



HAL
open science

Limitation de l'usage des pesticides sur des cultures de laitue d'abri : bilan du projet DEPHY EXPE LILLA.

François Lecompte, Claire Goillon, Benjamin Gard, Christiane Raynal, Elise Vaud, Virginie Barrière, Brigitte Maisonneuve, Damien Rousselière, Justine Garnodier, Philippe C. Nicot

► To cite this version:

François Lecompte, Claire Goillon, Benjamin Gard, Christiane Raynal, Elise Vaud, et al.. Limitation de l'usage des pesticides sur des cultures de laitue d'abri : bilan du projet DEPHY EXPE LILLA.. Innovations Agronomiques, 2019, 76, pp.35-50. 10.15454/c1v2ph . hal-02154669

HAL Id: hal-02154669

<https://hal.science/hal-02154669v1>

Submitted on 12 Jun 2019

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Limitation de l'usage des pesticides sur des cultures de laitue d'abri : bilan du projet DEPHY EXPE LILLA

Lecompte F.¹, Goillon C.², Gard B.³, Raynal C.⁴, Vaud E.⁴, Barrière V.¹, Maisonneuve B.⁵, Rousselière D.⁶, Garnodier J.^{2,3}, Nicot P.C.⁷

¹ UR PSH, INRA, F-84914 Avignon

² APREL, Route de Mollégès D31, F-13210 Saint Rémy de Provence

³ CTIFL Centre Opérationnel de Balandran, 751 chemin de Balandran, F-30127 Bellegarde

⁴ CTIFL Lanxade, 28 Route des Nébouts, F-24130 Prignonieux

⁵ UR GAFL, INRA, F-84143 Montfavet

⁶ SMART-LERECO, AGROCAMPUS OUEST, INRA, F-49045 Angers

⁷ UR Pathologie Végétale, INRA, F-84140 Montfavet

Correspondance : Francois.lecompte.2@inra.fr

Résumé

La lutte chimique préventive est encore aujourd'hui le principal moyen de lutte contre les bioagresseurs en culture de laitue d'hiver sous abri. Des stratégies alternatives ont été explorées dans le projet LILLA, visant soit à fournir des références expérimentales manquantes sur des techniques non chimiques de protection des plantes, soit à tester des conduites de cultures basées sur des stratégies intégrées de protection, limitant le recours aux pesticides. Des leviers innovants, comme une résistance génétique accrue aux agents de la pourriture du collet, ou la conduite de l'irrigation en goutte à goutte au lieu de l'aspersion, ont pu être identifiés. En considérant un ensemble de 23 essais comparatifs de conduite des cultures, une diminution de moitié du nombre de traitements fongicides en association avec des techniques alternatives ne montre pas une augmentation statistique du risque de perte de récolte. Contre les pucerons, les stratégies de contrôle biologique testées restent à améliorer. Le coût de mise en œuvre des techniques alternatives est significatif mais, pour la plupart d'entre elles, reste modéré. Les plus efficaces de ces techniques pourraient plus facilement être mises en œuvre dans les exploitations si les incertitudes sur les revenus de la récolte étaient moins grandes.

Mots-clés : Protection phytosanitaire, Résistance, Lutte intégrée, Essais systèmes, Analyse coûts-bénéfice.

Abstract: Limitation of pesticide use in winter shelter lettuce crops : DEPHY EXPE LILLA project assessment.

Preventive chemical control is still today the main mean of managing pests in winter lettuce under shelter. Alternative strategies have been explored in the LILLA project, either to provide needed experimental results on non-chemical plant protection techniques, or to test cropping systems based on integrated protection strategies that reduce the use of pesticides. Innovative pest management levers, including increased genetic resistance to basal rots, or the use of drip instead of sprinkler-irrigation. Considering a set of 23 comparative crop management trials, halving the number of fungicide treatments in combination with alternative techniques does not show a statistical increase in the risk of crop failure. The biological control strategies tested against aphids remain to be improved. The cost of implementing alternative techniques is significant but remains moderate in most cases. The most

effective of these techniques could be more easily implemented by farmers if uncertainties about crop income were lower.

Keywords: Phytosanitary protection, Resistance, Integrated protection, System trials, Cost-benefit analysis.

1. Contexte du projet

1.1 La laitue et sa culture sous abri en France

La laitue est cultivée à plus ou moins grande échelle sur tous les continents, en particulier dans l'hémisphère nord, pour une production mondiale de 25 Mt (FAO stat, 2016). Différents modes de production sont observés : en sol en plein champ ou sous abri (tunnels ou multi-chapelles), en hydroponie sous serres ou dans des structures closes à éclairage artificiel (CPPS ou « Plant factories »). La laitue est une culture de région tempérée dont la production est appropriée dans les climats de type méditerranéen à hivers doux : dans certaines de ces régions, la laitue est une des premières productions légumières en volume (1^{ère} en Californie, 2^{nde} après la tomate en Italie et dans le sud-est de la France, 4^{ème} en Espagne). Les produits sont écoulés en frais à la pièce, en barquette ou en sachet (4^{ème} gamme).

En France, la laitue est cultivée toute l'année, de février à octobre en plein champ et d'octobre à avril sous abri. En 2018, le total des surfaces de production s'étale autour de 4000 ha sous abri pour une production de 297 millions de têtes et autour de 4500 ha en plein champ pour une production de 226 millions de tête. On observe un repli des surfaces en production depuis plusieurs années, en lien avec un contexte économique difficile. La France est un importateur net de laitue (140000 t importées), et les tonnages récoltés sont en diminution ces dernières années. La production de laitue en agriculture biologique reste marginale en Europe. En France, les volumes étaient estimés à 6000 t environ en 2011, soit 1.5% du volume produit (source Interfel). D'après différents acteurs de la filière plusieurs difficultés, en particulier l'approvisionnement régulier en produits de qualité et le manque de débouchés commerciaux, limitent le développement des productions biologiques (Christy, 2016). La culture sous abri non chauffé en sol est très majoritaire en hiver dans le sud-est de la France avec 72% de la production nationale d'hiver sur plus de la moitié des surfaces nationales (Agreste, 2019).

Un nombre important d'agents pathogènes (oomycètes, champignons, bactéries et virus) et de ravageurs peuvent se développer sur laitue (Blancard et al., 2003 ; Barrière et al., 2014). Les bioagresseurs les plus problématiques varient suivant le mode et la saison de production, mais l'exigence sur la qualité visuelle des produits est constante, et se traduit par un refus de tout produit présentant des symptômes de dégât biotique ou abiotique, ou la présence de corps étrangers. La lutte contre les bioagresseurs est en conséquence une préoccupation majeure des producteurs de laitue. La lutte chimique préventive avec des produits phytosanitaires de synthèse constitue encore une partie importante de la stratégie de protection. Cependant l'acceptation sociétale des pesticides diminue, en particulier dans l'espace européen, et de nombreux metteurs en marché développent des cahiers des charges où la présence de résidus de produits phytosanitaires est fortement limitée. Leurs exigences vont bien au-delà des normes réglementaires qui fixent des limites maximales de résidus (LMR) : elles portent désormais sur un nombre maximum de résidus détectés, voire pour certains une demande d'aucun résidu. Les délais avant récoltes imposés pour la plupart des pesticides contribuent également à encourager une lutte chimique préventive qui soit un compromis entre une protection des plantes jusqu'à la récolte et une minimisation des risques de dépassement des LMR et du nombre de résidus détectés. Ces contraintes conduisent à faire évoluer les stratégies de lutte contre les bioagresseurs, en recherchant des alternatives à la lutte chimique préventive, et en développant des stratégies de lutte non chimiques. C'est dans ce cadre qu'a été construit le projet LILLA, coordonné par l'INRA et bénéficiant du soutien du programme Ecophyto.

1.2 Objectifs et organisation du projet

Le projet LILLA (2013-2018) a porté sur la production de laitue d'automne/hiver sous tunnel plastique, qui est le principal mode de production dans le sud de la France et représente plus de la moitié du volume national. La batavia, qui est le principal type de laitue cultivé en France (38% des surfaces en hiver 18-19), a été choisie comme exemple d'étude. L'objectif était d'étudier des stratégies alternatives à la lutte chimique, principalement préventive, en production de laitue. Le projet s'inspirait des principes de la production intégrée, qui consiste à prendre en compte l'ensemble des techniques de protection des plantes disponibles et à les intégrer, afin de limiter autant que possible le recours aux pesticides et les impacts sur la santé et l'environnement. Il a été co-conçu avec une entreprise de commercialisation de laitue de 4^{ème} gamme, la société GREEN PRODUCE, et des conseillers techniques en maraîchage du sud-est de la France. Il visait à proposer des itinéraires techniques transférables rapidement, en conduisant une partie des expérimentations directement chez les producteurs et en mobilisant des techniques ayant des niveaux d'acceptabilité socio-économiques élevés dans les conditions actuelles de production. D'autre part, bien qu'il concerne a priori un public assez large de producteurs de laitue, ce sont principalement des exploitations spécialisées en laitue qui se sont associées au projet. En conséquence, le travail a porté sur l'évolution de l'itinéraire technique de la culture de laitue, et non sur une exploration de systèmes de culture alternatifs incluant des laitues dans la rotation. Le projet se privait ainsi, volontairement, de leviers agroécologiques liés à l'intégration spatiale et temporelle d'espèces végétales (Malézieux et al., 2009).

Le projet LILLA a eu pour partenaires l'INRA, l'APREL, le CTIFL, et la société GREEN PRODUCE et a suivi deux démarches en parallèle : une première visant à tester des techniques particulières, au sujet desquelles une information insuffisante était disponible pour juger de leur efficacité et de l'intérêt ou non de les combiner au sein d'itinéraires techniques ; une seconde visant à construire et tester expérimentalement, par comparaison à une référence, des itinéraires techniques réduisant l'usage de produits phytosanitaires. Les expérimentations liées à la première démarche se sont déroulées dans les laboratoires et sites d'essais de l'INRA. Pour la seconde démarche, les essais ont été conduits à la fois en station de recherche et dans des exploitations agricoles. On peut qualifier les expérimentations de la deuxième démarche d'essais « systèmes », dans la mesure où un ensemble variable de techniques de culture ont été mobilisées dans les différentes modalités d'un même essai. Si les performances globales (incidence et dégâts de bioagresseurs, rendement, qualité, résidus de pesticides) de chaque modalité/itinéraire technique pouvaient être comparées, il reste plus difficile d'évaluer la contribution d'une technique particulière à ces performances. Ce bilan insistera plutôt sur la complémentarité d'essais analytiques classiques étudiant une technique particulière et d'une approche « systèmes » pour la comparaison d'itinéraires techniques. Une collaboration avec Agrocampus ouest a été initiée pour étudier les données économiques issues du projet.

Dans le mode de production étudié, la laitue d'automne/hiver sous abri, et le sud de la France, les principaux problèmes sanitaires sont le mildiou de la laitue, causé par l'oomycète *Bremia lactucae*, les pourritures du collet et fontes de plantes causées par les champignons nécrotrophes *Botrytis cinerea* et *Sclerotinia sclerotiorum* (et dans une bien moindre mesure dans le cas étudié *Rhizoctonia solani*), les défoliations causées par plusieurs espèces de noctuelles (*Autographa gamma*, *Helicoverpa armigera* et *Mamestra brassicae*), de limaces et d'escargots, et les pucerons. Ces derniers rassemblent plusieurs espèces (*Nasonovia ribisnigri*, *Myzus persicae*, *Aulacorthum solani*, *Macrosiphum euphorbiae*, *Hyperomyzus lactucae*) dont les populations peuvent se développer quasiment toute l'année sous tunnel, de mars à décembre. Les pucerons sont potentiellement vecteurs de plusieurs virus, et leur présence à la récolte rend les plantes non commercialisables. Les nématodes phytophages peuvent, en fonction des rotations culturales et des cultures pratiquées en été sous abri, provoquer des dégâts sur salade d'automne/hiver. Les partenaires du projet n'ont pas eu à déplorer le développement de nématodes dans leurs parcelles, et la problématique nématodes ayant été abordée dans d'autres projets du programme Ecophyto (GEDUBAT par exemple), elle n'a pas été traitée dans LILLA.

Au total, 23 essais « systèmes » (Tableau 1) ont été menés entre 2013 et 2018, avec dans chaque essai une comparaison entre un itinéraire technique de référence (correspondant aux pratiques actuelles des producteurs), et, selon les cas, un à trois itinéraires techniques construits pour réduire l'usage de pesticides. Chaque essai était mené en comparant des parcelles adjacentes conduites chacune selon un itinéraire technique, sans répétition. La moitié des essais (11 essais) avait pour seul objectif de réduire les fongicides contre les pourritures du collet, tandis que les autres essais (12 essais) cherchaient une réduction globale des pesticides contre l'ensemble des bioagresseurs potentiels. Au total, 58 parcelles (renseignant un itinéraire technique implémenté sur une culture de laitue) ont été examinées, les détails de l'itinéraire technique et les performances réalisées alimentant une base d'information de 129 descripteurs pour chacune de ces 58 parcelles. La culture et la protection des plants dans les pépinières n'ont pas été prises en compte.

Tableau 1 : Liste, date, lieux et objectif des expérimentations « systèmes » menées lors du projet LILLA

| N° | Date | Coordinateur | Site (départ.) | Station ou Exploitation agricole | Nombre de systèmes comparés | Objectif: pourritures ou ensemble des bioagresseurs |
|----|-----------------------|--------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|
| 1 | Dec. 2012 - Mar. 2013 | INRA | Villelongue (66) | Exploitation | 3 | ensemble |
| 2 | Dec. 2012 - Fev. 2013 | INRA | Candillargues (34) | Exploitation | 3 | ensemble |
| 3 | Jan. 2013 - Mar. 2013 | INRA | Avignon (84) | Station | 3 | ensemble |
| 4 | Oct. 2013 - Jan. 2014 | INRA | Villelongue (66) | Exploitation | 3 | ensemble |
| 5 | Oct. 2013 - Jan. 2014 | APREL | St Rémy de Provence (13) | Exploitation | 2 | pourritures |
| 6 | Oct. 2013 - Jan. 2014 | APREL | Graveson (13) | Exploitation | 2 | pourritures |
| 7 | Dec. 2013 - Fev. 2014 | INRA | Candillargues (34) | Exploitation | 3 | ensemble |
| 8 | Jan. 2014 - Mar. 2014 | INRA | Avignon (84) | Station | 3 | ensemble |
| 9 | Fev. 2014 - Avr. 2014 | INRA | Montfavet (84) | Station | 2 | pourritures |
| 10 | Oct. 2014 - Dec. 2014 | INRA | Montfavet (84) | Station | 2 | pourritures |
| 11 | Oct. 2014 - Jan. 2015 | APREL | St Rémy de Provence (13) | Exploitation | 2 | pourritures |
| 12 | Oct. 2014 - Jan. 2015 | APREL | Graveson (13) | Exploitation | 2 | pourritures |
| 13 | Oct. 2015 - Dec. 2015 | APREL | St Rémy de Provence (13) | Exploitation | 2 | pourritures |
| 14 | Oct. 2015 - Dec. 2015 | APREL | Graveson (13) | Exploitation | 2 | pourritures |
| 15 | Oct. 2015 - Dec. 2015 | CTIFL | Lanxade (24) | Station | 4 | pourritures |
| 16 | Avr. 2016 - Mai 2016 | CTIFL | Lanxade (24) | Station | 4 | pourritures |
| 17 | Oct. 2016 - Jan. 2017 | APREL | Graveson (13) | Exploitation | 2 | ensemble |
| 18 | Oct. 2016 - Dec 2016 | APREL | St Rémy de Provence (13) | Exploitation | 2 | ensemble |
| 19 | Dec. 2016 - Mar. 2017 | INRA | Avignon (84) | Station | 2 | ensemble |
| 20 | Mar. 2017 - Avr. 2017 | CTIFL | Lanxade (24) | Station | 4 | pourritures |
| 21 | Oct. 2017 - Jan. 2018 | APREL | Graveson (13) | Exploitation | 2 | ensemble |
| 22 | Oct. 2017 - Jan. 2018 | APREL | St Rémy de Provence (13) | Exploitation | 2 | ensemble |
| 23 | Dec. 2017 - Mar. 2018 | INRA | Avignon (84) | Station | 2 | ensemble |

2. Alternatives à la lutte chimique préventive

2.1 Techniques mobilisables au démarrage du projet

Un certain niveau d'intégration des méthodes de lutte contre les bioagresseurs existait bien entendu dans les exploitations au moment du démarrage du projet (Barrière *et al.*, 2014). En particulier la lutte génétique est mobilisée depuis plusieurs décennies contre *B. lactucae*. Le turn-over des variétés de laitue est extrêmement rapide, du fait notamment de l'introduction continue de résistances aux

nouvelles races de mildiou. Le contournement par certaines populations de *B. lactucae* d'une résistance nouvellement introduite, et le développement de ces populations du fait de la pression de sélection, génère le besoin de nouvelles résistances dans de nouvelles variétés, dans une course apparemment sans fin commencée depuis les années 1950 (Michelmore et Wong, 2008). Afin de limiter la pression de sélection et le développement de nouvelles populations contournant les résistances variétales, et de maîtriser d'éventuelles populations virulentes sur une parcelle donnée, il a longtemps été recommandé d'appliquer des fongicides anti-oomycètes de manière préventive. Cependant le déploiement dans l'espace agricole de parcelles en AB où un tel recours aux fongicides est interdit, ainsi que le développement de populations résistantes à certaines matières actives (Kunjetti *et al.*, 2016), modèrent l'intérêt d'un recours massif à la lutte chimique préventive dans les parcelles conventionnelles. De nombreuses variétés commerciales de laitue disposent également de résistances contre le virus LMV, et contre le biotype Nr:0 du puceron *N. ribisnigri*, spécifique de la laitue. Mais un biotype Nr:1 pour lequel des résistances n'ont pas encore été introduites, est apparu ces dernières années dans le nord de la France.

Des produits stimulant les défenses des plantes, par des mécanismes de résistance induite (Systemic Acquired Resistance SAR, ou Induced Systemic Resistance, ISR) ont été commercialisés depuis plusieurs années. Les phosphonates de potassium, ou phosphites, sont homologués comme des inducteurs de défense, quoiqu'ils montrent également une activité fongitoxique directe en inhibant la germination des spores d'oomycètes (Reuveni et Reuveni, 1998). Certains agents biologiques, en particulier des espèces de *Trichoderma* peuvent, outre leur activité d'antibiose contre des champignons nécrotrophes, générer une résistance induite (Vos *et al.*, 2015). Plusieurs espèces de *Bacillus*, surtout *B. subtilis*, génèrent également une résistance induite. D'autres agents de lutte biologique peuvent être utilisés contre les pathogènes effectuant au moins une partie de leur cycle dans le sol. En particulier, le champignon mycoparasite *Coniothyrium minitans* peut diminuer drastiquement l'inoculum de *S. sclerotiorum* qui se conserve dans le sol sous forme de sclérotés. Le produit commercial utilisant ce champignon est couramment utilisé en production de laitue sous abri, par épandage direct au sol avant la plantation, ou après la récolte pour éliminer les sclérotés produits pendant la culture. L'introduction d'agents de lutte biologique dans le sol est fréquemment précédée d'une désinfection du sol par solarisation. Cette technique, efficace dans des régions bien ensoleillées, consiste à déposer sur un sol porté à la capacité au champ une couverture plastique transparente, qui permet l'augmentation de la température du sol de surface jusqu'à des niveaux létaux pour de nombreux organismes du sol, en particulier les microorganismes pathogènes et les nématodes (Stapleton, 2000).

Contre les ravageurs, des techniques de lutte biologique par conservation ou par inondation peuvent être utilisées. Comme indiqué précédemment, le contrôle biologique par conservation n'a pas été utilisé dans le cadre du projet. La lutte biologique contre les noctuelles défoliatrices est le plus souvent menée avec la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Lacey *et al.*, 2001). La lutte biologique contre les pucerons est évoquée plus loin.

L'environnement abiotique des plantes peut modifier leur résistance aux bioagresseurs. Par exemple, la disponibilité en azote dans le milieu et son contenu dans les plantes modifient la sensibilité des feuilles de laitue aux champignons pathogènes *B. cinerea* et *S. sclerotiorum* (Lecompte *et al.*, 2013). Le projet CASDAR Fertipro, conduit par le CTIFL entre 2010 et 2013, a montré qu'une fertilisation azotée raisonnée de la laitue tendait également à réduire les dégâts causés par les pucerons et le mildiou.

La prophylaxie, qui consiste à limiter l'infestation des parcelles par des bioagresseurs, peut également être utilisée avec profit. Cela peut passer par le retrait de plantes infectées ou colonisées par des parasites, le retrait des débris de récolte, une gestion judicieuse du climat sous abri, en particulier leur aération en période froide et humide, ou l'utilisation de barrières physiques comme les filets anti-insectes. Les principaux champignons et oomycètes pathogènes de la laitue ayant besoin d'eau libre pour effectuer une partie de leur cycle épidémique, une bonne aération des abris et un raisonnement des moments de déclenchement des irrigations est important pour limiter les épidémies. L'architecture

et la conformation spatiale du peuplement végétal peuvent aussi, selon les cas, favoriser ou défavoriser le développement de maladies et ravageurs. Par exemple, une plantation à densité élevée d'une variété n'ayant pas un port érigé est susceptible d'aboutir à un recouvrement rapide du sol, conduisant à un microclimat humide sous les plantes, favorable au développement d'agents de la pourriture du collet.

2.2 Nouvelles approches en culture de laitue

2.2.1 Recherche de variétés moins sensibles aux pourritures du collet

La distinction schématique entre agents pathogènes biotrophes et nécrotrophes repose sur le type de parasitisme déployé. Les biotrophes se développent dans l'espace intercellulaire de tissus vivants et développent des structures spécifiques pour détourner à leur profit le contenu cellulaire des tissus des plantes colonisées. La reconnaissance du pathogène par la plante et la génération d'une réaction hypersensible aboutissant à la mort cellulaire empêchent le pathogène de poursuivre son développement. C'est ce principe qui est mobilisé pour introduire des gènes de résistance (gènes R) contre de nombreux biotrophes, dont le mildiou de la laitue. Les nécrotrophes quant à eux se servent d'un arsenal moléculaire complexe pour tuer les tissus de l'hôte, y compris en stimulant la réaction hypersensible et la mort cellulaire programmée, afin de se nourrir des débris cellulaires (Glazebrook, 2005). La protection génétique contre les nécrotrophes est plus complexe, et dans l'immense majorité des cas incomplète (ou quantitative), car elle repose sur la capacité des plantes à contrer les multiples processus déclenchés par le pathogène pour tuer son hôte, selon des processus vraisemblablement hautement polygéniques (Poland *et al.*, 2009).

Une exploration de la variabilité génétique de la sensibilité de la laitue aux deux champignons nécrotrophes principaux, *B. cinerea* et *S. sclerotiorum*, a été menée dans le cadre du projet LILLA. Cinquante-trois variétés anciennes et modernes ont été testées, dans le cadre d'essais standardisés de laboratoire, répétés de deux à quatre fois selon les variétés. La sensibilité des variétés a été estimée en mesurant la taille des lésions formées après inoculation (48h pour *S. sclerotiorum* et 72h pour *B. cinerea*). Il a été observé une certaine variabilité génétique de la sensibilité, plus importante dans le cas d'infections avec *S. sclerotiorum* (Figure 1).

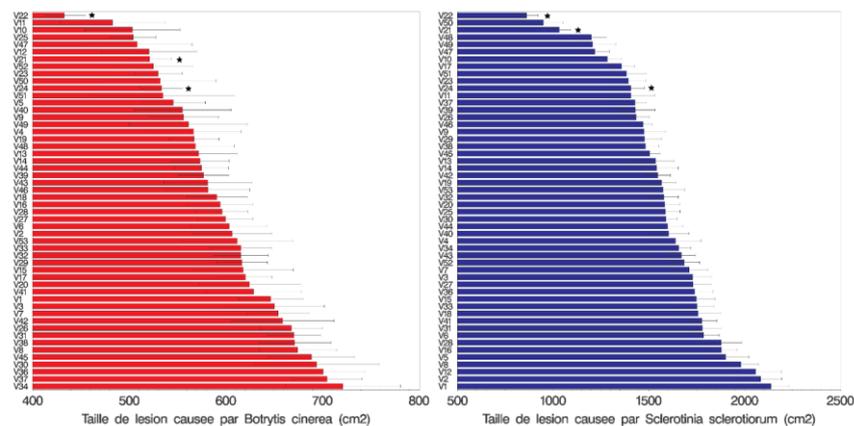


Figure 1 : Résultats moyennés des tests de sensibilité de variétés de laitue à *Botrytis cinerea* (à gauche) et *Sclerotinia sclerotiorum* (à droite). Le nom des variétés (et de leurs obtenteurs) est codé. Les trois variétés anciennes (du domaine public) testées sont mentionnées par une étoile (V21 : 'Blonde à bord rouge' ; V22 : 'Gloire du Dauphiné' ; V.23 : 'Reine des glaces').

Les 3 variétés anciennes testées (Blonde à bord rouge, Gloire du Dauphiné et Reine des glaces) se sont avérées plus résistantes que la moyenne des variétés modernes ; en particulier, Gloire du Dauphiné a été la moins sensible à la fois à *B. cinerea* et à *S. sclerotiorum*. Le coefficient de corrélation entre la sensibilité à *B. cinerea* et à *S. sclerotiorum* pour l'ensemble des variétés est faible (0,17) et non

significatif. Ces résultats laissent à penser que des caractères de résistance aux champignons nécrotrophes, présents dans les variétés anciennes, n'ont pas été conservés dans les variétés modernes, globalement plus sensibles (Lecompte *et al.*, 2016). Dans les itinéraires techniques réduisant le recours aux pesticides, testés lors des essais « systèmes », les variétés modernes les moins sensibles, d'après les résultats de ces tests de laboratoire, ont été choisies, pour contribuer à des méthodes non chimiques de protection contre les pourritures du collet.

2.2.2 Lutte biologique par inondation contre les pucerons

La lutte biologique par inondation consiste à introduire artificiellement des prédateurs ou des parasitoïdes dans les cultures afin de contrôler les populations d'insectes ravageurs. Des techniques de lutte biologique par inondation ont été testées pour lutter contre les pucerons. Parmi les parasitoïdes identifiés des pucerons de la laitue figurent les hyménoptères du genre *Aphidius* spp. (Shrestha *et al.*, 2014). Un essai factoriel a été réalisé à l'INRA en 2013, dans une culture de laitue sous tunnel insect-proof divisé en deux par un filet anti-insectes. Dans chaque partie, des pucerons ont été introduits. Le parasitoïde *Aphidius matricariae* n'a été introduit que dans une seule moitié de tunnel (3 introductions successives à une semaine d'intervalle, à raison de 1 *Aphidius* pour 10 pucerons). L'essai a été répété à un mois d'intervalle dans un tunnel adjacent. Dans les deux cas, un taux de parasitisme quasi nul a été observé. Lors des essais « systèmes » 2013 et 2014, des mélanges commerciaux de parasitoïdes composés de *Aphidius colemani*, *Aphidius ervi*, *Aphidius matricariae*, *Aphelinus abdominalis*, *Aphedrus cerasicola* et *Praon volucre* (Basilprotect® de la société Koppert) ont été introduits à une densité de 1,2 individu par m², tous les 15 jours, dans les itinéraires techniques visant à réduire les insecticides préventifs. Sur les sites où des infestations naturelles de pucerons ont eu lieu, des taux de parasitisme de 0 à 13,5% ont été observés (Barrière *et al.*, 2015).

Des prédateurs généralistes peuvent également limiter les populations de pucerons dans les parcelles. Des lâchers préventifs de chrysopes (*Chrysoperla carnea* et *Chrysoperla lucasina*) à des densités de 5 à 10 individus par m² ont été réalisés lors de la dernière saison du projet, dans deux essais « systèmes ». Des observations qualitatives conduisent à présager de l'intérêt de ce mode de lutte biologique, mais des essais complémentaires devront être réalisés pour quantifier l'efficacité de la prédation et les conditions de réussite. Cela est d'autant plus nécessaire que le surcoût engendré, environ 650 €/ha pour un lâcher à 5 individus par m², pèse significativement dans les coûts de production (voir ci-après l'analyse économique).

2.2.3 Irrigation au goutte à goutte

Bien que l'irrigation localisée soit devenue la norme dans de nombreuses régions de production à travers le monde (par exemple en Espagne ou en Californie), l'irrigation en culture sous abri en France est réalisée à l'aide d'asperseurs montés sur des rampes positionnées sous le faitage. L'apport d'eau au-dessus du couvert est indispensable en considérant les techniques actuelles de plantation, qui consistent à simplement déposer sur le sol les mottes contenant les plantules, sans les enterrer. L'aspersion permet de maintenir la motte humide pendant quelques jours, avant que les racines ne colonisent le sol. Dès ce stade passé, il est possible d'utiliser un système d'irrigation au goutte à goutte, avec des gaines déposées au sol, sous le plastique si la culture est paillée. Les avantages agronomiques du goutte à goutte sont multiples : il permet des économies d'eau et offre la possibilité de ferti-irriguer pour fractionner les apports azotés pendant la culture, en évitant ainsi de perdre par lixiviation une partie de l'azote apporté en totalité avant la plantation dans le cas d'une aspersion seule (De Tourdonnet, 1998 ; Lecompte, 2012). Plusieurs essais à l'INRA, et à l'association régionale pour la maîtrise des irrigations (ARDEPI) ont montré qu'avec une densité classique de 14 plantes par m², un dispositif de gaines disposées un rang de laitue sur deux (avec des goutteurs espacés de 30 cm) permettait d'obtenir des rendements similaires à ceux obtenus avec l'irrigation par aspersion. En outre, l'eau est apportée au sol sans mouiller le feuillage, ce qui contribue à diminuer l'humidité sur et sous les plantes, limitant ainsi potentiellement le développement de certaines maladies, en particulier les

pourritures du collet. Cette hypothèse a pu être testée lors du projet LILLA. Dans environ 1/3 des essais « systèmes », des itinéraires techniques incluant l'irrigation au goutte à goutte ont été testés. Il a pu être démontré que l'incidence des pourritures du collet était significativement moins forte dans les itinéraires avec goutte à goutte (Lecompte *et al.*, 2019, « Risks and costs associated with reduced pesticide applications and non chemical disease management techniques against *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum* in lettuce production », soumis). Les contraintes de mise en place et les coûts associés (environ 1000€/ha) rebutent les producteurs français de laitue. La quantification monétaire de la limitation de la pression biotique et des externalités négatives (gaspillage des ressources, pollutions) permettrait d'estimer la compensation en termes de bénéfices apportés par cette technique. Mais, comme pour le biocontrôle, l'absence d'effet sur les prix payés au producteur de la mise en œuvre de pratiques vertueuses est vraisemblablement un frein au développement de ces techniques.

2.3 Combinaison des techniques dans les essais « système »

Parmi les techniques de protection, seules les résistances génétiques qualitatives (non contournées par les bioagresseurs) et les produits phytosanitaires (pour lesquels les bioagresseurs ne développent pas de résistance) peuvent assurer un haut niveau de contrôle. Les autres techniques n'ont le plus souvent qu'une efficacité partielle. C'est la raison pour laquelle une diminution du recours à la lutte chimique nécessite de combiner plusieurs techniques alternatives, en essayant de trouver une synergie maximale (Barrière *et al.*, 2014). Dans le projet LILLA les participants aux essais « systèmes », agriculteurs ou expérimentateurs de station de recherche, bâtissaient leurs itinéraires techniques de référence et leurs itinéraires techniques à bas niveau de pesticides selon leurs objectifs et leurs moyens techniques et financiers. D'une manière générale, un risque plus grand a été pris dans les essais en station expérimentale par rapport aux essais accueillis par les producteurs. D'autre part, certains leviers ne pouvaient être mobilisés dans toutes les conditions expérimentales. Par exemple la mise en place de l'irrigation au goutte à goutte dans un tunnel isolé au sein d'un bloc irrigué par aspersion nécessiterait d'isoler ce tunnel du reste du réseau, ce qui est difficile à réaliser dans les exploitations agricoles. Parmi les huit classes de leviers techniques (choix variétal, modulation de la fertilisation azotée, irrigation localisée, lutte biologique contre les maladies et les ravageurs, emploi de stimulateurs de défense ou de biostimulants, prophylaxie, et réduction des densités de plantation), un seul levier, le choix variétal, a été systématiquement utilisé. Les variétés ont été choisies en fonction de leur couverture contre les races de *Bremia*, et comme indiqué plus haut en fonction de leur sensibilité, évaluée en laboratoire, contre les agents de la pourriture du collet. La fréquence de mobilisation des leviers est donnée dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Fréquence de mobilisation des leviers techniques dans les deux types d'essais « systèmes », destinés à limiter les pourritures du collet ou l'ensemble des bioagresseurs. Les chiffres indiquent le nombre d'essais et entre parenthèses la proportion dans le nombre d'essai total où au moins un itinéraire technique (hors itinéraire technique de référence) utilisait le levier technique mentionné.

| Levier technique | Pourritures du collet (11 essais) | Ensemble des bioagresseurs (12 essais) |
|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Variété | 11 (100%) | 12 (100%) |
| Azote | 5 (45%) | 9 (75%) |
| Irrigation localisée | 5 (45%) | 4 (33%) |
| Lutte biologique maladie | 8 (73%) | 12 (100%) |
| Lutte biologique insectes | | 9 (75%) |
| Stimulateurs défenses / Biostimulants | 5 (45%) | 10 (83%) |
| Prophylaxie | 10 (91%) | 12 (100%) |
| Densité de plantation | 3 (27%) | 12 (100%) |

En moyenne, 4,3 leviers ont été mobilisés dans les essais focalisés sur les pourritures du collet, et 6,7 leviers dans les essais visant l'ensemble des bioagresseurs.

2.4 Réduction des traitements phytosanitaires

Partie prenante du réseau DEPHY EXPE du programme Ecophyto, le projet LILLA s'est fixé comme cap l'évaluation d'itinéraires techniques réduisant au moins de 50% les traitements phytosanitaires (hors produits de biocontrôle). Dans les essais centrés sur les pourritures du collet, comme ceux visant l'ensemble des bioagresseurs, les itinéraires techniques ont baissé de 30% à 100% les IFT par rapport à la référence de l'essai, avec en moyenne une réduction de 71% des fongicides dans les essais pourritures du collet, et de 58% des pesticides dans les essais visant l'ensemble des bioagresseurs. Cela correspond à une réduction de 1 à 3 fongicides dans le premier cas, et de 3 à 6 pesticides dans le second cas (Tableau 3).

Tableau 3 : Réductions de produits phytosanitaires testés dans les deux types d'essais « systèmes », destinés à limiter les pourritures du collet ou l'ensemble des bioagresseurs. Les lignes 1 et 2 donnent les gammes d'IFT (hors biocontrôle) réalisées respectivement dans les itinéraires de référence et les itinéraires réduisant la lutte chimique. Les lignes suivantes donnent la répartition (en pourcentage) de la réduction du nombre de traitements dans les itinéraires testés, en comparaison à la référence. La dernière ligne donne la réduction moyenne (%) testée dans l'ensemble des essais.

| | Essais réduisant exclusivement les fongicides contre les pourritures du collet | Essais réduisant les pesticides contre l'ensemble des bioagresseurs |
|-------------------------------|--|--|
| IFT référence | 2 à 4 | 5 à 10 |
| IFT réduits (IPM) | 0 à 2 | 0 à 7 |
| itinéraires à -1 pesticide | 34% | |
| itinéraires à -2 pesticides | 40% | |
| itinéraires à -3 pesticides | 26% | 17% |
| itinéraires à -4 pesticides | | 39% |
| itinéraires à -5 pesticides | | 39% |
| itinéraires à -6 pesticides | | 5% |
| réduction moyenne / référence | -71% | -58% |

Les essais menés par la station APREL entre 2013 et 2017 ont été conduits chez les deux mêmes producteurs pendant cinq années consécutives. Il est intéressant de noter que le programme LILLA a permis de faire évoluer leurs pratiques. Les IFT hors biocontrôle des parcelles de référence sont passés de 10 à 6 chez le premier, et de 12 à 5 chez le second. Parallèlement, les IFT des itinéraires techniques réduisant la lutte chimique, comparés à la référence annuelle, ont eux aussi diminué : dans un premier temps en réduisant les fongicides destinés à la pourriture du collet, puis les deux dernières années en travaillant l'IFT total. Les fongicides pour lesquels une autorisation de mise en marché a été obtenue récemment, pendant le déroulement du projet LILLA, en particulier les associations fluopyram-trifloxystrobine (anti pourritures), amétoctadine-dimétomorphe (anti-mildiou), et le mandipropamide (anti-mildiou), n'ont pas été utilisés dans les itinéraires techniques.

3. Résultats des essais « systèmes » à l'échelle du projet

3.1 Rendements, dégâts biotiques et abiotiques

Les poids de plante mesurés dans les essais « systèmes », pour la gestion des pourritures du collet ainsi que pour les essais sur l'ensemble des bioagresseurs, ne sont pas significativement différents, entre les modalités de référence (Ref) et les modalités IPM ($p=0,72$ pour les essais pourritures du collet, $p=0,70$ pour les essais sur l'ensemble des bioagresseurs). Les taux de récolte sont en revanche significativement inférieurs pour les modalités IPM par rapport aux modalités de référence ($p=0,02$), dans les essais sur les pourritures du collet, tandis que la différence n'est pas significative dans les essais sur l'ensemble des bioagresseurs ($p=0,78$, Figure 2). L'absence de différence de poids moyen

entre les modalités de référence et les modalités réduisant la lutte chimique (IPM) indique que ni les leviers agronomiques pour la gestion de la culture (choix variétal, gestion de l'irrigation et de la fertilisation, gestion du climat) ni ceux destinés directement à la gestion des bioagresseurs (IFT, lutte biologique, stimulateurs) ne modifient, à l'échelle de la parcelle, la croissance en biomasse. La différence entre les observations des modalités de référence et celles des modalités IPM dans les essais pourritures du collet vient d'une dispersion des données plus importante en IPM, ce qui traduit un risque plus élevé de perte de récolte. En particulier, une parcelle conduite à zéro fongicide anti-pourritures a subi une perte de récolte de 23%. Un examen plus approfondi des données montre qu'en revanche les stratégies avec un seul fongicide contre les pourritures du collet ne sont pas plus risquées en termes d'incidence et de dégât que des stratégies contenant plusieurs traitements. Hors cette parcelle sans traitement, les pertes de récolte dues aux pourritures du collet sont inférieures à 6%, en IPM comme dans les itinéraires de référence (Figure 2, Tableau 4). Les fréquences des incidences (pourcentage de plantes présentant des symptômes) et dégâts (pourcentage de plantes non commercialisables) dus aux autres maladies et ravageurs sont données dans le Tableau 4.

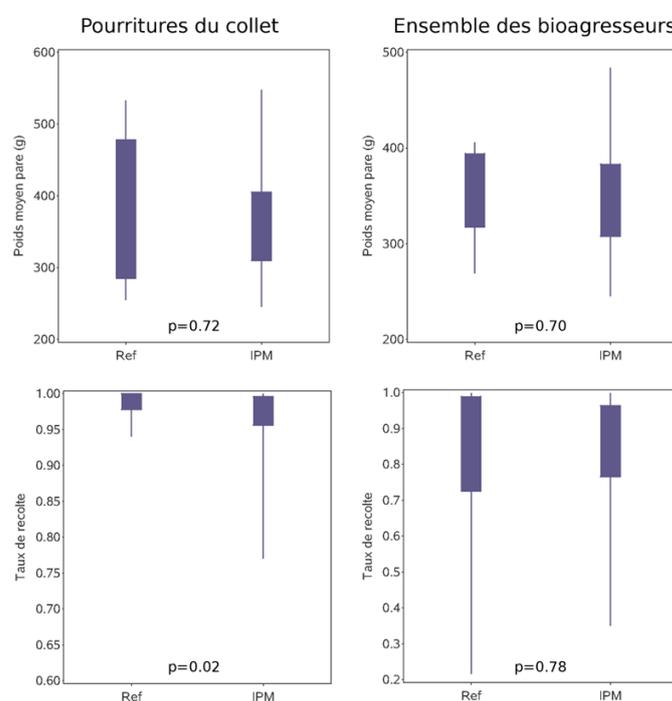


Figure 2 : Distributions des poids moyens à la récolte et des taux de récolte observés dans les essais « systèmes » sur les pourritures du collet (11 essais, à gauche) et l'ensemble des bioagresseurs (12 essais, à droite). Les données observées dans les itinéraires techniques de référence (Ref) et dans les itinéraires techniques réduisant la lutte chimique (IPM) sont symbolisées par des box plots : les positions basses et hautes des rectangles pleins indiquent les positions des quartiles 25 et 75% respectivement, les traits relient les valeurs extrêmes aux quartiles. Les statistiques indiquent les résultats de tests de Kruskal-Wallis sur la différence entre les modalités référence et IPM.

Contre les pucerons, les stratégies IPM ont été basées sur des lâchers préventifs de parasitoïdes et/ou de prédateurs (voir précédemment), et des déclenchements de traitements sur seuil de détection, avec plusieurs seuils testés. Les matières actives ont également été choisies afin de limiter l'impact sur les auxiliaires. Dans les essais « systèmes » traitant de l'ensemble des bioagresseurs, le nombre de traitements est passé d'une moyenne de 1,7 dans les parcelles de référence à 0,5 dans les parcelles IPM. Sans traitement chimique préventif, les fréquences d'incidence ont logiquement augmenté dans les parcelles (9^{ème} décile à 8% en IPM contre 0% pour la référence, Tableau 4). La stratégie sur seuils dans les parcelles IPM a donné des résultats mitigés : les attaques tardives en fin culture n'ont pas

toujours pu être maîtrisées (délais avant récolte à respecter ou risque de dépassement des LMR), et quand ils ont pu être faits, les traitements, en particulier de contact, n'ont pas toujours été efficaces sur des pucerons comme *N. ribisnigri* installés dans le cœur de laitues déjà développées. Ainsi des pertes, limitées à 5%, ont été observées dans 20% des parcelles en IPM, mais dans une parcelle non traitée les dégâts ont atteint 11,6% de pertes.

Tableau 4 : Fréquence des incidences et dégâts biotiques observés dans les essais « systèmes ». La dispersion indique la valeur minimale et la valeur maximale.

| Bioagresseur | Statistique | Incidence | | Dégât | |
|--|-------------|-----------|--------|---------|---------|
| | | Ref | IPM | Ref | IPM |
| pourritures du collet IFT moyen Ref : 2.7 IFT moyen IPM : 0.8 | dispersion | 0-80% | 0-83% | 0-6,6% | 0-23% |
| | médiane | 5% | 8% | 0,06% | 0% |
| | 9ème décile | 45% | 68% | 1,20% | 2,20% |
| mildiou IFT moyen Ref : 3.1 IFT moyen IPM : 1.6 | dispersion | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | médiane | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | 9ème décile | 0% | 0% | 0% | 0% |
| pucerons IFT moyen Ref : 1.7 IFT moyen IPM : 0.5 | dispersion | 0-5% | 0-30% | 0-1,7% | 0-11,6% |
| | médiane | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | 9ème décile | 0% | 8,30% | 0% | 2,10% |
| noctuelles IFT moyen Ref : 0.4 IFT moyen IPM : 0.1 | dispersion | 0-50% | 0-50% | 0-0,05% | 0-0,5% |
| | médiane | 0% | 0% | 0% | 0% |
| | 9ème décile | 0% | 8% | 0% | 0% |
| limaces/escargots | dispersion | 0-100% | 0-100% | 0-20% | 0-18,3% |
| | médiane | 0% | 0,16% | 0% | 0% |
| | 9ème décile | 30% | 65% | 6,60% | 3,30% |

Contre le mildiou, les IFT moyens ont été de 3,1 dans les parcelles de référence contre 1,6 en IPM. Les produits utilisés ont été le plus souvent des alternances de mélange de cymoxanil et mancozèbe avec un mélange de fluopicolide et propamocarbe. Dans les stratégies IPM les fongicides ont souvent été remplacés par des phosphonates, homologués comme SDP et autorisés en biocontrôle. Cela diminue les IFT fongicides, mais ne contribue pas nécessairement à la baisse du nombre de résidus détectés, dans la mesure où les phosphonates sont identifiés dans les analyses. Aucun dégât de mildiou n'a été observé lors du projet.

Dans certains sites, un traitement préventif contre les noctuelles a été réalisé dans les stratégies de référence. Dans d'autres, un traitement chimique (pyrethriinoïdes, chlorantraniliprole) a été réalisé à détection. Dans les stratégies IPM, un traitement curatif à base de *B. thurigiensis* a été réalisé à détection, mais les cultures ont parfois bénéficié d'un traitement à base de deltaméthrine homologué conjointement contre les pucerons et les chenilles défoliatrices. Les IFT moyens ont été de 0,4 dans les stratégies de référence, contre 0,1 dans les stratégies IPM. Le contrôle a été bon dans les deux cas.

La lutte contre les limaces et escargots n'a pas fait l'objet d'étude dans le cadre de LILLA. Les mêmes techniques employant des dispersions localisées de granulés contenant du metaldehyde ou du phosphate ferrique ont été utilisées dans les stratégies de référence et les stratégies IPM. Néanmoins les dégâts en culture sous tunnels ont pu être importants, jusqu'à 20% de perte de récolte, que ce soit dans les parcelles de référence ou les parcelles IPM (Tableau 4).

Par ailleurs, en culture d'automne/hiver sous tunnel, des dégâts n'étant pas imputables aux

bioagresseurs peuvent affecter la croissance des laitues ou leur qualité visuelle et compromettre une partie des récoltes : dégâts de gel, d'excès de salinité, de nécroses marginales ou du cœur, et des hétérogénéités spatiales. Ces dégâts ont été fréquents dans l'échantillon étudié au cours du projet LILLA, et ils peuvent affecter une grande partie des plantes de la parcelle. Ainsi la moyenne des dégâts biotiques (2,4% en référence et 3,1% en IPM) est inférieure à la moyenne des dégâts abiotiques (6,9% en référence et 5,8% en IPM), et le pourcentage maximum de pertes de récolte liées aux dégâts biotiques (6,6% ou 20% en incluant les dégâts de limaces, en référence et 23% en IPM) est inférieur au pourcentage maximum de pertes liées aux dégâts abiotiques (72% en référence et 65% en IPM). Cette influence des pertes non liées aux bioagresseurs est une des raisons pour lesquelles, à l'échelle du projet, les différences de rendement entre les stratégies de référence et les stratégies IPM ne sont pas significativement différentes (Figure 2).

3.2 Résidus de pesticides

Les quantités de résidus détectés à la récolte ont été dans toutes les situations étudiées très inférieures aux LMR réglementaires. Le nombre de résidus détectés à la récolte a été légèrement inférieur dans les stratégies IPM. Dans le cas des essais sur les pourritures du collet, de 0 à 3 résidus ont été détectés avec une médiane de 1 et une moyenne de 1,3 dans les stratégies IPM, contre 0 à 3 résidus, avec une médiane de 2 et une moyenne de 1,7 dans les stratégies de référence. Dans le cas des essais contre l'ensemble des bioagresseurs, de 0 à 6 résidus ont été détectés avec une médiane de 3 et une moyenne de 3,2 dans les stratégies IPM, contre 1 à 6 résidus, une médiane de 4 et une moyenne de 3,9 dans les stratégies de référence. Dans les deux cas, et malgré la baisse très significative des IFT dans les stratégies IPM, les tests statistiques ne montrent pas de différence significative avec les stratégies de référence. Cette absence de différence s'explique largement par l'absence de linéarité, pour la plupart des molécules entre le nombre de traitements effectués et la détection de résidus (Tableau 5).

Tableau 5 : Fréquence (%) de détection d'une matière active en fonction de traitements (IFT) réalisés avec cette matière active (nd : non disponible ; * : échantillon inférieur à 5 observations).

| Matière active | 0 IFT | 1 IFT | >1 IFT |
|---------------------------|--------|--------|--------|
| boscalid | 11,10% | 82,90% | 100% |
| pyraclostrobine | 11,10% | 20% | 60% |
| fludioxonil | 3% | 50% | 20% * |
| cyprodinil | 3% | 60% | 40% |
| pyrimethanil | 1,80% | Nd | 100% * |
| iprodione | 1,72% | 71,43% | nd |
| fluopicolide | 0% | 30% | 75% |
| propamocarbe | 0% | 9,50% | 70% |
| folpel | 0% | 50% | 50% |
| mancozèbe | 5,90% | 53,90% | 63,60% |
| fosetyl hors phosphonates | 12,50% | Nd | 57% |
| phosphonates | nd | Nd | 53% |
| spirotetramate | 0% | 40% | 20% * |
| acetamipride | 4% | 42,90% | nd |
| pirimicarbe | 0% | 0% | nd |
| deltamethrine | 2,10% | 0% | 50% * |
| lambda-cyhalothrine | 0% | 0% | nd |

Pour beaucoup de matières actives, en particulier les fongicides, des résidus sont retrouvés avec une seule application de la molécule : passer de deux, voire trois applications, à une seule n'influence pas la détection de la molécule. Les dates auxquelles les fongicides ont été supprimés ont été variables d'un site à l'autre, et la multiplication des combinaisons de dates de traitement x molécule ne permettent pas de faire un lien entre la date du dernier traitement et le risque d'apparition de résidu à la récolte. Par ailleurs, pour plusieurs matières actives, un taux non négligeable de détection a été observé alors qu'aucun traitement n'avait été réalisé. Trois causes principales peuvent être avancées : une persistance du produit dans le sol après un traitement lors de la culture précédente, une dérive des produits d'une parcelle à une autre, ou un mauvais rinçage des cuves entre deux traitements sur des parcelles différentes.

3.3 Analyse économique

Une analyse coût/bénéfice des différents systèmes étudiés a été effectuée sur une partie des essais réalisés entre 2012 et 2014 (Kouchoanou, 2014). Seules les principales conclusions seront rappelées ici. Les charges totales ont été estimées suivant les situations entre 30 000 €/ha et 35 000 €/ha, réparties pour environ 1/3 en main d'œuvre, 1/3 en approvisionnement, et 1/3 en amortissement. Certaines techniques induisent des différences de charge d'approvisionnement et de main d'œuvre parfois significatives. Elles peuvent augmenter fortement avec certains traitements de lutte biologique, l'utilisation de l'irrigation au goutte à goutte, et la prophylaxie au sens large (en particulier la surveillance accrue des cultures). Elles peuvent également diminuer du fait d'un usage plus faible de produits sanitaires et éventuellement d'un plus faible nombre de plants si la densité de plantation est diminuée. Le coût de la lutte biologique contre les champignons et les noctuelles est généralement compris entre 100 et 500 €/ha en fonction du nombre de traitements, mais les solutions testées contre les pucerons, parasitoïdes ou prédateurs, peuvent être beaucoup plus onéreuses. Le coût d'un lâcher de chrysopes a été estimé à 650 €/ha, ce qui, si les lâchers doivent être répétés au cours de la culture, pèse lourd dans les charges totales. D'une manière générale, le coût des pesticides reste très faible par rapport à l'ensemble des charges, et leur diminution de moitié ne peut faire espérer un gain que de 200 à 350 €/ha environ. Le rapport de valeur entre le prix du plant et le prix de la salade récoltée étant d'environ 1 à 5, une diminution de la densité de plantation de 15% (et donc du nombre de salades vendues par hectare) est loin d'être compensée par le coût plus faible de plants et les coûts salariaux réduits de plantation et de récolte. Il n'a pas été possible d'évaluer au cours du projet l'intérêt d'un point de vue sanitaire des itinéraires à densité réduite. En revanche, comme cela a été indiqué précédemment, l'irrigation au goutte à goutte présente un réel intérêt agronomique et environnemental en culture de laitue sous abri, pour un coût représentant 2.9% des charges totales. Une étude économique plus avancée, incluant les externalités négatives associées à l'irrigation par aspersion (gaspillage d'eau et d'engrais, pollutions, usage accru de fongicides pour maîtriser les maladies), mériterait d'être menée.

Les variations de charge de production de 15% maximum pour des itinéraires techniques intégrant l'ensemble des leviers discutés ici restent cependant assez modestes au regard des variations de revenus issus de la culture. Une première raison est que les taux de pertes peuvent, on l'a vu précédemment, être importants. Une seconde raison est que les prix de vente connaissent des fluctuations très rapides, et de grande ampleur. Elles sont causées par plusieurs phénomènes liés à l'offre (production et concurrence entre bassins de production à l'échelle française ou européenne, conditions climatiques dans ces différents bassins) et à la demande (instabilité, effets de substitution entre produits), et aboutissent couramment à des écarts de prix payé au producteur de 20 à 40% en quelques semaines. L'incertitude causée par ces variations de prix, pouvant aboutir à des coûts supérieurs aux revenus, n'incite pas à prendre des risques sur la mise en place de stratégies moins consommatrices de pesticides. Beaucoup de producteurs font varier leur date de récolte de quelques jours en fonction des variations de cours. Ainsi les stratégies de diminution de la lutte chimique doivent tenir compte d'un besoin éventuel de laisser « traîner » les laitues au champ en attendant des prix

favorables. Ces contraintes économiques peuvent augmenter le risque sanitaire. A l'inverse, en cas de marché favorable, les laitues peuvent être récoltées de manière anticipée, avec un poids plus faible, pour éviter ce risque sanitaire, en particulier en agriculture biologique. La mise en marché en 4^{ème} gamme, avec un prix payé au poids convenu à l'avance par contrat, permet aux producteurs de s'affranchir de ce risque sur les cours, mais ils doivent dans ce cas fournir une production avec une qualité exigée pour la 4^{ème} gamme, ce qui n'est pas favorable à une prise de risque en matière de protection contre les bioagresseurs. Les résultats du projet LILLA montrent toutefois que les leviers techniques envisagés et la réduction des intrants (eau, engrais, pesticides) par rapport aux pratiques observées ne pénalisent pas le poids des plantes récoltées, ce qui rend ces leviers compatibles avec une valorisation en 4^{ème} gamme. En revanche, la présence de corps étrangers liés à une moindre protection chimique ou l'utilisation de prédateurs ou parasitoïdes peut s'avérer défavorable à une valorisation en 4^{ème} gamme.

Conclusions

Le projet LILLA a mis en œuvre pendant six ans, grâce au concours financier du programme Ecophyto DEPHY EXPE, un ensemble d'expérimentations, visant soit à évaluer des leviers techniques particuliers, soit à évaluer des combinaisons de techniques de culture dans des essais « systèmes », ayant en commun l'objectif de diminuer le recours à la protection chimique préventive en culture de laitue sous abri.

Les essais en conditions contrôlées ont montré que les variétés modernes de laitue, tout en assurant une protection optimale contre le *mildiou*, sont insuffisamment résistantes aux pourritures du collet, alors qu'une biodiversité pour ce caractère existe chez la laitue. Les variétés que nous avons identifiées comme peu sensibles sont des variétés anciennes et non adaptées aux cultures sous abri actuelles, mais elles peuvent servir de géniteurs pour des sélections futures. L'introduction à l'avenir dans les variétés de laitue de caractères de résistance aux champignons nécrotrophes, et la culture de ces variétés dans des environnements abiotiques défavorables à ces champignons devraient permettre de limiter le recours aux fongicides. Le projet LILLA a montré qu'une diminution de 50% au moins des fongicides anti-pourritures, par rapport à des stratégies actuelles basées sur deux ou trois traitements préventifs, ne présentait pas de risque élevé. La modération du risque a été permise en associant les variétés modernes qui présentaient une moindre sensibilité en laboratoire, des agents de biocontrôle, des réductions de fertilisation azotée, une irrigation au goutte à goutte, et des mesures de prophylaxie (gestion de l'aération des abris, retrait des plantes infectées). Des résistances quantitatives accrues contre ces champignons permettraient d'entrevoir un abandon complet des fongicides, ce qui n'est pas acceptable actuellement au regard des conditions socio-économiques. Contre le mildiou, le remplacement de la moitié des fongicides par des phosphonates, autorisés en biocontrôle et posant moins d'interrogations sur leurs impacts environnementaux, avec des variétés présentant le spectre maximum de résistances, n'a pas généré d'épidémies. Certains leviers comme la prophylaxie ou l'usage du goutte à goutte peuvent également contribuer à limiter les risques. Un moindre usage de fongicides passera probablement à l'avenir par une évaluation plus fine du risque épidémique, en particulier la détection précoce d'inoculum dans l'environnement, avec par exemple des techniques de biologie moléculaire de routine. Ces techniques seront également profitables dans la lutte contre de nombreux microorganismes, biotrophes ou nécrotrophes.

Les pucerons peuvent causer des dégâts pendant presque toute la saison sous abri, et les stratégies chimiques préventives se sont montrées statistiquement meilleures pour prévenir des dégâts sur les récoltes que des luttes chimiques curatives à détection. La lutte biologique par conservation s'avérant difficile à mettre en œuvre sous abri en automne/hiver, des efforts doivent être poursuivis pour trouver des solutions efficaces de lutte par inondation avec les auxiliaires. Les noctuelles défoliatrices ont, dans

les conditions de production étudiées, été correctement maîtrisées par un produit de biocontrôle appliqué à la détection des premières larves, en remplacement d'un programme préventif systématique.

Les dégâts causés par les bioagresseurs étudiés dans le cadre du programme LILLA se sont avérés modérés, même en cas de réduction forte de pesticides, en comparaison d'autres dégâts biotiques (limaces et escargots) ou abiotiques (gel, nécroses) provoquant des pertes de plantes ou des impacts visuels rendant les plantes non commercialisables. Economiquement, les différents leviers proposés, pour substituer à la lutte chimique des solutions plus durables, ont des coûts variables, mais globalement ne comptent pour pas plus de 15% des charges de productions mesurées. Ainsi, une légère valorisation commerciale supplémentaire des laitues produites en limitant le recours aux pesticides, bien inférieure aux prix offerts en agriculture biologique, pourrait inciter les producteurs conventionnels à recourir davantage aux techniques alternatives.

Remerciements

Action pilotée par le ministère chargé de l'agriculture et le ministère chargé de l'environnement, avec l'appui financier de l'Agence Française pour la Biodiversité, par les crédits issus de la redevance sur les pollutions diffuses attribuées au financement du plan Ecophyto. Ce projet a reçu un soutien financier du GIS Piclég, qui est chaleureusement remercié ici.

Les auteurs remercient les exploitants agricoles partenaires du projet, M. Ayme, M. Brès, M. Amiguas, et M. Villa pour la confiance qu'ils nous ont accordée. Ils remercient la société Green Produce, en particulier M. Jacobsen et M. Dorel qui ont été à l'initiative du projet et de la bourse de doctorat CIFRE associée. Nous remercions également les sociétés semencières et le CRB légumes de l'unité INRA GAFL qui ont fourni des graines pour les essais de phénotypage de résistance. Les auteurs remercient chaleureusement les personnels des installations expérimentales des unités PSH et Pathologie Végétale de l'INRA (en particulier F. De Bruyne, J. Béraud, M. Pascal) pour la mise en place et la conduite des essais, l'équipe expérimentale du CTIFL de Lanxade, ainsi que les stagiaires qui ont participé au projet : S. Hatt et T. Kouchoanou. Ils remercient enfin les membres du comité de pilotage, en particulier L. Camoin du réseau DEPHY Ferme et C. Eckert, coordinatrice du réseau DEPHY légumes, pour leur soutien et leur expertise.

Références bibliographiques

- Agreste, 2019. Agreste Infos Rapides – Légumes – Laitue – janvier 2019 - n°2019 – 009.
- Barriere V., Lecompte F., Nicot P., Maisonneuve B., Tchamitchian M., Lescourret F., 2014. Lettuce cropping with less pesticides. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34, 175-198.
- Barriere V., Lecompte F., Lescourret F., 2015. Efficacy of pest and pathogen control, yield and quality of winter lettuce crops managed with reduced pesticide applications. *Eur. J. Agron. European*, 71, 34-43.
- Blancard D., Lot H., Maisonneuve B., 2003. Maladies des salades. Identifier, connaître et maîtriser. INRA éditions, Paris.
- Christy G., 2016. Salades. Bilan de l'offre, perception des distributeurs et des consommateurs. Série Les études économiques. CTIFL Editions, Paris.
- Glazebrook J., 2005. Contrasting mechanisms of defense against biotrophic and necrotrophic pathogens. *Annual Review of Phytopathology*, 43, 205-227.
- Kouchoanou T., 2014. Analyse économique de systèmes de cultures moins dépendantes en produits phytosanitaires : Cas de la laitue d'hiver dans le Sud-Est de la France. Rapport de fin d'étude. Master Sciences de la mer et du littoral, spécialité Economie appliquée. Agrocampus Ouest – Université de Bretagne Occidentale. 42p.

Kunjeti S.G., Anchieta A., Martin F.N., Choi Y.J., Thines, M., Michelmore R.W., Koike S.T., Tsuchida C., Mahaffee W., Subbarao K.V., Kloseiman S.J., 2016. Detection and quantification of *Bremia lactucae* by spore trapping and quantitative pcr. *Phytopathology*, 106, 1426-1437.

Lacey L.A., Frutos R., Kaya H.K., Vail P., 2001. Insect pathogens as biological control agents: Do they have a future? *Biological Control*, 21: 230-248.

Lecompte F., 2012. Management of soil nitrate heterogeneity resulting from crop rows in a lettuce–tomato rotation under a greenhouse. *Agronomy for Sustainable Development*, 32: 811-819.

Lecompte F., Abro M.A., Nicot P.C., 2013. Can plant sugars mediate the effect of nitrogen fertilization on lettuce susceptibility to two necrotrophic pathogens: *Botrytis cinerea* and *Sclerotinia sclerotiorum*? *Plant and Soil*, 369, 387-401.

Lecompte F., Maisonneuve B., Nicot P.C. 2016. Sensibilité des variétés de laitue aux pourritures du collet. Les priorités de sélection en laitue conduisent-elles à une érosion de la résistance aux champignons phytopathogènes agents de la pourriture du collet *Botrytis cinerea* et *Sclerotinia sclerotiorum* ? *Phytoma*, Décembre 2016, 43-47.

Malezieux E., Crozat Y., Dupraz C., Laurans M., Makowski D., Ozier-Lafontaine H., Rapidel B., de Tourdonnet S., Valantin-Morison M., 2009. Mixing plant species in cropping systems: Concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 43-62.

Michelmore R., Wong J., 2008. Classical and molecular genetics of *Bremia lactucae*, cause of lettuce downy mildew. *European Journal of Plant Pathology*, 12, 19-30.

Poland J.A., Balint-Kurti P.J., Wisser R.J., Pratt R.C., Nelson R.J., 2009. Shades of gray: The world of quantitative disease resistance. *Trends in Plant Science*, 14, 21-29.

Reuveni R., Reuveni M., 1998. Foliar-fertilizer therapy - a concept in integrated pest management. *Crop Protection*, 17, 111-118.

Shrestha G., Skovgard H., Enkegaard A., 2014. Parasitization of commercially available parasitoid species against the lettuce aphid, *Nasonovia ribisnigri* (hemiptera: Aphididae). *Environmental Entomology*, 43, 1535-1541.

Stapleton J.J., 2000. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Protection*, 19, 837-841.

de Tourdonnet S., 1998. Maîtrise de la qualité et de la pollution nitrique en production de laitues sous abri plastique: Diagnostic et modélisation des effets des systèmes de culture. Thèse de docteur ingénieur, Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris. 192 p.

Vos C.M.F., De Cremer K., Cammue B.P.A., De Coninck B., 2015. The toolbox of *Trichoderma* spp. in the biocontrol of *Botrytis cinerea* disease. *Molecular Plant Pathology*, 16, 400-412.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).