Vallon, 20, rue du Vallon, Bât. A, F-25480 Ecole-Valentin ; gcouval@fredonfc.com

3 : Direction Générale de l'Alimentation - Sous-Direction de la Qualité et de la Protection des Végétaux, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, DRAAF - SRAL de Franche-Comté, 191, rue de Belfort, F-25043 Besançon cedex

MOTS CLÉS : *Arvicola terrestris*, bromadiolone, campagnol terrestre, concertation, déprédateur, faune sauvage, diagnostic, gestion des prairies, haie, lutte raisonnée, mode d'exploitation, paysage, pesticide, prairie, pratiques des agriculteurs, surface fourragère, système fourrager, *Talpa europaea*, taupe, travail du sol.

KEY-WORDS : *Arvicola terrestris*, bromadiolone, concertation, depredator, diagnosis, farmers' practices, forage area, forage system, grassland, hedgerows, integrated control, landscape, mole, pasture management, pesticide, soil tillering, *Talpa europaea*, type of management, water vole, wild fauna.

RÉFÉRENCE DE L'ARTICLE : Couval G., Truchetet D. (2014) : "Le concept de lutte raisonnée : combiner des méthodes collectives contre le campagnol terrestre afin de conserver une autonomie fourragère", *Fourrages*, 220, 343-347.

Echelle spatiale	Facteur de contrôle (= facteur de risque)	Processus sous-jacents	Effets mesurables	Leviers d'actions : outils utilisables		
Régionale (S ≈ 2 500 km ²)	Composition des paysages : 1- Ratio de STH 2- Ratio de milieux boisés	- Diffusion - Prédation	Diffusion des vagues de pullulation	Observation Collectif prédateurs	Protection réglementaire des	- Organisation spatiale de l'assolement
Sectorielle (S ≈ 25 km ²)	Structure des paysages : 1- Mosaïques boisées 2- Réseaux de haies 3- Formes des lisières, etc.	- Prédation - Dispersion - Parasitisme - Production primaire	- Type de pullulation - Vitesse de colonisation			- Implantation de réseaux de haies et de bosquets - Implantation de perchoirs - Travail du sol et rotation des cultures
Locale (S ≈ 0,01 km ²)	1- Hauteur d'herbe moyenne 2- Réseaux de galeries (de taupes, etc.) ou travail du sol 3- Composition prairiale (% de légumineuses, de pissenlits, etc.)	- Dispersion - Production primaire - Reproduction - Parasitisme	- Vitesse de colonisation - Dynamique de la reproduction			- Lutte directe contre le campagnol terrestre à basse densité - Lutte directe contre la taupe - Travail du sol et rotation des cultures - Alternance fauche pâture - Gestion du couvert végétal

TABLEAU 1 : Hiérarchie des facteurs de contrôle des pullulations en fonction des échelles spatiales, des processus biologiques identifiés ou pressentis, des effets observés sur les populations de campagnols et leviers d'actions possibles pour les éleveurs (d'après DELATTRE et GIRAUDOUX, 2009).

TABLE 1 : List of the factors that can mediate vole outbreaks, organised by spatial scale, previously identified or potential biological processes at work, effects observed on vole populations, and control measures available to farmers (after DELATTRE and GIRAUDOUX, 2009).

lorsque la densité est faible et demande donc du temps pour assurer une surveillance attentive des parcelles. En outre, la régulation directe des populations n'est pas la seule voie possible pour mieux contrôler les pullulations. Grâce aux travaux des équipes de recherche (Université de Franche-Comté, INRA, établissements d'enseignement supérieur agricole) et d'application (DRAF/SRPV puis DRAAF/SRAL, FREDON¹...), qui ont privilégié une approche « systémique » dans laquelle sont analysées de façon hiérarchisée (spatialement et temporellement) les interactions entre les campagnols, leur habitat (paysage, prédateurs, etc.) et les pratiques agricoles, il est possible d'identifier un maximum de facteurs de contrôle des pullulations (tableau 1), sur lesquels il est possible d'agir, et de déterminer l'échelle à laquelle ces actions sont pertinentes. Ces études ont permis d'initier une stratégie de lutte raisonnée, expérimentée avec succès, notamment en Franche-Comté.

1. Un concept de lutte raisonnée...

■ Une lutte fondée sur le triptyque observation, engagement collectif et emploi de méthodes combinées et préventives

L'observation vise à connaître l'état des populations de campagnol terrestre, afin de mettre en œuvre les luttes dès l'apparition des premiers foyers et prévenir ainsi les pullulations. Chaque région confrontée à cette problématique dispose d'un réseau régional de surveillance composé d'agriculteurs volontaires et de techniciens qui alimente un Bulletin de Santé du Végétal (BSV) spécifique diffusé au plus grand nombre. Par exemple, en Franche-Comté, en Auvergne ou en Limousin, le BSV Prairie établit

de façon régulière une analyse spatiale et temporelle de risque de pullulation de campagnol terrestre.

L'engagement collectif est rendu nécessaire par la dimension spatiale du phénomène de pullulation qui peut couvrir de grandes surfaces. Il repose, historiquement, sur l'organisation des groupements de défense contre les organismes nuisibles (à l'échelle communale et cantonale) et sur leurs fédérations départementales et régionales.

L'emploi de méthodes de lutte combinées et préventives combine des méthodes de lutte directe (piégeage et lutte chimique dès l'apparition des premiers terriers) et indirecte (qui agissent sur l'habitat des rongeurs et sur les causes des pullulations). Elles peuvent être mises en œuvre à différentes échelles spatiales (parcelles, îlots ou ensembles de parcelles, communes) par les agriculteurs adhérents des Groupement de Défense contre les Organismes Nuisibles (GDON) en fonction des contraintes liées à l'exploitation agricole (taille des parcelles, morcellement, temps de travail, importance du troupeau, spéculations agricoles, etc.) :

- **Le piégeage** : Les pièges doivent être posés au terrier de façon à capturer l'ensemble des occupants. Cette méthode traditionnelle est efficace si elle est employée à très basse densité de rongeurs, mais elle mobilise des moyens humains plus importants que la lutte chimique.

- **La lutte chimique** se réalise au terrier en employant de petites quantités d'appâts à la bromadiolone (quelques dizaines de grammes par terrier) et selon un cadre réglementaire défini par arrêté interministériel du 14 mai 2014.

- **La lutte contre la taupe** est rendue nécessaire par l'influence des réseaux de taupe sur la vitesse de colonisation des parcelles par les campagnols terrestres (DELATTRE *et al.*, 2006). Elle peut être opérée par piégeage et par l'utilisation de générateurs de phosphure d'hydrogène par des applicateurs agréés.

1 : sigles et acronymes sont définis en page 348

- **Les modifications d'itinéraires techniques** en vue de gêner l'installation ou la réinstallation du campagnol terrestre et de diminuer la proportion d'habitats favorables :

- le travail du sol par passage d'outils superficiels ou profonds (labour) peut se décliner à plusieurs échelles. À l'échelle parcellaire, il permet de supprimer les anciennes galeries, de faciliter le repérage des nouveaux terriers. À une plus large échelle et allié à une rotation des cultures et à une organisation spatiale de l'assolement, il contribue à diminuer le ratio STH/SAU et donc à freiner le développement des rongeurs (GIRAUDOUX *et al.*, 1997 ; FICHET-CALVET *et al.*, 2000 ; MORILHAT *et al.*, 2007) ;

- l'alternance fauche/pâture provoque l'effondrement des galeries souterraines par le piétinement du bétail dans les prairies permanentes ou tout système mécanique la reproduisant (MORILHAT *et al.*, 2007) ;

- la gestion du couvert végétal dans les parcelles et aux abords (l'enlèvement des résidus de récoltes, le broyage des refus, la conduite en gazon court, le passage d'outils de scarification/décompactage) va permettre de réduire les abris et les sources de nourriture des campagnols et favoriser leur prédation (MORILHAT *et al.*, 2007).

- **La protection des prédateurs et la prise de mesures de protection réglementaire :**

- l'implantation de réseaux de haies et de bosquets permet de fragmenter les habitats favorables aux campagnols, d'aménager des habitats favorables à la communauté de prédateurs généralistes qui se nourrit de campagnols (prédateurs terrestres, rapaces diurnes et nocturnes) et de freiner la diffusion des pullulations (DUHAMEL *et al.*, 2000 ; MORILHAT *et al.*, 2008). Ces mesures peuvent être complétées par l'implantation de perchoirs, de nichoirs, la réouverture des clochers et l'entretien des abris favorables aux prédateurs (murs de pierre entre parcelles appelés murgers dans le massif du Jura, *etc.*) ;

- des mesures de protection spécifiques des prédateurs, à définir au sein des conseils départementaux de la chasse et de la faune sauvage.

■ Proposition d'une « boîte à outils »

À partir de 2006, la FREDON de Franche-Comté a regroupé ce concept de lutte raisonnée dans une « boîte à outils » qu'elle propose aux agriculteurs sous la forme d'un contrat auquel les agriculteurs volontaires souscrivent

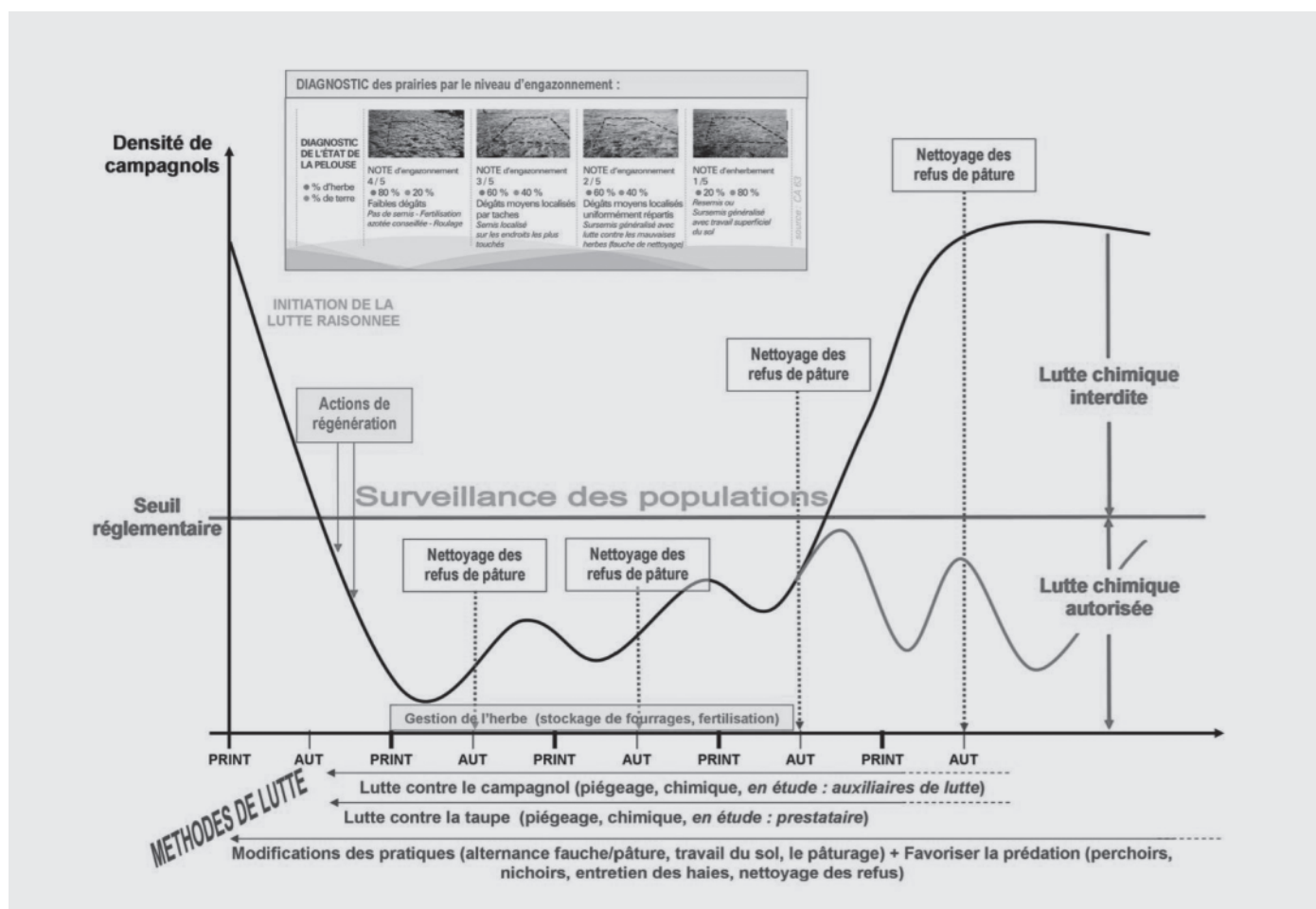


FIGURE 1 : Les différentes propositions de la boîte à outils au cours du contrat de 5 ans (d'après GIRAUDOUX *et al.*, 2012).

FIGURE 1 : Different measures included in the toolbox that can be deployed over the course of the five-year formal partnership (after GIRAUDOUX *et al.*, 2012).

pour 5 ans. Cette durée correspond à la durée minimale d'un cycle pluriannuel de pullulation. L'engagement doit être pris dès le début de ce cycle. Bien que le contrat ait une durée de vie limitée dans le temps, l'engagement des agriculteurs doit être continu sur le long terme et il doit se faire également dans une approche collective tant en termes de rapprochement des surfaces sur un même secteur qu'en termes de mutualisation de la main d'œuvre.

Ce contrat est formalisé à partir d'un diagnostic (questionnaire et échange) entre la FREDON (reconnu comme Organisme à Vocation Sanitaire - OVS - dans le domaine végétal) et l'exploitant ; cette séance se déroule en salle ou au domicile de l'exploitant sur une demi-journée. La formalisation d'un contrat de lutte raisonnée passe par différentes étapes :

- **La sensibilisation des agriculteurs** aux contrats de lutte est initiée par des réunions d'information « terrain » ou de formation - action (avec matinée sur le terrain et après-midi en salle) que les agents de l'OVS organisent sur les secteurs en basse densité ou en déclin des populations. Ces réunions abordent l'ensemble de la problématique, l'aspect réglementaire et le concept de lutte raisonnée. Ce premier contact peut également être effectué à partir d'autres outils de communication (média agricole, enquêtes, entretiens téléphoniques, etc.). A la fin de ces journées de sensibilisation collective, l'OVS identifie les agriculteurs les plus motivés. Par la suite, la prise de contact avec chacun des exploitants est individuelle : il s'agit de prendre un rendez-vous afin d'établir le diagnostic de leur exploitation.

- **Le diagnostic global** permet de dégager les atouts et les contraintes de l'exploitation afin de mieux comprendre le fonctionnement du système de production mis en place par l'exploitant. Cette phase est basée sur un questionnaire qui reprend l'ensemble des éléments qui caractérisent l'exploitation agricole, notamment la production de base, le cheptel, les surfaces et leurs modes d'exploitation, les engagements en lien avec la Politique Agricole Commune, la politique d'investissement, le matériel dont elle dispose, la main d'œuvre intervenant sur l'exploitation, les bâtiments, les projets prévus ou à prévoir, la présence d'espaces naturels classés (Natura 2000, Arrêté de Protection de Biotope...).

- **Le programme d'actions** est adapté au système de production et n'est en aucun cas dicté par le technicien de l'OVS ; il revient à l'exploitant de décider et ainsi de s'approprier les actions à mettre en œuvre afin de les intégrer au mieux dans son système de production. L'OVS conseille et propose ce qui peut être envisageable sur le parcellaire. À partir des photos aériennes rendues disponibles par l'agriculteur (dossier PAC ou autre support), le parcellaire sera identifié, en faisant référence aux atouts/contraintes de l'exploitation. Suite aux échanges avec l'agriculteur et une fois le diagnostic réalisé, un programme d'actions est établi avec l'agriculteur. Ce programme identifie les parcelles engagées dans le contrat de lutte et donne un ordre de priorité des actions à mettre en œuvre. Ces priorités peuvent être établies par exemple en fonction du mode d'exploitation : les parcelles

de fauche et les parcelles qui fournissent le plus de rendement fourrager, les parcelles de grandes cultures qui restent en place plusieurs années consécutives, les parcelles à forte valeur ajoutée, les parcelles faciles d'accès... La signature du contrat formalise le diagnostic, le programme d'actions et les engagements des 2 parties.

- Une **validation du contrat de lutte** est réalisée par une commission experte (DRAAF et OVS). Cette dernière a pour objectif d'émettre des remarques ou d'exclure certaines exploitations qui ne répondent pas aux critères souhaités. En effet, il faut attester de la bonne foi des agriculteurs souhaitant s'engager dans une démarche de lutte collective. L'engagement d'une part significative des parcelles de l'exploitation et leur localisation regroupée constituent un critère important de validation puisqu'ils conditionnent la réussite de la lutte.

- **L'accompagnement** s'effectue sous forme de réunions d'informations et d'appui administratif, technique et réglementaire. Les agriculteurs sont conviés collectivement une fois par an à des applications pratiques traitant de façon privilégiée les évolutions techniques et réglementaires, les pratiques d'exploitation, les formations.

- **Le bilan** : au cours de la dernière année du contrat, une réunion en salle, avec tous les agriculteurs du secteur ou de la commune, est organisée par l'OVS pour faire un point de situation, échanger sur ce qui a fonctionné ou sur les problèmes rencontrés et d'en comprendre les raisons. À la suite de ce bilan, les agriculteurs décident ou non de leur réengagement. En cas d'absence non justifiée à la réunion de bilan, le contrat de lutte de l'agriculteur ne sera pas renouvelé et considéré comme inactif.

2. Et demain ?

Il s'agit à présent de proposer des outils fiables, adaptables et appropriés à la profession agricole en tenant compte des attentes sociétales en matière d'environnement, de sécurité sanitaire et d'autosuffisance alimentaire afin d'atteindre les deux objectifs suivants :

- **l'extension du concept de lutte raisonnée aux autres espèces de campagnols** champêtres déprédateurs (campagnol des champs et campagnol provençal, selon les régions concernées) et à l'ensemble des filières touchées. Depuis 2013, après que la FREDON Champagne-Ardenne ait adapté le contrat de lutte raisonnée franc-comtois « campagnol terrestre » à la problématique du campagnol des champs en grandes cultures, la FREDON France a décidé de généraliser le concept et d'adapter ce type de contrat à l'ensemble des filières agricoles qui sont touchées par des « rongeurs champêtres déprédateurs ». En parallèle, l'arrêté interministériel 14 mai 2014 relatif au contrôle des populations de campagnols et de mulots nuisibles aux cultures, ainsi qu'aux conditions d'emploi des produits phytopharmaceutiques contenant de la bromadiolone, renforce maintenant de façon réglementaire l'intérêt du contrat de lutte raisonnée.

- **l'intégration de la lutte contre ces rongeurs dans une approche globale de gestion de l'exploitation** qui rejoint les objectifs et les enjeux du **projet agroécologique pour l'agriculture française** visant à conjuguer performance économique, environnementale et sociale en intervenant notamment sur les services écosystémiques².

Toutefois, un certain nombre d'éléments peuvent interférer négativement avec la réalisation de ces objectifs, à savoir :

- Un contexte socio-économique de plus en plus difficile (augmentation des charges, baisse des revenus agricoles, volatilité des cours des matières premières) évoluant de plus en plus rapidement du fait : i) de l'évolution de la Politique Agricole Commune (PAC), et des conséquences réglementaires qui en découlent (maintien des prairies permanentes, conditionnalité des aides, référence herbe, etc.), ii) des stratégies des filières (évolution des cahiers des charges AOP, par exemple), et iii) de l'évolution des structures d'exploitation qui pose le problème de la disponibilité en main d'œuvre (lutte raisonnée contre les campagnols dispendieuse en temps de travail).

- Les changements climatiques susceptibles d'accentuer ou de diminuer selon les cas la vulnérabilité aux pullulations des exploitations et d'influencer la dynamique des populations de campagnols. Ces questions font l'objet de programmes de recherche spécifiques au sein de l'INRA.

- Une insuffisante appropriation du concept de lutte raisonnée par les agriculteurs et les organismes de développement (difficulté de transfert des compétences des FREDON vers les agents de développement).

Il n'en reste pas moins que des groupements d'exploitants confrontés aux problèmes posés par les dégâts de campagnols ont clairement montré, sur plusieurs cycles, qu'une approche volontariste, collective et systématique de cette question permettait d'intégrer, avec succès, le contrôle des populations de campagnols dans la conduite des exploitations. Ce succès, se manifeste autant dans le fait biologique que les campagnols n'atteignent pas des densités insupportables (VERILHAC *et al.*, 2014, ce numéro), que dans le bilan économique positif de l'exploitation (SCHOUWEY *et al.*, 2014, ce numéro).

Accepté pour publication,
le 9 septembre 2014.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- DELATTRE P., GIRAUDOUX P. (2009) : *Le campagnol terrestre : prévention et contrôle des populations*, éd. Quae, 248 p.
- DELATTRE P., CLARAC R., MELIS J.P., PLEYDELL D.R.J., GIRAUDOUX P. (2006) : "How moles contribute to colonization success of water voles in grassland : implications for control", *J. Appl. Ecol.*, 43, 353-359.
- DUHAMEL R., QUÉRÉ J.P., DELATTRE P., GIRAUDOUX P. (2000) : "Landscape effects on the population dynamics of the fossorial form of the water vole (*Arvicola terrestris scherman*)", *Landscape Ecol.*, 15, 89-98.
- FICHET-CALVET E., PRADIER B., QUE J.P., GIRAUDOUX P., DELATTRE P. (2000) : "Landscape composition and vole outbreaks: evidence from an eight year study of *Arvicola terrestris scherman*", *Ecography*, 23, 659-668.
- GIRAUDOUX P., DELATTRE P., HABERT M., QUÉRÉ J.P., DEBLAY S., DEFAUT R., DUHAMEL R., MOISSENET M.F., SALVI D., TRUCHETET D. (1997) : "Population dynamics of fossorial water vole (*Arvicola terrestris scherman*): a land usage and landscape perspective", *Agric. Ecosyst. Environ.*, 66, 47-60.
- GIRAUDOUX P., COEURDASSIER M., RAOUL F., COUVAL G., JACQUOT M., RENAUDE R., TRUCHETET D. (2012) : *Sustainable control of grassland small mammals*, Poster, SETAC.
- MORILHAT C., BERNARD N., BOURNAIS C., MEYER C., LAMBOLEY C., GIRAUDOUX P. (2007) : "Responses of *Arvicola terrestris scherman* populations to agricultural practices, and to *Talpa europaea* abundance in eastern France", *Agriculture Ecosystems, Environ.*, 122, 392-398.
- MORILHAT C., BERNARD N., FOLTETE J.C., GIRAUDOUX P. (2008) : "Neighbourhood landscape effect on population kinetics of the fossorial water vole (*Arvicola terrestris scherman*)", *Landscape Ecol.*, 23, 5, 569-579.

2 : Les services écosystémiques sont définis comme étant les bénéfices matériels ou immatériels que les êtres humains tirent du fonctionnement des écosystèmes.



Association Française pour la Production Fourragère

La revue *Fourrages*

est éditée par l'Association Française pour la Production Fourragère

www.afpf-asso.org



AFPF – Centre Inra – Bât 9 – RD 10 – 78026 Versailles Cedex – France

Tél. : +33.01.30.21.99.59 – Fax : +33.01.30.83.34.49 – Mail : afpf.versailles@gmail.com

Association Française pour la Production Fourragère

Systèmes d'effarouchement du pigeon ramier applicables en agriculture biologique

F. Debode, f.debode@cra.wallonie.be et L. Jamar
(Centre Wallon de Recherches Agronomiques)

RESUME : Le pigeon ramier a un régime alimentaire varié et sa présence peut engendrer de graves dégâts aux cultures. Ceci pénalise le rendement financier mais affecte également le moral de l'agriculteur. Une fois que les ramiers ont choisi un champ pour se nourrir, il est très difficile de les en déloger. Il est donc important d'agir dès le semis. Divers types d'effaroucheurs sonores existent mais ceux-ci peuvent être source de nuisances et conduire à des problèmes de voisinage. Des dispositifs visuels se sont développés ces dernières années et peuvent constituer des alternatives valables au canon effaroucheur ou du moins permettre de limiter son utilisation. La meilleure solution pour éviter la présence des ramiers semble être d'associer plusieurs méthodes d'effarouchement et de les déplacer régulièrement au sein de la parcelle. En cas de forte infestation, les canons avec détonations aléatoires et la chasse restent cependant les meilleurs moyens de protection.

LE PIGEON RAMIER

Le pigeon ramier (*Columba palumbus*) est la plus grande des espèces de pigeon européen. Les ramiers affectionnent les bocages et les zones boisées à proximité de terres cultivées. Ils arrivent à mener deux à trois pontes (de deux œufs) annuelles à leur terme, ce qui fait que la population peut rapidement augmenter. En Belgique, les pigeons ramiers peuvent avoir un comportement migrateur ou sédentaire. Les migrateurs s'envolent pour l'Espagne dès la mi-septembre pour revenir début mars. On observe cependant une tendance croissante à la sédentarisation qui est attribuée à une augmentation des ressources alimentaires disponibles en été et en automne. Le pigeon ramier se nourrit au sol mais peut également cueillir des baies et des petits fruits dans les arbres. Il affectionne les champs de céréales, de légumineuses et de protéagineux. Au cours de ces dernières années, les dégâts en cultures légumières se sont également intensifiés. Des cultures comme les choux, salades, endives et pois sont fortement endommagées par une consommation partielle ou totale du feuillage. Les jeunes pousses de chicorées ne sont pas épargnées. En agriculture biologique, l'utilisation de semences non traitées peut également renforcer l'attrait pour les cultures récemment implantées. Le pigeon ramier est un oiseau opportuniste qui va rapidement repérer les

nouvelles sources d'alimentation et peut consommer jusqu'à 60 gr de nourriture par jour. Pour le producteur, cela se traduit par des pertes de rendement qui peuvent être catastrophiques et qui obligent de recourir à des moyens d'effarouchement s'ils veulent pouvoir conserver un revenu financier. Différentes méthodes d'effarouchement sont présentées ci-après.

LE CERF-VOLANT RAPACE

Le cerf-volant « rapace » est un moyen de plus en plus utilisé en grandes cultures. Il est constitué d'un mat d'environ 4 mètres au bout duquel un cerf-volant imitant un rapace se trouve accroché. Il a un rayon d'action pouvant varier de 2 à 4 mètres. Selon les cas, l'imitation peut être grossière (une aile delta noire avec un bec jaune et des pattes rouges, photo 1) ou plus réaliste (tissu imprimé représentant un rapace). Il est important de pouvoir bénéficier d'un cerf-volant qui effectue un vol stationnaire et qui puisse également virevolter afin de créer un sentiment d'insécurité pour les pigeons.



PHOTO 1 : Cerf-volant rapace sur mât en culture de pois (source : CRA-W)

Le type de mât a son importance. Les mâts vendus dans le commerce possèdent une structure lisse et effilée avec un anneau tournant à leur sommet. On peut rencontrer des mâts en fibres de verre, très légers et assez flexibles et des mâts en polymères, plus résistants, plus lourds et moins flexibles. Un mât plus flexible aura l'avantage d'occasionner moins souvent l'enroulement du cerf-volant autour du mât. Pour un mât plus rigide, un contrôle devra être effectué tous les 4 à 5 jours pour vérifier que les cerfs-volants ne sont pas enroulés autour du mât. Le rayon d'action du cerf-volant peut encore être augmenté par l'utilisation d'un support tournant dans lequel vient se positionner le mât en fibre de verre (le mât est dans ce cas plus incliné). Cependant, les mâts en fibres de verre peuvent se

révéler extrêmement fragile. De plus, ils doivent être lestés si on veut éviter de les voir entraînés par le cerf-volant par période de grands-vents. Si on prend comme référence la durée d'une culture de pois de conserverie (+/- 3 mois), un cerf-volant résistera en moyenne à trois saisons. Si on se dirige vers un cerf-volant plus grand et plus complexe qu'une aile delta, certaines tiges rigides peuvent se casser prématurément. Il existe aussi des mâts plus longs adaptés à l'arboriculture fruitière.

Une alternative présentant une bonne résistance à l'usure est un mât avec un bras déporté auquel on suspend un rapace en plastique. Le support peut être bricolé à la ferme et seul l'appelant en plastique devra être acheté. Ceci peut également attirer d'autres rapaces sur le champ. Le vol est cependant fort stationnaire comparé à un cerf-volant rapace mais les problèmes d'enroulement autour du mât ne seront pas rencontrés

Les fournisseurs recommandent en général le positionnement d'un seul cerf-volant rapace pour deux hectares. L'expérience montre que c'est insuffisant pour avoir une bonne efficacité et qu'il ne faut pas descendre en dessous d'une unité d'effarouchement par hectare. Cette densité doit être renforcée si le relief du champ est irrégulier car le cerf-volant peut ne pas être visible depuis l'endroit où les pigeons se posent. L'idéal est de pouvoir modifier la position de ces cerfs-volants au cours de la saison afin d'éviter l'accoutumance. Les cerfs-volants doivent être placés dès le semis afin que les pigeons ne prennent pas l'habitude d'aller se restaurer à ce garde-manger potentiel. Les coûts et durée de vie approximative des différentes options d'effarouchement sont présentés au tableau 1.

Description	Nombre de pièces/ha	Coût €/pièce (HTVA)	Durée de vie (années)	Coût total €/ha/an (HTVA)	Efficacité
Cerf-volant rapace	1	35 à 60	3 (3 mois/an)	12 à 20	++
Mât	1	80 à 100	6	14 à 17	++
Cerf-volant éolien	1	60 à 90	3	20 à 30	++
Ballons prédateurs	1	15 à 45	3	5 à 15	+
Filets	1	2000 à 4000	3 à 5	500 à 1000	+++
Canons (hors bonbonne)	0.5	160 à 800	10	16 à 80	+++
Canons rotatifs	0.25	1800	10	180	+++
Canons verticaux	0.25	1400	10	140	+++
Horloge pour canon	0.5	140 à 400	6	23 à 66	
Scarey man (hors batterie)	0.5	900	10	90	++
Effarouchement sonore	0.25	500 à 1200	5	100 à 240	++

TABLEAU 1 : Coûts et durées de vie approximatives des différentes options d'effarouchement

LE CERF-VOLANT EOLIEN

Une structure représentant un rapace est positionnée dans le champ (photo 2). Le rapace est muni de six ailes qui vont fonctionner à la manière d'une éolienne et donner une impression de mouvement. Le système pouvant pivoter sur sa base, il va se positionner selon le vent, à la manière d'une girouette et réagir aux moindres coups de vents. Ce système constitue une alternative aux cerfs-volants classiques. Le système peut être rehaussé pour une meilleure visibilité ou lorsque la végétation atteint une hauteur qui entraîne un blocage au niveau de la rotation des pales. Des cerfs-volants éoliens de différentes envergures sont disponibles sur le marché. Ce système peut être placé en alternance avec les cerfs-volants sur mât et ne demande que peu d'entretien.

LES BALLONS PREDATEURS

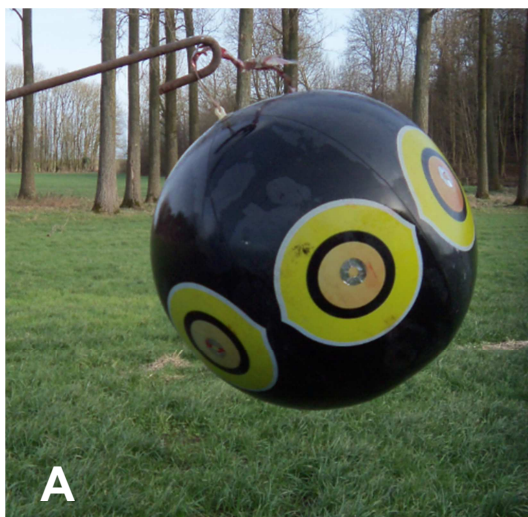
Les ballons prédateurs sont des ballons qui s'accrochent sur un mât et qui présentent des structures rappelant les yeux de prédateurs. Deux types de ballons peuvent être utilisés, les ballons classiques (photo 3A) et les ballons avec yeux holographiques (photo 3B). Ces systèmes sont inefficaces en champ. Les ballons classiques sont totalement inefficaces alors que les seconds peuvent avoir un intérêt pour protéger un petit potager, sans plus grande prétention.



PHOTO 2 : Rapace éolien en culture de pois (source : CRA-W)

LES FILETS

Les filets sont le moyen le plus efficace contre les pigeons ramiers mais aussi le plus coûteux (Tableau 1). Les mailles doivent être suffisamment petites que pour ne pas laisser le feuillage les traverser. Les filets bons marchés à grandes mailles sont donc à proscrire, excepté en arboriculture. Les étapes de mise en place et de retrait sont laborieuses. Devant les ravages créés par les pigeons, des essais ont été réalisés sur des chicons avec des solutions mécanisées (photo



**PHOTO 3 : Ballons prédateurs.
A. Ballon effaroucheur classique
B. Ballon « Terror eyes »
(source : CRA-W)**

4). Le coût peut atteindre 2000 à 4000 euros/ha. La durée de vie des filets étant estimée de trois à cinq ans, leur utilisation pratique n'est envisageable que sur les cultures présentant une forte plus-value.



**PHOTO 4 : Mise en place mécanisée de filets sur cultures maraichères
(source : Nationale Proeftuin voor Witloof)**

LE CANON

Le canon constitue l'un des systèmes les plus efficaces mais induit des nuisances sonores. Dans la mesure du possible, ce système est donc à éviter lorsque des habitations sont situées à proximité. Différents modèles à des prix fort variables sont disponibles sur le marché (Tableau 1). Pour un confort de l'utilisateur, il convient d'associer le canon à un système évitant de devoir se rendre tous les soirs sur place afin de le fermer. Deux systèmes sont disponibles : les horloges classiques où l'utilisateur doit définir la plage de fonctionnement et les systèmes crépusculaires avec mise en marche à la levée du jour et un arrêt à la tombée de la nuit. Ces systèmes peuvent être intégrés directement dans le canon (photo 5) ou achetés séparément. A titre informatif, un système crépusculaire nécessitera un nouveau jeu de piles à chaque saison. Une horloge crépusculaire peut quelquefois faire des détonations à 5h30 du matin et les arrêter à 22h30 le soir. Dans un souci de bonne entente avec le voisinage, il peut être de bonne augure d'éteindre les canons le dimanche et jours fériés. La plupart des communes wallonnes imposent une distance de 500 mètres par rapport aux habitations et une plage de fonctionnement entre 7h00 et 20h00, l'horaire pouvant être variable selon les communes.

Outre les modèles statiques de canon, il existe aussi des modèles rotatifs qui vont effectuer un quart de tour à chaque détonation. Si un canon fixe permet de couvrir

environ 2 ha, un canon rotatif en couvre, selon les constructeurs, 4 fois plus. Il existe aussi des canons positionnés verticalement qui vont à la fois émettre une détonation et propulser une fumée et des leurres le long d'un mât haubané de 8 mètres de haut, produisant un effet visuel complémentaire.



PHOTO 5 : Canon au propane muni d'une cellule crépusculaire (source : CRA-W)

Le nombre de coups par heure peut être réglé. Certains modèles provoquent des détonations aléatoires qui peuvent s'accompagner de doubles (voire de triples) détonations, ceci afin de limiter l'accoutumance. Un nombre de détonation important par heure n'est pas nécessaire et augmentera le risque de problèmes avec les voisins. En pois, une bonbonne de propane de 10,5 kg) permettra de couvrir 2 saisons (ceci peut être sujet à variations en fonction du nombre de coups programmés par heure).

Les canons pouvant se révéler assez couteux selon les systèmes (Tableau 1), des dispositions doivent être prises afin d'éviter le risque de vol. Ainsi, il est intéressant de ne pas positionner de tels systèmes à un endroit où ils peuvent être facilement emportés ou dégradés. Le placement d'une chaîne avec cadenas pour relier le canon, un poids et la bonbonne de gaz entrainera un alourdissement et un encombrement du système.

SCAREY MAN

Les mannequins "fait-maison" d'apparence simple ne présentent que très peu d'efficacité car les oiseaux s'y habituent très vite, il faut donc faire preuve d'imagination pour leur donner un aspect réaliste et une impression de mouvement.



PHOTO 6 : Scarey man (Source: Inagro)

Le scarey man est un épouvantail gonflable automatique résistant aux intempéries (photo 6). Le système se déclenche automatiquement à intervalles réguliers, le mannequin se gonfle et une sirène émet un son effrayant les oiseaux. Il peut être relié à une horloge crépusculaire. Une étude effectuée par l'Inagro en chicorées a montré que le système marchait très bien les premiers jours mais qu'une accoutumance des oiseaux pouvait se mettre rapidement en place.

L'EFFAROUCHEMENT SONORE

Différents types d'effaroucheurs sonores sont disponibles sur le marché. La plupart émettent des cris d'oiseaux en détresse ainsi que ceux de prédateurs (épervier, faucon pèlerin, ...). Le mode de lecture peut être séquentiel ou aléatoire, la longueur des émissions peut varier en mode court, long, ou très long. Ces systèmes peuvent aussi induire des nuisances sonores. Un modèle avec un seul haut-parleur (plusieurs haut-parleurs peuvent être branchés sur un même système) émet encore 55 décibels à 100 mètres, ce qui équivaut, à titre comparatif, au bruit d'une conversation normale. Le système doit être raccordé à une batterie pour son fonctionnement (un transformateur ou un kit solaire sont également disponibles). Certaines marques sont munies d'une cellule crépusculaire pour éviter leur fonctionnement la nuit.

Des effaroucheurs à ultrasons (inaudibles voire légèrement audibles) existent également mais ceux-ci ne fonctionnent que pour des endroits fermés ou semi-fermés et ne sont dès lors pas utiles pour le cas qui nous intéresse.

LES REPULSIFS ODORANTS

Certains agriculteurs pulvérisent parfois leurs cultures avec des produits odorants ou pigmentés afin d'en diminuer l'appétence. Des essais ont été conduits par Inagro sur choux fleurs. Les produits ont été appliqués par pulvérisation et le traitement a été répété après une averse. Des applications d'extraits d'ail, de Tabasco, de lait, d'Aversis, d'huiles essentielles et d'azote liquide ont été testées. Selon Inagro, aucun des traitements n'a montré d'effet répulsif concluant envers les pigeons ramiers.

LA CHASSE

Les différents systèmes présentés permettent d'effaroucher les pigeons pour peu que la population ne soit pas trop importante. Si les ramiers sont nombreux, le meilleur moyen pour s'en faire quitte reste la chasse. Celle-ci peut se faire suite à une demande d'autorisation de destruction du pigeon ramier. La personne qui effectue la demande doit être titulaire d'un permis de chasse. En grandes cultures, les producteurs doivent donc généralement prendre contact avec les gestionnaires de la chasse qui ont parfois des intérêts divergeant. La chasse à l'affut demandant du temps, de la patience et des disponibilités aux heures où le ramier se nourrit principalement, la disponibilité des chasseurs ne rencontrera peut-être pas les attentes des producteurs pour qui chaque jour

qui passe occasionne du stress et des dégâts supplémentaires. La venue d'une personne extérieure motivée et en ordre de permis de chasse, ne sera pas toujours vue d'un bon œil par les gestionnaires de la chasse. La chasse implique donc de pouvoir compter sur des personnes efficaces et disponibles et d'entretenir une entente cordiale avec les différents intervenants.

CONCLUSIONS

Il n'y a pas de moyen miracle pour effaroucher les pigeons. Si l'on veut rester dans des limites de coûts de mise en place et de fonctionnement acceptables, la meilleure solution reste la combinaison de plusieurs méthodes d'effarouchement comme le cerf-volant rapace, le cerf-volant éolien et le canon avec marche-arrêt automatique et un nombre de coups par heure plus limité. Les moyens d'effarouchement doivent être placés dès l'implantation de la culture afin que les ramiers ne prennent pas l'habitude de venir se restaurer sur la parcelle et doivent être déplacés de temps à autre. En cas de population plus importante ou difficile à déloger, des canons plus agressifs avec détonations aléatoires et la chasse restent les moyens les plus efficaces.

BIBLIOGRAPHIE

- Rio Bernard. (2000) Toutes les chasses du pigeon ramier. Editions Jean-Paul Gisserot, 128 pages ISBN : 2877475336
- Manderyck Barbara. IRBAB asbl – KBIVB vzm. (2014) Ramiers : pouvons-nous protéger la chicorée ? Le betteravier n° 03/2014, pp 12-14.
http://www.irbab-kbivb.be/fr/publications/chicory/chicory/ramiers_1403_bt.pdf
- Pollet S., Van Ceunbreock L., Huits D. (2005) Schade door houtduiven en verwilderde duiven : kunnen alternatieve vogelafweersystemen helpen ? Provinciaal Onderzoeks-en Voorlichtingscentrum voor Land- en Tuinbouw. Groentemail Beitem jaargang 2, nr. 4
<http://www.inagro.be/Publicaties/Documents/groentemail%200507.pdf>
- Pollet S., Hubrecht W. (2013) Als wild je ergste vijand wordt. Boerenbond, Management & Techniek 14, augustus 2013, pg 30-32. <http://edepot.wur.nl/273112>
- Projet VETABIO. Comment utiliser les voiles et filets en maraîchage biologique.
<http://www.cra.wallonie.be/img/page/brochure/AB/AB/legumes/filets.pdf>

MIEUX VAUT PREVENIR QUE GUERIR : DE LA NECESSITE D'UNE GESTION SYSTEMIQUE DE LA PROBLEMATIQUE – GESTION DE LA ROTATION ET DES AMENAGEMENTS DES PARCELLES

D. Stilmant¹ d.stilmant@cra.wallonie.be
¹(Centre Wallon de Recherches Agronomiques)

Cette introduction s'inspire fortement des articles publiés par Ratnadass et al. (2012) et Philpott, (2013).

Sur base de cette revue, la forte vulnérabilité des systèmes conventionnels, conduits de manière intensive, est souvent mise en lien avec leur simplification à l'extrême (Tilman et al. 2002 in Ratnadass et al. 2012). L'hypothèse étant que leur complexification, tant dans le temps (complexification de la rotation) que dans l'espace (diversité à l'échelle du paysage, complexification de l'assolement, mise en place de cultures associées voir utilisation de mélanges variétaux pour une même espèce (Cox et al., 2004), pourrait accroître la résilience des agro-écosystèmes face aux maladies et parasites (Ratnadass et al. 2012) voire aux adventices (Hauggaard-Nielsen and Jensen 2005). La manipulation et régulation des interactions biotiques et du fonctionnement des agro-écosystèmes afin de leur permettre de délivrer les différents services y associés ; en ce y compris les services de production ; représente en effet le majeur challenge du 21^{ème} siècle (Gaba *et al.* 2014).

Dans la suite de cette introduction le terme 'parasite' sera utilisé pour définir tout adventice, insecte, champignon, capable d'occasionner des dégâts économiques aux cultures.

Les mécanismes qui permettent à une diversification des cultures de réduire la pression exercée par les maladies et parasites sont multiples (Ratnadass et al. 2012) et repris ci-après, dans le tableau 1.

Mécanisme en jeu	Principes généraux (exemple)	Limitations (contre-exemple)
Interruption du cycle de développement	L'intégration, dans les rotations, d'espèces ne pouvant pas servir d'hôte à l'espèce considérée (ex : limiter le retour d'espèces pouvant servir d'hôte à aphanomyces / parcelle destinée à la culture du pois)	Certains parasites, pouvant se développer sur de nombreuses espèces d'hôte, possédant une forte habilité à se disperser ou des formes leur permettant de survivre longuement dans les sols sont très difficiles à limiter sur cette base.
Allélopathie	Composés antibiotiques produits par des plantes, soit directement, soit durant leur phase de décomposition, qui vont directement affecter la capacité des parasites à infecter / se nourrir sur la plante hôte cultivée (Emission, dans la rhizosphère de certaines espèces de tagètes, de substance nématocide voire ayant une action sur la germination de conidies d' <i>Alternaria solani</i> // l'avoine présente également l'émission de substances fongicides au niveau de ses racines)	En fonction du cultivar utilisé, des effets opposés peuvent être observés. Certaines brassicacées peuvent ainsi permettre le développement de nématodes avant d'agir sur la survie de ces derniers en libérant, suite à la décomposition de leurs résidus, des substances nématocides.
Améliorer l'activité de la microflore du sol	Un accroissement de la diversité végétale va entraîner, lors de sa décomposition dans le sol, une augmentation de la diversité et de l'activité microbienne générale. Un tel accroissement va augmenter les chances de mobiliser des espèces ayant un effet antagoniste vis-à-vis des espèces pathogènes.	Un contre exemple réside dans la dynamique du champignon <i>Gaeumannomyces graminis var tritici</i> (agent causal du piétin échaudage) dont l'occurrence diminue suite à une monoculture de froment, après une première phase d'augmentation. Cette dynamique est interrompue suite à l'inclusion d'une nouvelle espèce dans la rotation. Dans ce cas, ce seraient des bactéries de <i>Pseudomonas fluorescens</i> qui seraient stimulées par la monoculture de blé et qui auraient un effet suppressif sur <i>Gaeumannomyces graminis</i> .
Améliorer la nutrition de la culture conduit au développement d'une résistance physiologique	Un accroissement de la diversité végétale (culture et/ou interculture) va entraîner, lors de sa décomposition dans le sol, la libération de nutriments pour la culture suivante qui peut résister plus aisément aux agressions extérieures. Les légumineuses sont souvent mises en avant. De même, le mulch à la surface du sol limite les pertes en eau et les tress hydriques.	Une alimentation azotée trop importante peut stimuler le développement de certains pathogènes qui se développent dans des tissus vivants. Ainsi <i>Puccinia striiformis f.sp. tritici</i> (rouille jaune des céréales) engendre des symptômes plus sévères sur une culture ayant reçu une bonne alimentation azotée.
Limitation de la dispersion	La séparation de parcelles de cultures hôtes par des cultures	Une telle mesure a peu d'effet pour les parasites présentant

du parasite en diluant la ressource, à l'échelle du paysage	non-hôtes limite la dispersion des parasites.	un bon potentiel de dispersion ou une large gamme d'hôtes.
Dilution de la ressource à l'échelle de la parcelle (effet de la concentration/dilution de la ressource) → visibilité de la ressource (forte densité de semis, désherbage, ...) → effet « passif »	Dans des cultures associées, les plantes sont moins attaquées par des parasites spécialisés ou oligophages. Ainsi le froment est moins attaqué par certaines maladies fongiques une fois associé à de l'orge.	Si l'association mobilise une espèce d'intérêt et une espèce compagne sans intérêt économique, la compétition occasionnée par cette dernière peut réduire trop fortement les rendements de l'espèce principale. Si le parasite possède une bonne capacité de dispersion active (papillon du chou >< puceron), cette dilution aura moins d'effet.
Action répulsive (push) de la culture compagne → effet « actif »	Des substances émises par une culture compagne ou en sous-couvert peuvent limiter l'attractivité de la culture principale. Ainsi l'attaque de la carotte par la mouche de la carotte peut être réduite suite à une association de cette culture avec celle de l'oignon.	Ces substances peuvent agir comme attractif pour d'autres espèces de parasite ! → nécessité d'une approche fine prenant en compte le complexe de parasites d'une culture !
Action attractive (pull)	Des cultures associées ou positionnées en périphérie peuvent agir comme des attractants, limitant la dispersion du parasite dans la culture principale. Elles peuvent également attirer les ennemis naturels du parasite, améliorant ainsi son contrôle. L'idéal étant d'avoir des cultures qui attirent le parasite et suscitent sa ponte sans en permettre le développement (! la sélection naturelle va agir contre un tel comportement suicidaire !)	Les plantes pièges peuvent devenir des sources de parasites après une phase de 'puits' → nécessité de bien évaluer le ratio 'plante piège' / 'culture principale' à implémenter ainsi que leur organisation spatiale. → Intérêt d'associer une stratégie « Push and pull »
Fournir des aliments aux ennemis naturels	Une diversité floristique adaptée peut fournir des nutriments (pollen, nectars, ...) aux parasitoïdes voir aux prédateurs (syrphes au stade adulte, coccinelles, ...) voir abriter des hôtes alternatifs, ce qui permet de maintenir les populations de parasitoïdes et prédateurs avant l'arrivée des parasites cibles. Dans ce cadre des couverts pérennes en périphérie de parcelle sont particulièrement intéressants.	Ces ressources peuvent néanmoins accroître le fitness des parasites. De même, les prédateurs et/ou parasitoïdes peuvent être détournés et s'orienter vers ces ressources alternatives (parasites/espèces secondaires ; miellat, ...) plutôt que vers la cible principale ! De plus, dans les monocultures, les parasitoïdes mobilisent le miellat au même titre que le nectar, ce qui entretient leur fitness. Pour les prédateurs omnivores la flore peut limiter l'attrait

		pour les parasites !
Fournir des zones refuges pour les ennemis naturels	La structure de l'habitat protège les ennemis naturels de leurs propres ennemis ou procure des sites propices à leur reproduction.	
Une augmentation de la biodiversité floristique peut altérer le microclimat (par exemple en agro-foresterie)	Le microclimat ainsi modifié peut limiter le développement des maladies et parasites ou soutenir le développement des antagonistes (ex : champignon entomophage).	L'inverse peut également être vrai !
Une augmentation de la biodiversité floristique peut représenter une barrière physique vis-à-vis des parasites	La présence de mulch, de cultures mixtes peut limiter la propagation des maladies liées à l'effet 'splash'. Ainsi la dispersion verticale de spores de <i>Septoria tritici</i> est limitée par le sous semis de trèfle blanc dans du froment. Une végétation haute (agro-foresterie) peut également représenter une barrière au mouvement de parasite présentant une dispersion passive (puceron). A l'échelle du paysage, la fragmentation (connectivité) de l'occupation des sols limite la dispersion des maladies et parasites.	Une telle fragmentation peut limiter le déplacement des ennemis naturels. Les végétations hautes peuvent également arrêter les parasites qui autrement seraient passés outre. →

TABLEAU 1 : Principes/règles générales selon lesquelles l'accroissement de la diversité floristique, à des échelles allant de la population au paysage en passant par la parcelle, améliore la gestion des problèmes liés aux parasites et maladies dans les agro-écosystèmes. Les limites à ces principes sont également reprises (modifié de Ratnadass et al., 2012).

Il ressort de ce rapide tour d'horizon que toute augmentation de la biodiversité floristique, bien que conduisant régulièrement à une augmentation de la diversité et densité des espèces antagonistes, ne conduit pas nécessairement à une réduction de la pression exercée par les parasites (Philpott, 2013). En effet, l'augmentation de la diversité des antagonistes peut conduire à une augmentation des interactions survenant entre les différentes espèces d'antagonistes et à une diminution de leur efficacité individuelle. De même, la compatibilité entre le délai de réponse des antagonistes et les objectifs de production agricole est souvent questionnée (Gaba et al. 2014). Cela rend toute recommandation à l'attention des agriculteurs difficile. Les conditions nécessaires à l'obtention d'un équilibre dynamique étant fortement dépendantes des conditions biotiques et abiotiques locales, elles nécessitent de développer des systèmes d'aide à la décision pouvant les prendre en compte.

REFERENCES

- Cox, C. M. et al. 2004. Cultivar mixtures for the simultaneous management of multiple diseases: Tan spot and leaf rust of wheat. *Phytopathology* 94: 961-969.
- Gaba, S. et al. 2014. Managing biotic interactions for ecological intensification of agroecosystems. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2 : 1-9.
- Hauggard-Nielsen, H., Jensen, E. 2005. Facilitative root interactions in intercrops. *Plant Soil* 274 : 237-250.
- Philpott, S.M. 2013. Biodiversity and Pest control services. In : *Encyclopedia of biodiversity* (Levin, S.A. ed.), Academic press, second edition, vol 1, 373-385.
- Ratnadass et al. 2012. Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems : a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32 : 273-303.
- Tilman, D. et al. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418 : 671-677.



Mieux vaut prévenir que guérir
Rotation légumières

CRA – 05-02-15
Lieven Delanote



Provincie West-Vlaanderen. Ondernemen het zit in ons.

Inagro

www.inagro.be



- Recherche appliquée & conseil en agriculture & horticulture
- Situé à Roulers – Flandre occidentale
- Grandes cultures, légumes sous abri, légumes plein champs, endives, champignons, production animale,...
- Conventioannel et bio

Inagro



Ferme expérimentale AB



Département agriculture biologique

- Grandes cultures et légumes plein champs
- Choix variétal, fertilité sol, enherbement, gestion maladies et insectes, techniques culturales,...
- Journées thématiques, presse agricole, portes ouvertes, www.inagro.be / www.biopraktijk.be
- Conseil individuel bio/reconversion
- Ferme expérimentale bio
- 12 ha, sol sablo-limoneux
- Site de recherche, de démonstration et d'innovation



Guérir ?

Prévenir ?

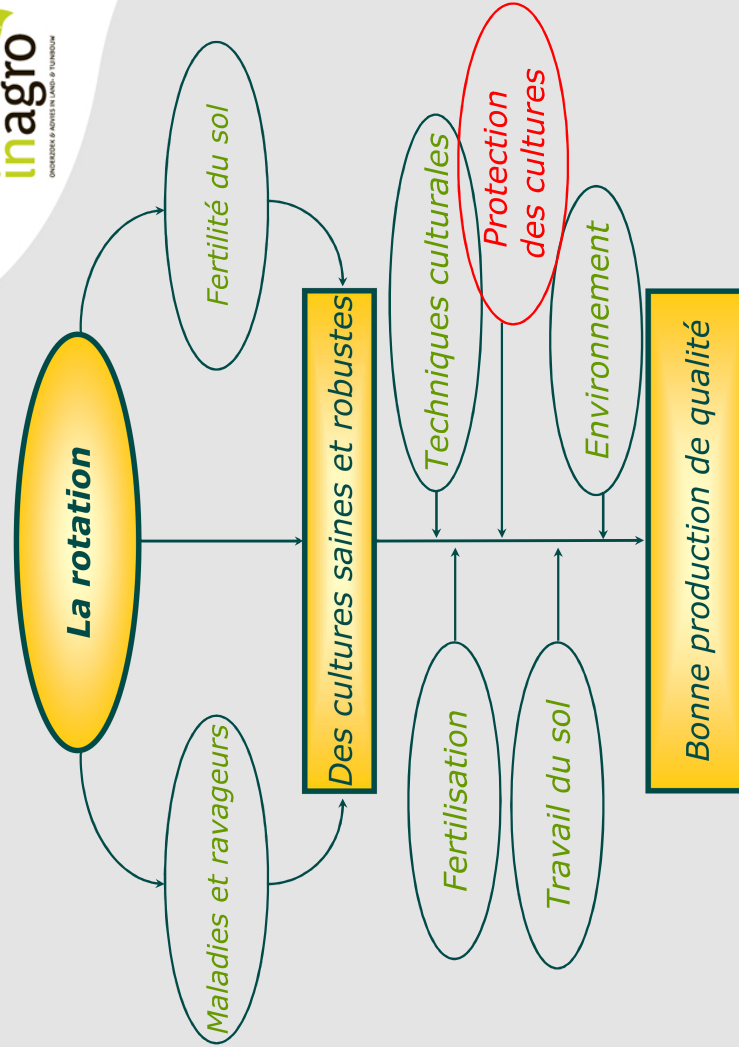
Guérir ?

- Agriculture conventionnelle
 - Guérir en préventif ⇒ maîtriser la nature
- En bio
 - Liste annex II limitée
 - Efficacité moyenne
- En rotations légumières, il n'existe que **DES** problèmes

Prévenir

- 'Prévenir' en agriculture bio:
 - Combiner plusieurs mesures
 - Avoir confiance en la nature
 - Accepter que parfois les pièces ne se placent pas comme on veut...





L'environnement

La masse et la diversité font la force

Une armée d'auxiliaires au champs

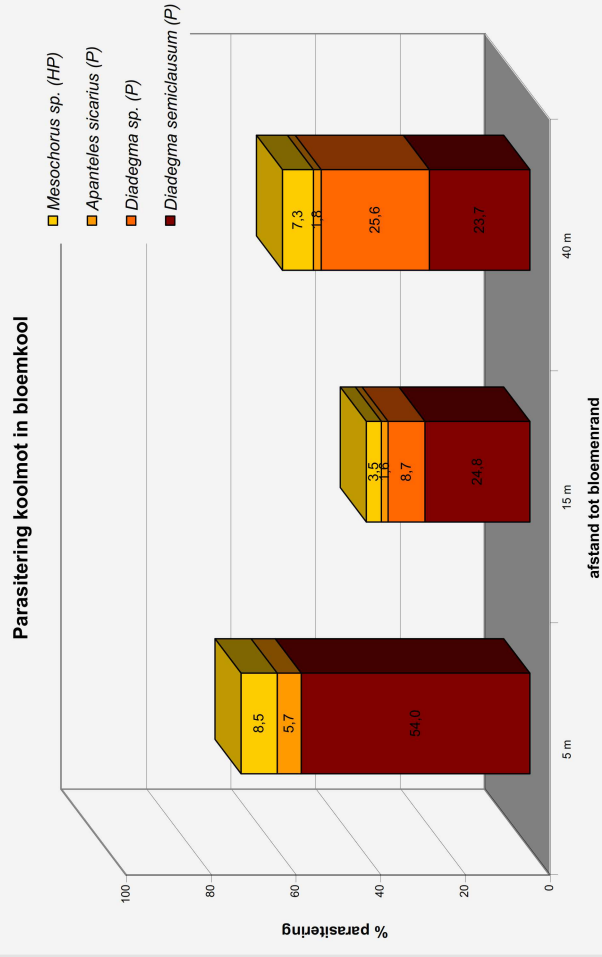


In samenwerking met



Heb vertrouwen in de natuur

50 % de chenilles *Plutella xylostella* parasitées (2006)



Les pyrèthres naturels ?



La rotation :
une stratégie défensive
connue

une stratégie offensive
sous-estimée

La rotation: une stratégie défensive à respecter

- Eviter une vesce dans une rotation pois
- Eviter une trèfle qui peut constituer une plante hôte pour le sclérotinia et les nematodes
- N'inclure que tous les six ans
 - Choux - *Plasmodiophora brassicae*
 - Pomme de terre – nematodes
 - Poireau – mildiou
 - ...
- ...

La rotation: une stratégie offensive pour savoir gagner

- Produire des conditions optimales pour que la plante pousse bien
- Créer la diversité pour renforcer son armée

Les rotation mixtes rapportent gros

2006:

- Chou rouge
- Prairie temporaire
- Blé printemps + trèfle
- Féverole

2007: Poireau



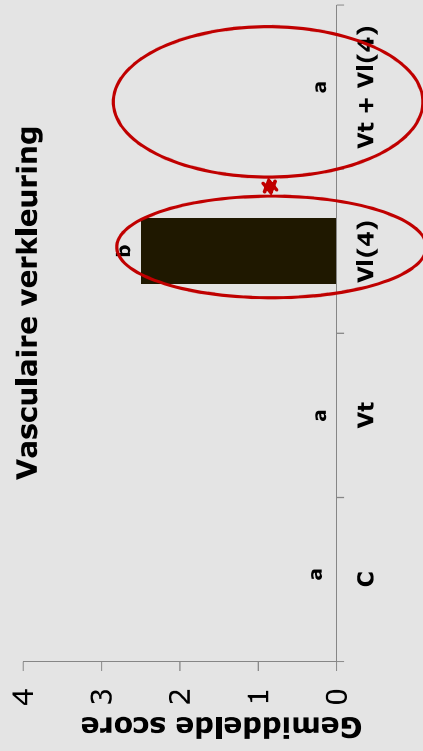
Object	Opbrengst kg/ha
Rode kool	31.140 c
Veldbonen	36.827 b
Zomertarwe	42.648 a
Grasklaver	38.363 ab
Gemiddelde	37.245

Verticillium fanage en chou fleur

- *V. longisporum*
- UGent (prof. M. Höfte) - PSKW - Inagro

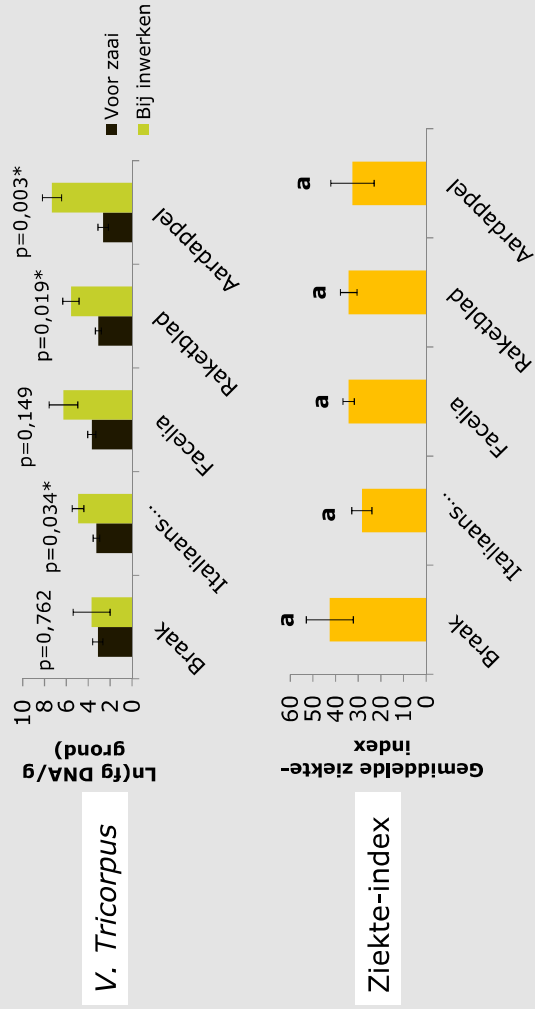


Antagonisme *V. tricolor* et *V. longisporum*



V. Tricolor dépend du précédent

- Essais Inagro



Les cultures mixtes approchent ?



Techniques culturales

quelques conseils



Choix variétal

Pomme de terre



faitue

Une culture asséchante ?

Les champignons de feuilles ont besoin d'eau pour pouvoir germer

- ⇒ Elargir les interlignes
- ⇒ Enherbement réussi





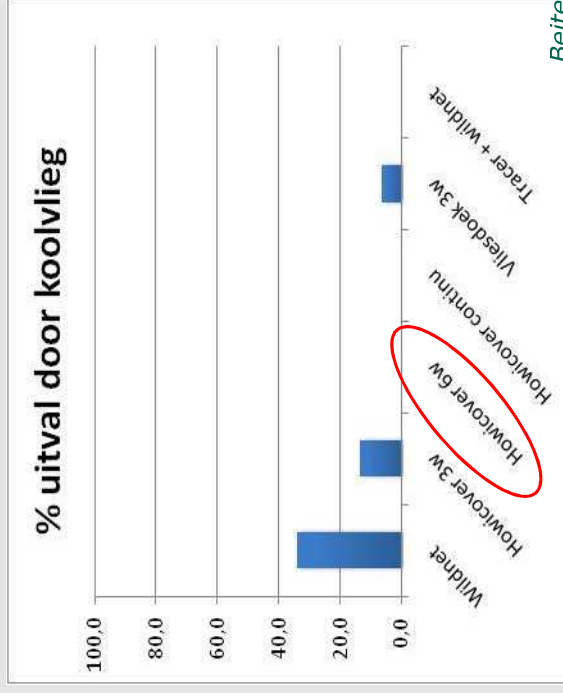
La mouche des haricots - *Delia platura*

Recherche 2010 – 2011 Inagro / PPO-WUR:

- Toute matière organique fraîche attire les mouches
 - Du fumier et des engrais organiques
 - Des engrais verts / les résidus
 - La germination des grains du céréale précédent
- Différence entre variétés
 - fleurs blanches plus sensibles que fleurs colorées
 - Vigueur de germination ?



Bacher contre la mouche du chou



Beitem, juni 2009

Chenilles en chou fleur
(*Plutella xylostella*, *Pieris rapae*,
Mamestra brassicae)



Les filets gibier protègent contre les chenilles *mamestra brassica*

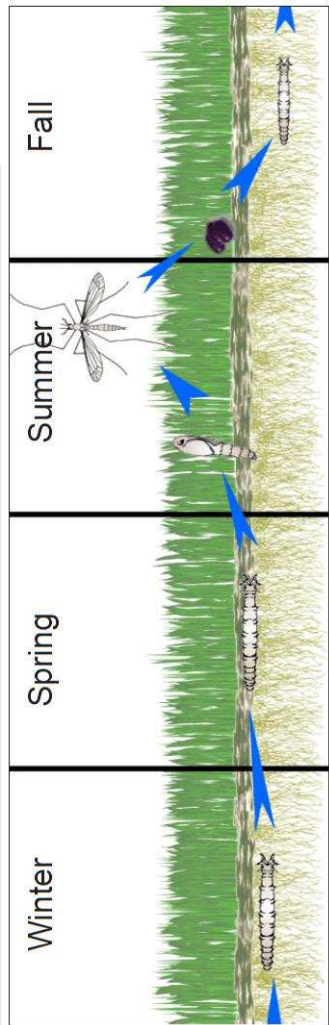
Object	behandeling voor planten	behandeling na planten	duur / frequentie	Marktbaar % 1	% rupsenschade bij oogst % 1
1	-	wildnet	van planten tot oogst	90,8 ^a	5,2 ^b
2	Tracer tray 10 ml/1000 pl	wildnet	van planten tot oogst	94,6 ^a	1,4 ^b
3	-	XenTari 1 kg/ha	wekelijks vanaf eerste eitjes / rupsen	63,2 ^b	35,6 ^a
4	Tracer tray 10 ml/1000 pl	XenTari 1 kg/ha	wekelijks vanaf eerste eitjes / rupsen	64,6 ^b	32,8 ^a
5	-	Tracer 150 ml/ha	2 à 3 maal van half aug tot eind sept	91,1 ^a	7,6 ^b
6	Tracer tray 10 ml/1000 pl	Tracer 150 ml/ha	1 maal begin september	51,2 ^b	44,8 ^a

Beitem, najaar 2009

Les tipules (*Tipula spp.*)



Observer les tipules



<http://whatcom.wsu.edu/>

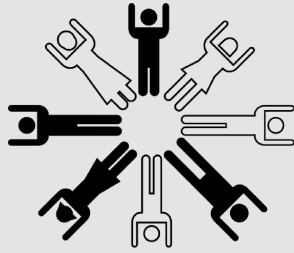
- engrais vert légumineuse = risque
- vérifier la population
- éviter les périodes de risque



Beitem, 2 avril 2009

Les pièges nous avertissent





Mieux prévenir... ?

Contact

Inagro – afdeling biologische productie
Lieven Delanote
Femke Temmerman

Ieperseweg 87
8800 Rumbeke (Beitem)

☎ 051/273250

✉ lieven.delanote@inagro.be

🌐 www.inagro.be

PRATIQUES ALTERNATIVES AUX PRODUITS PHYTOSANITAIRES EN ARBORICULTURE – EFFET DE LA GESTION DES LITIÈRES DE FEUILLES EN AUTOMNE SUR LE DEVELOPPEMENT DE LA TAVELURE DU POMMIER EN VERGER BIOLOGIQUE

L. JAMAR¹, l.jamar@cra.wallonie.be et M. LATEUR¹, m.lateur@cra.wallonie.be

¹(Centre Wallon de Recherches Agronomiques)

RÉSUMÉ : La tavelure du pommier causée par *Venturia inaequalis* représente une préoccupation majeure dans les vergers des régions à climat tempéré de l'Europe. Le but de cette étude, réalisée dans un verger biologique du CRA-W, est d'évaluer l'effet de la réduction de l'inoculum primaire présent dans les feuilles mortes sur le développement de la tavelure. L'expérience est composée de trois modalités appliquées en automne, l'une basée sur l'andainage et le broyage des feuilles au sol (B), la seconde sur le ramassage des feuilles et l'enfouissement des feuilles restantes (R), et la troisième maintenue comme témoin sans intervention (T). Par rapport aux parcelles sans intervention (T), une réduction moyenne respectivement de 42 et 75% des vols d'ascospore est enregistrée l'année suivante sur les parcelles 'B' et 'R'. Sur la variété 'Initial', la plus sensible, l'incidence moyenne de tavelure sur fruits équivaut respectivement à 15, 13 et 4% sur les parcelles 'T', 'B' et 'R'. Dans le même verger expérimental, dont 20% de la superficie est occupée par des zones de compensation écologique composées d'arbustes et d'une strate herbacée fleurie, les populations de pucerons cendré (*Dysaphis plantaginea*), principal bio-agresseur des vergers de pommier, sont maintenues naturellement en dessous du seuil de nuisibilité sans aucun traitement insecticide, depuis 2003, deuxième année de vie du verger, jusqu'en 2014.

INTRODUCTION

Les cultures fruitières sont, pour la plupart, des cultures pérennes qui peuvent rester en place sur un même site plusieurs dizaines d'année. De ce fait, le concept de rotation annuelle, pourtant à la base d'une bonne pratique agricole, n'est pas applicable. Il en résulte une série de conséquences parfois difficiles à gérer pour l'arboriculteur et principalement celles liées aux bio-agresseurs. Dans les vergers modernes de pommiers et de poiriers de nos régions, on rencontre un grand nombre de champignons phytopathogènes et d'espèces d'insecte ravageur phytophage nuisibles, sans compter certaines bactéries, oiseaux et rongeurs particulièrement néfastes. Par conséquent, que ce soit en production intégrée ou en agriculture biologique, la conduite moderne des vergers professionnels est encore extrêmement exigeante en intrant et implique toujours une protection phytosanitaire intense (Jamar, 2011 ; Sédillot et Pujol, 2014). Cependant,

des stratégies et pratiques particulières, alternatives aux produits phytosanitaires, peuvent être mise en œuvre :

Le choix du site de production: En région tempérée, le site va influencer toute la vie et la rentabilité du verger. Choisir des situations ensoleillées, naturellement aérées et ventilées, des sols drainants et se réchauffant bien. Eviter les fonds de vallées et bas-fonds humides.

Le système de verger : L'influence du porte-greffe sur le développement des maladies apparaît notamment dans le fait que plus le porte-greffe est nanifiant, plus les spores provenant du sol ou des feuilles mortes sont facilement en contact avec la canopée (Aylor, 1998).

La conduite de l'arbre : Conduite de l'arbre qui favorise au maximum le séchage du feuillage et de la canopée fournit un microclimat défavorable au développement des maladies (Holb, 2006).

Les mélanges variétaux et d'espèces: Les souches de champignons peuvent être virulentes vis-à-vis de certaines variétés ou espèces, mais le sont soit moins soit pas du tout vis-à-vis d'autres variétés ou espèces. Par exemple, l'association de variétés résistantes et de variétés sensibles permet de limiter le développement de la tavelure sur les variétés sensibles (Gessler, 2006 ; Carisse et al., 2002).

Le choix variétal : Les variétés doivent être adaptées au contexte pédo-climatique. Choisir des variétés possédant des capacités de tolérance ou de résistance aux maladies en cohérence avec les risques sanitaires. Augmenter le nombre de variétés avec la surface cultivée, de manière à minimiser les risques de pertes.

Le choix des variétés de porte-greffes : Choisir le porte-greffe en fonction de la vigueur de la variété, du système cultural, de l'adaptation au sol, des rejets, de la compatibilité avec le greffon, de la résistance aux maladies et ravageurs. Par exemple : variétés tolérantes/résistantes aux pucerons lanigères, au chancre, à la pourriture du collet, au phytophthora, ...).

L'achat de plants sains certifiés sans virus et phytoplasmes

Le désherbage mécanique et fauche: Les bandes désherbées dans les rangs de fruitiers et les fauches régulières de l'herbe dans l'inter-rang sont favorable à la circulation de l'air dans le verger et défavorable au développement du campagnol.

L'aménagement d'un environnement riche et diversifié: Planter des plantes à fleurs sauvages ou cultivées dans le dispositif cultural ou aux abords de la culture constitue des corridors biologiques et des refuges pour les auxiliaires. La diversité d'espèces fruitières, de haies variées et de plantes ornementales vont assurer une riche floraison qui idéalement devrait pouvoir s'étaler jusqu'à l'automne afin d'attirer le maximum d'insectes utiles et butineurs. Ajouter le placement d'abris d'auxiliaire, de gîtes à abeilles solitaires, de nichoirs à oiseaux, ...

L'association culture/élevage : volaille, mouton,.... Par exemple, les poules dans une plantation de noisetier permettent d'éliminer le balanin.

La fumure : Les fortes fumures azotées peuvent représenter un facteur attractif pour les bio-agresseurs par l'augmentation d'éléments appétant dans les tissus, le développement plus important de la végétation, la présence prolongée d'organes sensibles, la chute tardive des feuilles (accentuée par les conditions climatiques plus douces en automne).

L'observation régulière des plantations : Se former à la reconnaissance des ravageurs, maladies, auxiliaires des vergers est essentiel. Par exemple : par le piègeage d'insectes, ou par les outils d'aide à la décision intégrant des données biologiques, phénologiques et météorologiques permettant d'avoir une vision dynamique de l'évolution d'une maladie ou d'un ravageur sur une région. Tout cela permet de dater et quantifier le risque.

La suppression des hôtes intermédiaires : Par exemple : le genévrier (*Juniperus spp*) est un hôte intermédiaire obligatoire dans le cycle de vie de la rouille grillagée du poirier (notons que le genévrier commun (*Juniperus communis*) est résistant).

Le moment des travaux : Les travaux de taille par temps sec en fin de saison hivernale et par température positive limitent les risques de contaminations.

La désinfection des outils de travail : Par exemple, pendant la taille, pour éviter les contaminations d'un arbre à l'autre, trempage des outils dans l'alcool.

L'introduction et préservation d'arthropodes ou insectes auxiliaire : Augmenter la densité ou introduire des auxiliaires, ennemis naturels des ravageurs, peut permettre de maintenir les populations en dessous d'un seuil de nuisibilité acceptable. Par exemples : (i) introduction de *Typhlodromus*, pour lutter contre les acariens tels que l'araignée rouges dans les zones relativement froides, (ii) introduction d'anthocorides, prédatrices du psylle du poirier, (iii) lâchers de larves de coccinelles, ...

L'emploi de micro-organismes ou dérivés: L'usage des micro-organismes prédateurs (champignons, bactéries, virus), est un moyen complémentaire souvent utilisé dans les vergers. Par exemple, (i) *Microsphaeropsis ochracea* antagoniste de la tavelure (ii) virus de la granulose pour lutter contre le carpocapse des pommes et des poires et la tordeuse orientale du pêcher, (iii) cristaux protéiques synthétisés par la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt) pour lutter contre les tordeuses, mineuses des feuilles, zeuzère....,

L'emploi de nématodes : Petits vers ronds qui se déplacent dans les crevasses de l'écorce et dans le sol et pénètrent dans les larves de ravageurs. Par exemple, *Steinernema carpocapsae* sur larve d'hoplocampe.

La confusion sexuelle : Libération de phéromones sexuelles dans les vergers pour perturber la reconnaissance des papillons mâles et femelles et empêcher la reproduction. Ceci pour limiter le nombre d'œufs et réduire ainsi la population de ravageur et les dégâts associés.

Les méthodes de protection physique :

- Filets anti-insectes pour établir une barrière physique autour des arbres. Par exemple : (i) filets Alt'Carpo pour protéger les pommiers ou poiriers du carpocapse, (ii) filets anti lépidoptères, anti oiseaux, manchons anti gibier, ...
- Badigeons de différentes compositions (chaux, argile, bouse, poudre de roche...)
- Piégeage massif (piège chromatique, bandes pièges cartonnées, les pièges blancs englués pour l'hoplocampe, ...),
- Cage à campagnol (treillis de maille 13 mm placés autour du système racinaire),
- Bâchage au sol ou protection parapluie (melon, framboise, cerise),
- Clôtures anti campagnols, cervidés, sangliers, etc.

La réduction des sources de contamination : Réduire la pression parasitaire sur la parcelle en éliminant les éléments infectés représentant un inoculum primaire pour la

campagne suivante. Par exemple : (i) ramasser et brûler les bois de taille pour éliminer chancres, cochenilles, oeufs de pucerons..., (ii) taille et élagage du bois malade (zeuzère, oïdium, tavelure sur bois, ...), (iii) curetage appliqué pour les chancres, buprestes, sésies, ..., (iv) gestion prophylactique de la tavelure par le ramassage, le broyage ou l'enfouissement des feuilles tavelées à l'automne. Une expérience a été réalisée au CRA-W dans ce sens et est détaillée ci-dessous :

La tavelure représente une des préoccupations majeures dans les vergers de pommiers et poiriers des régions du nord de l'Europe. Cette maladie cryptogamique, due au champignon microscopique *Venturia inaequalis* [Cooke] Winter, peut engendrer la perte de la totalité des récoltes si aucune mesure de protection n'est réalisée (Machardy *et al.*, 2001). Dans nos conditions pédoclimatiques, la lutte contre cette maladie nécessite en général de 15 à 25 traitements fongicides et peut impliquer jusqu'à 10% du coût de production (Sutton *et al.*, 2000). La lutte chimique peut avoir des effets nocifs sur la faune auxiliaire et est de plus en plus remise en question par les consommateurs. Les nouvelles exigences du marché visent à contraindre les producteurs à fournir des fruits qui ne contiennent pas de résidus de pesticides.

La conservation de la tavelure du pommier est assurée principalement par les périthèces qui se forment en hiver au sein des feuilles mortes tombées sur le sol et dans lesquels se forment les ascospores (Holb, 2006). L'importance de l'intervention de cette forme de conservation dans l'infection primaire des pommiers au printemps a été bien démontrée (Aylor, 1998 ; MacHardy *et al.*, 2001) mais les techniques qui visent à la détruire restent pourtant encore à ce jour très peu mises en pratique dans les vergers commerciaux.

La réduction de l'inoculum primaire de tavelure présent dans les feuilles mortes peut être réalisée par trois principaux moyens : mécanique, chimique et biologique (Sutton *et al.*, 2000; Carisse et Dewdney, 2002 ; Jamar *et al.*, 2010b). Exceptée la méthode qui consiste à enlever les feuilles avec des machines de ramassage, les moyens visent principalement à accélérer les processus de décomposition des feuilles par les micro- et macro-organismes du sol et des litières de feuilles. Les outils le plus souvent disponibles chez les producteurs sont les tondeuses ou les broyeurs de bois de taille mais ceux-ci ne réalisent pas souvent un travail optimum. La gestion des feuilles au sol nécessite des machines spécifiquement adaptées, à des prix accessibles, ce qui manque encore sur le marché (Jamar *et al.*, 2010d).

La mise en œuvre de méthodes de lutte prophylactique, telle que la destruction de l'inoculum, laisse entrevoir des possibilités de réduction d'intrants dans les stratégies de protection (Holb 2006 ; Gomez *et al.*, 2007). Afin de valider cette hypothèse dans nos conditions pédoclimatiques, un essai de réduction de l'inoculum tavelure a été initié en novembre 2009 dans un verger expérimental du CRA-W. C'est essai a été réalisé dans le cadre du programme Interreg IV TransBioFruit (2008-2015).

L'objectif de cette étude, menée sur trois saisons de croissance, est de comparer par rapport à des parcelles témoin sans intervention, l'effet sur le développement de la tavelure, de deux modalités de gestion des feuilles au sol en automne, l'une basée sur l'andainage et le broyage des feuilles, la seconde sur le ramassage et l'enfouissement des feuilles à l'aide d'outil moderne.

MATERIEL ET MÉTHODE

Cette étude est réalisée au sein d'un verger biologique de 65 ares planté en 2002 à Gembloux en Belgique. Le verger est composé de 4 variétés possédant le gène de résistance *Vf* (cvs. 'Initial', 'Topaz', 'Zvatava' et 'JN 20/33/58'), toutes greffées sur le porte-greffe nanifiant M9. Les arbres sont plantés à 3,5 m entre rangs et 1,5 m dans les rangs. Ils reçoivent en moyenne 55 unités d'azote par ha et par an, sous forme de fertilisant organique. Le dispositif expérimental comprend 576 arbres, les quatre variétés sont aléatoirement réparties en sous parcelles de 6 arbres monovariétales (Jamar *et al.*, 2010c).

En 2010 et 2011, un schéma de traitement anti-tavelure uniforme est appliqué sur le verger alors qu'en 2009, des sous parcelles 'Témoin non traité' réparties uniformément dans le verger, sont maintenues. Le logiciel d'avertissement RIMpro couplé à une station météo déterminent les périodes de risques d'infection primaire. La stratégie de traitement 'durant-infection' est strictement 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 (Jamar *et al.*, 2009). Un total de 8 et 10 applications à base de soufre et/ou cuivre sont réalisées en 2010 et 2011 respectivement, pour limiter les infections primaires de tavelure. Un pulvérisateur tunnel est utilisé pour l'application des traitements (Jamar *et al.*, 2010a).

L'étude mise en place est composée de trois modalités, chacune appliquées en automne 2009 et 2010:

- modalité 'T' – témoin, les feuilles sont laissées sur le sol sans intervention,
- modalité 'B' – basée sur l'andainage et le broyage des feuilles mortes au sol réalisés en un seul passage avec un andaineur à pales à l'avant du tracteur et un broyeur à l'arrière du tracteur (Bab-Bamps nv, Belgique),
- modalité 'R' – basée sur l'andainage (Bab-Bamps nv, Belgique) et le ramassage des feuilles réalisés avec le Tondobalai (Amazone machine agricole SA, France), combinés avec l'enfouissement des feuilles restantes sous le rang fruitier réalisé avec la machine d'enfouissement Spedo (Hatomec bvba, Belgique).

Une évaluation de l'efficacité des machines disponibles sur le marché, capables de réaliser ces travaux, a été opérée préalablement, notamment lors d'une journée de démonstration organisée à Gembloux, regroupant 9 fournisseurs sélectionnés (Jamar *et al.*, 2010d).

Un suivi de l'importance des vols d'ascospores est réalisé au cours de la saison de croissance suivante à partir de 6 capteurs de spores de type ROTOROD. Ces capteurs comportent deux fines tiges légèrement engluées qui se mettent à tourner à 2400 t/min grâce à un petit moteur durant 3 heures après chaque pluie supérieure à 0,2mm. Chacune des périodes de précipitation supérieure à 0,2 mm de pluie, du 15 mars au 20 juillet, est considérée comme un événement qui peut libérer des ascospores, les barrettes des capteurs sont alors remplacées et les comptages réalisés au microscope en laboratoire. Un capteur est placé au milieu de chaque modalité de chaque bloc expérimental, à 50 cm de hauteur.

Le verger est divisé en deux blocs expérimentaux de 4 rangs de 180 m de long dans le sens nord-sud. Les blocs sont séparés par une haie composée de noisetiers et sureaux.

Chaque bloc comprend les trois modalités, chaque modalité étant appliquée sur une surface de 15x50 m et séparées entre elles par 10 m de haies. Le dispositif expérimental 'T-B-R' est orienté dans le sens nord-sud dans le premier bloc et dans le sens sud-nord dans le deuxième bloc, afin d'éliminer l'effet 'vents dominants' éventuel.

Un suivi de l'incidence de la maladie sur les fruits est réalisé à trois reprises au cours des saisons de croissance 2010 et 2011, sur les deux rangs centraux de chaque bloc, les rangs latéraux des blocs étant considérés comme zones 'tampons'. L'incidence sur fruits est comprise comme la proportion de fruits infectés avec au moins une lésion de tavelure.

Une analyse de la variance (ANOVA) est réalisée à l'aide du logiciel statistique Minitab pour établir les relations entre les paramètres mesurés et les modalités appliquées. En parallèle, un suivi des foyers et populations de pucerons cendré est réalisé chaque année dans le verger expérimental depuis sa plantation jusqu'à aujourd'hui, en 2014.

RESULTATS

En 2009, les infections de tavelure sont sévères sur les quatre variétés, indiquant que le gène de résistance *Vf* est complètement contourné par de nouvelles races de tavelure. La variété 'Initial' manifeste une sensibilité supérieure aux trois autres variétés (Jamar *et al.*, 2010c). Depuis la plantation du verger jusqu'en 2009, des sous parcelles 'témoin non traité' réparties uniformément dans le verger sont maintenues, signifiant que l'inoculum présent dans le verger au départ de l'expérimentation est très important.

Par rapport aux parcelles sans intervention (T), des réductions moyennes (2010 et 2011) respectivement de 49 et 80% des vols d'ascospore sont enregistrées sur les parcelles B et R, dans le bloc T-B-R / nord-sud alors que dans le bloc T-B-R / sud-nord, des réductions moyennes respectivement de 35 et 67% des vols d'ascospore sont enregistrées sur les parcelles B et R (Figure 1). Quelque soit le sens du dispositif expérimental, la quantité de spores par capteur ne dépasse jamais 400 spores sur les parcelles 'R' où les feuilles sont ramassées et enfouies. Considérant la période du 15 avril au 15 juillet 2010 et 2011, sur l'ensemble du dispositif, des réductions moyennes respectivement de 42 et 75% des vols d'ascospores sont enregistrées sur les parcelles 'B' et 'R', par rapport aux parcelles sans intervention 'T'.

Les observations réalisées en juillet des deux années sur la variété 'Initial', la plus sensible, l'incidence moyenne de tavelure sur fruits équivaut respectivement à 11, 6 et 2% sur les parcelles 'T', 'B' et 'R' (Figure 2). A l'analyse des résultats enregistrés au mois d'août, l'incidence moyenne de tavelure sur fruits équivaut respectivement à 14, 13 et 4% sur les parcelles 'T', 'B' et 'R'. La réduction de l'incidence de tavelure engendré par la modalité 'R' est donc significative par rapport aux deux autres modalités 'T' et 'B'. Pour les trois autres variétés, plus tolérantes à la tavelure, il n'y a pas de différences significatives d'incidence de tavelure sur fruits entre les trois modalités, sachant que l'incidence maximum enregistrée est de 1%.

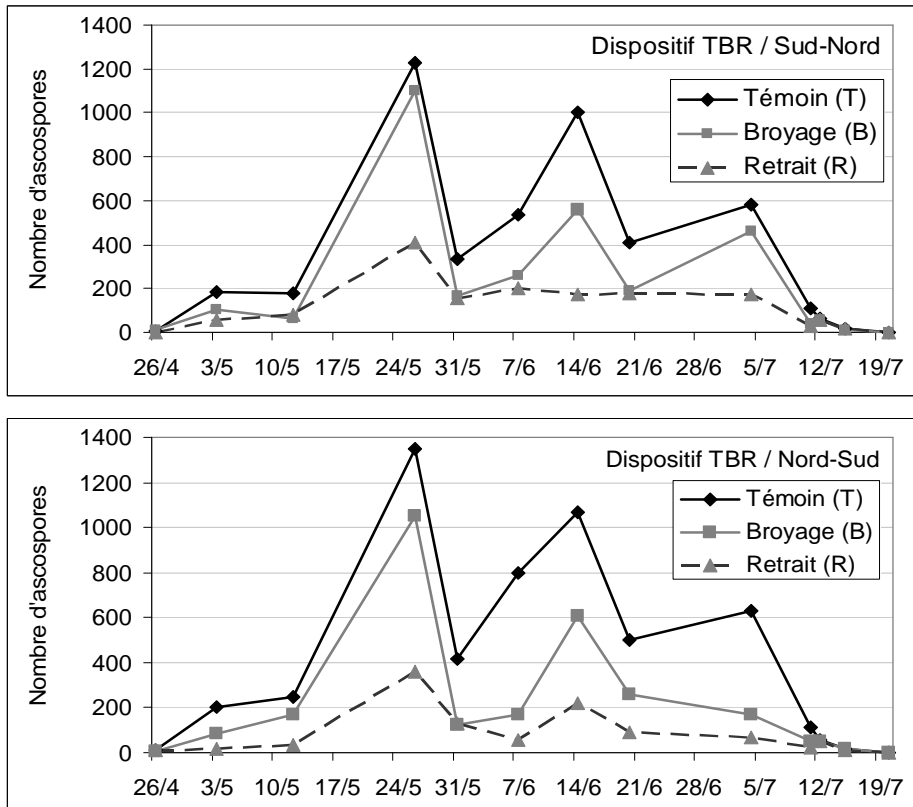


FIGURE 1: Quantité d'ascospores captée dans l'air du verger au printemps pour 3 modalités de gestion des feuilles en automne, T = Témoin, B = Broyage, R = Ramassage + Enfouissement

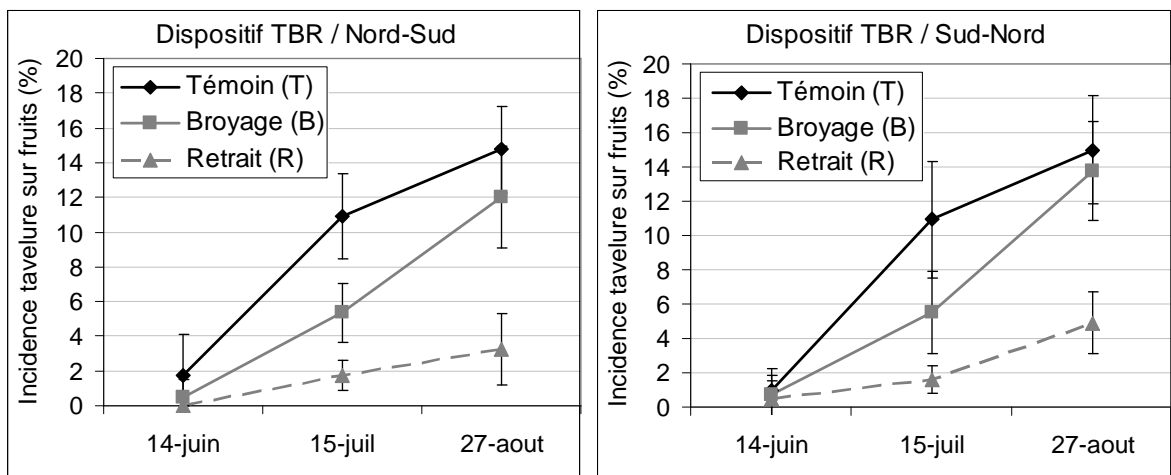


FIGURE 2: Incidence de la tavelure sur les fruits (variété 'Initial') pour 3 modalités de traitement des feuilles au sol en automne, T = Témoin, B = Broyage, R = Ramassage + enfouissement. Les barres d'erreur indiquent l'intervalle de confiance de la moyenne ($\alpha = 0.05$, $n = 4$).

DISCUSSION

Cette première expérimentation ne permet pas de discerner de façon significative l'éventuel intérêt du broyage sans ramassage (B) par rapport au Témoin (T). Par contre, la modalité ramassage des feuilles combinée avec l'enfouissement (R), s'avère procurer un intérêt majeur par le fait que la période et l'intensité de la libération des ascospores sont réduites. Cela se confirme par la réduction significative de 74% de l'incidence de la maladie sur les fruits dans la modalité avec retrait des feuilles 'R', par rapport à la modalité témoin sans retrait. Ce fait est plus prononcé dans le cas du dispositif T-B-R / Nord-Sud, c'est-à-dire où le témoin (plus contaminant) est placé du côté opposé aux vents dominants. Si l'intensité des vols d'ascospore semble dans l'ensemble importante, celle-ci doit être mise en relation avec le fait que le verger contient en 2009, 25% de sa superficie sans protection fongicide et au sein de laquelle les taux d'infection sont de l'ordre de 80 à 100% des feuilles tavelées.

Malgré un contexte annuel de forte pression tavelure, trois variétés sur quatre manifestent une incidence sur fruits inférieure à 1% en 2010, quelque soit la modalité de traitement des feuilles mortes, probablement grâce à l'application d'une stratégie de protection fongicide « durant-infection » efficace pour ce type de variété (Jamar *et al.*, 2010c).

Le dispositif de mesure n'ayant été opérationnel qu'à compter de 15 avril 2010, le vol d'ascospores n'a pu être mesuré avant cette période. De ce fait, la figure 1, ne tient pas compte des quantités d'ascospores du début de saison. D'après le logiciel RIMpro, les projections d'ascospores sont faibles avant cette date étant donné un climat sec et froid. Par contre, elles se sont prolongées particulièrement tard en 2010, puisqu'on observe encore des ascospores dans l'air à la mi-juillet.

Le broyage est dans l'immédiat, plus facile à mettre en œuvre puisque de nombreux exploitants utilisent un broyeur pour détruire le bois de taille ou limiter la croissance de l'enherbement. Pourtant cette étude montre qu'un broyage précédé d'un andainage ne permet pas de réduire suffisamment les dégâts de tavelure, en tout cas dans un contexte à forte pression tavelure. Par ailleurs, l'andainage de la totalité des feuilles présentes sous les rangs fruitiers est une opération difficile à atteindre.

Les opérations d'enfouissement et de ramassage des feuilles, plus efficaces, supposent l'achat de machines adaptées et aussi souvent plus coûteuses. Les machines de ramassage, bien que très efficaces, ne peuvent être amorties que sur un nombre d'hectares important. La méthode d'enfouissement des feuilles par buttage peut être préconisée dans les exploitations qui disposent, pour le désherbage, d'une décavaillonneuse à disques. Pour ce qui est de l'andainage, les matériels classiques à balais ou à pales ainsi que les souffleries, montrent souvent une incapacité à reprendre les feuilles situées dans les sillons créés par les roues du tracteur (Jamar *et al.*, 2010d). Le matériel constitué de deux brosses frontales montre une efficacité générale supérieure aux autres modèles. La ventilation est nécessaire en terrain caillouteux pour éviter de ramener des pierres sous le broyeur. Elle présente le triple avantage de ne pas devoir s'approcher des arbres pour effectuer le travail de nettoyage sous le rang, d'être plus rapide et d'être peu coûteuse à l'achat.

Pour être efficace, ce type d'intervention doit être réalisé le plus rapidement possible après la chute complète des feuilles, à la fin novembre ou au début décembre, pour profiter de bonnes conditions climatiques.

Par ailleurs, dans ce même verger expérimental, un suivi des populations de puceron cendré (principal bio-agresseur des vergers de pommier) est réalisé chaque année depuis sa plantation en 2002 jusqu'en 2014. Dans ce verger expérimental deux actions sont réalisées de façon uniforme en vue de maintenir un équilibre de la biocénose. Il s'agit i) de maintenir l'apport d'engrais organique en dessous de 50 unité d'azote par an et ii) d'occuper 20% de la superficie du verger par des zones de compensation écologique composées d'arbustes et d'une strate herbacée fleurie. De ce fait, les populations de pucerons cendré (*Dysaphis plantaginea*), sont maintenues naturellement en dessous du seuil de nuisibilité sans aucun traitement insecticide, depuis 2003, deuxième année de vie du verger, jusqu'en 2014. Il semble que ces observations soient liées aux pratiques induites.

CONCLUSIONS

Cette étude, menée sur trois saisons de croissance, compare pour la première fois dans nos conditions pédoclimatiques, l'effet de deux modalités particulières de traitement mécanique des feuilles au sol en automne, sur le développement de la tavelure. Elle montre les bénéfices apportés par les solutions qui éliminent les feuilles du milieu superficiel par l'enfouissement en comparaison du simple broyage des feuilles laissées en surface du sol. Ces pratiques contribuent à réduire le nombre et l'importance des infections primaires au printemps et donc le nombre de traitements fongicides pour lutter contre cette maladie. L'impact des pratiques menées au sein du verger expérimental (20% de zone de compensation écologique, fertilisation organique, ...) semblent être à l'origine du maintien des populations de pucerons cendré en dessous du seuil nuisibilité toute la durée de vie du verger.

REMERCIEMENTS

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

REFERENCES

- Aylor D.E., 1998. The aerobiology of apple scab. *Plant Dis.* 82: 838-849.
- Carisse O., Dewdney M., 2002. A review of non-fungicidal approaches for the control of apple scab. *Phytoprotection* 83:1-29.
- Gomez C., Brun L., Chauffour D., De Le Valee D., 2007. Effect of leaf litter management on scab development in an organic apple orchard. *Agri. Ecosyst. Environ.* 118, 249-255
- Holb I.J., 2006. Effect of six sanitation treatments on leaf litter density, ascospore production of venturia inaequalis and scab incidence in integrated and organic apple orchards. *Eur. J. Plant Pathol.* 115 :293-307
- Jamar L., Oste S., Tournant L., Lateur M., 2009. Protection contre la tavelure du pommier ciblée sur les infections primaires en production biologique. Actes des

- Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes Biologiques, ITAB-GRAB, Paris, 8 & 9 décembre 2009, pp. 49-54.
- Jamar L., Aubinet M., Culot M., Magein H., Lateur M., 2010b. Effect of organic farming practices on five orchard soil bio-indicators. ISHS. Acta Horticulturae 873: 129-136.
- Jamar L., Cavelier M., Lateur M., 2010c. Primary scab control using a 'during-infection' spray timing and the effect on fruit quality and yield in organic apple production. Biotechnol. Agron. Soc. Environ.14: 423-439.
- Jamar L., Lateur M., Tournant L., 2010d. Réduction de l'inoculum tavelure : journée de démonstration à Gembloux. Revue de la Fédération Wallonne Horticole, 61 : 14-17.
- MacHardy W.E., Gadoury D.M., Gessler C., 2001. Parasitic and biological fitness of *Venturia inaequalis*: relationship to disease management strategies. Plant Dis. 85: 1036-1051.
- Sédillot B., Pujol J., 2014. Pratiques phytosanitaires en arboriculture 2012 - Enquête EcoPhyto, Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt, Agreste Les Dossiers - n° 22, 18p.
- Sutton D., MacHardy W., Lord W., 2000. Effects of shredding or treating apple leaf litter with urea on ascospore dose of *V. inaequalis* and disease buildup. Plant Dis. 84: 1319-1326.

Interactions entre facteurs biotiques et fonctionnement des associations végétales

Corre-Hellou G.¹, Baranger A.², Bedoussac L.³, Cassagne N.¹, Cannavacciuolo M.¹, Joëlle J.¹, Pelzer E.⁴, Piva G.¹

¹ LUNAM Université, Groupe ESA, 55 rue Rabelais, F-49007 Angers Cedex 01

² UMR INRA Agrocampus Ouest Université Rennes 1, IGEPP, BP 35327, F-35653 Le Rheu Cedex

³ ENFA, INRA UMR 1248 AGIR, 2 route de Narbonne, F-31326 Castanet-Tolosan

⁴ INRA-AgroParisTech, UMR 211 Agronomie, Avenue Lucien Brétignières, F-78850 Thiverval-Grignon

Correspondance : g.hellou@groupe-esa.com

Résumé

Les associations végétales, par la complexité du couvert végétal qu'elles créent, sont le siège d'interactions biotiques particulières avec les ravageurs, les prédateurs, les champignons pathogènes, les adventices ou encore les organismes non pathogènes du sol. Cet article traite de la diversité des mécanismes en jeu (modification de paramètres tels que la disponibilité, la compétition et la complémentarité temporelle et spatiale pour les ressources, le microclimat, les stimuli variés, l'allélopathie) permettant de mieux comprendre leurs effets potentiels sur ces interactions pour diverses combinaisons d'espèces. De nombreux exemples mettent en avant l'intérêt des associations végétales pour lutter contre les bioagresseurs. Par ailleurs de nouveaux mécanismes sont aujourd'hui explorés notamment au niveau de la biologie des sols, qui semblent avoir un effet important sur le fonctionnement des associations végétales. Cependant, même si les travaux de recherche se développent sur l'analyse des facteurs biotiques pour une diversité de combinaisons d'espèces, ils restent encore rares en France et doivent se poursuivre tout en s'appuyant sur les observations (réussites et échecs) des agriculteurs et sur plusieurs essais en conditions agricoles avant leur déploiement pour un objectif donné bien identifié.

Mots-clés : associations végétales, facteurs biotiques, interactions, bioagresseurs, pédofaune

Abstract: Interactions between biotic factors and functioning of intercropping systems

Several particular biotic interactions including pests, predators, pathogens, weeds and non-pathogenic soil organisms occur in intercropping systems due to the diversity of the canopy. This paper deals with the range of mechanisms (modification of different parameters such as availability of resources, competition and temporal and spatial complementarity for resources, microclimate, various stimuli, allelopathy) involved in order to better understand the potential effects in various intercropping systems. Several examples illustrate the positive effects of intercropping on pests, diseases and weeds. Moreover new mechanisms including soil organisms have also been recently investigated and may have major effects on the functioning of intercrops. There is an increase in published papers recently concerning biotic factors for a wide range of intercropping systems. However studies remain scarce in France and should be further developed while involving farmers (observations of success and failures) and testing new practices in agricultural conditions before their implementation for a well-defined objective.

Keywords: intercropping, biotic factors, interactions, pests, diseases, weeds, soil organisms

1. Découvrir ou redécouvrir les interactions entre les facteurs biotiques et les associations végétales

Les associations végétales sont connues pour avoir des effets intéressants en terme de productivité, en particulier en situations contraignantes d'un point de vue du niveau de ressources disponibles dans le milieu ou d'aléas climatiques. Ces avantages des cultures associées par rapport aux cultures pures sont surtout expliqués par des relations bénéfiques de complémentarité et de facilitation entre espèces pour les ressources (Louarn et al., 2010 ; Justes et al., 2014, ce numéro). Néanmoins, ces associations végétales, par la complexité du couvert végétal qu'elles créent, sont aussi le siège d'interactions biotiques particulières avec les ravageurs, les auxiliaires, les champignons pathogènes, les adventices ou encore les organismes non pathogènes du sol.

La gestion des adventices et des ravageurs est une des premières motivations évoquées par des agriculteurs pour la pratique des associations d'espèces (INTERCROP, 2006 ; Pelzer et al., 2014, ce numéro). La réduction des dommages causés par les insectes ravageurs dans des associations végétales en comparaison de cultures pures est mentionnée depuis longtemps dans la littérature (Langer et al., 2007). Par exemple, Raros (1973) mentionne un effet positif de l'association de l'arachide avec du maïs pour limiter les attaques de pyrale.

L'implantation d'une légumineuse à graines avec des céréales peut aussi permettre de limiter les dommages liés aux ravageurs et pathogènes des protéagineux. Ces effets positifs de l'association sur les ravageurs et pathogènes ont également été rapportés pour des cultures légumières de concombre (Bach, 1981) et de brassicacées (Altieri et Liebman, 1986) associées à d'autres cultures comme des vesces.

Par ailleurs, Liebman et Dyck (1993) ont montré à partir d'une analyse bibliographique que l'usage des associations d'espèces réduisait la densité et la biomasse d'adventices dans de très nombreuses situations par rapport aux cultures pures. Des travaux plus récents pointent aussi des interactions avec les organismes du sol qui ont des effets importants sur le fonctionnement de l'association végétale (Mantelin et Touraine, 2004 ; Coulis et al., 2014).

Après avoir été menés surtout dans les pays tropicaux, les travaux de recherche sur les associations se sont développés en Europe depuis une dizaine d'années, particulièrement dans le cas de systèmes biologiques ou à faible niveau d'intrants pour lesquels la gestion des bioagresseurs est plus complexe. En agriculture conventionnelle, la gestion des bioagresseurs devient aussi délicate (volonté politique de réduction de l'usage des phytosanitaires, suppression d'autorisation de mise sur le marché de matières actives jugées toxiques, apparition de résistance aux herbicides, réduction du nombre de produits phytosanitaires homologués pour des espèces dites mineures...) tout en maintenant la productivité et la rentabilité économique des productions.

Diversifier les cultures dans le temps et dans l'espace a été mis en avant comme le levier phare pour répondre aux objectifs de diminution d'intrants dans le cadre de l'étude Ecophyto R&D de l'INRA (Butault et al., 2010). Ainsi, des systèmes innovants reposant sur des associations végétales voient le jour pour accroître la durabilité et, peut-être aussi, la résilience des systèmes actuels. Plusieurs études et témoignages (Malézieux et al., 2009 ; Thomas, 2010 ; Pelzer et al., 2014, ce numéro) sur des systèmes diversifiés font part d'effets positifs d'associations sur la gestion des bioagresseurs par rapport aux cultures pures. Toutefois, les mécanismes en jeu ne sont pas toujours identifiés. Un état des lieux de ces processus pour diverses formes d'associations est essentiel pour mieux comprendre les résultats d'associations déjà testées mais également pour aider à la conception de nouvelles associations pour différents objectifs.

2. Un couvert végétal complexe, qui modifie les conditions de vie des insectes et des parasites des cultures.

2.1 Conséquence de l'association d'espèces sur les ravageurs et parasites

La diversité des plantes cultivées dans une parcelle peut influencer significativement l'abondance des maladies (champignons, bactéries et virus), des adventices et des phytophages ravageurs des cultures, en comparaison d'une culture monospécifique (Siemann et al., 1998 ; Elliot et al., 1998 ; Honek, 1986 ; Risch et al., 1983 ; Altieri et Letourneau, 1982). En premier lieu, le mélange d'espèces végétales modifie bon nombre de facteurs pouvant avoir un effet sur les insectes et microorganismes selon leurs exigences écologiques (radiations lumineuses, microclimat au sein de la communauté végétale, ressources trophiques, possibilités de déplacement...) (Tableau 1).

2.2 Ravageurs et contrôle biologique

Concernant les ravageurs, Tahvanainen et Root (1972) ont décrit l'existence d'une résistance des associations aux insectes (« *associational resistance* ») liée à la complexité des interactions entre facteurs biologiques, physiques et climatiques qu'on rencontre dans les associations d'espèces végétales en comparaison des cultures monospécifiques. Pour expliquer ce phénomène, ces auteurs ont proposé i) l'hypothèse des ennemis naturels (« *natural enemy* » hypothesis) et ii) l'hypothèse de la concentration en ressources (« *resource concentration* » hypothesis) (Root, 1973). Ainsi, en raison de la diversité végétale au sein de la même parcelle, les populations d'insectes prédateurs et de parasitoïdes de phytophages seraient plus importantes que dans les cultures monospécifiques, d'où une meilleure régulation naturelle des populations de ravageurs. Altieri et Liebman (1986) ont montré que la diversité des micro-habitats au sein des couverts plurispécifiques est souvent favorable à la persistance des prédateurs. *A contrario*, l'uniformité des cultures monospécifiques offre une zone de concentration d'une même ressource trophique pour les insectes, ce qui aura tendance à favoriser une espèce de phytophage en particulier. *In fine*, dans les associations de culture, non seulement les ressources sont plus diversifiées, mais les stimuli visuels et chimiques potentiellement attractifs pour les phytophages sont masqués ; ainsi, un ravageur pourra avoir plus de difficultés à repérer sa plante hôte (Finch et Collier, 2000) mais il peut en être de même pour les auxiliaires vis-à-vis de leurs proies ou insectes-hôtes.

La complexité de la structure de l'association d'espèces dépend de l'architecture des espèces et variétés en présence et de la productivité des plantes (biomasse aérienne, Figure 1). En plus d'avoir une influence sur le microclimat régnant au sein de la communauté végétale, ces facteurs ont des répercussions directes sur les ressources trophiques dont dépendent non seulement les phytophages (Tilman et al., 1997 ; Southwood et al., 1979 ; Winkler et al., 2009), mais aussi les auxiliaires. Dans certains cas, l'introduction d'une espèce associée non-hôte peut même offrir des ressources nutritives aux auxiliaires de culture dans la parcelle et ainsi, favoriser le contrôle biologique, les femelles de certaines espèces de parasitoïdes ayant besoin de glucides pour leur reproduction (Röse et al., 2006 ; Tylianakis et al., 2004). Ainsi, Jamont et al. (2014) ont montré que l'association d'une variété de féverole, dont les stipules produisent du nectar extrafloral, avec un colza, pouvait fournir au sein de la parcelle, des ressources sucrées augmentant la longévité et la période d'oviposition des femelles d'un parasitoïde du puceron cendré colonisant le colza (*Diaretella rapae*, parasitoïde de *Brevicoryne brassicae*). Les résultats expérimentaux montrent un nombre de momies de pucerons cendrés significativement plus élevé dans les associations de colza avec des féveroles productrices de nectar extrafloral que dans les microparcelles de colza pur ou de colza associé à une féverole ne produisant pas de nectar extrafloral.

La structure du couvert associé varie aussi en fonction de la date et de la densité de semis, des conditions pédoclimatiques, des complémentarités pour l'utilisation des ressources existant entre espèces végétales et variétés, du pilotage de l'association (Naudin et al., 2010), ainsi que de l'agencement des espèces au sein de la parcelle (rang alternés, bandes, mélange....Malézieux et al.,

2009). Ndzana et al. (2014) ont montré que les associations pois-blé dur sont efficaces pour réduire les infestations de pucerons verts du pois en comparaison à une culture pure de légumineuse, avec cependant, de meilleurs résultats concernant les systèmes de type substitutif (semis en demie densité du peuplement monospécifique) en comparaison des systèmes additifs. De plus, dans leurs essais, les pois des arrangements substitutifs semés en rangs étaient moins colonisés par les pucerons que dans les arrangements substitutifs semés en mélange.

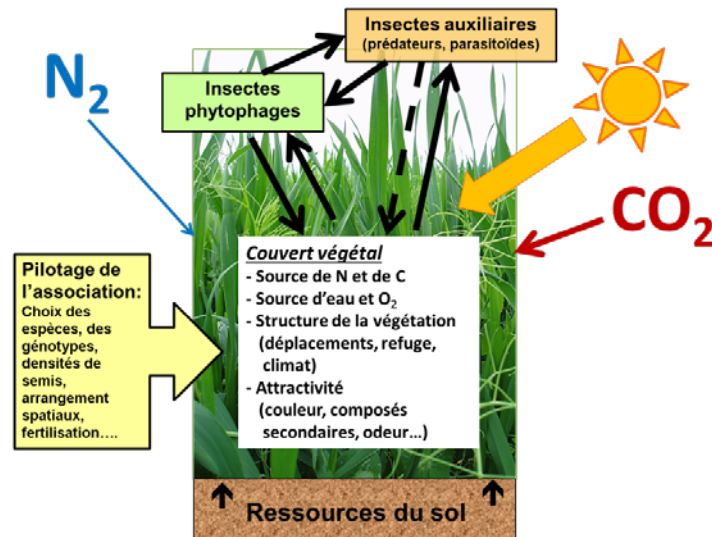


Figure 1: Liens entre caractéristiques du couvert végétal et diversité fonctionnelle des insectes

Les modifications du climat et de l'architecture du couvert végétal dans une association par rapport aux cultures pures correspondantes peuvent altérer la capacité des insectes à trouver leur plante hôte et à se développer dans ces mélanges (Tableau 1). Cela est plus particulièrement le cas pour les insectes spécialistes se nourrissant à partir d'une gamme d'espèces végétales restreinte, les insectes généralistes étant moins affectés par la diversité des espèces. Elles jouent aussi un rôle sur la reproduction des insectes et leur survie dans la parcelle (Hasse et Litsinger 1981).

Les plantes non-hôtes peuvent masquer les plantes hôtes, limitant leur reconnaissance par les insectes. Cette perturbation peut être liée à la couleur des plantes non-hôtes. Par exemple, le jaune-vert et le jaune, couleurs attractives pour les pucerons, peuvent être plus difficiles à repérer dans une association comprenant des plantes compagnes modifiant le profil colorimétrique du couvert (Chittka et Doring, 2007). De même, la mouche du chou femelle peut avoir plus de mal à trouver la brassicacée dont se nourrit sa larve dans un couvert végétal associé du fait de la modification de forme, et de la couleur du feuillage par rapport à une culture pure de chou, de chou-fleur ou de colza (Altieri et Liebman, 1986 ; Finch et Collier, 2000 ; Langer et al., 2007, Theunissen et al., 1995). L'architecture des plantes associées peut également agir comme une barrière mécanique, empêchant ou limitant la progression des insectes indésirables vers leur plante hôte.

D'autres mécanismes plus complexes à mettre en évidence peuvent se superposer aux précédents. Lorsqu'un insecte spécialiste est attiré par l'odeur d'un ou plusieurs composés volatils émis par sa plante hôte, la présence d'une ou de plusieurs espèces associées peut modifier le profil olfactif du couvert et compliquer le repérage de la plante hôte. Ces mécanismes complexes s'expriment à des échelles différentes en fonction des insectes concernés et des exemples peuvent être trouvés chez les brassicacées cultivées avec certains trèfles (Finch et Collier, 2000 ; Hooks et Johnson, 2001, Bjorkman et al., 2010) ou encore dans l'exemple des associations oignon-carotte pour limiter les attaques des mouches parasites de l'une et de l'autre de ces deux espèces. Notons que l'état physiologique des

plantes, et par conséquent l'état sanitaire et la conduite de la culture, influe également sur la qualité des odeurs qu'elles émettent (Awmack et Leather, 2002 ; Karban et Myers, 1989).

Les données expérimentales sur les effets des associations sur les ravageurs sont néanmoins encore rares et les effets mis en évidence ne sont pas toujours positifs. En effet, Corre-Hellou et al. (2004) ont observé que le niveau des symptômes occasionnés par les sitones sur les légumineuses était plus important en association avec une céréale. Ceci serait dû à un effet de concentration des ravageurs à savoir que les sitones, particulièrement mobiles, se concentrent sur un nombre de plantes réduit du fait d'une moindre densité en association, ce qui entraîne d'autant plus de dégâts pour l'espèce végétale attaquée.

2.3. Associations d'espèces et maladies

A l'échelle de la parcelle, les associations d'espèces permettraient également de réduire par rapport à des cultures pures, les maladies liées à des champignons pathogènes, des bactéries ou des virus. Ce contrôle serait efficace vis-à-vis des champignons phytopathogènes dans trois quart des situations abordées par la littérature (Boudreau, 2013), ce chiffre cachant une grande variabilité de situations, l'intensité et les effets liés à certaines maladies étant parfois accentués, et les échecs figurant probablement moins souvent dans la littérature que les succès. De nombreuses situations d'associations céréale/céréale, céréale/légumineuse, légumineuse/ légumineuse, ou intégrant des espèces légumières ou maraichères ont montré des réductions d'intensités épidémiques de maladies foliaires ou racinaires, de l'une, l'autre ou des deux composantes de l'association (revue dans Boudreau, 2013). L'efficacité de ce contrôle dépend en grande partie des espèces associées, des systèmes de culture dans lesquels ces associations sont menées, des dispositifs expérimentaux (en particulier les proportions de chacune des composantes et les types d'alternances entre espèces), de l'intensité des épidémies et plus largement des conditions environnementales. L'intensité de l'ascochytose (dénommée antérieurement anthracnose) est par exemple plus fortement réduite lorsque le pois est cultivé en association avec de la féverole ou du triticale que lorsqu'il est cultivé en association avec de l'orge, de l'avoine ou du blé (Fernandez-Aparicio et al., 2010b). Une diminution du niveau d'infestation de plusieurs maladies (oidium, septoriose, rouilles) a également été observée sur des céréales associées à des légumineuses par rapport à celui d'un peuplement pur de céréales, aussi bien pour des associations fourragères (triticale, avoine / vesce par exemple), que pour des associations à vocation de production de graines (blé, orge / pois) (Corre-Hellou et al., 2004 ; Biarnès et al., 2008). D'autres situations ont au contraire permis de constater une intensité accrue des épidémies en association, par exemple un accroissement des symptômes d'oidium sur blé dur associé à une féverole par rapport à la culture pure, du fait d'une biomasse de féverole très élevée ayant conduit à un couvert très humide favorable au développement de la maladie (Bedoussac, 2009).

La complexité de ces interactions rend indispensable une meilleure connaissance des mécanismes sous-jacents aux effets des associations sur le contrôle des maladies, qui permettrait de réaliser des choix éclairés sur les modalités d'associations en culture. Comme ce qui a été décrit concernant les insectes, ces mécanismes peuvent intégrer plusieurs phénomènes, liés à la modification de la densité de l'espèce hôte et/ou à l'association d'une nouvelle espèce (Tableau 1) :

- Certains sont directement liés à la nouvelle architecture du couvert, comme la réduction de la densité des tissus sensibles de l'hôte (notamment en système substitutif), l'effet barrière physique à la dispersion des spores lié à la présence d'une espèce non hôte au sein du couvert, ou l'inhibition directe du pathogène par l'espèce associée (effets allélopathiques).
- D'autres agissent de manière indirecte, via une modification du microclimat du couvert (température, durée d'humectation des organes, vent et turbulences), ou via une modification de l'état physiologique et de la réceptivité des organes (photosynthèse, sénescence) liée par exemple à une modification de l'ombrage.

Une réduction de l'infestation du pois par l'ascochytose à *Didymella pinodes* (antérieurement dénommé *Mycosphaerella pinodes*) dans des associations pois-céréale, en particulier sur tiges et gousses, a par exemple été expliquée par l'effet combiné d'une modification du microclimat à l'intérieur du couvert végétal (notamment une diminution de la durée d'humectation des organes sensibles), et de la réduction de la projection des spores d'une feuille à une autre (effet *splashing*) de 39% à 78%, liée à une diminution de la densité des feuilles des plantes hôtes et à un effet barrière des plantes non hôtes (Schoeny et al., 2010). Le même effet d'une association féverole-céréale (orge, avoine, blé ou triticale) a été observé, pendant plusieurs années et dans différents lieux, sur la réduction de la sévérité du botrytis (*Botrytis fabae*) sur féverole (Fernandez-Aparicio et al., 2011).

D'une manière générale, les mécanismes ci-dessus se combinent et leurs effets peuvent dépendre des stades de développement de l'association, voire de l'alternance jour/nuit. L'efficacité de ces effets dépend donc largement de leur durée, de leur amplitude, et de la période de la saison culturale concernée.

D'autres mécanismes peuvent être impliqués dans le cas de maladies du sol. Ainsi des effets allélopathiques ont été mis en évidence sur certains modèles de cultures associées. Une étude réalisée en conditions contrôlées démontre l'intérêt d'une association riz-pastèque pour lutter contre un champignon du type *Fusarium oxysporum* problématique sur la pastèque. Si les exudats racinaires de la pastèque ont un effet activateur sur certaines phases du cycle du champignon (germination des spores et sporulation), il s'avère que les exsudats racinaires du riz (contenant de l'acide coumarique) inhibent ces mêmes phases (Hao et al., 2010). Une expérimentation en conditions contrôlées démontre par ailleurs que le taux de mortalité des plantules de pastèque est de 46% en situation de monoculture et 0% en association. (Ren, Su et al. 2008). D'autres travaux récents montrent une réduction des dégâts occasionnés par *Cylindrocladium parasiticum* (« red crown rot ») sur le soja (maladie du sol occasionnant une réduction de 50% des rendements dans les régions du sud de la Chine) lorsqu'il est associé au maïs. Les résultats montrent une diminution significative des symptômes entre 43 et 59% ; une plus forte concentration d'acide cinnamique est relarguée par les racines dans l'association ce qui limiterait fortement la croissance de *C. parasiticum*. Dans le cas de ces interactions racinaires, l'arrangement spatial est déterminant. Dans l'exemple ci-dessus, l'efficacité de l'association diminue quand la distance entre plantes de maïs et soja augmente (Gao et al., 2014).

A l'échelle du système de culture, l'insertion des associations céréale-légumineuse dans les successions de culture et l'impact sur les maladies telluriques a été étudiée dans le cadre d'une expérimentation conduite à l'INRA de Grignon pendant six ans. Plusieurs rotations ont été comparées afin d'analyser ces effets : monoculture de blé d'hiver, monoculture de pois d'hiver, monoculture d'association pois-blé, rotation pois-blé-blé, et rotation association-blé-blé. Les incidences du piétin verse et du piétin échaudage du blé de l'association sont systématiquement plus faibles que celles du blé en monoculture, et du blé suivant du blé dans les deux rotations. Le blé suivant un pois présente les incidences les plus faibles, équivalentes aux associations certaines années. Le blé suivant une association est systématiquement moins touché que le blé en monoculture pour les deux piétins, et le plus souvent moins touché que le blé de blé dans les deux rotations. Par contre, les incidences du blé de blé dans la rotation pois-blé-blé sont souvent plus faibles que les incidences du blé dans la rotation association-blé-blé. Ces résultats montrent que l'association a tendance à augmenter les risques de piétins par rapport à une culture non-hôte (le pois) dans les successions, mais que le risque est plus faible que pour un blé suivant un blé. Cette expérimentation n'a malheureusement pas permis d'acquiescer de référence du même type sur l'Aphanomyces du pois, puisque la maladie n'est pas apparue au cours des six années d'expérimentation, même dans la monoculture de pois.

Tableau 1 : Mécanismes en jeu dans les associations végétales et leurs interactions avec les ravageurs et les maladies. R fait référence aux mécanismes concernant les ravageurs et M ceux concernant les maladies.

Facteurs	Mécanismes
Confusion visuelle (R)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Protection de la plante hôte par des plantes compagnes qui la recouvrent ◆ Certains phytophages sont plus attirés par une couleur particulière ou une texture de végétation uniforme
Dilution des stimuli (R)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ La présence de plantes non-hôtes peut masquer ou diluer les stimuli attractifs émis par la plante hôte. ◆ Cela peut provoquer chez le phytophage des perturbations altérant l'orientation de l'insecte et nuisant aux processus de recherche de nourriture et de reproduction. ◆ Les insectes se trouvant sur une plante non-hôte pourront quitter la parcelle plus rapidement.
Confusion (R)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Des composés aromatiques de certaines plantes compagnes peuvent altérer les capacités des phytophages à trouver leur plante-hôte.
Barrière mécanique (R)(M)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Des plantes compagnes peuvent bloquer ou ralentir la dispersion des phytophages et la propagation des champignons parasites; cela peut aussi être dû au fait que les plantes compagnes sont non-hôtes. ◆ La nouvelle architecture de l'association peut modifier les modalités de dispersion entre organes d'une plante hôte (par exemple la projection des spores de champignon d'une feuille à l'autre).
Microclimat (R)(M)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Dans les associations végétales, les microhabitats sont plus diversifiés et les insectes peuvent avoir des difficultés pour localiser les endroits où les conditions leurs sont favorables. ◆ Les couverts associés peuvent modifier les conditions de température et d'humidité impactant le processus d'infection et le développement de champignons pathogènes.
Facteurs biotiques (R)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Les associations peuvent favoriser la présence de prédateurs et parasitoïdes.
Etat physiologique des tissus (M)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ L'architecture des couverts associés et la nouvelle allocation des ressources peuvent modifier l'état physiologique des tissus et leur réceptivité à la maladie (résistance ontogénique).
Effets allélopathiques (M)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Les exsudats racinaires d'une espèce peuvent inhiber la germination des spores et la sporulation de champignons pathogènes du sol.

3. Adventices : un couvert végétal complexe plus compétitif vis-à-vis des adventices dans le temps et dans l'espace

La diversification des espèces cultivées dans les systèmes de culture est un levier important pour la gestion des adventices (Liebman et Dick, 1993). La diversification dans le temps (rotation) est bien connue du fait qu'elle peut rompre le cycle des adventices, induire une modification de la flore (éventuellement moins nuisible) et limiter le risque d'apparition de résistance. La rotation des cultures est bien intégrée dans les processus de décision des agriculteurs concernant la gestion des adventices (Macé et al., 2007).

Les effets de la diversification des espèces dans l'espace sur les adventices a été moins étudiée et est aujourd'hui peu utilisée en France, exceptée en agriculture biologique. Différents modes de gestion des adventices via les associations végétales peuvent être néanmoins distingués (Figure 2). Un premier cas concerne l'addition d'un couvert (le plus souvent non récolté) dans une culture principale rendant les conditions plus défavorables aux adventices. Un deuxième cas concerne l'association d'espèces

complémentaires pour l'utilisation des ressources. La meilleure capture des ressources limite ainsi leur disponibilité pour les adventices. Il s'agit ici le plus souvent d'associations substitutives avec un objectif de récolte des deux espèces cultivées. Un troisième cas correspond à l'utilisation d'associations en relais pour réduire les périodes de sol nu ou à faible couverture dans les successions culturales. Enfin, un dernier cas concerne les associations d'espèces utilisées pour réduire les infestations de plantes parasites. Ces différents cas peuvent affecter la densité, la biomasse des adventices mais aussi la nature des adventices en interaction avec la conduite des associations et les traits des espèces (cultures et adventices).

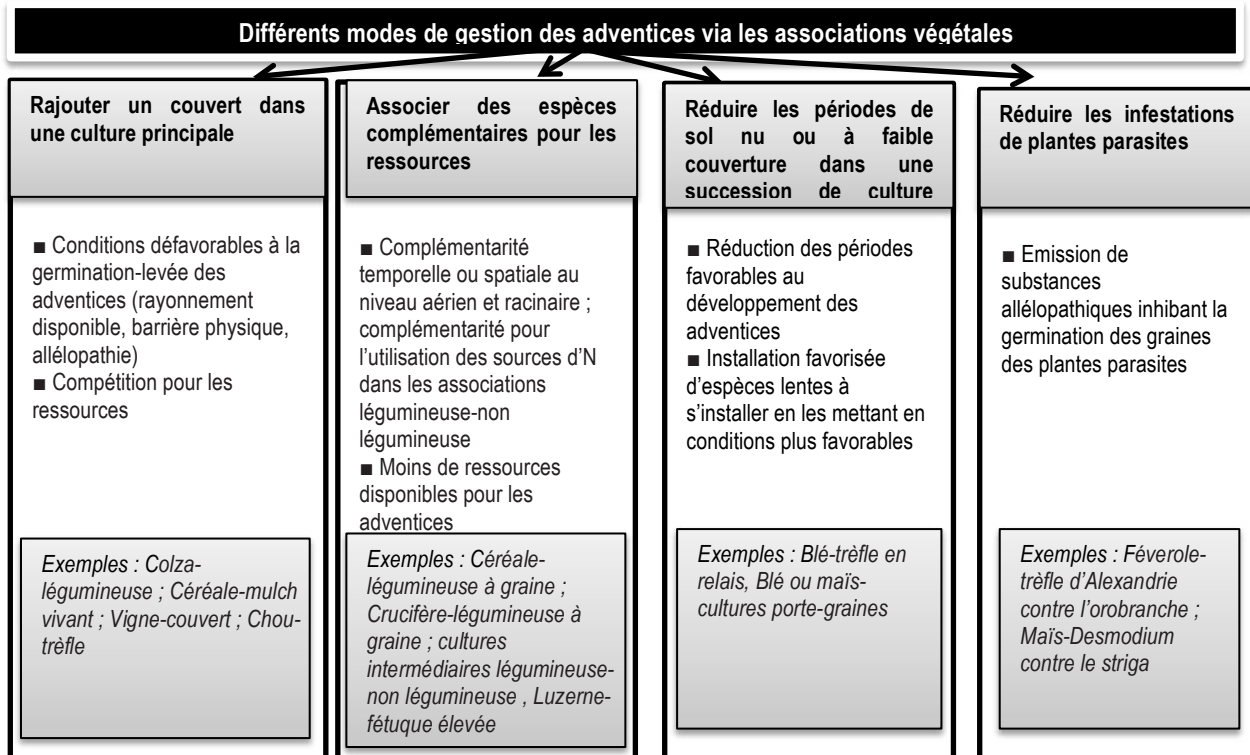


Figure 2 : Différents modes de gestion des adventices via les associations végétales, mécanismes en jeu et exemples de combinaisons d'espèces.

3.1 Rajouter un couvert pour créer des conditions défavorables à l'installation et la croissance des adventices dans des cultures principales

Rajouter une plante de couverture implantée avant (mulch vivant), en même temps ou après le semis de la culture principale peut potentiellement réduire l'infestation par les adventices (Tourdonnet et al., 2008). Si la plante de couverture se développe avant les adventices, la présence d'un couvert végétal crée des conditions défavorables à la germination. En effet, plusieurs facteurs importants pour la germination des adventices (lumière, proportion d'infra-rouge, amplitude thermique) seront moins favorables sous un couvert vivant (Teasdale et Daughtry, 1993). Plusieurs travaux ont montré que certains couverts sécrétaient des substances allélopathiques inhibant la germination des adventices (Bhowmik, 2003 ; Xuan et al., 2003). De plus, si le couvert est développé, il peut aussi constituer une barrière physique à la levée des adventices. Enfin, la présence d'un couvert peut aussi favoriser la prédation des semences d'adventices par la faune (Meiss et al., 2010).

Par une occupation de l'espace habituellement laissé libre entre les rangs de la culture principale, le couvert accroît la compétition pour la lumière mais aussi pour les nutriments au détriment de la croissance des adventices. Plusieurs travaux montrent que l'effet bénéfique sur la réduction de la

biomasse d'adventices est corrélé à la biomasse du couvert (Hiltbrunner et al., 2007). Toutefois, le développement de la plante de service doit être contrôlé afin de ne pas trop impacter la croissance de la culture principale.

L'utilisation de ces couverts est plus particulièrement intéressante dans le cas des espèces principales lentes à s'installer. C'est notamment le cas des espèces à petites graines et/ou des espèces à feuilles érigées ayant des caractéristiques ne favorisant pas une occupation rapide de l'espace (Liebman et Staver, 2004). En grandes cultures, le colza par sa graine de petite taille entre bien dans les espèces candidates à l'association pour la période automnale, peu favorable à l'installation rapide du couvert (Valantin-Morison et al., 2014). En cultures légumières, Baumann et al. (2000) citent l'oignon et le poireau, comme des espèces intéressantes à associer à un couvert en raison de la faible taille de leurs semences et du port érigé de leurs feuilles. En cultures pérennes, en vigne par exemple, les écartements importants entre rangs sont favorables à la croissance des adventices et l'ajout d'un couvert dans les inter-rangs contribue à perturber la croissance des adventices (Steinmaus et al., 2008).

Dans les cultures annuelles, la principale difficulté dans l'usage de ces couverts pour maîtriser les adventices est leur manque de sélectivité. En effet, un bon contrôle des adventices par des couverts vivants induit souvent des pertes de rendement de la culture principale (Tourdonnet et al., 2008 ; Carof et al., 2007 ; Hiltbrunner et al., 2007). Il est donc difficile d'exercer une compétition sur les adventices tout en évitant une compétition trop forte sur la culture principale. Des critères de choix de la plante de couverture doivent donc s'orienter vers (1) des espèces n'entrant pas en compétition avec les adventices pendant la même période que l'espèce principale, (2) des espèces exerçant peu de compétition avec la culture principale pour l'azote (légumineuses) ou réduisant la compétition pour la lumière ou l'eau (espèces plus courtes que l'espèce principale, l'ombrage réduisant la transpiration du couvert), et (3) des espèces ayant une croissance précoce rapide pour une compétition efficace vis-à-vis des adventices (Liebman et Starver, 2004). Un semis du couvert en même temps que la culture principale ou en décalé (quelques semaines après le semis de la culture principale) permet de réduire la compétition exercée sur la culture commerciale. Le semis décalé peut permettre aussi un contrôle initial (chimique ou physique) des adventices pour faciliter la gestion ultérieure du couvert. Les plantes à courte durée de vie qui sont efficaces vis-à-vis des adventices au tout début du cycle, puis qui entrent en sénescence (par rapport à leur cycle ou à l'effet de conditions climatiques défavorables telles le gel) avant d'entrer en compétition avec la culture principale sont également recherchées.

3.2. Accroître la compétitivité vis-à-vis des adventices via une complémentarité des espèces associées pour les ressources

La complémentarité des espèces associées peut mener à une meilleure capture des ressources (lumière, nutriments) (Louarn et al., 2010 ; Justes et al., 2014). Ainsi, les associations peuvent être plus efficaces que les cultures pures pour piéger des ressources qui se retrouvent non utilisables par les adventices, affectant ainsi leur croissance. Cette meilleure utilisation des ressources peut se produire si les composantes de l'association ont des pics de demande asynchrones, s'exerçant dans des espaces différents (aérien et souterrain), ou utilisent différentes formes d'une même ressource. Ainsi, des différences phénologiques entre espèces peuvent leur permettre d'utiliser les ressources à des périodes différentes (Ofori et Stern, 1987; Willey, 1979). Des différences d'architecture aérienne entre plantes peuvent permettre aux espèces d'occuper l'espace plus efficacement et ainsi augmenter l'interception du rayonnement. Plusieurs travaux soulignent l'importance de la complémentarité pour l'utilisation de la lumière pour expliquer l'effet positif des cultures associées pour la lutte contre les adventices. Les mélanges d'espèces les plus efficaces sont ceux qui interceptent le plus de rayonnement au début du cycle (Liebman et Dick, 1993). Par ailleurs, des espèces qui ont des systèmes racinaires complémentaires (plus ou moins profonds) (Berendse, 1979) peuvent exploiter plus efficacement les ressources.

Dans le cas particulier de l'association légumineuse-non légumineuse, la complémentarité principale se situe dans l'utilisation de deux sources d'azote : l'azote du sol et l'azote atmosphérique. Bien que les légumineuses et non légumineuses utilisent l'azote minéral du sol, la légumineuse a aussi la possibilité de fixer l'azote atmosphérique permettant aux deux espèces de se compléter pour une acquisition optimale de l'azote. Ainsi, des études ont montré une augmentation de 30% de l'acquisition de l'N par l'association orge-pois par rapport aux cultures monospécifiques dans des conditions variées de croissance (Hauggaard-Nielsen et al., 2009). Cette performance relative s'explique à la fois par l'augmentation de l'acquisition d'azote du sol et par l'augmentation de la fixation symbiotique par rapport aux cultures pures. Une meilleure exploitation de l'azote du sol par l'association expliquerait sa plus forte compétitivité vis-à-vis des adventices par rapport à une légumineuse seule en laissant moins d'azote disponible pour leur croissance. Une meilleure maîtrise des adventices est ainsi observée chez les associations d'espèces graminée-légumineuse par rapport à une culture de légumineuse pure, notamment en agriculture biologique (Corre-Hellou et al., 2011). L'infestation, réduite d'un facteur 2 à 5 par rapport à la culture pure de légumineuse, n'est en revanche pas différente de celle observée chez la céréale pure. L'association est très efficace pour réduire la biomasse d'adventices même lorsque la part de céréale dans le mélange est faible (Corre-Hellou et al., 2011). La complémentarité de la céréale et de la légumineuse pour la capture de l'azote entraîne *in fine* une compétition asymétrique sur les adventices quelle que soit la disponibilité en azote (Poggio, 2005 ; Corre-Hellou et al., 2011).

3.3 Réduire les périodes de sol nu ou à faible couverture de sol dans une succession

Semer une culture au sein de la culture précédente plutôt qu'après la récolte de celle-ci permet de réduire la période de sol nu favorable au développement des adventices. Dans ces associations en relais, les cultures sont ensemble une partie du cycle et l'une d'elles reste en place après la récolte ou la destruction de la première. L'espèce restant en place peut être une plante de couverture ou une plante commerciale. C'est le cas par exemple des associations blé-trèfle blanc en relais où le trèfle est semé au printemps dans le blé et reste en place après la récolte. Le trèfle blanc a alors un effet sur les adventices dès la période d'association en réduisant leur densité sans toutefois affecter ni la biomasse des adventices, ni celle du blé du fait de la faible couverture du trèfle blanc. En revanche, le trèfle blanc devient vite efficace pour contrôler la biomasse des adventices après la récolte du blé par une couverture plus rapide que s'il avait été semé après la récolte du blé (Amosse et al., 2013).

En production de semences, ces techniques sont aussi testées. Des espèces telles que la fétuque ou le dactyle (des cultures porte-graines pluriannuelles) sont lentes à s'installer et ont un port peu couvrant qui rend ces couverts peu compétitifs vis-à-vis des adventices. Ces cultures peuvent être semées en même temps qu'un pois, une céréale ou un maïs ce qui leur permet d'être bien implantées à la récolte du couvert ; elles nécessitent ensuite moins de désherbage au cours de leur croissance. Avec la réduction actuelle des solutions herbicides sur ces espèces « mineures », la technique de semis sous couvert apporte de nouvelles opportunités dans le secteur de la production des semences (Deneufbourg, 2010). Par ailleurs, le décalage de semis plus tôt dans la saison, permet d'avoir des conditions pour la germination et la levée plus favorables en évitant des implantations estivales en conditions difficiles (sécheresse notamment).

3.4 Réduire les infestations de plantes parasites

Pour lutter contre une espèce végétale parasite des légumineuses, *Orobanche crenata*, l'association avec le trèfle d'Alexandrie peut être efficace. En effet, des composés allélopathiques exsudés par le trèfle induisent une inhibition de la germination des graines de cette espèce d'orobanche (Fernandez-Aparicio et al., 2010a). De même, en régions tropicales, l'association de céréales hôtes du striga (maïs, sorgho, millet) avec une Fabacée, le *Desmodium*, permet de réduire le développement de l'espèce parasite (Midega et al., 2010). Des isoflavones exsudées par les racines de *Desmodium* entraînent un

phénomène de « germination suicide » des graines du striga : dans un premier temps, leur germination est stimulée, puis inhibent la croissance de la racine (effet « *push-pull* ») (Hooper et al., 2010).

3.5 Modification de la flore adventice par l'association d'espèces cultivées

Les associations d'espèces cultivées peuvent aussi modifier la composition de la communauté d'adventices même si les références sur ce sujet sont encore rares. La hiérarchie des espèces présentes peut être modifiée. Mohler et Liebman (2007) observent dans des associations orge-pois que la suppression d'espèces dominantes est plus forte quand la biomasse du couvert végétal cultivé augmente même si l'effet est davantage dépendant de la compétitivité du couvert dans son ensemble que du nombre d'espèces cultivées présentes. Par ailleurs, l'association modifie les conditions du milieu qui peuvent devenir plus favorables à certaines espèces et défavorables à d'autres. Dans des associations en relais composé de trèfle blanc semé au printemps dans du blé, le couvert perturbe la germination des adventices printanières dans l'association blé-trèfle blanc (Amosse et al., 2013). Dans les cultures associées, l'utilisation des ressources étant souvent différente de celle en cultures pures, les ressources restantes pour les adventices sont aussi différentes. Si la disponibilité en azote du milieu est par exemple modifiée, la composition en espèces faiblement ou fortement nitrophiles peut être impactée. La dynamique de croissance du couvert associé est souvent différente de celle en culture pure. Dans des associations céréale-pois, un démarrage plus rapide du couvert associé aurait un impact sur les adventices hivernales s'installant en même temps que le couvert cultivé. Les adventices hivernales étant davantage réduites, la part des espèces printanières apparaît plus importante dans ces associations (Poggio, 2005). La modification de la communauté d'adventices peut être aussi en lien avec la taille des semences, trait déterminant pour la croissance précoce et la compétition avec le couvert cultivé au départ, mais aussi pour la résistance à l'inhibition de substances allélopathiques pouvant être émises par une plante de l'association (Liebmann et Davis, 1999 ; Körner et al., 2008).

3.6 Des difficultés à prendre en compte

Même si les agriculteurs pratiquant des associations (surtout en agriculture biologique) le font prioritairement pour mieux limiter le développement des adventices, paradoxalement, la question de la gestion des adventices est un des principaux freins en agriculture conventionnelle pour l'adoption de cette pratique. Pour les associations où les deux espèces sont récoltées, dans le cas de parcelles sales, se pose souvent le problème de trouver un herbicide homologué sur les deux espèces. De plus, les associations d'espèces en fonction de leur arrangement spatial peuvent rendre souvent difficile le désherbage mécanique. Certains agriculteurs adaptent néanmoins les dates de semis, l'arrangement spatial pour pouvoir mettre en œuvre le désherbage (Pelzer et al., 2014, ce numéro). Par ailleurs, peu de travaux ont étudié les effets des associations sur la gestion des adventices dans les cultures suivantes de la rotation. Dans les essais pluriannuels cités plus haut menés à l'INRA de Grignon, après plusieurs années d'expérimentation, les successions avec association ont montré des niveaux d'infestation par les adventices plus importants que les successions de cultures seules, du fait qu'aucun herbicide n'est homologué pour les associations pois-blé d'hiver.

4. Des interactions bilatérales entre associations végétales et organismes du sol

Les interactions avec les organismes du sol sont susceptibles de modifier les équilibres entre espèces végétales d'une association, notamment en modifiant les rapports de compétition, de complémentarité et/ou de facilitation qui s'établissent entre elles.

Un exemple souvent évoqué dans les associations à base de légumineuses est l'importance de la symbiose avec les bactéries du sol de la famille des Rhizobiacées, et l'efficacité de la fixation biologique de l'azote atmosphérique. En culture associée, la contribution de la fixation symbiotique est plus forte qu'en culture pure ; par ailleurs plus la fixation symbiotique est élevée, plus l'association est

productive par rapport aux cultures pures, ceci est encore plus vrai quand le milieu est pauvre en azote (Corre-Hellou et al., 2006 ; Naudin et al., 2010). On peut encore citer le cas de certaines bactéries, comme les *Azospirillum*, pouvant avoir des effets stimulants sur le développement des racines et modifiant leur architecture et par conséquent, les interactions entre systèmes souterrains puis aériens des espèces de l'association (Mantelin et Touraine, 2004). En facilitant la croissance d'une espèce végétale dans des situations de stress hydrique ou de faible disponibilité en phosphore, les mycorhizes peuvent parfois favoriser une espèce au détriment de l'autre (Smith et al., 2011).

Par ailleurs, il semble que l'association d'espèces végétales puisse conduire à une augmentation de la biomasse microbienne au sein de la rhizosphère favorable à la nutrition du couvert végétal, par comparaison aux cultures pures. Par exemple, Sheng et al. (2012) ont mis en évidence une augmentation de la taille des populations microbiennes dans la rhizosphère des associations pastèque-poivron en comparaison des cultures pures de pastèques, s'accompagnant d'une meilleure alimentation en magnésium des plantes et d'un meilleur rendement. L'entremêlement des racines des espèces associées conduit aussi à une modification de la structure des communautés rhizosphériques pouvant avoir un impact sur l'évolution de l'association d'espèces (Hinsinger et al., 2011).

La faune du sol (en particulier les vers de terre et les collemboles) est largement reconnue pour son action sur la décomposition de la matière organique. Ces décomposeurs influencent indirectement la croissance des plantes en augmentant la disponibilité des nutriments et en modifiant les communautés de microorganismes au sein de la rhizosphère (e.g. Kreuzer et al., 2004). Les vers de terre sont connus pour augmenter la disponibilité en azote minéral du sol pour les plantes (Scheu, 2003) et leur activité de fouissage structure l'environnement racinaire des plantes. Plus récemment, des travaux réalisés avec des espèces de vers de terre dont l'activité se situe autour des systèmes racinaires (vers de terre dits endogés), montrent que ces derniers peuvent modifier le rapport de biomasse entre partie aérienne et partie souterraine des plantes, avec des conséquences sur les rapports de compétition / facilitation et de complémentarités dans les associations végétales. Par exemple, dans l'association pois-chiche - blé dur, Coulis et al. (2014) rapportent que le ver de terre endogé *Apporectodea caliginosa* induit une augmentation de ce rapport partie aérienne sur partie souterraine des plantes associées en comparaison de témoins sans vers de terre. Un autre exemple d'effets des vers de terre endogés est la modification du cycle du phosphore avec pour conséquence une réduction de la compétition pour les ressources du sol entre les espèces associées (en particulier P et N). En outre, ces espèces qui exploitent largement le sol rhizosphérique, peuvent induire des modifications du développement racinaire. Ainsi, Puga-Freitas et al. (2012) ont pu mettre en évidence que la présence de vers de terre endogés stimule la croissance des systèmes racinaires d'*Arabidopsis thaliana* mutants dont le transport des auxines, molécules essentielles pour le développement racinaire, est altéré. De tels résultats peuvent être mis en relation avec la présence de composés auxiniques identifiés dans les fécès d'*A. caliginosa*. Par ailleurs, des expérimentations menées au sein de l'Unité de Recherche 'Légumineuses, Ecophysiologie Végétale, Agroécologie' (LEVA) de l'ESA d'Angers ont montré que, dans les associations pois-blé dur, *A. caliginosa* peut induire une réduction significative de la longueur du système racinaire du pois (de l'ordre de 25%) par rapport à une situation sans vers de terre, et ce, sans impact significatif sur la quantité d'azote atmosphérique fixé (Fustec et al., 2014). Le nombre de racines latérales du système racinaire du pois se trouve aussi significativement réduit en présence des vers de terre. Là encore, ces effets sont de nature à modifier les interactions entre espèces au sein de l'association, d'autant que la longueur et le nombre de racines latérales du système racinaire du blé dur associé au pois n'ont pas été modifiés de manière significative. D'autres Invertébrés du sol comme les collemboles, sont à même de modifier le développement des organes végétaux (Scheu et al., 1999). Kreuzer et al. (2004) ont ainsi montré que l'interaction entre collemboles et vers de terre endogés peut modifier les relations de compétitions entre *Poa annua* et *Trifolium repens*.

Conclusions et perspectives

De nombreuses interactions biotiques sont en jeu dans les associations végétales. Les mécanismes les plus étudiés sont ceux impliqués dans la régulation des bioagresseurs. Certains mécanismes sont communs à la fois aux maladies, aux ravageurs et aux adventices tels que l'effet de barrière physique ou l'effet du couvert sur le microclimat même si les caractéristiques, l'intensité et la période où ces facteurs interviennent ne sont pas les mêmes en fonction des organismes impliqués. Il paraît intéressant de souligner les liens qu'il peut y avoir entre le fonctionnement de l'association en terme de partage des ressources et en terme d'interactions avec les facteurs biotiques. En revanche, il serait nécessaire d'explorer davantage les interactions entre différents facteurs biotiques.

Les effets observés ne sont pas seulement liés à l'augmentation de la diversité d'espèces mais aussi à des combinaisons de pratiques (choix des espèces, des génotypes, dates et densités de semis, fertilisation, arrangements spatiaux...). Ces associations sont cultivées pour des objectifs très variés et parfois la gestion des bioagresseurs peut amener à des choix de conduite différents d'une gestion strictement orientée sur la production du mélange. Il est donc essentiel de clarifier les objectifs et de faire des compromis dans le choix des leviers pour les atteindre. En fonction des types d'associations (récolte des deux espèces, associations en relais, intégration de couverts vivants...), les processus en jeu peuvent différer et le rôle de chaque espèce par rapport à la gestion des facteurs biotiques peut varier. Enfin, les effets peuvent varier suivant les échelles temporelles et spatiales considérées. Des effets positifs peuvent être observés à l'échelle annuelle mais l'inverse peut s'observer à l'échelle pluriannuelle. Plusieurs essais montrent des effets positifs sur les bioagresseurs ; en revanche, peu de travaux ont quantifié la réduction de l'usage de produits phytosanitaires que les associations peuvent permettre, alors que la réduction de l'usage des intrants azotés a été beaucoup plus documentée (cas des associations légumineuse-non légumineuse).

Cet article met aussi en avant des résultats nouveaux sur les interactions avec les organismes du sol. Les interactions sont complexes et beaucoup d'éléments restent à éclaircir mais l'analyse des organismes du sol en interaction avec la diversité cultivée apparaît une voie de recherche prometteuse ; les premiers résultats montrant des impacts forts sur le fonctionnement des associations végétales. Certains microorganismes du sol ne peuvent être cultivés en laboratoire, limitant l'acquisition de connaissances nouvelles pour mieux maîtriser les écosystèmes microbiens du sol. Les nouvelles approches méta-omiques permettent de s'affranchir de cette étape et devraient permettre de mieux appréhender ces systèmes complexes (métaprogramme MEM de l'INRA).

Même si les travaux de recherche sur les facteurs biotiques se développent sur une diversité de combinaisons d'espèces, ils restent encore rares et doivent se poursuivre tout en s'appuyant sur les observations (réussites et échecs) des agriculteurs testant déjà diverses associations et sur plusieurs essais dans les conditions agricoles locales avant leur déploiement pour un objectif donné bien identifié.

Références bibliographiques

Altieri M.A., Letourneau D.K., 1982. Vegetation management and biological control in agroecosystems. *Crop Protection* 1, 405-430.

Altieri M.A., Liebman M., 1986. Insect, Weed and Plant Disease Management in Multiple Cropping Systems. In: C.A. Francis (Ed). *Multiple Cropping Systems*. MacMillan Publ. Co., New York USA., pp. 183-218

Amossé C., Jeuffroy M.H., Celette F., David C., 2013. Relay-intercropped forage legumes help to control weeds in organic grain production. *European Journal of Agronomy* 49, 158-167.

Awmack C.S., Leather R.-S., 2002. Host plant quality and fecundity in herbivorous insects. *Annual Review of Entomology* 47, 817-844.

- Bach C.E., 1981. Host plant growth form and diversity; effects on abundance and feeding preference of a specialist herbivore, *Acalymma vittata* (Coleoptera: Chrysomelidae). *Oecologia* 50, 370-375.
- Baker E.F.I., Norman D.W., 1975. Cropping systems in Northern Nigeria. In International Rice Research Institute International Rice Research Institute, Symposium on Cropping Systems Research and Development for the Asian Rice Farmer. Los Baños, Philippines. pp. 334-361
- Baumann D.T., Kropf M.J., Bastiaans L., 2000. Intercropping leeks to suppress weeds. *Weed Research* 40, 361-376.
- Bedoussac L., 2009. Analyse du fonctionnement des performances des associations blé dur-pois d'hiver et blé dur-féverole d'hiver pour la conception d'itinéraires techniques adaptés à différents objectifs de production en systèmes bas-intrants. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 211 p.
- Berendse F., 1979. Competition between plant populations with different rooting depths. *Oecologia* 43, 19-26.
- Bhowmik P.C., 2003. Challenges and opportunities in implementing allelopathy for natural weed management. *Crop Protection* 22, 661-671.
- Biarnès V., Gaillard B., Jeuffroy M.H., Guichard L., Hellou G., 2008. Céréales et légumineuses: une association pour produire du blé avec peu d'intrants ? *Perspectives Agricoles* 347, 52-55.
- Bjorkman M., Hamback P.A., Hopkins R.J., Ramert B., 2010. Evaluating the enemies hypothesis in a clover-cabbage intercrop: effects of generalist and specialist natural enemies on the turnip root fly (*Delia floralis*). *Agricultural and Forest Entomology* 12, 123-132.
- Boudreau M.A., 2013. Diseases in intercropping systems. *Annual Review of Phytopathology* 51, 499-519.
- Butault J.P., Dedryver C.A., Gary C., Guichard L., Jacquet F., Meynard J.M., Nicot P., Pitrat M., Reau R., Sauphanor B., Savini I., Volay T., 2010. Ecophyto R&D. Quelles voies pour réduire l'usage des pesticides ? 90 p.
- Carof M., de Tourdonnet S., Saulas P., Le Floch D., Roger-Estrade J., 2007. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. I. Yield analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 27 (4), 347-356.
- Chittka L., Döring T.F., 2007. Are autumn foliage colour red signals to aphids? *PLoS Biology* 5, 1640-1644.
- Corre-Hellou G., Dibet A., Aveline A., Crozat Y., 2004. Le pois dans des systèmes à faibles intrants: cultures pures ou associées? *Perspectives Agricoles* 306, 8-10.
- Corre-Hellou G., Fustec J., Crozat Y., 2006. Interspecific competition for soil N and its interaction with N₂ fixation, leaf expansion and crop growth in pea-barley intercrops. *Plant and Soil* 282, 195-208.
- Corre-Hellou G., Dibet A., Hauggaard-Nielsen H., Crozat Y., Gooding M., Ambus P., Dahlmann C., von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E.S., 2011. The competitive ability of pea-barley intercrops against weeds and the interactions with crop productivity and soil N availability. *Field Crops Research* 122, 264-272.
- Coulis M., Bernard L., Gérard F., Hinsinger P., Plassard C., Villeneuve M., Blanchart E., 2014. Endogeic earthworms modify soil phosphorus, plant growth and interactions in a legume-cereal intercrop. *Plant and Soil* 379, 149-160.
- Deneufbourg F., 2010. Implantation des légumineuses. Vers de nouvelles solutions à moindre coût. *Bulletin semences* 213, 20-23.
- Elliot N., Onstad D.W., Brewer M.J., 1998. History and Ecological basis for areawide pest management. In: Opende Koul, Gerrit W. Cuperus, and Norman Elliot (Eds), *Areawide Pest Management: Theory and Implementation*. CAB International, Oxfordshire, UK, Cambridge, USA. pp. 15-33.
- Fernández-Aparicio M., Emeran A.A., Rubiales D., 2010a. Inter-cropping with berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop Protection* 29, 867-871.

- Fernandez-Aparicio M., Amri M., Kharrat M., Rubiales D., 2010b. Intercropping reduces *Mycosphaerella pinodes* severity and delays upward progress on the pea plant. *Crop protection* 29, 744-750.
- Fernandez-Aparicio M., Amri M., Kharrat M., Rubiales D., 2011. Effect of crop mixtures on chocolate spot development on faba bean grown in mediterranean climates. *Crop protection* 30, 1015-1023.
- Finch S., Collier R.H., 2000. Host-plant selection by insects - a theory based on 'appropriate/inappropriate landings' by pest insects of cruciferous plants. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 96, 91-102.
- Fustec J., Jamont M., Joly F.-X., Piva G., Cannavacciuolo M., Cassagne N., 2014. Measuring nitrogen transfer in annual intercrops. In proceedings of the European Society for Agronomy Congress. ESA2014 25-29 August 2014, Debrecen, Hungary, 2 p.
- Gao X, Wu M, Xu R, Wang X, Pan R, et al. (2014) Root Interactions in a Maize/Soybean Intercropping System Control Soybean Soil-Borne Disease, Red Crown Rot. *PLoS ONE* 9(5).
- Hao W.Y., Ren L.X., Ran W., Shen Q.R., 2010. Allelopathic effects of root exudates from watermelon and rice plants on *Fusarium oxysporum* f.sp. *niveum*. *Plant and Soil* 336, 485–497.
- Hasse V., Litsinger J.A., 1981. The influence of vegetational diversity on host finding and larval survivorship of the Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis*. IRR Seminar, Los Baños, Philippines.
- Hauggaard-Nielsen H., Gooding M., Ambus P., Corre-Hellou G., Crozat Y., Dahlmann C., Dibet A., Von Fragstein P., Pristeri A., Monti M., Jensen E.S., 2009. Pea–barley intercropping for efficient symbiotic N₂-fixation, soil N acquisition and use of other nutrients in European organic cropping systems. *Field Crops Research* 113 (1), 64-71
- Hiltbrunner J., Liedgens M., Bloch L., Stamp P., Streit B., 2007. Legume cover crops as living mulches for winter wheat: Components of biomass and the control of weeds. *European Journal of Agronomy* 26 (1), 21-29
- Hinsinger P., Betencourt E., Bernard L., Brauman A., Plassard C., Shen J., Tang X., Zhang F., 2011. P for Two, Sharing a Scarce Resource: Soil Phosphorus Acquisition in the Rhizosphere of Intercropped Species. *Plant Physiology*, 156, 1078-1086.
- Honek A., 1986. Habitat studies of aphid predators. In: I. Hodek (Ed.), *Ecology of Aphidophaga*. Academia, Prague, Czechoslovakia. pp. 263-272
- Hooks C.R.R., Johnson M.W. 2001. Broccoli growth parameters and level of head infestations in simple and mixed plantings: Impact of increased flora diversification. *Annals of Applied Biology* 138, 269-280.
- Hooper A.M., Tsanuo M.K., Chamberlain K., Tittcomb K., Scholes J., Hassanali A., Khan Z.R., Pickett J.A., 2010. Isoschaftoside, a C-glycosylflavonoid from *Desmodium uncinatum* root exudate, is an allelochemical against the development of *Striga*. *Phytochemistry* 71, 904-908.
- INTERCROP, 2006. Intercropping of cereals and grain legumes for increased production, weed control, improved product quality and prevention of N-losses in European organic farming systems - Final report.
- Jamont M., Dubois-Pot C., Jaloux B., 2014. Nectar provisioning close to host patches increases parasitoid recruitment, retention and host parasitism. *Basic and Applied Ecology* 15, 151-160.
- Justes E., Bedoussac L., Corre-Hellou G., Fustec J., Hinsinger P., Jeuffroy M.H., Journet E.P., Louarn G., Naudin C., Pelzer E., 2014. *Innovations Agronomiques* 40, 1-24
- Karban R., Myers J.H., 1989. Induced plant responses to herbivory. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 20, 331-348.
- Körner C., Stöcklin J., Reuther-Thiébaud L., Pelaez-Riedl S., 2008. Small differences in arrival time influence composition and productivity of plant communities. *New Phytologist* 177 (3); 698-705.
- Kreuzer K., Bonkowski M., Langel R., Scheu S., 2004. Decomposer animals (Lumbricidae, Collembola) and organic matter distribution affect the performance of *Lolium perenne* (Poaceae) and *Trifolium repens* (Fabaceae). *Soil Biology & Biochemistry* 36, 2005-2011.

- Langer V., Kinane J., Lyngkjær M., 2007. Intercropping for pest management: the ecological concept. In Koul O, Cuperus GW, editors, Ecologically based integrated pest management. Wallingford: CABI Publishing, pp. 74-109.
- Liebman M., Davis A.S., 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research* 40, 27-47.
- Liebman M., Dyck E., 1993. Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Applications* 3, 92-122.
- Liebman M., Staver C.P., 2004. Crop diversification for weed management. In: M. Liebman, C.L Mohler, C.P Staver (Eds), *Ecological management of agricultural weeds*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.322-374.
- Louarn G., Corre-Hellou G., Fustec J., L -Pelzer E., Julier B., Litrico I., Hinsinger P., Lecomte C., 2010. D terminants écologiques et physiologiques de la productivité et de la stabilit  des associations graminées-légumineuses. *Innovations Agronomiques* 11, 79-99.
- Mac  K., Morlon P., Munier-Jolain N., Qu r  L., 2007. Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops. *Agricultural Systems* 93 (1-3),115-142.
- Malézieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tournonet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29, 43-62.
- Mantelin S., Touraine B., 2004. Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany* 55, 27-34.
- Meiss H., Le Lagadec L., Munier-Jolain N., Waldhardt R., Petit S., 2010. Weed seed predation increases with vegetation cover in perennial forage crops. *Agronomy, Ecosystem, Environment* 138, 10-16.
- Midega C.A.O, Khan Z.R., Amudavi D.A., Pittchar J., Pickett J.A. 2010. Integrated management of *Striga hermonthica* and cereal stemborers in finger millet (*Eleusine coracana* (L.) Gaertn), through intercropping with *Desmodium intortum*. *International Journal Pest Management* 56, 145-151.
- Mohler C.L., Liebman M., 1987. Weed productivity and composition in sole crops and intercrops of barley and field pea. *Journal of Applied Ecology* 24, 685-699.
- Naudin C., Corre-Hellou G., Pineau S., Crozat Y. Jeuffroy M.H., 2010. The effect of various dynamics of N availability on winter pea-wheat intercrops: crop growth, N partitioning and symbiotic N₂ fixation. *Field Crops Research* 119, 2-11.
- Ndzana R.A., Magro A., Bedoussac L., Justes E., Hemptinne J.L., 2014. Is there an associational resistance of winter pea - durum wheat intercrops towards *Acyrtosiphon pisum* Harris? *Journal of Applied Entomology* 138, 577-585.
- Ofori F., Stern W.R., 1987. Cereal-legume intercropping systems. *Advances in Agronomy* 41, 41-90.
- Pelzer E., Bedoussac L., Hellou G., Jeuffroy M.-H., M tivier T., Naudin C., 2014. Association de cultures annuelles combinant une légumineuse et une céréale : retours d'expériences d'agriculteurs et analyse. *Innovations Agronomiques* 40,
- Perfecto I., Vet L.E.M., 2003. Effect of a nonhost plant on the location behavior of two parasitoids: The tritrophic system of *Cotesia* spp. (Hymenoptera : Braconidae), *Pieris rapae* (Lepidoptera : Pieridae), and *Brassica oleraceae*. *Environmental Entomology* 32, 163-174.
- Poggio S.L., 2005. Structure of weed communities occurring in monoculture and intercropping of field pea and barley. *Agriculture, Ecosystem, Environment* 109, 48-58.
- Puga-Freitas R., Barot S., Taconnat L., Renou J.P., Blouin M., 2012. Signal Molecules Mediate the Impact of the Earthworm *Aporrectodea caliginosa* on Growth, Development and Defence of the Plant *Arabidopsis thaliana*. *PloS one*. DOI: 10.1371/journal.pone.0049504
- Raros R.S., 1973. Prospects and problems of integrated pest control in multiple cropping. IRRRI Seminar. Los Baños, Philippines, 15 pp.
- Ren L., Su S., Yang X., Xu Y., Huang Q., Shen Q., 2008. Intercropping with aerobic rice suppressed Fusarium wilt in watermelon. *Soil Biology and Biochemistry* 40 (3), 834-844.

- Risch S.J., Andow D., Altieri M.A., 1983. Agroecosystem diversity and pest control: data, tentative conclusions, and new research directions. *Environmental Entomology* 12, 625–629.
- Root R.B., 1973. The organization of a plant-arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards, *Brassica oleracea*. *Ecological Monographs* 43, 95-124.
- Röse U.S.R., Lewis J., Tumlinson J.H., 2006. Extrafloral nectar from cotton (*Gossypium hirsutum*) as a food source for parasitic wasps. *Functional Ecology* 20, 67-74.
- Scheu S., Theenhaus A., Jones T.H., 1999. Links between the detritivore system: effects of earthworms and collembola on plant growth and aphid development. *Oecologia* 119, 541-551.
- Scheu S., 2003. Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia* 47, 846-856.
- Schoeny A., Jumel S., Rouault F., Lemarchand E., Tivoli B., 2010. Effect and underlying mechanisms of pea-cereal intercropping on the epidemic development of ascochyta blight. *European Journal of Plant Pathology* 126 (3):317-331.
- Sheng P.P., Liu R.J., Li M., 2012. Inoculation with an Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Intercropping with Pepper Can Improve Soil Quality and Watermelon Crop Performance in a System Previously Managed by Monoculture. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science* 12, 1462-1468.
- Siemann E., Tilman D., Haarstad J., Ritchie M., 1998. Experimental Tests of the Dependence of Arthropod Diversity on Plant Diversity. *The American Naturalist* 152, 738-750.
- Smith S.E., Jakobsen I., Grønlund M., Smith F.A., 2011. Roles of Arbuscular Mycorrhizas in Plant Phosphorus Nutrition: Interactions between Pathways of Phosphorus Uptake in Arbuscular Mycorrhizal Roots Have Important Implications for Understanding and Manipulating Plant Phosphorus Acquisition *Plant Physiology* 156, 1050-1057.
- Southwood T.R.E., Brown V.K., Reader P.M., 1979. The relationships of plant and insect diversity in succession. *Biological Journal of the Linnean Society* 12, 327-348.
- Steinmaus S., Elmore C.L., Smith R.J., Donaldson D., Weber E.A., Roncoroni J.A., Miller P.R.M., 2008. Mulched cover crops as an alternative to conventional weed management systems in vineyards. *Weed Research* 48 (3), 273-281.
- Tahvanainen J.C., Root R.B., 1972. The influence of vegetational diversity on the population ecology and a specialized herbivore, *Phyllotreta cruciferae* (Coleoptera: Crysomelidae). *Oecologia* 10, 321-346.
- Teasdale J.R., Daughtry C.S.T., 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch. *Weed Science* 41, 207-212.
- Tenhumberg B., Siekmann G., Keller M.A., 2006. Optimal time allocation in parasitic wasps searching for hosts and food. *Oikos* 113, 121-131.
- Theunissen J., Booij C.J., Lotz L.A.P., 1995. Effects of intercropping white cabbage with clovers on pest infestation and yield. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 74, 7-16.
- Thomas F., 2010. Associations d'espèces. Doper la diversité intraparcellaire pour peser sur les coûts de production. *TCS* 59, 18-28.
- Tilman D., Knops J., Wedin D., Reich P., Ritchie M., Siemann E., 1997. The Influence of Functional Diversity and Composition on Ecosystem Processes. *Science* 277, 1300-1302.
- Tourdonnet S., Shili I., Scorpel E., 2008. Utilisation des mulchs vivants pour la maîtrise des flores adventices. *Innovations Agronomiques* 3, 43-48.
- Tylianakis J.M., Didham R., Wratten S.D., 2004. Improved fitness of aphid parasitoids receiving resource subsidies. *Ecology* 85, 658-666.
- Valantin-Morison M., David C., Cadoux S., Lorin M., Celette F., Amossé C., Basset A., 2014. *Innovations Agronomiques* 40, 93-112
- Willey R.W., 1979. Intercropping - Its importance and Research Needs. Part 1. Competition and Yield advantages. *Field Crop Abstracts* 32, 1-10.

Winkler K., Wackers F.L., Kaufman L.V., Larraz V., van Lenteren J.C., 2009. Nectar exploitation by herbivores and their parasitoids is a function of flower species and relative humidity. *Biological Control* 50, 299-306.

Xuan T.D., Tsuzuki E., Terao H., Matsuo M., Khanh T.D., 2003. Correlation between growth inhibitory exhibition and suspected allelochemicals (phenolic compounds) in the extract of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Plant Production Science* 6, 165-171.

L'ANTHRACNOSE DU LUPIN, UNE REDOUTABLE MALADIE APPARUE RECEMMENT EN EUROPE

C. BATAILLE, *c.bataille@cra.wallonie.be* et L. HAUTIER
(CRA-W : Centre wallon de Recherches agronomiques)

RESUME : L'antracnose du lupin est une maladie ayant fait son apparition en Europe au cours des années 80, causant de lourdes pertes de rendement. Le pathogène responsable, *Colletotrichum lupini*, s'attaque à toutes les espèces de lupin (blanc, jaune et bleu). Jusqu'à présent, les meilleures méthodes de lutte contre l'antracnose sont le semis de variétés résistantes, l'utilisation de semences non contaminées et le recours à des produits phytosanitaires durant la culture. Des recherches poussées, surtout en Australie, se concentrent sur l'obtention de variétés résistantes. Le passage des semences à la chaleur ou le stockage de celles-ci à plus long terme permet d'obtenir des semences quasiment indemnes de maladies sans pour autant y avoir appliqué de traitement chimique. Il n'y a cependant encore aucune solution naturelle efficace qui permet de protéger le lupin de l'antracnose durant la culture.

GENERALITES

Identifiée au début du 20^e siècle au Brésil, puis aux Etats-Unis, l'antracnose du lupin est une maladie occasionnant d'importantes pertes de rendement et limitant la culture du lupin dans les régions pluvieuses du monde entier. Elle a été signalée pour la première fois en Europe au début des années 80 et plus récemment en Australie et en Afrique du Sud.

Cette maladie est provoquée par un champignon, *Colletotrichum lupini* (Bondar) Nirenberg, Feiler & Hagedorn, comb. nov., et touche toutes les espèces de lupins : le lupin blanc (*Lupinus albus* L.), le lupin à feuille étroite, aussi appelé lupin bleu, (*Lupinus angustifolius* L.), le lupin jaune (*Lupinus luteus* L.), mais également les espèces sauvages et les variétés ornementales. Les spores de ce champignon voyagent avec les semences, permettant ainsi le développement de la maladie dès l'installation de la culture. Cette caractéristique explique également pourquoi ces dernières décennies cette maladie s'est dispersée rapidement dans le monde entier par le commerce et les échanges de semences.

Des infections sévères peuvent occasionner la destruction totale des semis. Durant la culture, la maladie peut se propager rapidement de plante en plante par les spores émises lors de pluies à partir des tissus infectés. Ces pluies sont également nécessaires à la dispersion et à la germination des spores. C'est pourquoi les régions pluvieuses sont

propices au développement de l'antracnose. Sur les feuilles des plantes contaminées, des taches beiges apparaissent (Figure 1-A) et à la floraison, les tiges se courbent en crosse et des chancres roses auréolés de brun apparaissent (Figure 1-B). Ce champignon est également capable de provoquer l'avortement des fleurs. De plus, la présence de cette maladie réduit le nombre de gousses produites par la plante (Figure 1-C), influençant ainsi directement le rendement en grains. Elle cause également des déformations des grains et la réduction de leur taille (Figure 1-D). En cas de forte attaque d'antracnose, quel que soit le stade de développement de la plante, celle-ci flétrit et meurt.

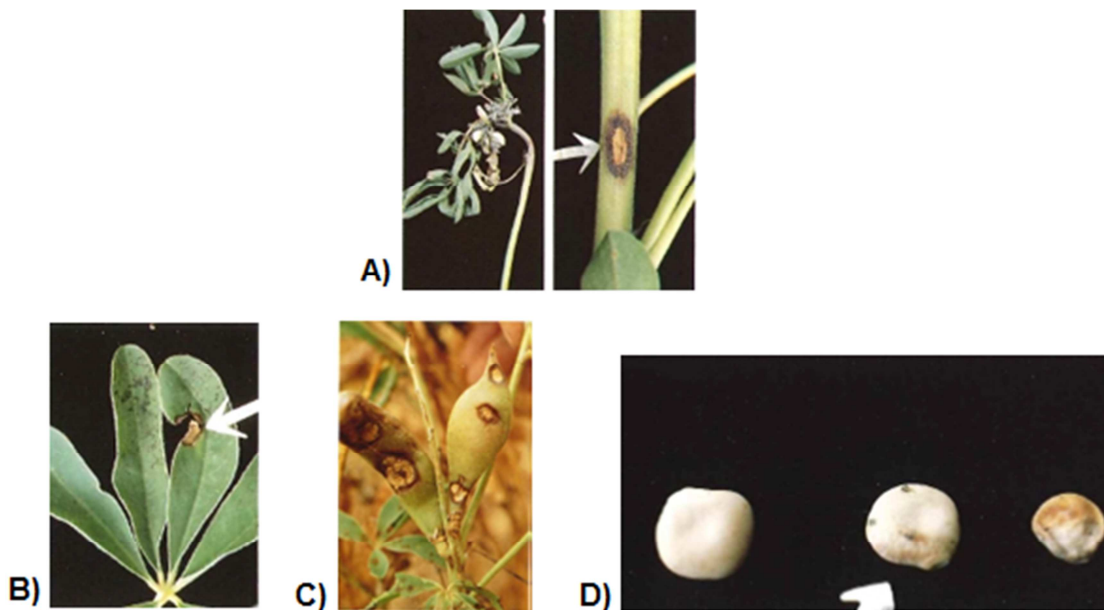


FIGURE 1 : Symptômes d'infection par *C. lupini* sur lupin blanc :
A) tiges courbées et chancre rose auréolé, B) taches beiges auréolées de brun sur les feuilles , C) chancres roses auréolés de brun sur les gousses, D) graine saine (à gauche) et graines infectées par *C. lupini* (à droite). Source: Gondran J, Bournoville R, Duthion C (1994) Identification of diseases, pests and physical constraints in white lupin. INRA.

METHODES DE LUTTE

Face à cette redoutable maladie, différents moyens de lutte ont été étudiés, principalement en Australie, le plus grand producteur de lupin au monde, mais également en Allemagne. La première méthode de lutte consiste à **utiliser des variétés résistantes**. Ainsi, des croisements ont été réalisés parmi différents cultivars afin d'introduire des gènes de résistance chez les lupins blanc, bleu ou jaune. Des variétés résistantes existent actuellement sur le marché mondial mais ne sont pas forcément adaptées à nos conditions de culture. De plus, cette résistance n'est pas totale et est influencée par la température.

La seconde méthode de lutte consiste à **utiliser des semences indemnes d'anthraxose**. Pour cela, des recherches ont également été menées afin d'éliminer ce champignon des semences. Outre les traitements chimiques de désinfection de semences, qui ne sont pas efficaces à 100%, des traitements physiques à base de chaleur sèche ou d'eau chaude ont été testés et donnent des résultats comparables aux traitements chimiques. Ainsi, l'application d'une chaleur sèche de 70°C durant quatre jours conduit à une réduction significative, voire à l'éradication, de l'anthraxose sur les semences tout en n'induisant qu'un faible impact sur le pouvoir germinatif de celles-ci. Il est également signalé dans la littérature qu'un stockage des semences durant plusieurs mois (14-18 mois) permet d'éliminer ce champignon. Des traitements biologiques à base d'enzymes produites par *Saccharomyces cerevisiae*, de bactéries (*Pseudomonas chloraphis* Strain MA342 (Cedomon), de bactéries fixatrices d'azote (TRF-FU-EB)) ou d'extraits végétaux (mélanges orties, de prêles et de lait d'argiles) ont également été testés mais sans montrer le moindre d'effet. Seul le Tillecur (SBM-new) (poudre de moutarde) montrerait un effet sur l'anthraxose mais son efficacité ne serait pas suffisante pour éliminer le champignon des semences.

Enfin, pour contrôler la maladie au cours de la culture, différents **traitements foliaires** ont été étudiés. Les traitements fongicides classiques permettent de protéger, dans une certaine mesure, les plantes mais n'ont pas d'effet curatif. Afin de cibler au mieux les traitements foliaires, les Allemands ont développé un modèle permettant de prédire l'apparition de la maladie et des périodes d'infection. Il est à noter que peu de substances naturelles ont été expérimentées à ce jour. Celles ayant été testées, comme un traitement à base de fougères, n'ont pas montré d'effets probants sur l'anthraxose.

CONCLUSIONS

Au vu de ces éléments, dans nos régions au climat favorable à l'anthraxose, il apparaît clairement que le contrôle de l'anthraxose en agriculture biologique passe par l'utilisation de semences indemnes de ce champignon, et de variétés tolérantes à cette maladie telles que des variétés de lupin bleu moins sensibles à l'anthraxose que le lupin blanc ou jaune. Sans ces précautions, il est hautement probable que l'anthraxose se développe rapidement dans la culture en fonction des conditions météorologiques et ne soit pas maîtrisable vu l'absence actuelle de traitements fongicides foliaires efficaces agréés en agriculture biologique. La culture pourrait donc être totalement perdue. Toutefois, de nos jours, la production de semences de lupin biologique ne permet pas de garantir l'absence de cet agent pathogène. Dès lors, la relance de la production de lupin en agriculture biologique ne pourra se faire que par le développement d'une filière de semences de lupin bio garantissant l'absence d'anthraxose. Ceci demande lors de la multiplication de travailler avec des variétés résistantes, de pratiquer des épurations dans les champs de multiplication et sur les semences récoltées d'éradiquer le champignon par des traitements physiques ou par le stockage. Un contrôle d'efficacité

des traitements effectués devra en plus être réalisé avant la distribution des semences aux agriculteurs car il a été estimé qu'une infection de 0.1% des graines était suffisante pour engendrer, par la suite, des pertes de rendement allant jusqu'à 50%.

En conclusion, sans garantie d'absence d'antracnose sur les semences, il est à l'heure actuelle risqué de cultiver du lupin en agriculture biologique car il est très probable que l'antracnose soit présente et anéantisse rapidement toute la culture vu les conditions climatiques propices au développement de cette maladie.

RECHERCHE DE METHODES ALTERNATIVES DE PROTECTION VIS-A-VIS DES GLOEOSPORIOSES EN PRODUCTIONS FRUITIERES BIOLOGIQUES

L. JAMAR¹, l.jamar@cra.wallonie.be, A. RONDIA¹
¹(Centre Wallon de Recherches Agronomiques)

RÉSUMÉ : Les gloeosporioses représentent les principales maladies fongiques de conservation de la pomme et de la poire en Europe de l'Ouest, responsables de pertes en longue conservation. Plusieurs espèces en sont responsables, même si l'une, *Neofabraea alba* est dominante dans nos régions. La majorité des surfaces plantées sont constituées de variétés moyennement à très sensibles à ces maladies. La protection contre les gloeosporioses repose essentiellement sur des traitements en pré-récolte mais en agriculture biologique, il n'existe pas à ce jour de produit reconnu efficace. Les principales techniques alternatives sont le traitement à l'eau chaude en post-récolte et le stockage au froid sous atmosphère contrôlée. On ne connaît pas de méthode prophylactique pour *N. alba*. L'objectif de cette étude est de mesurer, durant deux saisons de récolte (2013-2014), l'impact d'une formulation à base d'argiles calcinées (Mycosin) et d'un activateur de défense naturelle (Vacciplant) sur le développement des gloeosporioses durant la période de conservation post-récolte. Les premiers essais (année 1), montrent que le Mycosin (six applications pré-récoltes), a réduit l'incidence de la maladie observée à la fin du mois de mars, de 56, 54 et 50% sur les variétés Pinova, Pirouette et Reinette des capucins respectivement. Par contre, le Vacciplant (deux applications pré-récoltes) n'a pas eu d'impact significatif sur la maladie. L'analyse des fruits correspondant à la deuxième année d'essai doit être réalisée durant le premier trimestre 2015.

INTRODUCTION

Connaissance de la maladie

Les maladies de conservation constituent un facteur limitant majeur en arboriculture biologique. Parmi les cinq agents de pourriture couramment rencontrés sur les pommes, les Gloeosporioses sont les plus redoutables. Les poires peuvent également être affectées par ces maladies fongiques.

On a pour habitude de regrouper sous le nom « gloeosporioses » un ensemble de maladies fongiques apparaissant en longue conservation, après plusieurs mois de stockage, et se présentant sous forme de taches lenticellaires. Plusieurs espèces de champignons sont responsables et appartiennent aux genres *Neofabraea*, *Glomerella* (ou *Colletotrichum*) et *Neonectria*, car ces espèces sont souvent difficiles à séparer au seul examen visuel, sans l'utilisation d'un microscope ou l'isolement au laboratoire.

Parmi le genre *Neofabraea*, il existe trois espèces identifiées, *Neofabraea alba*, *Neofabraea malicorticis* et *Neofabraea perennans*. Classiquement *Glomerella cingulata* (forme asexuée *Colletotrichum gloeosporioides*) est associé dans le groupe des «

gloeosporioses ». On a également coutume d'associer aux « gloeosporioses », *Cylindrocarpon mali*, forme conidienne de *Neonectria galligena*, agent du chancre européen, car les symptômes se confondent avec ceux de *N. alba*. Parmi toutes ces espèces, l'espèce *Neofabraea alba* est dominante dans nos régions (Giraud et Coureau, 2014).

Sensibilité variétale

Les variétés de pommes cultivées dans nos régions présentent des niveaux de sensibilité aux gloeosporioses variables, mais globalement, on constate que la majorité des surfaces plantées sont constituées de variétés moyennement à très sensibles à ces maladies, pour peu que la situation géographique et les conditions climatiques les favorisent (Tableau 1).

Faible	Moyenne	Elevée
Gala	Golden Delicious	Tentation®
Red delicious	Fuji	Pinova
Granny Smith	Elstar	Pink Lady®
Braeburn	Reinettes	Goldrush®
Jonagold	Chantecler	Topaz
Idared	Cameo®	Opal®
Sundowner®	Arianecov	
Jazz® Scifresh	Jonathan	
Antares®	Honeycrunch®	

TABLEAU 1 : Niveaux indicatifs de sensibilité aux gloeosporioses des principales variétés de pommes, dans les régions favorables à cette maladie
Sources : Mémento protection intégrée pomme-poire 2^e édition et évaluation interne Ctifl

La sensibilité variétale aux gloeosporioses est d'origine génétique comme pour beaucoup d'autres maladies. Différents facteurs influenceraient cette sensibilité :

- la forme des lenticelles : celles présentant une jonction épiderme-liège solide seraient un obstacle à l'installation des spores.
- le nombre de lenticelles réceptives par unité de surface.
- l'aspect de l'épiderme : les épidermes rugueux pourraient retenir les spores véhiculées par l'eau de pluie.

Biologie et cycle

Source d'inoculum : On considère que *Neofabraea alba* est un champignon naturellement présent dans le verger, sous forme de mycélium hébergé par des chancres ou des fissures de l'écorce. *N. alba*, contrairement à *N. perennans*, ne produit pas de chancre, mais peut s'installer dans des chancres existants. Sur les pommiers, on trouve des spores également dans les bourgeons dormants pendant l'hiver, entre les écailles : il est probable que ce soit un mode de conservation habituel, comme pour d'autres espèces fongiques (*Alternaria*, *Colletotrichum*). Autant *N. perennans*/*N. malicorticis* et *Neonectria galligena* semblent être spécifiques des pomoidées, autant *N. alba* peut être hébergé par d'autres hôtes présents dans l'environnement : chênes, frênes, viorne, houx, ronces (Giraud et Moronvalle, 2012).

Infection: La phase sexuée de *N. alba* (avec production d'ascospores) n'est pas connue en tant que telle dans les vergers. La phase asexuée (avec production de conidies) semble être la seule responsable des contaminations. Les spores sont produites à partir du mycélium présent dans les fissures des écorces, et il semblerait que ce soit toute l'année, permettant ensuite l'entretien de l'inoculum dans le verger, avec deux périodes d'activité : au printemps (mars à juin) et en été - automne (août à novembre), la deuxième étant la plus importante (Bompeix, 1973). La production des conidies serait favorisée par les températures fraîches : elle aurait lieu lorsque la température minimale descend en dessous de 10 °C. Le processus d'infection des fruits est encore mal connu. Cependant, il est aujourd'hui établi que la pluie joue un rôle prépondérant dans le transport des spores. Les observations faites depuis 7 ans montrent qu'en absence de pluie, il n'y a pas de cas d'infection par *N. alba*. Les spores germent dans les lenticelles assez rapidement: 5 heures d'humectation sont suffisantes. Une fois le champignon installé, il entre en latence pendant les premiers mois de stockage. Les lenticelles sont plus réceptives au fur et à mesure que l'on s'approche de la récolte. Si la période de récolte est tardive en automne, les conditions météorologiques durant le mois qui précède la récolte seront plus humides qu'en été et seront donc plus favorables à l'infection. Le champignon reprend son activité après plusieurs mois de stockage, variable selon les variétés : de 2-3 mois à 4-5 mois (Giraud et Coureau, 2014).

Une infection primaire est possible avec *Colletotrichum*, qui peut faire des taches discrètes sur feuilles, sources d'inoculum secondaire pour contaminer les fruits. Quant à *Neonectria galligena*, l'infection primaire par les ascospores est réalisée à partir des vieux chancres porteurs de périthèces (habituellement sur des arbres abandonnés), mais l'essentiel des infections provient des chancres porteurs de conidies : elles ont lieu principalement à la chute des feuilles (chancres se formant sur les cicatrices foliaires), au printemps après fleur (nécroses à l'oeil et pourritures de cœur), en fin d'été et avant la récolte. Comme pour *Colletotrichum*, seules les infections tardives proches de la récolte sont susceptibles d'entrer en latence pour développer des maladies de conservation, les autres étant responsables de maladie estivale. Les fruits nécrosés et chutés avant la récolte interviennent dans le cycle comme source d'inoculum Giraud et Moronvalle, 2012).

Quels moyens de protection ?

La protection contre les gloeosporioses repose essentiellement sur des traitements en pré-récolte. La principale technique alternative est le traitement à l'eau chaude en post-récolte.

Interventions en pré-récolte : En agriculture conventionnelle, les traitements de pré-récolte sont effectués avec des positionnements allant de 5-6 semaines à quelques jours avant récolte, en moyenne 3 applications. Il est recommandé de limiter les traitements aux périodes à risque: avant une pluie, et de manière préventive (Bondoux, 1992). Certaines substances anti-tavelure ont des effets secondaires sur les « gloeosporioses ». En agriculture biologique, il n'existe pas à ce jour de produit reconnu efficace et les produits anti-tavelure appliqués durant le printemps et l'été n'ont qu'un effet limité sur cette maladie.

Traitement à l'eau chaude : L'eau chaude est efficace contre les gloeosporioses, par trempage ou douchage. Le temps d'exposition optimal est de 2 à 3 minutes. La

température de l'eau est comprise entre 48 et 52°C, mais doit être affinée selon les variétés à traiter. L'adjonction d'eugénol (huile essentielle de clou de girofle) améliore l'efficacité de l'eau chaude en réduisant les risques de brûlures sur les variétés sensibles à la température. Le délai entrée/sortie donne un débit des machines de trempage de 20 palox à l'heure. L'intérêt est limité aux petites structures ou aux petits lots (production biologique par exemple).

La conservation en très basses teneurs en oxygène (ULO - Ultra Low Oxygen, ACD - Atmosphère Contrôlée Dynamique) tend également à réduire l'expression de ces maladies. L'utilisation du 1-MCP « 1-méthylcyclopropène » à la base du «Système Qualité SmartFresh», couramment appliqué en chambres froides en post-récolte contre l'échaudure de prématurité, en modifiant le métabolisme de l'éthylène, a une action secondaire sur le développement des gloeosporioses mais est interdit en agriculture biologique.

La méthode de stockage en module Janny MT. Les pallox Janny MT (dit Mat Tiempo) sont des modules individuels permettant de stocker environ de 300 kg de fruits. Ces modules permettent de réguler de façon naturelle les teneurs en oxygène et en dioxyde de carbone afin d'améliorer les conditions de conservation. C'est un moyen alternatif au stockage en chambres froides industrielles types ULO conçues pour de gros volumes. Comme il l'a été démontré dans une expérience pluriannuelle menée dans le cadre du programme TransBioFruit, le stockage des pommes en pallox Mat Tiempo a permis de réduire de plus de 50% l'incidence des gloeosporioses sur trois variétés sensibles après quatre mois de stockage (Jamar et al, 2013).

Prophylaxie : On ne connaît pas de méthode prophylactique pour *N. alba*. Pour les autres espèces, il est recommandé : (i) de couper et de détruire les chancre lors de la taille : *N. perennans* / *N. malicorticis*, *Neonectria* ; (ii) de veiller à ne pas laisser de momies au sol, en les broyant par exemple avec les feuilles lors de la prophylaxie tavelure : *Colletotrichum*, *Neonectria*.

Incidence du pré-calibrage : Connaissant la biologie des champignons concernés, la recontamination des fruits par le pré-calibrage n'est pas possible. Par contre, le trempage prolongé des fruits dans les canaux (calibres extrêmes, ou arrêt prolongé de la station) provoque des éclatements de lenticelles qui favorisent la pénétration du champignon déjà installé, donc l'expression accrue de la maladie (Bondoux, 1992).

Suivi de l'impact d'une formulation à base d'argiles calcinées (Mycosin) et d'un activateur de défense naturelle (Vacciplant) sur les gloeosporioses

L'impact d'une formulation à base d'argiles calcinées (Mycosin) et d'un éliciteur des mécanismes de défense naturels (Vacciplant) sur les gloeosporioses n'a pas été expérimenté dans nos conditions pédoclimatiques. Puisque le processus d'infection a lieu au verger sur les fruits en pré-récolte, ces produits doivent être appliqués au verger durant l'été et avant la récolte. Le Mycosin est disponible comme engrais foliaire, le Vacciplant est un produit de protection autorisé d'usage en Belgique et en AB. Ces deux produits sont autorisés dans d'autres pays européens pour lutter contre d'autres maladies en AB (Tamm et al., 2004; Bernardon-Mery et al., 2013). Cet essai, décrit ci-dessous, fait suite à une demande spécifique du secteur.

OBJECTIF

Cet essai a pour but de mesurer, durant deux saisons de récolte, l'impact d'une formulation à base d'argiles calcinées (Mycosin) et d'un activateur de défense naturelle (Vacciplant) sur le développement des gloeosporioses durant la période de conservation post-récolte. Il concerne un premier essai mené au sein des vergers expérimentaux du CRA-W durant la saison 2013/2014, ainsi qu'un deuxième essai réalisé chez un arboriculteur bio, pour validation, durant la saison 2014/2015.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Dans un verger expérimental biologique du CRA-W, composé de trois variétés de pommier sensible aux Gloeosporioses, des traitements à base de Mycosin et de Vacciplant ont été réalisés durant l'été 2013, du 6 août jusqu'à la récolte. Les trois variétés testées ont été cv. Pirouette, cv. Reinette des capucins (récoltée le 1 octobre) et cv. Pinova (récoltée le 15 octobre). Des parcelles non traitées ont été maintenues comme témoin. L'expérience consista à évaluer, à partir d'un dispositif expérimental en split-plot à six répétitions, l'impact de la substance appliquée à six reprises pour le Mycosin (6 traitements, 10kg/ha), et deux reprises pour le Vacciplant (2 traitements, 0,5 litre/ha), sur le développement ultérieur de la maladie en chambres froides traditionnelles. Les traitements ont été réalisés avec un atomiseur standard. Les fruits ont été stockés en frigos à 2°C. L'évolution de la maladie après 3, 4 et 5 mois de conservation, soit en janvier, février, mars 2014, a été évaluée au départ de 6 lots de 100 fruits calibrés pour chaque variété et chaque traitement. Un suivi de l'incidence et la sévérité de la maladie a été réalisé.

Sur base d'un protocole similaire mais simplifié, un deuxième essai a été réalisé chez Pierre-Marie Laduron à Warsage, dans un verger homogène d'une variété moyennement sensible mais très répandue en Wallonie, la 'Jonagold'. Dans le cadre d'une infection naturelle issue d'un inoculum de *Gloeosporium* sp. bien présent dans ce verger bio, une parcelle a reçu quatre traitements successifs Mycosin (10 kg/ha), une deuxième parcelle contigüe a reçu quatre traitements Vacciplant (0,5 litre/ha), et une troisième parcelle non traitée a été réservée comme témoin. Les traitements ont été réalisés avec un atomiseur standard à partir du 10 août, à 10 jours d'intervalle. Les fruits ont été récoltés le 23 septembre, avec la collaboration du GAWI, pour finalement être stockés chez le producteur en chambre froide traditionnelle à 2°C.

RÉSULTATS

Le premier essai a permis de mettre en évidence le fait que les deux produits testés ont un effet significativement retardateur sur le développement du *Gloeosporium* (incidence et sévérité), mesuré en janvier, février et mars. Cependant, l'effet est très peu marqué et n'est pas significatif pour le Vacciplant. Par contre, le Mycosin, a réduit l'incidence de la maladie observée à la fin du mois de mars, de 56, 54 et 50% sur les variétés Pinova, Pirouette et Reinette des capucins respectivement (Figure 1).

Pour la deuxième saison d'expérimentation, l'évolution de la maladie (incidence et sévérité) sera évaluée au départ d'un lot de 1620 fruits cueillis et calibrés, soit 540 fruits pour chaque traitement, après 3, 4 et 5 mois de conservation, soit en janvier, février et mars 2015.

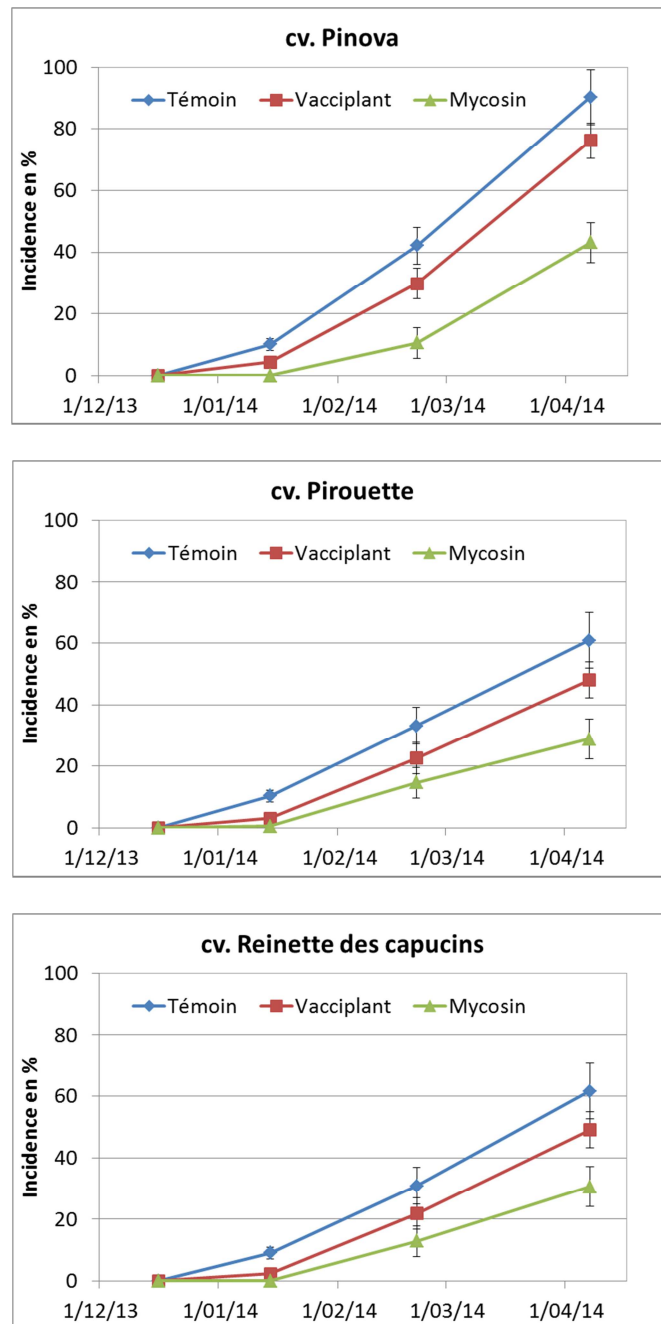


FIGURE 1 : l'impact d'une formulation à base d'argiles calcinées (Mycosin) et d'un activateur de défense naturelle (Vacciplant) sur l'incidence de *Gloesporium* sp (principale maladie post-récolte de la pomme). Les barres d'erreur indiquent l'intervalle de confiance de la moyenne (n = 6, $\alpha = 0,05$)

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les premiers essais menés au CRA-W montrent que six applications au verger d'une argile calcinée (Mycosin) permettent de retarder d'environ un mois le développement des gloesporioses sur les fruits de variétés très sensibles observés après quatre mois de conservation en frigo à 2°C. L'activateur des mécanismes de défense naturels

(Vacciplant) ne retarde pas significativement la maladie. Cependant, ce dernier a été appliqué à raison de 2 traitements, recommandés par le fabricant, contre 6 pour le Mycosin. Les recommandations d'usage faites par le fabricant (Goëmar) semblent donc insuffisantes dans nos conditions expérimentales. C'est la raison pour laquelle le nombre de traitement a été augmenté dans le deuxième essai. Toutefois, l'expérience montre jusqu'ici que, dans un cas comme dans l'autre, l'application de ces produits au verger ne suffit pas à elle-même et devra éventuellement être utilisée comme méthode complémentaire à d'autres moyens de protection. Un rapport coût/gain doit encore être établi. Les conclusions définitives de ces deux années d'essai ne pourront être tirées qu'après l'évaluation des résultats du deuxième essai qui auront lieu à la fin du mois de mars 2015.

REFERENCES

- Bernardon-Mery A., Joubert J-M., Hoareau A., 2013. La laminarine contre la tavelure du pommier. *Phytoma* 662, 28-31
- Bompeix G., 1973. Ecologie du *Pezicula alba* Guthrie sur *Pirus malus* L. en France. *Fruits*, vol. 28, 11:757-773 et 12:863-886.
- Bondoux P., 1992. Maladies de conservation des fruits à pépins, pommes et poires. Ed. Inra, Paris, France. 173 p.
- Giraud M., Moronvalle A. 2012. Maladies de conservation de la pomme : biologie et épidémiologie des gloeosporioses, *Infos Ctifl* N° 285 octobre 2012, p. 21-29
- Giraud M. et Coureau C., 2014. Le Point sur les maladies et ravageurs - Conservation de la Pomme - Les gloeosporioses. *CTIFL* n°5, 9 p.
- Jamar L., Oste S., Delebeck A., Tournant L., Wateau K., Lateur M., 2013. Rapport d'activité semestriel, 2^{ième} semestre 2013. *TransBioFruit*, 25p.
- Tamm L., Amsler T., Böger N., Fuchs J. G., 2004. Die Wirkung von Myco-Sin gegen den Apfelschorf in Abhängigkeit der Schwefelformulierung [Effects of Myco-Sin against apple scab], in Häseli, Andreas, Eds. *Tagungsband zur FiBL Bioobstbautagung 28.01.2004 in Frick*, page pp. 31-34. *Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick*

EVALUATION DE DEUX STRATEGIES VISANT A REDUIRE L'USAGE DU CUIVRE EN PRODUCTION BIOLOGIQUE DE POMME DE TERRE ET DE FRUITS A PEPINS

*Q. LIMBOURG*¹, *q.limbour@cra.wallonie.be*, *V. CESAR*¹, *v.cesar@cra.wallonie.be*,
*L. JAMAR*¹, *l.jamar@cra.wallonie.be*
¹ (Centre Wallon de Recherches Agronomiques)

RÉSUMÉ : Le cuivre est un des seuls produits efficaces homologués en agriculture biologique (AB) contre le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) et la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) et du poirier (*Venturia pirina*). Cependant il peut accuser une certaine toxicité envers les macro- et micro-organismes du sol et aquatiques si il est utilisé à forte dose. C'est pourquoi dans l'attente d'une alternative aussi efficace, il est nécessaire de trouver une manière de réduire les doses appliquées tout en maintenant une protection efficace de la culture. L'objectif de cette étude est de (i) comparer l'efficacité de trois formulations du cuivre utilisée pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre et la tavelure du pommier et (ii) d'évaluer l'impact de la pulvérisation localisée sur les rangs pour réduire l'usage du cuivre dans la lutte contre le mildiou de la pomme de terre. Les essais ont montré que l'efficacité des produits cupriques utilisés n'est pas améliorée par la formulation et que la diminution du dosage de cuivre, par des traitements localisés sur les rangs en début de végétation, n'a pas diminué l'efficacité général de la protection vis-à-vis du mildiou, ni les rendements en pomme de terre. Les essais sur pomme de terre se sont appuyés sur une stratégie de fractionnement de l'apport du cuivre en douze applications au lieu de quatre maximums prévues par la législation.

CONTEXTE

Le cuivre est un des seuls produits efficaces homologués en agriculture biologique (AB) contre le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*) et la tavelure du pommier (*Venturia inaequalis*) et du poirier (*Venturia pirina*). Il est également reconnu pour avoir des effets sur de nombreux autres champignons (par exemple le chancre du pommier (*Neonectria galligena*)) et bactéries pathogènes. Ce produit est donc très précieux pour les producteurs en AB. Cependant il peut accuser une certaine toxicité envers les macro- et micro-organismes du sol et aquatiques. C'est pourquoi dans l'attente d'une alternative aussi efficace, il doit être utilisé avec précaution. Ainsi, afin de limiter les conditions de toxicité dans les sols, il est nécessaire de trouver une manière de réduire les doses appliquées tout en maintenant une protection efficace de la culture.

Même si il existe des méthodes agronomiques permettant de réduire la pression des maladies (rotation, choix variétal, aération du site et de la culture, gestion de la fertilisation, gestion de l'inoculum...), l'usage du cuivre comme produit de protection phytosanitaire est indispensable dans le contexte actuel de la production professionnelle de la pomme de terre et des fruits à pépins (Jamar et al., 2014).

La limite actuelle régie par le règlement européen 889/2008 est de 6 kg cuivre métal/ha/an. Pour les cultures pérennes, cette limite peut être dépassée si la quantité moyenne sur 5 ans ne dépasse pas 6 kg (principe du lissage). Cependant, des limitations encore plus strictes sont envisagées dans certains Etats membres (4 kg/ha/an en France), déjà en vigueur en Suisse (4kg/ha/an quel que soit le mode de production), en Allemagne et en Autriche (3kg/ha/an) et même totalement interdit au Danemark et au Pays-Bas comme produit de protection phytosanitaire.

En Belgique, les pratiques courantes impliquent la dose de 500 g Cu/ha par application, douze traitements pourront alors être appliqués durant une saison culturale, à condition de faire fi de la législation actuelle imposant un maximum de 2 à 4 applications/an suivant les cultures.

Les nombreuses recherches et expérimentations menées depuis 10 ans en Belgique et en Europe sur les alternatives au cuivre montrent qu'il n'existe pas, à ce jour, de matière active compatible avec le cahier des charges AB capable de rivaliser avec le cuivre en termes d'efficacité (Itab, 2013). Si, parmi 60 substances naturelles alternatives au cuivre, expérimentées au CRA-W sur le mildiou de la pomme de terre ou sur la tavelure du pommier, quelques-unes ont été identifiées comme efficaces, aucune n'est légalement applicable en Belgique actuellement en tant que produit phytosanitaire, mis à part le soufre mouillable contre la tavelure (Jamar et al., 2014).

Le cuivre est un produit de contact agissant à la surface des feuilles. Sous l'action de l'eau, l'ion Cu^{2+} va se libérer et agir sur les spores de champignons en germination. Il existe plusieurs formulations du cuivre, la différence entre chaque formulation tient dans la vitesse de libération de l'ion cuivrique Cu^{2+} , la matière active des préparations. Cette libération est en effet plus ou moins rapide et/ou nécessite plus ou moins d'eau, la bouillie bordelaise étant connue pour libérer plus lentement ses ions Cu^{2+} . Tout cela peut donc jouer sur la vitesse de lessivage et la rapidité d'action.

Toxicité du cuivre dans les sols ? Le cuivre est présent dans l'environnement de manière ubiquitaire à des teneurs variant entre 2 et 120 mg/kg de matière sèche selon les différentes roches de l'écorce terrestre. Dans les sols cultivés, la teneur moyenne est de 35 mg/kg de matière sèche. La valeur maximale tolérée par l'Union européenne dans les sols agricoles est de 150 mg/kg. Selon une étude menée en Belgique (Smolders et al., 2013) ayant pour objectif d'évaluer l'effet à long terme de l'usage du cuivre dans les sols cultivés (pomme de terre, verger de pommiers et poiriers, houblon et vigne), biologiques et conventionnels, seuls 5% des sites étudiés montrent des teneurs en cuivre présentant un risque potentiel de toxicité sur les plantes, invertébrés ou microorganismes. Pour une moyenne de 52 mg Cu/kg les concentrations en cuivre dans les parcelles traitées se situent entre 9 et 159 mg Cu/kg de sol et sont en moyenne supérieure de 34 mg Cu/kg par rapport aux parcelles non traitées correspondantes. La plus grande différence est observée en verger de poiriers (culture pérenne, 40 ans et plus) et la plus petite en pomme de terre (rotation sur 6 ans). Un apport régulier de cuivre, dans la limite de 4 à 6 kg/ha/an, n'altérerait pas significativement la vie du sol, tandis que les situations de pollution du sol seraient à attribuer aux fortes doses appliquées au cours du XXème siècle (de 20 à 25 kg/ha/an) dans certaines cultures pérennes.

Le positionnement des traitements est la clé pour maîtriser les maladies et diminuer l'usage de produits de protection. Puisque pour germer, le champignon a besoin d'un film d'eau, la protection phytosanitaire doit être ajustée aux conditions météorologiques définies si possible au niveau de la parcelle (ces conditions peuvent être très différentes d'une parcelle à l'autre). Deux outils sont essentiels : une station météo qui enregistre les données localement heure par heure et un modèle de simulation des infections qui analyse les données météorologiques enregistrées. A défaut de ces deux outils, il est conseillé d'intervenir en fonction des risques réels annoncés par les services d'avertissements régionaux. Le cuivre n'a pas d'action curative, il doit être appliqué dès que les conditions de développement de la maladie sont favorables. De plus, ce type de produit est facilement « lessivable » en cas de pluie, ce qui peut diminuer fortement l'efficacité du traitement. Lorsque la pression « mildiou » ou « tavelure » est forte ou que des événements pluvieux après traitement surviennent, le producteur épuise rapidement son « quota » cuivre. A ce jour, les professionnels de ces secteurs de production sont en manque de solution alternative face à cette problématique (Jamar et al., 2014).

Deux essais ont été entrepris par la CRA-W en 2014 afin d'évaluer des stratégies permettant de réduire l'usage du cuivre en AB. Les objectifs de ces études sont de (i) comparer l'efficacité de trois formulations du cuivre utilisée pour lutter contre le mildiou de la pomme de terre et la tavelure du pommier et (ii) d'évaluer l'impact de la pulvérisation localisée sur les rangs pour réduire l'usage du cuivre dans la lutte contre le mildiou de la pomme de terre.

1. ESSAI COMPARATIF D'EFFICACITÉ DE TROIS FORMULATIONS DE CUIVRE

OBJECTIF

L'objectif de l'essai est d'évaluer l'effet de la formulation sur l'efficacité du cuivre. Des formulations plus efficaces permettraient en effet de réduire la dose de cuivre appliquée lors de chaque passage et de pouvoir aussi éventuellement poursuivre et étaler la période durant laquelle la culture est protégée. L'essai vise l'évaluation de l'effet de trois formulations de cuivre sur le développement du mildiou de la pomme de terre et de la tavelure du pommier.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les trois formulations de cuivre utilisées dans l'essai sont : 1) l'octanoate de cuivre (Cueva) à 144 g Cu/ha, 2) la bouillie bordelaise (Maniflow) à 250 g Cu/ha + extrait d'écorce d'orange (Prev-B2) 0,5% et 3) l'oxychlorure de cuivre (Cuperit) à 250 g Cu/ha. Elles sont comparées à la référence dose pleine : oxychlorure de cuivre (Cuperit) à 500 g Cu/ha.

En pomme de terre, l'essai a été installé à Libramont sur une parcelle de 20 ares à partir de deux variétés présentant des niveaux de sensibilité au mildiou différents : Gasoré (variété peu sensible) et Agria (variété moyennement sensible). Dix traitements (dispositif aléatoire à quatre répétitions par traitement) ont été appliqués durant les mois de juillet et août ; les conditions météorologiques humides ayant permis un développement fulgurant du mildiou durant cette période. Dès l'apparition du mildiou dans la parcelle d'essai, la mesure de la destruction du feuillage a été réalisée deux fois par semaine suivant une échelle de cotation allant de 0% à 100%. Le calcul et la comparaison des valeurs rAUDPC (relative Area Under Disease Progress Curve) permettent ensuite de comparer l'efficacité des différentes modalités.

En pommier, l'essai a été conduit à Gembloux sur une parcelle de 60 ares contenant 4 variétés de différentes sensibilités à la tavelure, 'Pinova', 'Pirouette', 'Reinette de Waleffe' et 'Reinette des capucins'. L'essai a été conduit suivant quatre répétitions dans un dispositif expérimental en split plot à quatre blocs aléatoires complets. Au total, huit traitements ont été appliqués pendant la période d'infection primaire. Cependant, les principaux traitements au cuivre ne sont appliqués qu'avant la floraison car ce produit provoque de la rugosité sur les fruits. Or, en 2014, un seul risque d'infection est apparu avant floraison et par conséquent un seul traitement différencié « cuivre » a été appliqué.

Chaque produit est appliqué suivant les recommandations basées sur les systèmes d'avertissements agricoles qui tiennent compte des données météorologiques enregistrées ainsi que des prévisions climatiques à court-terme.

RÉSULTATS

Pour l'essai pomme de terre, le mildiou est apparu le 10 juillet. La dynamique de destruction du feuillage pour chacune des modalités pour les variétés Agria et Gasoré est présentée à la figure 1. Les moyennes des valeurs rAUDPC sont présentées au tableau 1. Une réduction de la dose de cuivre appliquée lors de chaque traitement quel que soit le produit utilisé diminue l'efficacité du contrôle. Le cuivre appliqué à 500 g

Cu/ha reste donc la référence en termes de lutte contre le mildiou en agriculture biologique même si il ne suffit pas à protéger totalement la culture à long terme. Le tableau 2 (César V., communication personnelle) montre où se situe les deux variétés testées dans l'échelle de sensibilité variétale de 23 variétés de pomme de terre en conditions naturelles.

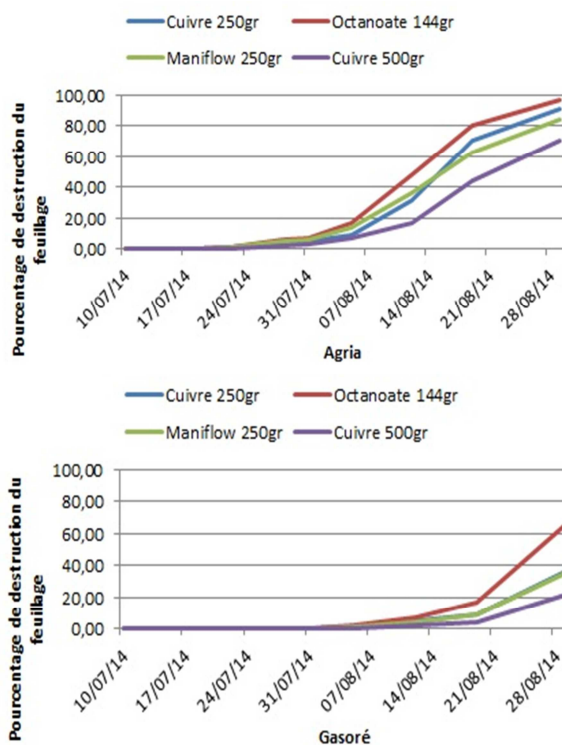


FIGURE 1 : Dynamique de destruction du feuillage (moyenne des 4 répétitions) pour les variétés Agria et Gasoré à Libramont

Traitement	Moyenne rAUDPC	
	Agria	Gasoré
Oxychlorure (250g Cu)	0,272 +/- 0,017*	0,116 +/- 0,019
Oxychlorure (500g Cu)	0,188 +/- 0,013	0,067 +/- 0,015
Octanoate (144g Cu)	0,337 +/- 0,043	0,214 +/- 0,035
BB Maniflow (250g Cu)	0,266 +/- 0,010	0,113 +/- 0,037

* Intervalle de confiance de la moyenne

TABLEAU 1 : Moyennes des valeurs de rAUDPC pour 4 modalités de traitement et 2 variétés, à Libramont

Variété	rAUDPC*	Note	Sensibilité	Variété	rAUDPC*	Note	Sensibilité
Première	0,696	1,0	Très sensible	Vitabella	0,234	6,3	moyennement sensible
Bintje	0,514	2,6		Allians	0,211	6,6	
Charlotte	0,486	3,0		Coquine	0,211	6,6	
Sinora	0,468	3,2		Gasoré	0,198	6,8	
Innovator	0,452	3,4	Sensible	Miss			Peu sensible
Biogold	0,453	3,4		Malina	0,149	7,4	
Nicola	0,420	3,9		Connect	0,061	8,6	
Linda	0,394	4,2		Cephora	0,034	8,9	
Challenger	0,361	4,6	moyennement sensible	Alouette	0,025	9,0	Très peu sensible
Désirée	0,336	5,0		Bionica	0,008	9,0	
Anouk	0,335	5,0		Sarpo Mira	0,003	9,0	
Agria	0,293	5,5		Carolus	0,003	9,0	

*relative Area Under Disease Progress Curve

TABLEAU 2 : Sensibilité variétale de 23 variétés de pomme de terre en conditions naturelles (échelle de 1 à 9)

En pommier, l'usage du modèle d'avertissement RIMpro validé par les mesures de vol d'ascospores, a permis en 2014 de réduire à 'un' le nombre de traitement avant floraison et cela grâce à une précise simulation des risques d'infection par le modèle (Figure 2). De ce fait, une seule application 'cuivre' a été nécessaire puisque le cuivre ne s'applique pas après floraison. La protection appliquée sur le seul risque d'infection (moyen) du 8 avril (par rapport à huit traitements appliqués au total) n'a pas permis de conclure sur l'efficacité des quatre modalités (l'impact de ce premier risque d'infection s'est révélé trop faible par rapport à l'ensemble des risques de la saison, et donc des taux d'infection qui ne sont pas significativement différents d'une modalité à l'autre).

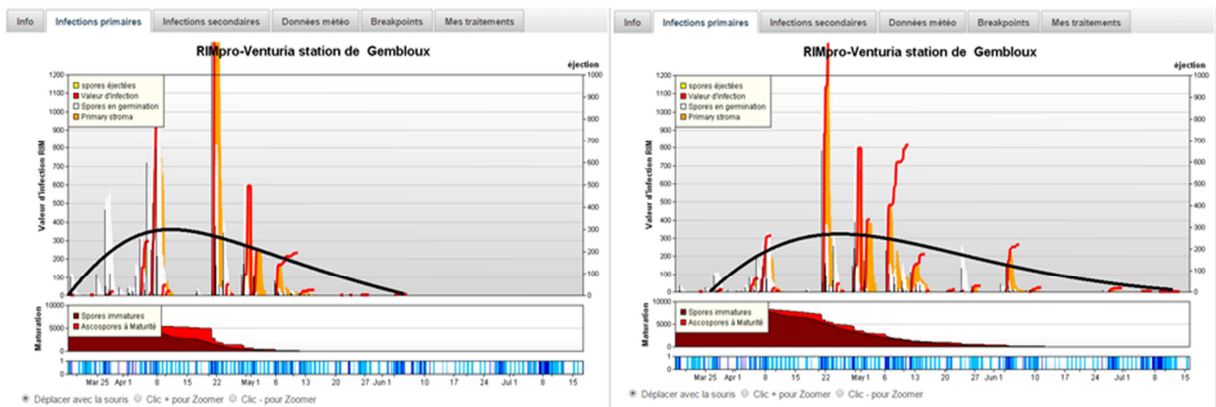


FIGURE 2 : Profil des risques d'infection à Gembloux selon le modèle d'avertissement tavelure RIMpro en 2014. A gauche, à partir des paramètres introduits par défaut, à droite, à partir des paramètres adaptés à la réalité biologique (vols d'ascospores mesurés en verger bio sur Gembloux). Une seule infection, moyenne et peu déterminante a eu lieu le 8 avril, avant la période de floraison débutée le 25 avril.

CONCLUSIONS

Ces essais ont montré, en pomme de terre, que l'efficacité des différents produits cupriques utilisés n'est pas améliorée par la formulation. En pommier, aucune conclusion ne peut être déduite de l'essai suite au seul traitement cuivre appliqué. Grâce à l'outil d'aide à la décision (modèle qui fournit une vision dynamique de l'évolution de la maladie à partir des données météorologiques), il a été possible de cibler la protection sur les risques d'infection et ainsi réduire au maximum l'usage du cuivre. Le traitement systématique est ainsi évité. Il faut noter que depuis juin 2014, l'octanoate de cuivre n'est plus autorisé d'usage en AB.

2. RECHERCHE DE MEILLEURES PERFORMANCES D'APPLICATION DU CUIVRE

OBJECTIF

L'objectif principal de cet essai est d'évaluer l'impact de la diminution des quantités de cuivre appliquées en début de saison, lors du faible développement du couvert végétal. Cela pourrait permettre une meilleure répartition des applications de cuivre sur la saison. Cette technique permettrait en effet d'augmenter le nombre de traitements potentiels tout en respectant la dose maximale autorisée. Trois alternatives ont été explorées : (1) localiser les premiers traitements sur le rang, ce qui réduit, à concentration égale, les volumes et donc les quantités de cuivre apportées par hectare, (2) réduire la concentration de cuivre de moitié tout en maintenant des traitements en plein et (3) comparer l'efficacité de la protection pour deux types de buses utilisées en traitement localisé.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Deux essais sont réalisés en 2014, le premier chez C. Schippers à Antheit et le deuxième sur une parcelle expérimentale en agroforesterie fruitière au CRA-W à Gembloux (Penteville). L'essai réalisé au CRA-W concerne une collaboration entre le CRA-W, la Fiwap (Filière wallonne de la pomme de terre) et le CTH (Centre Technique Horticole) sur une parcelle conduite et certifiée en AB depuis 12 ans.

Les traitements sont réalisés avec un pulvérisateur de marque ALLAEYS standard porté, muni d'un système de régulation à pression constante. L'écartement entre les buses étant initialement de 50 cm, celui-ci est modifié à 45 cm afin de pouvoir choisir un écartement entre buses de 45 cm ou de 90 cm en obstruant une buse sur deux avec un bouchon. Cet écartement de 90 cm correspond à la distance entre deux buttes de pommes de terre et permet d'avoir une buse juste au-dessus d'une butte. Pour l'essai réalisé à Antheit, deux types de buse sont comparées : la buse standard ALBUZ type APE (110°) et la buse TEEJET type E (9503 E) spécifique aux traitements localisés. Le produit à base de cuivre utilisé est le Cuperit.

A Antheit, l'objectif de l'essai est de comparer deux types de buses en traitement soit localisé soit non localisé. La parcelle est plantée avec la variété ANNABELLE (très sensible) et est conduite en agriculture conventionnelle. L'essai se termine lorsque le développement du mildiou dépasse un seuil critique au-delà duquel des traitements curatifs de rattrapage sont appliqués. La parcelle d'essai fait 43.2 m de large (48 buttes) sur 180m de long et est divisée en 12 blocs de 16 buttes de large et de 40 m de long. L'essai compare trois modalités de traitement (Tableau 3). Pour chaque modalité, il y a trois répétitions. Le nombre et le positionnement des traitements a été dépendant des conditions météorologiques qui ont influencé le développement du mildiou mais également le développement de la culture. Cinq passages en traitement localisé ont été effectués en « début de végétation », ce qui a permis « d'économiser » 1,250 kg de cuivre (soit environ deux traitements en plein) pour les modalités B et C. Ensuite, cinq autres traitements en plein ont été nécessaires pour tenter de contrôler la pression du mildiou en « pleine végétation » (après la fermeture des buttes). L'essai mildiou a été arrêté juste après le dernier traitement. Un traitement curatif a eu lieu trois jours après la

fin de l'essai suivi d'un défanage trois semaines après. Les deux traitements supplémentaires pour les modalités B et C n'ont donc pas été utilisés.

Modalité	Stade de la culture	Concentration en Cu	Ecartement des buses	Type de buse	Volume /ha	Quantité de cuivre (kg/ha)
A	Début de végétation	Dose Pleine	45 cm	APE	100 l/ha	5
	Pleine végétation	Dose Pleine	45 cm		200 l/ha	
B	Début de végétation	Dose Pleine	90 cm	APE	200 l/ha	3,75
	Pleine végétation	Dose Pleine	45 cm		200 l/ha	
C	Début de végétation	Dose Pleine	90 cm	Teejet	200 l/ha	3,75
	Pleine végétation	Dose Pleine	45 cm		200 l/ha	

TABLEAU 3 : Description des modalités d'application du cuivre dans l'essai d'Antheit en 2014

A Gembloux, l'objectif de l'essai est de comparer le traitement localisé au traitement plein en début de végétation, pour deux doses de cuivre par application utilisées (250 gr et 500 gr). La parcelle d'essai a été divisée en deux sous-parcelles (130 m sur 16 m) chacune divisée en 6 blocs (18 m sur 16 m). L'essai est conduit sur la variété Allians (moyennement sensible). Pour chaque modalité, il y a trois répétitions. Sur les modalités B et C, cinq passages en traitement localisé sont effectués en « début de végétation », ce qui permet d'économiser 1,25 kg de cuivre. Ensuite, neuf traitements en plein sont appliqués pour tenter de contrôler la pression du mildiou en « pleine végétation » (Tableau 4). Malgré ces traitements, le mildiou se développe et les deux traitements de cuivre supplémentaires disponibles pour les modalités B et C sont utilisés.

Modalité	Stade de la culture	Concentration en Cu	Ecartement des buses	Type de buse	Volume /ha	Quantité de cuivre (kg/ha)
A	Début de végétation	Dose Pleine	45 cm	APE	200 l /ha	6 (12x0.5)
	Pleine végétation	Dose Pleine	45 cm		200 l /ha	
B	Début de végétation	Dose Pleine	90 cm	APE	100 l /ha	5,75 (5x0.25) + (9x0.5)
	Pleine végétation	Dose Pleine	45 cm		200 l /ha	
C	Début de végétation	1/2 Dose	45 cm	APE	200 l /ha	5,75 (5x0.25) + (9x0.5)
	Pleine végétation	Dose Pleine	45 cm		200 l /ha	
D	Début de végétation	1/2 Dose	45 cm	APE	200 l /ha	3,5 (14x0.25)
	Pleine végétation	1/2 Dose	45 cm		200 l /ha	

TABLEAU 4 : Description des modalités d'application du cuivre dans l'essai à Gembloux en 2014

L'évaluation de l'impact des différentes modalités d'application est faite sur base de trois paramètres mesurés : l'infestation du mildiou (incidence), le rendement et le poids

sous eau (PSE). Le poids sous eau (PSE) permet de déterminer le pourcentage de matière sèche de tubercules de pommes de terre. Il est mesuré par un appareil appelé balance à poids sous eau. En pomme de terre Allians, l'industrie cherche à produire des tubercules avec des poids sous eau variant entre 330 et 350 gr/5 kg. La fourchette reprise ci-dessus est un compromis, et peut aussi varier en fonction de l'âge de la pomme de terre.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Un premier essai préliminaire mené en 2013 chez un producteur, où le mildiou s'est déclaré après fermeture des buttes, a montré que les traitements à dose pleine avec un écartement entre buses de 90 cm en début de végétation, permet de diminuer de 50% le volume de bouillie par rapport à l'écartement standard de 45 cm, sans diminuer l'efficacité de la protection. Les modalités utilisant une concentration plus faible de cuivre ont montré une diminution de l'efficacité de la protection après la fermeture des buttes suite à l'apparition du mildiou dans la parcelle. Il faut noter que la pression mildiou est faible en 2013.

En 2014, à Antheit, quel que soit le type de buse, on observe la même efficacité de protection pour les traitements localisés que pour les traitements 'en plein' utilisés habituellement par les agriculteurs (Tableau 5). Cette technique de réduction des volumes appliqués permet donc de réduire la quantité de cuivre sans modifier l'efficacité de la protection.

Modalité	21-juin		2-juil		16-juil		Folioles atteintes	Récolte				
	Inc. %	IC	Inc. %	IC	Inc. %	IC		IC	t/ha	IC	PSE	IC
A	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	476,3	746,1	50,9	5,0	306,4	8,2
B	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	1,1	1262,5	1824,2	39,9	8,0	297,3	9,5
C	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	887,5	706,3	43,2	5,7	300,0	6,2

TABLEAU 5 : Effet de quatre modalités de traitement sur l'incidence de mildiou, le rendement et le poids sous eau - Essai à Antheit en 2014

A Gembloux, étant donné la forte pression du mildiou observée en 2014, aucune modalité de traitement n'a résisté aux attaques de mildiou. Cependant, les modalités plus faiblement dosées en cuivre, soit grâce à un traitement localisé sur la butte, soit grâce à l'utilisation de la demi concentration, ne montrent pas des taux d'infection supérieurs, ni des rendements inférieurs par rapport aux autres modalités plus fortement dosées en cuivre (tableau 6). L'effondrement de la résistance s'est passé brutalement à la même période quel que soit la dose utilisée.

Modalité	4/07/2014		20/07/2014		5/08/2014		Récolte			
	% atteint /parcelle	IC	% atteint /parcelle	IC	% atteint /parcelle	IC	t/ha	IC	PSE	IC
A	0,0	0,0	3,9	9,5	48,3	63,1	66,2	2,8	306,8	12,5
B	0,0	0,0	3,8	8,1	61,7	34,0	61,3	3,4	293,5	9,4
C	0,0	0,0	2,6	3,9	56,7	45,2	64,3	2,9	299,0	16,4
D	0,0	0,0	1,7	1,0	53,3	42,5	63,1	2,9	297,8	13,2

TABLEAU 6 : Effet de quatre modalités de traitement sur l'incidence de mildiou, le rendement et le poids sous eau - Essai à Gembloux en 2014

CONCLUSIONS

Ces essais démontrent qu'il est possible de réduire la quantité de cuivre utilisée en effectuant des traitements localisés en début de végétation, sans diminuer l'efficacité de la protection, quel que soit le site, la variété, la buse.

En présence d'une variété sensible et sous pression moyenne du mildiou, il est préférable de ne pas descendre en dessous d'une concentration de 500 gr de cuivre par passage.

L'utilisation de variétés peu ou moyennement sensibles au mildiou semble un facteur majeur de réussite en production biologique.

Il semble également qu'un changement de la réglementation s'impose à partir du moment où le fractionnement de l'apport de cuivre semble être une pratique justifiée et efficace en AB. Ce fractionnement se justifie aussi au vu des rendements et des valeurs ajoutées possibles dans ce type de culture.

Les enquêtes réalisées en Belgique montrent que la quantité annuelle maximale de 4 kg/ha/an recommandée par certains pays de l'union ne permettrait pas, vu la sensibilité des variétés généralement cultivées, dans l'état actuel des pratiques et des connaissances une protection suffisante des cultures biologiques contre les champignons pathogènes, les années à forte pression de maladie. Les techniques de traitements localisés en début de saison développées dans ces essais sont des pistes à poursuivre pour répondre à ce défi.

REFERENCES

- INERIS, 2010. Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : cuivre, composés et alliages, 82 p., <http://www.ineris.fr/substances/fr/>
- ITAB, 2013. Argumentaire pour le maintien d'une dose efficace de cuivre en agriculture. <http://www.itab.asso.fr/> le 25/03/2014. 20 pp
- Jamar L., 2011. Innovative strategies for the control of apple scab in organic apple production (Thèse de doctorat), <http://orbi.ulg.ac.be>. University of Liege – Gembloux Agro-Bio Tech, 188 p.
- Jamar L., Lateur M., Tournant L., Wateau K., Dewaegeneire P., Oste S., Montignies E., Thiran B., Delebecq A., Fitoussi J., 2013. Les principales clés du verger bio transfrontalier, Ed. Interreg IV TransBioFruit, pp. 84, <http://www.cra.wallonie.be/fr/52/brochures-et-dossiers/680>

Jamar L., César V., Bataille C. 2014. Réduction du cuivre – Focus pomme de terre et arboriculture fruitière. Itinéraire Bio 16, 20-24

VETAB, 2005. Guide de l'Agriculture Biologique en Grandes Cultures, Interreg III, 44 pp, http://www.cebio.be/documents_telechargeables/guide_cplt.pdf

Smolders E., Moors K., Oorts K, 2013. Surveying soils for total soil Cu in Belgium. Final report to the EUCuTF. K.U. Leuven and Arche-Consulting Gent, pp. 11