



Mémoire de stage

Le mildiou de l'artichaut

Positionnement des traitements fongicides en fonction d'un modèle de prévision des risques

Tests d'efficacité de produits alternatifs



**Maître de stage
Tuteur pédagogique**

**Solenn PÉRENNEC
Marjorie UBERTOSI**

**Adélie STEPHAN
Promotion
2013/2014**

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique du master ERE pour m'avoir permis de réaliser ce stage. Je remercie tout particulièrement Marjorie Ubertosi, ma tutrice, pour les précieux conseils qu'elle a su me prodiguer et pour le temps qu'elle passera dans la relecture de ce rapport.

Merci à Solenn Pérennec, ma Maître de stage, pour sa bonne humeur, son soutien et le temps qu'elle a su m'accorder tout au long de mon stage. Merci d'avoir partagé avec moi toutes tes connaissances et de m'avoir accordé ta confiance.

Merci à Claudie Monot pour sa gentillesse et sa pédagogie. J'ai adoré travailler avec toi au laboratoire, j'y ai appris énormément grâce à ton savoir et tes conseils.

Merci à Jean-Michel Collet, pour son humour et sa disponibilité au quotidien. Grâce à tes conseils et ta motivation, les essais au CATE ont pu être réalisés avec méthode et rigueur.

Enfin, je tiens à exprimer mes profonds remerciements à tous les membres des équipes avec qui j'ai eu la chance de travailler, ceux de la Chambre d'Agriculture, de Vegenov et du CATE. Ils ont su travailler de concert et avec énergie pour faire avancer la lutte contre le mildiou de l'artichaut et cette collaboration a été essentielle dans la bonne réalisation de ce stage. A tous, merci pour votre accueil et l'ensemble de vos conseils, vous avez su me transmettre la passion de vos métiers.

SOMMAIRE

Introduction générale Contexte

I.	Le pathosystème	2
1.	La plante hôte : l'artichaut (<i>Cynara scolymus</i> L.)	2
2.	Généralités sur les problèmes phytosanitaires rencontrés sur <i>C. scolymus</i> en Bretagne	4
3.	L'agent pathogène : le mildiou (<i>Bremia lactucae</i> Regel)	5
II.	Des pratiques conventionnelles vers de nouveaux moyens de lutte	8
1.	Les Stimulateurs de Défenses des Plantes (SDP)	8
2.	Les Outils d'Aide à la Décision	9
III.	Le projet	10

Partie I. Le modèle Milart Matériel et méthodes

I.	Les plans d'expériences	11
II.	Essai en station expérimentale	12
1.	Objectifs et conditions de réalisation	12
2.	Dispositif expérimental	12
3.	Notation	14
III.	Essai chez les producteurs	15
1.	Objectifs et conditions de réalisation	15
2.	Dispositif expérimental	15
3.	Mise en place des réseaux	16

Résultats

I.	Traitement des données d'indices de maladie	17
1.	Notation des indices de maladie	17
2.	Traitement statistique	17
3.	Réseau producteur	18
4.	Réseau drageon	20
5.	Résultats au CATE	21
II.	Traitement des données de rendements	23
1.	Notation des rendements	23
2.	Traitement statistique	23
3.	Résultats des réseaux producteur	24
4.	Résultats au CATE	24

Discussion

I.	Discussion sur la fiabilité du modèle	26
II.	Discussion autour de l'indice de maladie	26
III.	Discussion autour des rendements	27
IV.	Impact sur les pratiques des producteurs	27

Conclusion de partie

Partie II. Produits alternatifs aux fongicides classiques

Matériels et méthodes

I.	Test de moyens de lutte alternatifs au fongicides classiques.....	29
1.	Test d'efficacité en laboratoire	29
2.	Test en conditions semi-contrôlées	31

Résultats et discussion

II.	Test d'efficacité en laboratoire	33
1.	Traitement des résultats.....	33
2.	Essai labo n°1	34
3.	Essai labo n°2	36
4.	Essai labo n°3	36
5.	Essai labo n°4	37
6.	Conclusion générale.....	39
III.	Test en conditions semi-contrôlées	40
1.	Essai CATE n°1	40
2.	Essai CATE n°2	42
3.	Essai CATE n°3	44
5.	Essai CATE n°4	45
6.	Conclusion générale.....	46

Conclusion Générale

Bibliographie.....	49
--------------------	----

Organismes d'accueil



J'ai réalisé mon stage au sein de la **Chambre d'Agriculture du Finistère** à l'antenne de Saint-Pol-de-Léon. Elle fait partie des 4 chambres d'agriculture départementales de Bretagne incluses dans un réseau régional et national. C'est un établissement consulaire dirigé par des représentants élus au suffrage universel tous les 6 ans, l'actuel président est André Sergent. Les élus sont des représentants du monde agricole (chefs d'exploitation, exploitants, salariés, propriétaires et groupements professionnels agricoles), ils pilotent les Chambres, défendent les intérêts du secteur agricole et mettent en place des projets de développement local.

La Chambre d'Agriculture a deux grands objectifs. Elle représente tout d'abord les intérêts des agriculteurs auprès des acteurs publics en créant un lien entre les producteurs et l'État, les collectivités territoriales et les établissements publics. Ensuite, elle participe au développement des filières agricoles et des territoires ruraux, en créant des services ouverts à l'ensemble des agriculteurs et par la diffusion d'informations et de l'aide individuelle.

La chambre d'Agriculture du Finistère a été créée en 1927 et les premiers services techniques pour les agriculteurs ont été mis en place en 1954. L'antenne de Saint-Pol-de-Léon travaille auprès de la filière légumière du département. Elles sont constituées d'un responsable et de cinq conseillers légumiers, proches des producteurs, spécialisés en fonction du type de légume produits : chou, échalote, pomme de terre, salade, artichaut, légumes issus de l'agriculture biologique etc. Ils effectuent à la fois un travail de terrain, de conseil et d'expérimentation. Deux conseillères en entreprise accompagnent les producteurs dans les différentes étapes de mise en place de leur installation, dans le suivi des exploitations et notamment la gestion des difficultés financières. Elles travaillent aussi sur l'accompagnement des porteurs de projets d'accueil à la ferme, de circuit court ou encore de transformation à la ferme. En ce sens, elles travaillent à la mise en valeur du monde agricole auprès des particuliers.



J'ai aussi pu participer à un projet de tests d'efficacité de produits alternatifs aux fongicides classiques dans l'entreprise **Vegenov** à Saint Pol de Léon.

Créée en 1989, Vegenov a développé des compétences en R&D en biotechnologies appliquées à la création variétale, l'évaluation de produits de protection des plantes et évaluation de la qualité des produits végétaux. Pour cela, plusieurs équipes travaillent ensemble en biologie cellulaire, biologie moléculaire, évaluation sensorielle et nutritionnelle et phytopathologie dans laquelle j'ai réalisé une partie de mon stage.

L'entreprise réalise des travaux sur une cinquantaine d'espèces et dispose de très bon équipements : 1 000 m² de laboratoire, 1 000 m² de salles de culture climatisées et de serres de recherche, des équipements de biologie moléculaire et un laboratoire NS3 (laboratoire confiné de pathologie végétale).



Enfin, j'ai réalisé des essais sous abris et au champ à la station expérimentale agronomique du **CATE** à Saint Pol-de-Léon. Elle a été créée en 1965 et dispose aujourd'hui de moyens permettant de conduire des projets régionaux et nationaux : 16 hectares de culture, 9 000 m² de serres, 16 cases lysimétriques, 4 cellules de conservation post-récolte, une station météorologique et d'autres équipements spécialisés. Le CATE conduit des programmes

d'expérimentation en légumes de plein champ (artichaut, chou-fleur, échalote, salade, etc.), sous serre et en culture hors-sol (tomate), en horticulture ornementale et champignons cultivés (lentilles, pleurotes, etc.). Les différents thèmes d'expérimentation abordés par la station sont la fertilisation raisonnée, la protection phytosanitaire et la Protection Biologique Intégrée, les techniques de culture, la diversification variétale et la préservation de la qualité des produits post-récolte. Enfin, le CATE publie un bulletin régional d'information technique, « Aujourd'hui et Demain », chaque trimestre à destination des producteurs des zones légumières de Bretagne.

Glossaire

AOP : Association d'Organisations de Producteurs

CATÉ : Comité d'Action Technique et Économique

CERAFEL : Comité Économique Agricole Régional « Fruit Et Légume »

DAR : Durée Avant Récolte

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

LMR : Limite Maximale de Résidu

OAD : Outil d'Aide à la Décision

OBS : Organisation Bretonne de Sélection

OP : organisation de Producteurs

SICA : Société d'Initiative et de Coopération Agricole

UCPT : Union des Coopératives de Paimpol et Tréguier

Table des figures

Figure 1. Répartition de la production française d'artichaut en France en 2012. La production totale s'élève à 42 345 tonnes (FranceAgriMer, 2012).....	1
Figure 2. Diagrammes ombrothermiques des bassins de production d'artichauts créés à partir des moyennes de température et de pluviométrie de 1967 à 2013. <u>À gauche</u> : données de Perpignan (66) issues de la Chambre d'Agriculture des Pyrénées orientales. <u>À droite</u> : données de Saint-Pol-de-Léon (29) issues de la Chambre d'Agriculture du Finistère.....	3
Figure 3. Itinéraire culturel de l'artichaut en Bretagne (données issues de la fiche technique élaborée par le Comité de développement des agriculteurs et la chambre d'agriculture du Finistère en février 2014).....	3
Figure 4. Effets de la température et du temps de mouillure des feuilles sur le taux de germination des spores de <i>B. lactucae</i> sur laitue (Scherm, 1993).....	6
Figure 5. Cycle de vie de <i>Bremia lactucae</i> sur la laitue (<i>Lactuca sativa</i> L.) (Padgett Johnson et Laemmlen).....	7
Figure 6. Tissus foliaires de laitue (<i>L. sativa</i>) infestés par <i>B. lactucae</i> colorés au bleu coton. <u>A.</u> <i>Haustoria</i> . <u>B.</u> émergence d'un conidiophore par un stomate du tissu foliaire (Roland, 1997).....	7
Figure 7. Le modèle gène-à-gène de résistance des plantes (inspiré de Xu, 2011).....	8
Figure 8. Dispositif en bloc de Fisher de l'essai en station expérimentale sur retours de Castel. <u>A gauche</u> : schéma de la parcelle expérimentale. <u>A droite – haut</u> : Photo de la parcelle. <u>A droite – bas</u> : photo du bloc a.....	13
Figure 9. Dispositif en bloc de Fisher de l'essai en station expérimentale sur drageons de Castel. <u>A gauche</u> : schéma des parcelles expérimentales (les plants non traités ne sont pas représentés). <u>A droite – haut</u> : Photo de la parcelle avec les trois premier blocs. <u>A droite – bas</u> : photo de la parcelle avec le bloc d.....	14
Figure 10. Relation entre le diamètre de la tige et le poids du capitule. 2010.....	14
Figure 11. Graphes de l'évolution du mildiou au cours du temps sur les parcelles de retours- réseau producteur. Attention, les échelles sont différentes selon les graphes et l'intensité de la maladie.....	18
Figure 12. Répartition des surfaces foliaires attaquées en fonction de la modalité sur l'ensemble des parcelles du réseau retour.....	19
Figure 13. Graphes de l'évolution du mildiou au cours du temps sur les parcelles de drageons- réseau producteur. Attention, les échelles en y sont différentes selon les graphes et l'intensité de la maladie.....	20
Figure 14. Evolution du mildiou au cours du temps sur la parcelle de retour de Castel au CATE.....	21
Figure 15. Graphique de la répartition des indices de maladies sur les étage inférieur (à gauche) et supérieur (à droite) en fonction de la modalité sur les plants de retours de l'essai du CATE.....	22
Figure 16. Résultats des mesures effectuées au CATE sur les diamètres des hampes florales et le poids des capitules.....	23
Figure 17. Représentation en boîte à moustache des rendements calculés par producteur, quelque soit la modalité.....	24
Figure 18. Résultat de l'ANOVA à un facteur sur les rendement réels (modele, producteur et tnt pour le témoin non traité) et potentiels (modele_max, producteur_max et tnt_max) des 4 blocs sous forme de boîte de dispersion. Les lettres identiques au dessus des boîtes à moustache signifient des groupes sans différence significative.....	24
Figure 19. Résultat de l'ANOVA à un facteur sur les rendement réels par bloc sous forme de boîte de dispersion. Les lettres différentes au dessus des boîtes signifient des groupes significativement différents.....	25
Figure 20. Résultat de l'ANOVA à un facteur sur les rendement potentiels par bloc sous forme de boîte de dispersion. Les lettres différentes au dessus des boîtes signifient des groupes significativement différents.....	25
Figure 21. Protocole des tests d'efficacité effectués à Vegenov.....	31
Figure 22. Protocole du 1 ^{er} test d'efficacité effectué au CATE.....	33
Figure 23. Essais labo 1. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).....	34
Figure 24. Essai Labo 1 – notations 1 et 2. Efficacité des produits par rapport à l'eau (%) (\pm l'écart type à la moyenne).....	34
Figure 25. Essai Labo 1 - notations 1 et 2. Résultat du test du χ^2	35
Figure 26. Essai labo 3. Indices moyens de maladie des différentes modalités (%) (\pm l'écart type à la moyenne).....	36
Figure 27. Essai labo 3. Pourcentage d'efficacité des produits testés par rapport à l'eau (\pm l'écart type à la moyenne).....	36
Figure 28. Essai labo 3. Résultat du test du χ^2	37
Figure 29. Essai labo 4. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).....	37
Figure 30. Essai labo 4. Efficacité des produits testés par rapport à l'eau (%) (\pm l'écart type à la moyenne).....	38
Figure 31. Essai labo 4. Résultat du test du χ^2	38
Figure 32. Essai CATE 1. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).....	40
Figure 33. Essai CATE 1. Résultat du test du χ^2 (Opal et Cardon).....	41
Figure 34. Essai CATE 1. Effet bloc observé entre les différentes répétitions de variété Opal (<u>à gauche</u>) et Cardon (<u>à droite</u>).....	41

Figure 35. Essai CATE 2. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).....	42
Figure 36. Essai CATE 2. Résultat du test du Khi ²	42
Figure 37. Essai CATE 2. Effet bloc observé. Ecart-type = 0,89. Les b signifient « blocs »	43
Figure 38. Essai CATE 3. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).....	44
Figure 39. Essai CATE 3. Résultat du test du Khi ²	44
Figure 40. Essai CATE 4. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).....	45
Figure 41. Essai CATE 4. Résultat du test du Khi ²	45
Figure 42. Essai CATE 2. Effet bloc observé. Ecart-type = 1,3. Les b signifient « bloc ».....	45

Table des photos

Photo 1. Enjambeur (photo prise à Guimaëc, 2014, Adélie Stephan).....	4
Photo 2. <u>A gauche</u> : pucerons verts sur la face inférieure d'une feuille d'un plant de retour de Castel. <u>A droite</u> : fumagine sur les feuilles inférieures d'un plant de drageon de Castel. (Photos prises Lanhouarneau, 2014, Adélie Stephan).....	5
Photo 3. Larve de coccinelle sur une jeune feuille de drageon de Castel. Photo prise par Adélie Stephan, 2014.....	5
Photo 4. Maladies rencontrées sur artichaut. <u>A gauche</u> : capitule de drageon de Castel attaqué par Pseudomonas cichorii. <u>Au centre</u> : capitule de drageon de Castel touchée par la graisse (Xanthomonas cynarae). <u>A droite</u> : Face supérieure d'une feuille de drageon de Castel touchée par du mildiou (Bremia lactucae).....	5
Photo 5. Symptômes de mildiou observés sur la face supérieur (à gauche) et inférieure (à droite) d'une feuille de retour de Castel.....	6
Photo 6. Mesure du diamètre de la hampe florale d'un capitule mère grâce au pied à coulisse. Photo prise sur retour de Castel, Adélie Stephan, 2010.....	14
Photo 7. Deux types de zones modèles, jalonnées, dans les parcelles des producteurs pour l'expérimentation en plein champ. <u>A gauche</u> : zone modèle rectangulaire de 12 rangs sur une cinquantaine de mètre. <u>A droite</u> : zone modèle de 6 rangs sur toute la longueur de la parcelle. Photos prises par Adélie Stephan, 2014.....	16
Photo 8. Exemples de symptômes de phytotoxicité observés sur artichauts de variété Opal. <u>A.</u> Taches brunes et jaunissement du cotylédon sur un plant de la modalité « P13B35 » lors de l'essai en laboratoire n°1. <u>B.</u> Nécrose des cotylédons d'un plant de la modalité « P10A04 » de l'essai en laboratoire n°1. <u>C.</u> Début de nécrose des cotylédons de plants de la modalité « P12JD04 » de l'essai en laboratoire n°3.....	30
Photo 9. Mini-serres de l'essai en laboratoire n°1 mis en chambre de culture après inoculation. Chaque mini-serre représente une répétition.....	31
Photo 10. Spores de Bremia lactucae observées sur une lame de Malassez au microscope électronique.....	31
Photo 11. Essai CATE 1. Etat des plants une semaine après l'inoculation. De gauche à droite : Cardons, Opal, Violet de Provence.....	41
Photo 12. Essai CATE 3. Stade des plants lors du 2 ^{ème} traitement. Les 2 nouvelles feuilles qui ont poussées entre les 2 traitements sont attachées.....	44
Photo 13. Essai CATE 3. Dispositif expérimental.....	44

Table des tableaux

Tableau 1. Fertilisation minérale des drageons selon différents types de précédents (chambres d'agriculture de Bretagne, 2013).....	4
Tableau 2. Parcelles du réseau retours.....	16
Tableau 3. Parcelles du réseau drageons.....	17
Tableau 4. Rendements des parcelles de retours du réseau producteur.....	24
Tableau 5. Rendements des parcelles de retours du réseau producteur.....	25
Tableau 6. Traitement effectués sur les parcelles de retours de Castel au CATE et sur le réseau producteur de retours... ..	28
Tableau 7. Liste des produits testés dans les essais en laboratoire	29
Tableau 8. Echelle de notation du mildiou de l'artichaut sur cotylédons	30
Tableau 9. Liste des produits testés dans les essais en conditions semi-contrôlées.....	32
Tableau 10. Echelle de notation du mildiou de l'artichaut sur feuille	32
Tableau 11. Résumé des résultats obtenus lors des essais en laboratoire (IM).....	39
Tableau 12. Résumé des résultats obtenus lors des essais en station expérimentale sous abris (IM).....	47

Introduction générale

L'artichaut (*Cynara scolymus* L.) appartient à la famille des Astéracées comprenant des plantes alimentaires (tournesol, endive, laitue) et médicinales (arnica, bardane, achillée millefeuille). Cette plante est cultivée pour son capitule immature dont la base tendre des bractées, souvent appelées « feuilles », et le réceptacle ou « fond » sont comestibles. (Fratianni et al., 2007 ; Saleh, 2003).

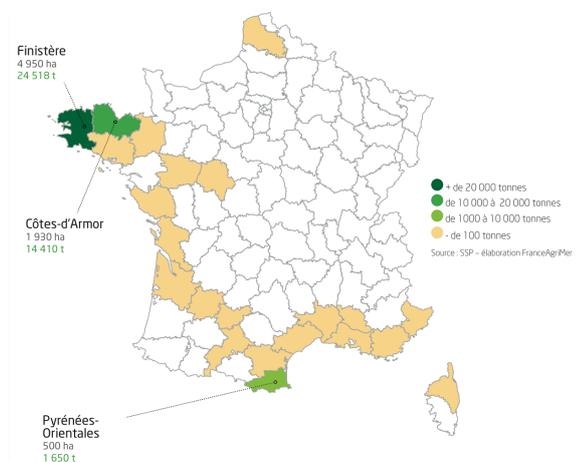


Figure 4. Répartition de la production française d'artichaut en France en 2012. La production totale s'élève à 42 345 tonnes (FranceAgriMer, 2012).

À l'échelle mondiale, la production d'artichaut est longtemps restée cantonnée au bassin méditerranéen, puis elle s'est développée dans les aires de mêmes latitudes, propices à un bon développement des plants comme au Pérou ou en Argentine (Fourey, 1987). Le premier pays producteur est l'Égypte avec près de 390 000 tonnes d'artichauts produites en 2012. La France se classe 10^{ème} au niveau mondial et 3^{ème} au niveau européen après l'Italie et l'Espagne. Grâce à une production de plus de 42 000 tonnes de capitules en 2012, la France est le premier exportateur européen (CTIFL, 2010 ; faostat.fao.org ; FranceAgriMer, 2012). Il existe deux grands bassins de production métropolitains, la Bretagne et le Languedoc Roussillon. Le Finistère représente quant à lui plus de 50% de la production nationale concentrée essentiellement dans le pays du Léon, au Nord-Ouest du département (figure 1). La production d'artichauts représente donc une part importante de la filière légumière bretonne. Le CERAFEL est l'AOP bretonne (cerafel.com). Base de l'organisation légumière bretonne, il gère et régule les marchés, met en avant les fruits et légumes régionaux grâce à la marque « Prince de Bretagne » et

noue des partenariats avec les structures régionales de recherche et développement : le Caté (station expérimentale), l'OBS (production de semences), Vegenov (laboratoire de sciences du végétal) et la chambre d'agriculture (Prince de Bretagne, 2009). Les différents membres de la filière légumière bretonne interagissent afin de faire évoluer les pratiques vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement.

Les problèmes sanitaires touchant les parcelles sont suivis toutes les semaines par l'équipe de la chambre d'agriculture et transmis aux producteurs via le Bulletin de Santé du Végétal. Les dégâts les plus importants sur l'artichaut dans le Finistère sont causés par des ravageurs (limaces, chenilles, pucerons), des bactéries (graisse, bactériose), des champignons (mildiou) et des virus. Un des problèmes sanitaires devenu majeur ces dernières années en Bretagne est le développement du mildiou de l'artichaut causé par l'Oomycète *Bremia lactucae* Regel, parasite obligatoire (Collet, 2013).

Suite au Grenelle de l'environnement en 2007 et à l'adoption du plan « Ecophyto 2018 », l'objectif de réduction de l'utilisation de produits phytosanitaires de 50% d'ici à 2018 a été lancé. L'application de fongicides pour lutter contre le mildiou de l'artichaut est souvent trop importante et mal positionnée par rapport au cycle de l'Oomycète, par manque de produits efficaces et d'outils d'aide à la décision pour le producteur. C'est dans ce cadre que mon stage a été réalisé. Le premier objectif a été de mettre en valeur un nouvel outil de positionnement des traitements fongicides auprès des producteurs : le modèle de prévision des risques du mildiou de l'artichaut « Milart ». L'objectif suivant était de tester des produits alternatifs aux fongicides classiques nocifs pour l'homme et l'environnement : Stimulateurs de Défense de Plantes (SDP) ou autres produits souvent à base d'extraits naturels. Dans ce mémoire sont décrits les protocoles et les résultats des différents essais menés dans le but de lutter contre le mildiou de l'artichaut de manière raisonnée :

- Un essai chez les producteurs consistant à suivre un réseau de parcelles étendu sur le territoire du Léon et du Trégor. Sur chaque parcelle, les modalités « producteur » et « modèle » ont été mises en place afin de valider l'efficacité du modèle Milart en conditions réelles.
- Des tests d'efficacité de produits ont été réalisés en laboratoire (à Vegenov) dans le but de trouver des produits alternatifs aux fongicides actuels.
- Des essais en station expérimentale (CATÉ) ont été suivis afin de vérifier l'efficacité du modèle Milart dans des conditions semi-contrôlées d'une part et de valider l'efficacité des produits testés en d'autre part.

I. Le pathosystème

1. La plante hôte : l'artichaut (*Cynara scolymus* L.)

i. Biologie, histoire et bienfaits

L'artichaut (*Cynara scolymus* L.) est une plante dicotylédone herbacée de la famille des Astéracées. Cette plante pérenne en rosette appartient au genre *Cynara* qui trouve ses origines dans le bassin méditerranéen. Sa récente domestication a eu lieu en Tunisie et dans le Sud de l'Espagne après une pression de sélection qui l'a différencié de l'espèce sauvage *Cynara cardunculus* (L.), le cardon. Il a été introduit en France au début du XVI^{ème} siècle lors de la guerre d'Italie; à cette époque, l'artichaut était multiplié par semis et bouturage. Au XVII^{ème} siècle le semis a été abandonné. (De Nardi et al., 2013 ; Doré et Varoquaux, 2006 ; Sonnante et al., 2007 ; Spichiger et al., 2004). Un plant peut mesurer 1,50 mètre de haut, ses feuilles sont lobées et recouvertes d'un duvet. Son épaisse hampe florale porte une inflorescence dont les fleurs sont bleues. Pour se développer, *C. scolymus* nécessite un sol épais, riche, peu calcaire et bien drainé afin d'éviter l'apparition de pourriture sur les racines. Les besoins en eau et en azote de la plante sont maximaux pendant la montaison et elle a de fort besoin en minéraux (N, P, Na, Ca) (*De Nardi et al., 2013, Doré et Varoquaux, 2006 ; Pitrat et Foury, 2004, tela-botanica.org.*).

Riche en minéraux (Ca, Fe, K, Mg) et en fibres, l'artichaut est traditionnellement utilisé en phytothérapie sous forme d'infusion ou de jus pour ses effets sur les troubles digestifs et les désordres hépatiques, l'amélioration de la circulation sanguine ou encore son pouvoir antioxydant (*Fratianni et al., 2007 ; Mabeau et al., 2007, Schutz et al., 2006*). Des études ont été menées afin d'étudier les bienfaits de la plante sur l'organisme. Elles ont démontré l'action positive de l'acide hydroxycinnamique et des polyphénols présents en grande quantité dans les feuilles et les parties comestibles du capitule, lui donnant sa couleur gris-bleue. Ils ont un pouvoir hypocholestérolémique : ils permettent de diminuer le taux de cholestérol et favorisent la cholérèse c'est à dire la sécrétion de bile par le foie et dans les voies biliaires. Ces molécules ont aussi des activités antioxydantes, antifongiques, anti-inflammatoires et anticarcinogènes avérées. Intégrer l'artichaut dans son alimentation est donc un moyen simple de lutter contre les troubles digestifs et prévenir d'éventuels problèmes biliaires (*Gebhardt, 1997 ; Gebhardt, 1998 ; Mabeau et al., 2007 ; Sonnante et al., 2007 ; Spichiger et al., 2004 ; Wider et al., 2013 ; Larousse.fr*).

ii. Itinéraire cultural

• Généralités

En France, on observe deux itinéraires culturaux différents liés à des conditions climatiques différentes : celui de la Bretagne et du Languedoc-Roussillon. Comme le montrent les diagrammes ombrothermiques dans les *figures 2*, les saisons sont beaucoup plus marquées dans le Sud de la France et on y observe une période de sécheresse l'été et une période très humide l'hiver, significative d'un climat méditerranéen. Parallèlement, la Bretagne est une région où le climat est tempéré, humide et où les écarts de température et de pluviométrie sont moins marqués entre les saisons. L'influence océanique est forte ce qui explique la répartition des pluies. Il n'y a pas de période de sécheresse, l'artichaut ne nécessitera donc pas obligatoirement d'un système d'irrigation. *Cynara scolymus* a de fort besoin en eau pendant la montaison, il est sensible à un froid prolongé, au gel et à de fortes chaleurs nocturnes dépassant 23°C sous lesquelles sa croissance est inhibée (*Saleh, 2003 ; Pitrat et Foury, 2004*). Il est donc récolté avant l'été dans le Languedoc-Roussillon, les températures et la sécheresse estivale n'étant pas propices à son développement. Nous étudierons ici l'itinéraire cultural spécifique à la Bretagne (*figure 3*). L'artichaut peut être conservé 3 ans sur une parcelle. Le plant de première année sera appelé « drageon », l'artichaut de 2^{ème} année sera appelé « retour » et les plants conservés trois ans seront désignés sous le terme de « vieux ».

Deux types d'artichauts sont cultivés en Bretagne. Les « globuleux verts » (variétés : Camus cultivé depuis 1810 et Castel depuis les années 1980) ont de gros capitules à fond charnu. Les « petits violets » (variété : Violet de Provence) sont de couleur violette, de forme plus conique et de plus petite taille (*Prince de Bretagne, 2013 ; Comité de développement des agriculteurs et chambre d'Agriculture du Finistère, 2014*).

Le rendement est compris entre 8 et 12 t.ha⁻¹. Les caractères importants des plants pour la récolte sont leur résistance vis à vis des maladies et la qualité du capitule c'est à dire la durée de conservation, le poids du fond ainsi que la tendreté de la base des bractées (*Doré et Varoquaux, 2006*).

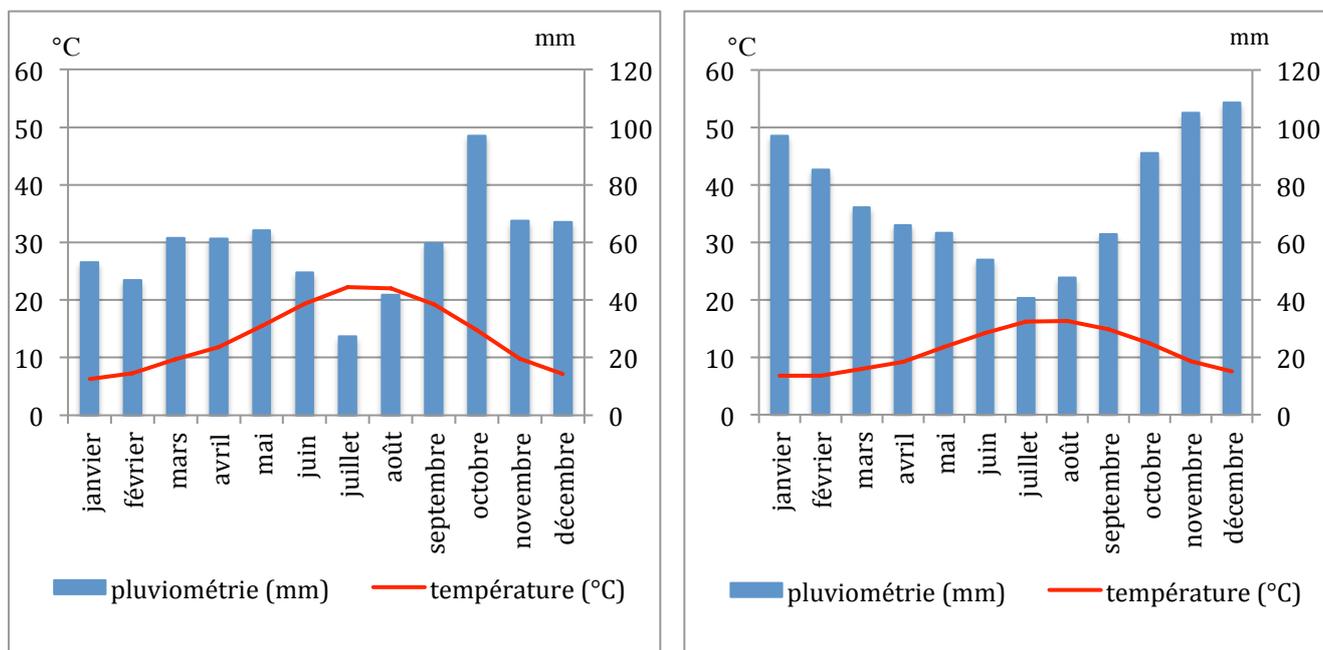


Figure 5. Diagrammes ombrothermiques des bassins de production d'artichauts créés à partir des moyennes de température et de pluviométrie de 1967 à 2013. À gauche : données de Perpignan (66) issues de la Chambre d'Agriculture des Pyrénées orientales. À droite : données de Saint-Pol-de-Léon (29) issues de la Chambre d'Agriculture du Finistère.

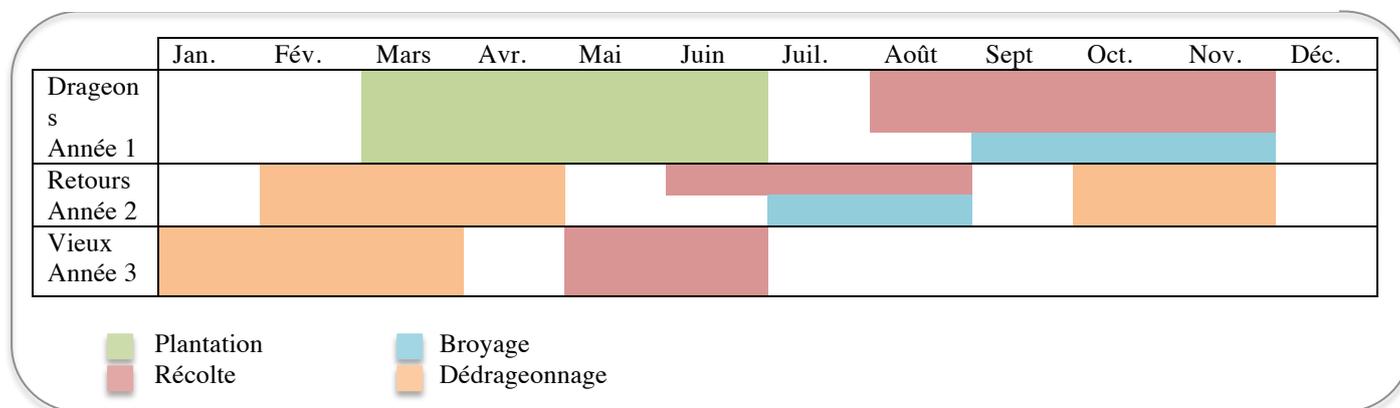


Figure 6. Itinéraire culturel de l'artichaut en Bretagne (données issues de la fiche technique élaborée par le Comité de développement des agriculteurs et la chambre d'agriculture du Finistère en février 2014).

• Multiplication

L'artichaut peut se multiplier par reproduction sexuée ou végétative. Depuis la moitié du XVIII^{ème} siècle, seule la reproduction végétative, plus aisée à maîtriser, est utilisée en agriculture. Le semis a donc été abandonné au profit de la multiplication par drageon. Le terme « drageon » correspond à un rejet de la plante naissant sur la racine et qui permet la propagation de la plante par « clonage ». Il est toujours multiplié de cette manière pour différentes raisons : le prix des graines est élevé (de l'ordre de 0,40 € par graine) tandis que les drageons sont récupérés sur la plante mère. De plus, le taux de germination en conditions naturelles est faible, une parcelle issue de drageons aura moins de plants manquants et sera plus homogène. Il faut noter que cette méthode engendre une perte de la diversité génétique et une sensibilité de la plante aux maladies. En effet il est difficile de propager des plants sains à partir de souches contaminées. Pour lutter contre ce phénomène, de nouveaux plants et variétés sont cultivés de manière *in vitro*, par culture des méristèmes, ainsi exempts de tous virus ou bactéries (Bigot et Foury, 1984 ; Sonnante et al., 2007 ; réseau GAB-FRAB, 2010). Ainsi, l'OBS à Plougoulm propose des plants sains aux producteurs.

• Plantation

Après un labour du sol à 22 cm et un éventuel apport de fertilisant, les drageons sont plantés entre les mois de mars et de mai grâce à une planteuse, à la cloche ou plus souvent au carré avec une distance de 0,9 à 1 mètre entre chaque plant pour faciliter le binage dans les deux sens. Les drageons, issus de parcelles d'artichaut de deuxième année sont rapidement plantés sur la nouvelle parcelle préalablement préparée. Certains producteurs ont recours à la plantation tardive de juillet afin d'obtenir une récolte plus précoce (avril à juin). Mais le risque des plantations tardives est l'entrée en montaison des plants avant l'hiver et donc un mauvais rendement au printemps suivant. La reprise des drageons peut

être mauvaise à cause de pertes de souches liées à la prolifération de bactéries et de champignons dans les souches, mais les agents pathogènes en cause sont encore mal connus.

Après plantation, la parcelle peut être désherbée chimiquement. Elle est ensuite binée régulièrement (avec une bineuse ou une herse étrille) dans les semaines qui suivent la plantation afin d'éviter la concurrence entre les jeunes plants et les adventices (mourens, orties, etc.). Durant le développement des plants, des traitements fongicides et insecticides seront effectués pour lutter contre le mildiou, les pucerons, les limaces ou encore les chenilles.

• Fertilisation

La fertilisation apportée à la culture sera dépendante des reliquats et donc de la culture précédente appelée « précédent ». Les précédents peuvent en effet être riches, moyens ou pauvres (*tableau 1*). Pour les cultures de drageons, il est conseillé d'apporter un fertilisant type fumier de bovin ($2,3 \text{ kg.m}^{-3}$ de P_2O_5 et $9,6 \text{ kg.m}^{-3}$ de K_2O en moyenne) pour structurer le sol après un précédent riche type chou-fleur. Cet apport couvrira les besoins de l'artichaut pendant 3 ans. Un amendement de fumier de volaille (25 kg.m^{-3} de P_2O_5 et 22 kg.m^{-3} de K_2O en moyenne) ou de lisier de porc fertiliserait en excès la parcelle et risquerait de favoriser l'apparition de maladies. Le développement important du feuillage engendrerait un excès d'humidité et favoriserait l'apparition du mildiou. Cette « surfertilisation » pourrait aussi entraîner durant l'automne et l'hiver des fuites d'azotes dues à la minéralisation de l'azote organique en excès. Le test Nitrachek® permet de connaître la concentration en nitrates dans le sol, il est donc utile de le réaliser avant toute fertilisation azotée ou la réalisation d'un plan de fumure. (*Cerafel, 2009 ; Chambres d'Agriculture de Bretagne, 2008 ; Réseau GAB/FRAB, 2010 ; Terragricoles de Bretagne, 2011 ; bretagne.developpement-durable.gouv.fr*).

Tableau 1. Fertilisation minérale des drageons selon différents types de précédents (chambres d'agriculture de Bretagne, 2013)

¹Les types de précédents sont classés en fonction de leur effet sur la quantité d'azote dans le sol. Ils correspondent à l'apport lié à la minéralisation des résidus de culture.

	Azote restitué (kg.ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ restitué (kg.ha ⁻¹)	K ₂ O restitué (kg.ha ⁻¹)	Type de précédent ¹	Azote à apporter en début de culture (Kg.ha ⁻¹)
Salade	8	3	14	Pauvre	70 à 100
Echalote	8	5	18		
Carotte	80	37	140	Moyen	50 à 70
Choux pommé	105	15	115		
Brocoli de printemps	140	48	250	Riche	20 à 50
Choux fleur d'hiver	233	70	304		



• Récoltes et dédrageonnage

Sur un plant, un capitule et un à trois ailerons sont récoltés au couteau et jetés dans des enjambeurs (*photo 1*). La récolte est étalée sur plusieurs semaines. Après celle-ci, les plants sont broyés et buttés afin d'éviter un excès d'eau pendant l'hiver. Les parcelles seront débutées au printemps suivant et dédrageonnées manuellement. Cette étape permet de récolter de jeunes plants qui seront exploités en tant que plantation de première année. Le dédrageonnage (retrait des drageons surnuméraires) peut être réalisé avec une dédrageonneuse mais dans ce cas les plants ne seront pas récupérables.

Photo 1. Enjambeur (photo prise à Guimaëc, 2014, Adélie Stephan)

2. Généralités sur les problèmes phytosanitaires rencontrés sur *C. scolymus* en Bretagne

Les parasites des plantes engendrent des pertes de 10 à 30 % de la production mondiale. L'artichaut ne fait pas exception. En Bretagne, il est soumis à de nombreux ennemis des cultures : ravageurs, champignons, bactéries et adventices.

Les pucerons noirs (*Aphis fabae* Scop.) et verts (*Capitophorus horni* Born.) en grand nombre freinent le développement des plants et peuvent être la cause d'apparition de fumagine (*photo 2*). Les auxiliaires de culture, coccinelles (*figure 3*), punaises anthocorides, champignons entomophores, larves de syrphes ou de chrysopes, ont un rôle clé dans la régulation des populations. Les chenilles des noctuelles gamma (*Autographa gamma* L.) s'attaquent aux

capitules. Des ravageurs tels que la vanesse (*Cynthia cardui* L.) ou l'apion (*Apion carduorum* Kirby) peuvent aussi s'attaquer aux plants

Les plants d'artichaut sont victimes de trois principales maladies. Le mildiou du feuillage abouti à la nécrose des feuilles attaquées, la graisse, causée par la bactérie *Xanthomonas cynarae* Ridé, affecte le capitule par des tâches huileuses et *Pseudomonas cichorii* est responsable du phénomène des têtes noires (photo 4). D'autres maladies touchent les parcelles comme l'Oïdium (*Leveillula taurica* (Lev.) Arn) une maladie du feuillage, le botrytis (*Botrytis cinerea* Pers.) abimant le capitule en fin de saison ou encore l'aschochyta (*Ascochyta hortorum* (Speg.) Smith) qui pénètre dans les jeunes pousses par des blessures. (*Estorgues et Chambre d'Agriculture de Bretagne, 2005*).



Photo 2. A gauche : pucerons verts sur la face inférieure d'une feuille d'un plant de retour de Castel. A droite : fumagine sur les feuilles inférieures d'un plant de drageon de Castel. (Photos prises Lanhouarneau, 2014, Adélie Stephan)

Photo 3. Larve de coccinelle sur une jeune feuille de drageon de Castel. Photo prise par Adélie Stephan, 2014.



Photo 4. Maladies rencontrées sur artichaut. A gauche : capitule de drageon de Castel attaqué par *Pseudomonas cichorii*. Au centre : capitule de drageon de Castel touchée par la graisse (*Xanthomonas cynarae*). A droite : Face supérieure d'une feuille de drageon de Castel touchée par du mildiou (*Bremia lactucae*).

3. L'agent pathogène : le mildiou (*Bremia lactucae* Regel)

- *Le mildiou : une histoire récente*

Le mildiou est le nom générique donné à différentes maladies touchant le feuillage des plantes, toutes causées par des représentants de la famille des *Peronosporaceae*, regroupant des parasites exclusivement obligatoires. Il est causé par *Plasmopara viticola* (Berk. Et M.A. Curtis) pour la vigne, *Phytophthora infestans* (Mont.) pour la pomme de terre ou encore *Bremia lactucae* pour l'artichaut et, comme sont nom l'indique, la laitue. La souche est différente mais leur morphologie et leurs exigences sont identiques (*Collet, 2008*). Le mildiou de l'artichaut étant une maladie spécifique à la Bretagne, il existe peu de bibliographie la concernant c'est pourquoi un grand nombre d'études concernant le mildiou de la laitue, plus répandu, ont été utilisées dans ce mémoire.

Jusqu'au début des années 1990, la variété Camus était principalement cultivée en Bretagne. La maladie a pris de l'ampleur avec l'arrivée de la variété Castel dans les années 1980, très sensible au mildiou. Créée par la station de l'INRA de Plougoum (29) et malgré son comportement face au mildiou, le Castel prend une part de plus en plus importante de la production bretonne pour des raisons économiques. L'aspect du capitule est essentiel dans la vente de l'artichaut et le Castel se conserve en gardant un aspect frais qui le rend commercialement plus attractif, contrairement au Camus, variété ancestrale, qui noircit plus rapidement (*inra.fr*). En Bretagne, le mildiou de l'artichaut est donc devenu un problème majeur ces dernières années.

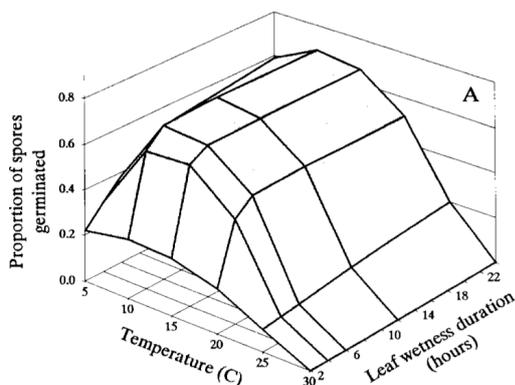
- *Symptômes de la maladie*

Le mildiou de l'artichaut est une maladie qui attaque en premier lieu le feuillage. Elle se caractérise par des tâches chlorotiques brunes limitées par les nervures sur la face supérieure des feuilles et des sporulations blanches sur la face inférieure lui donnant un aspect duveteux (*photo 5*). C'est d'ailleurs de cette caractéristique que la maladie tire son nom anglais « downy mildew » signifiant mildiou duveteux. Les tâches se transforment ensuite en nécroses. La maladie atteint les feuilles les plus âgées en premier puis les jeunes feuilles. Elle sera alors un frein à la croissance du plant. Dans les cas les plus extrêmes, *B. lactucae* peut infester les capitules qui ne seront pas commercialisables, l'effet de la maladie est alors direct. L'artichaut est plus sensible au mildiou pendant la montaison, ce qui explique le choix de certains agriculteurs d'augmenter la fréquence des traitements fongicides juste avant et entre les récoltes (*Collet, 2013*).



Photo 5. Symptômes de mildiou observés sur la face supérieur (à gauche) et inférieure (à droite) d'une feuille de retour de Castel.

- *Conditions d'infection et cycle de vie*



*Figure 4. Effets de la température et du temps de mouillure des feuilles sur le taux de germination des spores de *B. lactucae* sur laitue (Scherm, 1993).*

Comme l'expliquent *Padgett Johnson et Laemmlen* en la germination des conidies de *B. lactucae* est la conséquence d'une accumulation de conditions météorologiques favorables. Une humidité relative supérieure à 90% et la présence d'eau liquide sont nécessaires. Le taux de germination est maximal après un temps de mouillure des feuilles de 10 heures (*figure 4*). Les plants dont la végétation est très développée sont donc plus sensibles à une infection. La température optimale d'infection est de 16°C. Ces conditions de chaleur et d'humidité rendent les régions maritimes comme le Finistère propices au développement de l'Oomycète (*Collet, 2013 ; Scherm et Van Bruggen, 1993 ; Valade, 2012*).

La durée du jour agit aussi sur la sporulation. En effet, *Tchevinivanova* a montré dans son étude de 1995 qu'une exposition supérieure à 22 500 lux inhibait le processus. L'intensité lumineuse en plein soleil est comprise entre 50 000 et 100 000 lux. Ce paramètre, associé aux besoins en humidité relative et en température, explique que les sporulations aient lieu le matin pendant la rosée, lorsque l'air est frais, humide et que le soleil commence tout juste à se lever (*Scherm et Van Bruggen, 1995*). Enfin, le vent nécessaire à la dissémination des spores peut inhiber la sporulation s'il est supérieur à 0,5m.s⁻¹, cette vitesse peut sembler faible mais il est difficile de l'atteindre au sein d'un feuillage dense (*Su et al., 2004*).

Le cycle de vie de *B. lactucae* sur artichaut n'a pas été étudié en détail mais il est similaire à celui de l'agent pathogène sur la laitue (*figure 5*). Il peut se reproduire par voie sexuée ou asexuée. Étant donné que le mildiou est un agent pathogène obligatoire biotrophe, l'ensemble de son cycle se déroule dans des tissus sains de la plante hôte (*Weber et al., 1997 ; Padgett-Johnson et Laemmlen*)

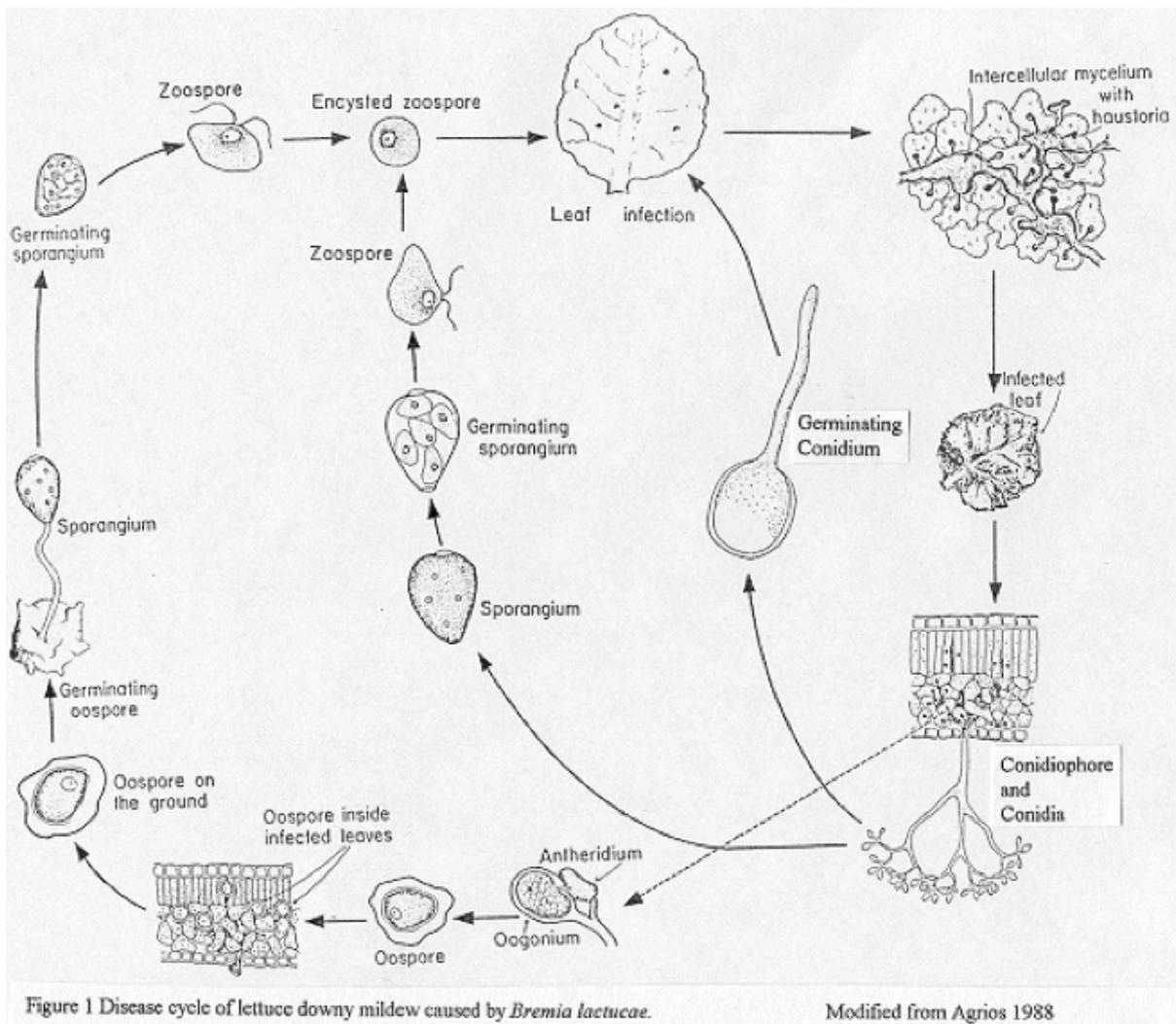


Figure 5. Cycle de vie de *Bremia lactucae* sur la laitue (*Lactuca sativa* L.) (Padgett Johnson et Laemmlen).

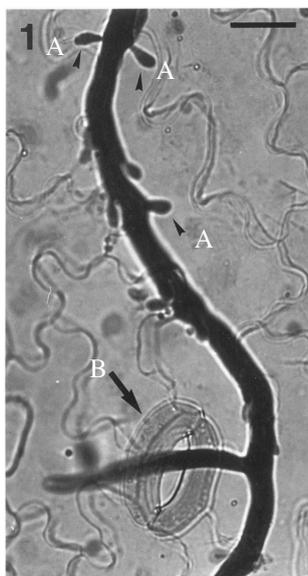


Figure 6. Tissus foliaires de laitue (*L. sativa*) infestés par *B. lactucae* colorés au bleu coton. A. Haustoria. B. émergence d'un conidiophore par un stomate du tissu foliaire (Roland, 1997).

En conditions favorables la reproduction asexuée est privilégiée car elle est rapide, un cycle s'effectuant en 1 à 3 semaines (Valade, 2012). Des spores, appelées conidies, sont produites par l'organe de reproduction asexué : le conidiophore. Elles germent sur l'épiderme de la feuille en présence d'eau libre. Elles forment un tube germinatif (hyphe primaire) qui pénètre la cuticule ou, plus rarement, entre par les stomates. Le mycélium croît ensuite en hyphes secondaires dans les espaces intercellulaires et colonise les tissus jusqu'au mésophylle. Ils forment des suçoirs appelés haustoria (figure 6) grâce auxquels ils tirent les nutriments dont ils ont besoin pour se développer à partir des cellules saines de la plante hôte. Cette étape de colonisation peut être très rapide et aboutit à la nécrose des tissus infestés. Après une période d'incubation, les hyphes émergent des tissus foliaires par les stomates et forment des conidiophores (figure 6). Ils ont une croissance dichotomique et chaque ramification porte une conidie diploïde. Les spores ainsi formées sont disséminées par le vent ou par distorsion du conidiophore lorsque l'air est sec. Elles germent ensuite à la surface de nouvelles feuilles saines et propagent ainsi l'infection. Tchevinivanova a montrée en 1995 que sur des plants de laitue, la sporulation a lieu 5 jours après l'inoculation du mildiou. Des observations similaires ont été faites dans les essais menés à Vegenov. En conditions optimales de température et d'humidité, les spores se conserve jusqu'à 2 semaines sur la plante hôte mais leur capacité de germination décroît après 3 jours de vie pour des plants de laitues.

La reproduction sexuée est plus rare et plus longue (au moins 6 semaines par génération sur laitue). *Bremia lactucae* est hétérothallique, deux gamètes de type sexuel opposés, issues de thalles différents, doivent donc se rencontrer. Cette reproduction aboutit à la formation d'oospores capables de rester en dormance, ce qui permet à la souche de rester dans les tissus de la plante hôte pendant la période hivernale (Weber et al., 1997 ; Valade, 2012).

- Mécanisme de résistance

De nombreuses études ont été menées sur la résistance de la laitue à *Bremia lactucae* (Valade, 2012 ; Van Maanen & Xu, 2003 ; Sicard et al., 2003 ; Xu, 2011). Elles ont montré une interaction gène-à-gène entre la plante hôte et l'Oomycète. Harold Flor explique dans sa théorie « gene-for-gene » que quand des gènes spécifiques de résistance (R) de la plante correspondent à des gènes d'avirulence de l'agent pathogène (Avr), il y a une incompatibilité entre la plante hôte et l'agent pathogène (figure 7). La présence simultanée des deux gènes engendre une résistance de la plante hôte à l'agent pathogène. Les protéines codées par les gènes d'avirulence sont reconnues par des récepteurs produits par les gènes de résistance de la plante. Cette reconnaissance provoque une réaction d'hypersensibilité de l'hôte qui programme alors la mort cellulaire des cellules attaquées et donc de l'agent pathogène biotrophe.

La laitue utilise ce mécanisme pour lutter contre *Bremia lactucae*. Cependant, le mildiou de l'artichaut est peu étudié et l'hétérogénéité du matériel végétal n'est pas suffisante pour mener des essais qui confirmeraient ou infirmeraient l'existence de tels gènes dans le génotype de *C. scolymus*. Aussi faut-il émettre une réserve quand à la résistance génétique de l'artichaut face au mildiou.

plante pathogène	Gène R	Gène r
	Gène Avr	Résistant
Gène avr	Sensible	Sensible

Figure 7. Le modèle gène-à-gène de résistance des plantes (inspiré de Xu, 2011).

II. Des pratiques conventionnelles vers de nouveaux moyens de lutte

Il existe différentes stratégies afin de lutter contre le mildiou de l'artichaut. L'utilisation de variétés résistantes comme le Camus en est une. L'OBS fait partie des organismes créant de nouvelles espèces et sélectionnant des organismes moins sensibles au mildiou. Mais la grande variabilité supposée de *B. lactucae* entraîne une difficulté à atteindre une résistance complète des plants. L'utilisation d'OAD permet d'améliorer l'itinéraire cultural notamment en positionnant les traitements fongicides aux périodes les plus sensibles. L'utilisation de produits phytosanitaires efficaces est essentielle mais engendre des problèmes environnementaux. Les produits alternatifs à base d'extraits naturels sont plus sûrs. Enfin, travailler sur des techniques de culture permet de diminuer le risque d'infestation. Par exemple, des plants non dédrageonnés pendant l'été ou dédrageonnés tard auront un feuillage plus dense qui gardera l'humidité et augmentera le risque d'apparition de la maladie (Tchervenivanova, 1995).

1. Les Stimulateurs de Défenses des Plantes (SDP)

- Définition et mode d'action

Les Stimulateurs de Défenses des Plantes, autrefois appelés Stimulateurs de Défenses Naturelles, sont des substances émises par la plante hôte afin de stimuler ses défenses contre un micro-organisme pathogène. Elles agissent comme un vaccin. Après une première attaque du micro-organisme, les cellules concernées reconnaissent l'agresseur et envoient un signal à la plante qui pourra synthétiser des molécules de défense. Les SDP agissent donc de manière indirecte car la plante ne synthétise pas de molécules antimicrobiennes (Klarzynski et Fritig, 2001).

Il existe deux moyens de reconnaissance du microbe par la plante. Soit elle reconnaît un composant de l'agresseur : un éliciteur, soit il y a une reconnaissance du gène Avr de l'agresseur par le gène R de la plante. Après l'attaque, la plante a une réaction rapide d'hypersensibilité. Les cellules attaquées sont détruites et l'agent pathogène est confiné dans cette zone de résistance locale acquise (LAR) afin de retarder son invasion. Des messagers chimiques signalent ensuite la présence de l'agent pathogène à l'ensemble de la plante, on parle alors de résistance systémique acquise (SAR). Elle réagit à ce message par la synthèse de molécules de défense comme la protéine PR (Pathogenesis Related) ou la phytoalexine. Elle pourra alors répondre plus rapidement à une seconde attaque (Blanchard et Limache, 2005).

- *Avantages par rapport aux produits phytosanitaires classiques*

Pour qualifier un produit fongicide alternatif de SDP, il est nécessaire d'étudier son mécanisme d'action. Les SDP étudiés pour être utilisés en agriculture sont des produits plus respectueux de l'environnement que les produits phytosanitaires classiques issus de la chimie. Ceux sont souvent des produits dérivés d'extraits naturels capables d'éliciter une réponse de défense. Souvent issus de champignons, d'algues, de bactéries ou de crustacés il sont possiblement nocif pour l'environnement et cela doit être étudié avant l'homologation du produit. Les conséquences sur les auxiliaires de culture sont souvent moindres. Enfin, ces molécules n'induisent pas de résistance de l'agent pathogène car leur action est indirecte.

2. Les Outils d'Aide à la Décision

i. Généralités

Les Outils d'aide à la décision sont généralement des modèles informatiques permettant d'aider les producteurs dans leur prise de décision dans le cadre de la lutte contre les ennemis des cultures. Deux facteurs agissent sur la qualité d'un OAD : le programme informatique et l'utilisateur. Ils permettent au producteur d'avoir une méthode de lutte plus stratégique en modélisant la situation phytosanitaire du pathosystème et en l'accompagnant d'une règle de décision. Le plus souvent, la modélisation est réalisée grâce à des données sur le cycle de développement du ravageur et de la plante et météorologiques d'une part et à des données sur la parcelle d'autre part.

Les OAD ne sont pas cantonnés à la modélisation, il existe des méthodes plus simples de piégeage ou de mesure. Le piégeage de noctuelle gamma grâce à des phéromones par exemple, permet de quantifier les populations de ce ravageurs et de traiter en conséquence, seulement lorsqu'il y a un pic de vol. Le test NitraCheck cité plus haut, permet de mieux gérer la fertilisation azotée des parcelles.

L'objectif principal des OAD est de réduire d'utilisation des produits phytosanitaires.

ii. Le modèle Milart

C'est un modèle de prévision des risques d'apparition du mildiou sur l'artichaut. Il a été mis en place par la chambre d'agriculture du Finistère en 2007 à partir du modèle de Guntz et Divoux conçu pour le mildiou de la pomme de terre et ajusté pendant 6 ans.

Il fonctionne grâce à des données climatiques (température moyenne T, humidité relative U et pluviométrie RR) et « stationnelles » (traitements fongicides appliqués, dates de plantation et de broyage, variété cultivée). Il récupère ainsi les informations nécessaires pour prévoir les périodes de risque d'apparition de la maladie. Les données météorologiques sont transmises de la station vers une base de données via un modem puis transférées vers un serveur Web afin de pouvoir être consultées sur internet. Le logiciel informe l'utilisateur par une « alerte » lorsqu'il y a un risque d'infection de la parcelle (*Annexe 1*).

Cinq stations météorologiques sont réparties dans la région :

- ✓ CATE (située à Saint Pol de Léon, 29),
- ✓ Plounevez (située à Plounevez-Lochrist, 29),
- ✓ Tregor (située à Saint-Jean-du-Doigt, 29),
- ✓ Paimpol (située à Paimpol, 22)
- ✓ Camlez (située à Camlez, 22).

Elles enregistrent des données horaires de pluviométrie, d'humidité relative et de températures utilisées par le modèle. Ces informations permettent de calculer un indice de sporulation et d'unité d'incubation journaliers et donc de prévoir l'apparition des générations de *B. lactucae*.

En plus des données climatiques, des données relatives à la parcelle étudiée sont indispensables et doivent être mises à jour par l'utilisateur :

- ✓ La date de plantation,
- ✓ La date de broyage,
- ✓ La variété d'artichaut plantée,
- ✓ Le stade phénologique représentatif de la parcelle. Il doit être actualisé dès qu'il évolue. Des parcelles en retour seront plus précoces que celles en culture de drageons ; il faut noter que le risque apparaît beaucoup plus faible dans ce cas.
- ✓ La date et la spécialité utilisée pour effectuer les traitements fongicides,
- ✓ La date, l'heure d'arrêt et la dose d'arrosage lorsque la parcelle est irriguée,
- ✓ Le risque d'apparition de mildiou sur la parcelle. Il peut être moyen ou fort et peut changer durant la saison. Un risque fort sera par exemple signalé par l'apparition de mildiou de l'artichaut dans des parcelles proches.

L'objectif de ce modèle de prévision des risques est d'orienter les producteurs dans leur prise de décision. Son but est de positionner les traitements fongicides sur la saison au moment propice et donc d'appliquer une dose minimale de fongicides sans pour autant réduire le rendement.

III. Le projet

Le mildiou est le problème phytosanitaire le plus important qui touche l'artichaut en Bretagne. Le positionnement des traitements fongicides par les producteurs est difficile et le nombre de produits pour lutter contre cette maladie est très restreint. Le mildiou de l'artichaut en France étant cantonné au bassin de production breton, les recherches concernant la maladie sont exclusivement régionales et cet isolement est devenu une force car il a obligé les différents acteurs à collaborer. Le projet auquel j'ai participé regroupe trois acteurs différents sur le thème de la lutte contre le mildiou de l'artichaut : la Chambre d'Agriculture du Finistère, Vegenov et le CATE.

Dans le but de positionner correctement les traitements phytosanitaires contre cette maladie, un modèle de prévision des risques a été mis en place (Milart) à la Chambre d'Agriculture. Ce modèle est utilisé par les conseillers agricoles de la chambre d'agriculture pour conseiller les producteurs mais ceux-ci ne se sont pas encore appropriés l'outil. Le premier objectif de ce stage est de réaliser un protocole pour tester le modèle en station expérimentale au CATE ainsi que chez des producteurs, sur des parcelles de retours et de drageons. L'essai sur artichaut de première année est le plus important car des cultures sont plus traitées car plus touchées par la maladie. Les objectifs des essais sont de démontrer aux exploitants l'intérêt de l'utilisation du modèle, son efficacité vis à vis du positionnement des traitements fongicides du mildiou de l'artichaut et de les familiariser avec cet OAD. Je continue actuellement cette étude jusqu'à la fin des récoltes de parcelles de drageons.

Les produits phytosanitaires disponibles pour lutter contre *Bremia lactucae* sont peu nombreux. L'objectif de la deuxième partie du projet est de tester des produits alternatifs aux fongicides classiques actuels. Des essais ont déjà été réalisés à Vegenov dans ce but, les produits s'étant montrés efficaces dans le passé seront testés à nouveau cette année au laboratoire sur de jeunes plantules d'artichaut de semis. Les produits les plus efficaces seront ensuite testés en conditions moins contrôlées sous abris au CATE. La mise en place du protocole sera l'objectif principal de l'essai à cette échelle. Sur le long terme, les produits s'étant montrés efficaces en sous abris seront testés au champ.

Partie I. Le modèle Milart

Matériels et méthodes

I. Les plans d'expériences

Les plans d'expériences permettent de planifier de manière rigoureuse une expérience, soit, en sciences, une « mise à l'épreuve de quelque chose, un essai tenté sur quelque chose pour en vérifier les propriétés » (²*larousse.fr*). En d'autres termes, ils permettent de planifier, d'organiser une expérience dans le temps et l'espace de manière rigoureuse afin de répondre à une problématique. Il s'agit d'étudier l'influence d'un ou plusieurs facteurs sur une unité expérimentale (exemple : un organe, un plant, une parcelle élémentaire). Il a pour but d'obtenir un maximum d'informations tout en réalisant un nombre minimal d'expériences (*Blanchet-Scalliet, 2008 ; Tinsson, 2010*).

Un plan d'expérience est défini par le nombre de variantes (=traitements) du facteur étudié (=modalité) qu'il soit qualitatif ou quantitatif, le nombre de répétitions, le nombre total d'unités expérimentales, le nombre de blocs et d'unités par bloc (un bloc comprenant au moins une répétition de chaque modalité). Le témoin est important et peut être traité différemment des autres modalités. Il peut être imbriqué ou non entre les blocs ou encore être réparti de manière systématique et non aléatoire lorsque la parcelle est hétérogène. Si les conditions le permettent et que le témoin est essentiel à l'expérience il est intéressant d'augmenter le nombre de répétitions d'unités témoins. Une zone tampon est indispensable pour limiter « l'effet bordure » de chaque parcelle élémentaire (*Blanchet-Scalliet, 2008 ; Dagnelie, 2012*). Plusieurs notations peuvent être réalisées afin d'étudier l'effet du facteur dans le temps (exemple : mesure de croissance) en complément de notation pouvant être réalisée une seule fois (exemple : rendement, poids).

Afin d'être le plus efficace possible, un plan d'expérience est dirigé par trois grands principes permettant de réaliser des expériences précises et rigoureuses : **répétition**, **randomisation** et **contrôle local**. Les plans d'expérience s'appliquent à différents domaines : médecine, industrie et bien sûr agriculture, premier domaine à en avoir bénéficié.

L'histoire des plans d'expérience est ancienne. Francis Bacon, scientifique et philosophe anglais (1561-1626), a initié la méthode de l'induction c'est à dire la vérification d'une hypothèse par l'expérimentation (*Tinsson, 2010*). A partir du XIX^{ème} siècle, le concept évolue grâce aux travaux de Claude Bernard (1813-1878), physiologiste français et fondateur des principes de la médecine expérimentale. Par la suite, des études seront menées avec de plus en plus de rigueur dans le domaine agricole et la notion de modalité et de répétitivité apparaîtront grâce aux travaux d'agronomes tels qu'Arthur Young (1741-1820), François Cretté Palluel (1741-1798), ou encore James F.W. Johnston (1796-1855) (*Droesbeke et al., 1997*). Grâce à ces années de travaux, la notion de « plan d'expérience » est apparue au XX^{ème} siècle avec Ronald Aylmer Fisher (1890-1962), biologiste et statisticien britannique. A l'âge de 29 ans il s'engage à la station expérimentale de Rothamsted à Harpenden, berceau de l'expérimentation agricole, où il travaillera pendant 14 ans. Durant cette période, ses activités se sont tournées essentiellement vers les plans d'expérience en agriculture, les notions statistiques qui y sont liées et il explicitera le principe de randomisation aujourd'hui fondamental pour réaliser un plan d'expérience. Il est considéré comme le fondateur des plans d'expérience tels que nous les connaissons (*droesbeke et al., 1997 ; Dagnelie, 2008*). Il est le concepteur des **trois principes fondamentaux** qui guident les plans d'expérience et réduisent le risque d'erreur :

- La **répétition** d'unité expérimentale d'une même modalité lors d'une expérience d'une part et la répétition d'observation sur une même unité expérimentale au cours du temps d'autre part. La répétition permet de réduire l'erreur liée à l'unité expérimentale.

Un facteur correspond à un élément qui sera comparé au cours de l'expérience, d'une unité expérimentale à l'autre (exemple : un traitement fongicide) tandis qu'une modalité correspond à une variable d'un facteur (exemples : un traitement à l'Etonan et un traitement à l'Optimo Tech). Une/plusieurs modalités « témoins » sont souvent nécessaires et importantes car c'est à elle(s) que seront comparées la/les autres modalités.

- La **randomisation**, c'est à dire la répartition au hasard des différentes modalités sur les unités expérimentales. Elle permet de prévenir les variations externes potentielles d'une unité expérimentale à l'autre grâce à une répartition aléatoire des différentes modalités. L'expérience est alors plus équitable.

- Le **contrôle local** soit le contrôle de l'ensemble des facteurs non étudiés (=facteurs non contrôlés) dans l'expérience. La variabilité des facteurs non étudiés doit être réduite et maîtrisée afin d'avoir des unités expérimentales homogènes dont l'erreur expérimentale est réduite. L'effet de l'hétérogénéité du sol sur une parcelle par exemple peut être réduit en diminuant la taille des unités expérimentales.

Le type de dispositif expérimental, la taille et la disposition des unités expérimentales doivent être choisis judicieusement et il en existe de nombreux types. Il doit permettre de répondre à la problématique mais aussi et surtout

être faisable avec le matériel dont on dispose. La réalisation d'un plan d'expérience est un compromis entre ce que l'on veut et ce que l'on peut faire.

La planification « en station » (en station expérimentale, sous serre, etc.) et « hors station » (en forêt, chez un producteur etc.) sera différente car les conditions en station sont plus contrôlées et le matériel disponible est souvent plus homogène que lors d'essais hors station. C'est pourquoi les dispositifs mis en place chez les producteurs et à la station expérimentale du CATE sont différents.

II. Essai en station expérimentale

1. Objectifs et conditions de réalisation

L'objectif de cet essai est de déterminer l'efficacité du modèle Milart en conditions semi-contrôlées au CATE sur deux types de plantation. Pour ce faire, des modalités témoin, producteur et modèle sont comparées. Les essais sont menés sur artichaut de 2^{ème} année (retours) et de 1^{ère} année (drageons) de variété Castel, sensible à la maladie.

2. Dispositif expérimental

Pour chaque essai, un dispositif en 4 blocs aléatoires ou bloc de Fisher est mis en place et au moins 2 rangs non traités entourent l'essai pour prévenir un éventuel effet de bordure. Le plan aléatoire est généré par le logiciel StatBox. Chaque parcelle élémentaire comprend 2 rangs de 10 plants. Cette organisation est idéale pour pouvoir traiter les plants d'une parcelle élémentaire (=unité expérimentale) avec le matériel disponible au CATE (pulvérisateur avec rampe manuel) et la forme des parcelles.

i. Retours

- Modalité

Les plants disponibles pour l'essai sur retours permettent la réalisation 3 modalités (*figure 8*) :

- **Témoin** : non traité (TNT).
- **Modèle** : Etonan (2 L.ha⁻¹) puis alternance l'Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹) / Etonan (2 L.ha⁻¹). Traitement au déclenchement d'une alerte par le modèle.
- **Producteurs** : dès l'apparition de symptômes sur des plants plus sensibles d'essais variétaux d'une part et selon les conditions climatiques et le raisonnement des producteurs du réseau en plein champ d'autre part, les parcelles seront traitées avec de l'Etonan (2 L.ha⁻¹) puis alternance Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹)/Etonan (2 L.ha⁻¹).

Les fongicides autorisés pour lutter contre le mildiou de l'artichaut sont peu nombreux et leurs substances actives sont plus efficaces lorsque le traitement est préventif plutôt que curatif. Les deux produits utilisés dans l'essai sont les plus répandus et ceux conseillés par la chambre d'agriculture :

- **Etonan** (De Sangosse®) ou **LGB-01F34** (Luxembourg Pamol®), n° d'autorisation : 2100060 ou 2100041 (*e-phy.agriculture.gouv*). Il s'agit d'un fongicide d'origine industrielle autorisé provisoirement pour le traitement du mildiou de l'artichaut. C'est un concentré soluble de phosphonate (ou phosphite) de potassium K₂HPO₃ à 730g.L⁻¹. Il agit sur les parties aériennes de l'artichaut en stimulant les défenses des plants : c'est un SDP, ainsi qu'en inhibant la croissance de l'agent pathogène. Il n'a pas d'action néfaste sur les auxiliaires de culture. Sa DAR est de 21 jours et il peut être appliqué 3 fois dans l'année. Il est utilisé à la dose conseillée par la CA29 mais peut être pulvérisé jusqu'à 3,5 L.ha⁻¹.
- **Optimo Tech** (BASF®) (n° d'autorisation : 2110141) (*e-phy.agriculture.gouv*). C'est un fongicide en concentré émulsifiable de diméthomorphe (72 g.L⁻¹) et de pyraclostrobine (40 g.L⁻¹) autorisé pour le traitement du mildiou des composés sur les parties aériennes de l'artichaut. Le diméthomorphe a une action essentiellement préventive. Il inhibe la synthèse de cellulose constituant la paroi des Oomycètes et donc du mildiou. La pyraclostrobine inhibe la respiration mitochondriale et a une action translaminaire, c'est à dire qu'elle protège la face non traitée de la feuille. La DAR de l'Optimo Tech est de 3 jours, il peut donc être utilisé juste avant récolte et jusqu'à 2 traitements par an. Il est utilisé à sa dose maximale de 2,5 L.ha⁻¹ dans le cadre de l'expérimentation.

La DAR de l'Etonan étant de 21 jours, il ne pourra pas être utilisé en premier traitement si le modèle déclenche pendant les récoltes et il sera remplacé par l'Optimo Tech à 2,5L.ha⁻¹. La décision d'utiliser Etonan en premier

traitement est basé sur deux arguments : l'usage le plus courant est de l'utiliser de cette manière, la comparaison avec la modalité « producteur » sera donc plus fiable. Deuxièmement, les essais effectués au CATÉ utilisant ces fongicides débutent toujours pas un traitement à l'Etonan.

• Plan des parcelles expérimentales

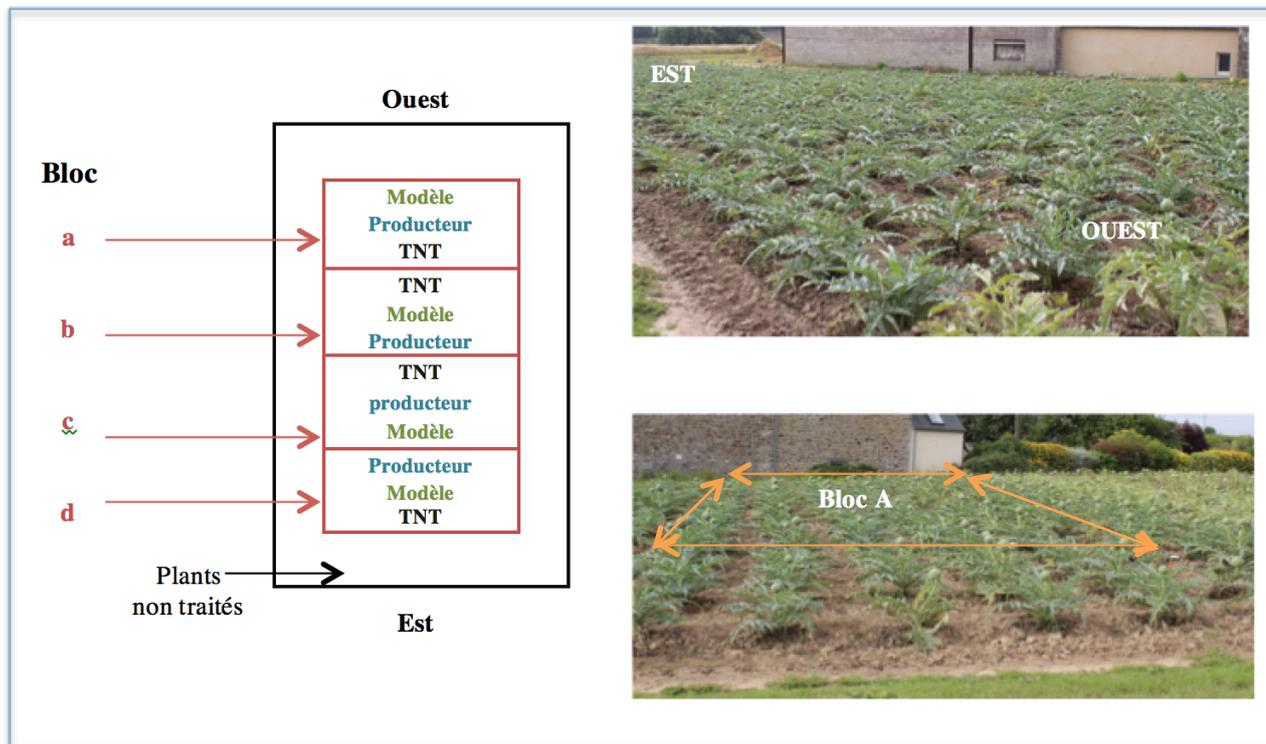


Figure 8. Dispositif en bloc de Fisher de l'essai en station expérimentale sur retours de Castel. A gauche : schéma de la parcelle expérimentale. A droite – haut : Photo de la parcelle. A droite – bas : photo du bloc a.

ii. Dragons

Deux parcelles de dragons de Castel étaient disponibles pour réaliser l'essai. Les conditions climatiques de fin d'été rendent les dragons souvent plus exposés à la maladie que les retours, la place disponible a donc été utilisée pour tester d'autre modalité. Celles-ci sont des variantes des modalités « modèle » et « producteur » avec une modification de l'ordre produit utilisé. L'essai permettra de savoir si le choix de l'un ou l'autre des fongicides a un impact sur l'évolution de la maladie.

Les modalités sont donc les suivantes (figure 9) :

- **Témoin** : non traité (TNT).
- **Modèle 1** : Etonan (2 L.ha⁻¹) puis alternance l'Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹) / Etonan (2 L.ha⁻¹).
- **Modèle 2** : Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹) puis alternance Etonan (2 L.ha⁻¹) / Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹).
- **Producteur 1** : dès l'apparition de symptômes sur des plants plus sensibles d'essais variétaux d'une part et selon les conditions climatiques et le raisonnement des producteurs du réseau en plein champ d'autre part, les parcelles seront traitées avec de l'Etonan (2L.ha-1) puis alternance Optimo Tech (2,5L.ha⁻¹) / Etonan (2L.ha⁻¹).
- **Producteur 2** : avec la même logique que pour la modalité Producteur 1, les plants seront traités par de l'Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹) puis alternance Etonan (2 L.ha⁻¹) / Optimo Tech (2,5 L.ha⁻¹).

• Plan des parcelles expérimentales

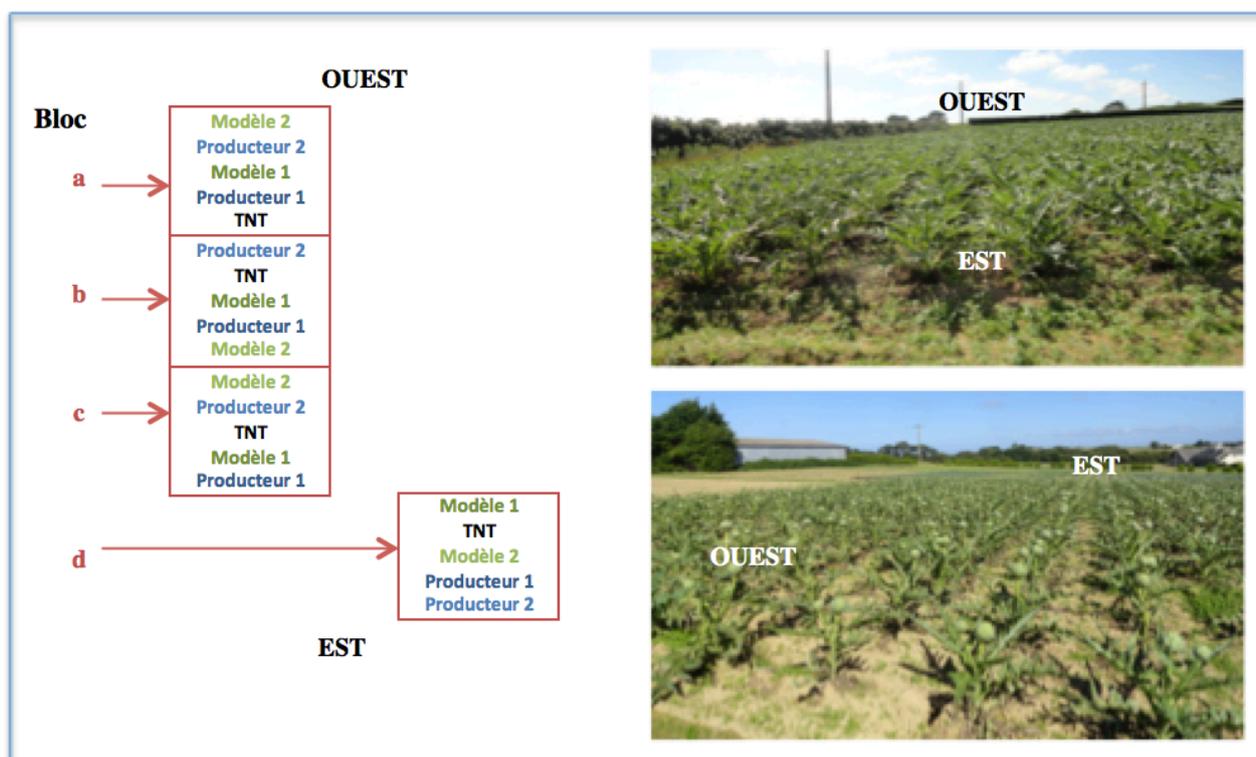


Figure 9. Dispositif en bloc de Fisher de l'essai en station expérimentale sur drageons de Castel. A gauche : schéma des parcelles expérimentales (les plants non traités ne sont pas représentés). A droite – haut : Photo de la parcelle avec les trois premiers blocs. A droite – bas : photo de la parcelle avec le bloc d.

3. Notation

Calcul du rendement

La taille d'un capitule dépend de son alimentation en sève. Cette alimentation dépend du nombre et de la taille des vaisseaux conducteurs de sève. Ainsi, plus un capitule sera gros, plus la surface de la hampe florale qui le porte sera grande. Il peut donc exister un lien entre le poids d'un capitule et le diamètre de la hampe. C'est cette hypothèse qu'a vérifié Jean-Michel Collet en 2010 au CATE lorsqu'il a mesuré le diamètre de hampes florales d'une quinzaine de capitules, issus de variétés différentes, et leur poids. La *figure 10* montre les résultats obtenus et met en évidence un lien entre le diamètre² de la hampe florale et le poids du capitule qu'elle porte.

J'ai repris ce travail cette année sur un nombre de capitules plus important et de variété Castel. La plupart de ces capitules sont issus de la parcelle de retour en essai pour le modèle et la hampe florale de chaque artichaut est mesurée grâce à un pied à coulisse digital (*photo 6*). La droite de tendance qui en ressortira permettra d'approximer les rendements de l'essai chez les producteurs.



Photo 6. Mesure du diamètre de la hampe florale d'un capitule mère grâce au pied à coulisse. Photo prise sur retour de Castel, Adélie Stephan, 2010.

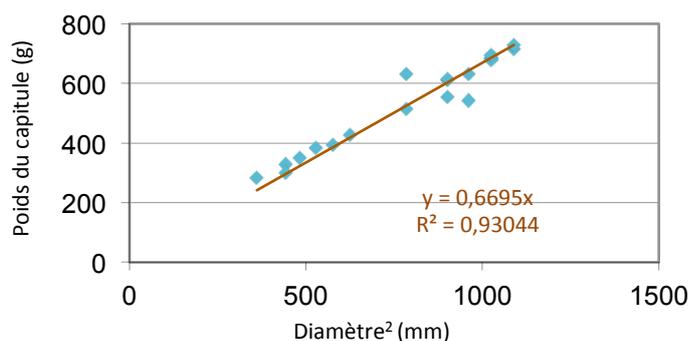


Figure 10. Relation entre le diamètre de la tige et le poids du capitule. 2010.

Deux observations principales sont effectuées. Des notations **d'indices de maladie** selon l'échelle de l' *annexe 2*

sont réalisées toutes les 1 à 2 semaines sur 4 plants par répétition au stade représentatif de la parcelle (*annexe 3*). Trois étages foliaires sont notés sur chaque plant. En fin de récolte, au mois d'août pour les retours et à partir du mois de septembre pour les drageons, le **rendement** à l'hectare sera calculé par une mesure du diamètre de la hampe florale de chaque capitule sur l'ensemble des plants de l'essai (*cf. encart « Calcul du rendement »*).

Des observations secondaires pouvant agir sur l'évolution du mildiou ou le développement des plants sont aussi effectuées : présence d'adventices, de ravageur, d'auxiliaires de culture etc.

III. Essai chez les producteurs

1. Objectifs et conditions de réalisation

Dans le but de faire utiliser le modèle Milart par les producteurs d'artichaut de la région dans le futur, nous avons mis en place une expérimentation en plein champ dans des parcelles agricoles gérées en totalité par les producteurs. L'objectif est de les aider à se familiariser avec celui-ci et de leur montrer son efficacité sur leur territoire. Le protocole mis en place est donc simple d'utilisation afin qu'il soit réalisable sans fortes contraintes pour les producteurs. Il a été réalisé sur des parcelles de retours et sur un nombre plus important de parcelles de drageons.

2. Dispositif expérimental

i. Modalité

Deux modalités ont été mises en place dans chacune des parcelles étudiées. Une modalité témoin est difficilement envisageable sur des parcelles d'exploitant.

- **Modèle** : une partie de la parcelle est traitée lorsque le modèle alerte d'un risque de mildiou par de l'Etonan (2L.ha-1) ou autre phosphite puis une alternance Optimo Tech (2,5L.ha-1) / Etonan (2L.ha-1) ou autre phosphite.
- **Producteur** : traitement par le producteur sans aucune contrainte sur le reste de la parcelle.

ii. Stratégie d'échantillonnage

Chaque parcelle représente un bloc, il est donc important qu'elles soient le plus homogènes possible les unes par rapport aux autres. Aussi, certains facteurs de variabilité des parcelles ont été éliminés. Nous n'avons travaillé que sur des parcelles cultivées en variété Castel car, en plus d'être très cultivé dans la région (7 100 t produits en 2013 soit 39,4 % de la production d'artichaut du Finistère, (*sicastpol.fr*) c'est une espèce sensible au mildiou. Les différences de rendement et d'attaques fongiques seront plus visibles, et la « fonctionnalité » du modèle aussi.

En ce qui concerne les caractéristiques de chaque parcelle, il faut chercher à éliminer le plus de facteurs d'hétérogénéité possible. Ainsi, Certains facteurs cultureux ont été pris en compte pour cette expérimentation.

La rotation a été un critère important, nous avons donc choisi de mettre en place l'expérience sur des parcelles en précédant chou-fleur d'hiver préférentiellement. C'est une plante riche qui ne nécessite normalement pas de fertilisants pour la culture suivante, conseil donné par la CA29. Il était donc intéressant à la fois de constater les habitudes des producteurs mais surtout d'utiliser le modèle sur des parcelles possiblement « surfertilisées ». Il est important de rappeler qu'une trop forte fertilisation augmente le risque d'infection par le mildiou.

La densité de plants, 10 000 à l'hectare, est homogène d'une parcelle à l'autre.

La zone modèle doit avoir une largeur suffisante pour éviter un effet de bordure. Selon les producteurs et le matériel de pulvérisation dont ils disposent, deux types de zones ont été mises en place : une bande sur toute la longueur du champs d'au moins 5 rangs ou bien un rectangle plus large d'une dizaine de rangs au minimum mais sur une partie de la longueur seulement (*photo 7*). Si il y a la présence d'un gradient dans la parcelle (pente, état des plants, etc.) pour ne lire que l'effet des traitements sur le mildiou, la zone modèle sera choisi de manière parallèle au gradient.

Les parcelles de retour n'ont pas été sélectionnées par rapport à leur fertilisation, mais les parcelles de drageons si (fumier de bovin).

Le type de fongicides utilisé a été noté ainsi que d'éventuel dispositifs d'irrigation ou de drainage.



Photo 7. Deux types de zones modèles, jalonnées, dans les parcelles des producteurs pour l'expérimentation en plein champ. A gauche : zone modèle rectangulaire de 12 rangs sur une cinquantaine de mètre. A droite : zone modèle de 6 rangs sur toute la longueur de la parcelle. Photos prises par Adélie Stephan, 2014.

iii. Notation

Les notations sont similaires à celles réalisées dans les parcelles expérimentales du CATE. Les caractéristiques de chacune des parcelles ont été répertoriées afin de voir un éventuel effet de celles-ci sur la propagation de la maladie, tel que la taille et la forme de la parcelle, la situation géographique et un rapide suivi sanitaire (notation de la présence de pucerons, d'auxiliaires, d'adventices etc.). La notation d'indices de maladie est réalisée sur 12 plants par zone et par parcelle au stade phénologique représentatif de la parcelle sur 3 étages foliaires. Pour l'approximation du rendement les hampes florales ont été mesurées, 1 fois par semaine à partir des récoltes, sur 100 plants de chaque zone. Une zone lisière d'au moins 2 rangs est laissée dans chaque partie mais les plants de la zone producteurs et de la zone modèle ne doivent pas être trop éloignés pour autant lorsque la parcelle est hétérogène.

3. Mise en place des réseaux

Quarante-deux producteurs ont été contactés par téléphone afin de mettre en place les réseaux « retours » et « drageons ». Le principe de l'essai leur a été expliqué et lorsqu'ils étaient d'accord pour le réaliser dans une de leurs parcelles correspondant aux critères recherchés, un rendez-vous a été pris afin de rencontrer l'exploitant et de repérer la parcelle.

Au départ, 10 producteurs ont accepté de mettre en place l'essai sur des parcelles de retours. Quatre parcelles ont été perdues. Trois producteurs n'ont pas traité la zone modèle dans les temps et un producteur a détruit sa parcelle, la trouvant trop peu poussante. Sur les six parcelles restantes, une n'a montré aucun signe d'infection par le mildiou (Merrien) et une autre a été détruite avant la mesure des hampes florales pour le rendement (Merrand) (*tableau 2*).

Vingt-deux producteurs ont accepté de mettre en place l'essai sur des parcelles de drageons (*tableau 3*). Pour le moment, 2 parcelles ont été perdues car les zones modèles ont été traitées avant déclenchement de l'alerte par Milart. Quatre producteurs du réseau retour ont été sollicités pour le réseau drageon.

Un nombre inférieur de parcelles a été recherché pour le réseau retour car la pression mildiou est plus faible que sur les drageons. Les producteurs traitent donc ces parcelles moins fréquemment et l'intérêt du modèle étant de diminuer le nombre de traitements en les positionnant correctement, la différence entre le nombre de traitement par le producteur et conseillé par le modèle sera proche sur retour.

Le modèle a déclenché une à deux fois dans les parcelles de retours et deux fois dans la plupart des parcelles de drageons à la rédaction du mémoire.

Tableau 2. Parcelles du réseau retours.

Producteur	Commune	Station de référence	Date de plantation	Date de broyage
Le Jeune	Plouescat	Plounevez-Lochrist	20/04/2013	15/11/2013
Merrien	Cléder	Plounevez-Lochrist	18/04/2013	07/11/2013
Yven	Carantec	CATE	20/04/2013	Aucune
Le Bras	Plounevez-Lochrist	Plounevez-Lochrist	10/05/2013	25/10/2013
Dupont	Plounevez-Lochrist	Plounevez-Lochrist	10/05/2013	25/10/2013
Merrand	Guimaëc	Tregor	05/04/2013	01/10/2013

Tableau 3. Parcelles du réseau drageons.

Producteur	Commune	Station de référence	Date de plantation
Le Jeune	Cléder	CATE	14/04/2014
Le Bras	Plounevez-Lochrist	Plounevez-Lochrist	17/04/2014
Dupont	Plounevez-Lochrist	Plounevez-Lochrist	17/04/2014
Bohic	Carantec	CATE	14/05/2014
Masson	Saint-Jean-du-doigt	Tregor	21/04/2014
Grall	Plouvorn	CATE	15/03/2014
Cloarec	Cleder	Plounevez-Lochrist	24/04/2014
Kerbrat	Cleder	Plounevez-Lochrist	14/05/2014
Jacob	Saint-Pol-de-Léon	CATE	02/04/2014
Combot	Cleder	Plounevez-Lochrist	01/04/2014
Jaouen	Cleder	Plounevez-Lochrist	04/04/2014
Pluchon	Plouescat	Plounevez-Lochrist	06/05/2014
Le Roux M.	Henvic	CATE	06/05/2014
Faujour	Sibiril	CATE	23/04/2014
Cadiou	Cleder	Plounevez-Lochrist	25/04/2014
Nedelec I.	Sibiril	CATE	16/05/2014
Le Roux A.	Plougasnou	Tregor	17/04/2014
Danielou	Taulé	CATE	19/04/2014
Nedelec A.	Guimaëc	Tregor	14/05/2014
Le Gall	Sibiril	CATE	16/04/2014

Résultats

Les données ont été traitées avec le logiciel libre R libre de droit. Les deux types de données recueillies, de rendement et de classes de maladie, ont induit deux traitements statistiques différents. Pour les essais chez les producteurs, le nom de chaque parcelle correspond à celui de l'exploitant. De même, afin de pouvoir comparer les données de notation hebdomadaire sous R, la date du mercredi de chaque semaine est utilisée comme date de notation, même si elle a été effectuée un autre jour de la semaine.

I. Traitement des données d'indices de maladie

1. Notation des indices de maladie

La notation des parcelles de retours a débuté la semaine 14 mais les premières tâches de mildiou ont été observées semaine 17 (notée 23 avril) dans les parcelles Le Bras et Dupont. Les données traitées seront celles acquises à partir de cette date et jusqu'à la semaine 29 (notée 16 juillet) de dernière notation avant les récoltes. La notation sur drageons a débuté semaine 24 (notée 11 juin) et les premiers symptômes sont apparus semaine 26 (notée 25 juin) dans les parcelles Jacob, Le Gall, Le Roux A., Bohic et Masson. Les données traitées sont celle acquises à partir de cette date et jusqu'à la semaine 33 (notée 13 août).

2. Traitement statistique

Les données de notation hebdomadaires de classes de maladie sont plus complexes que celles des rendements car elles comprennent plus de facteurs : date, stade de développement des plants, producteur (= bloc), modalité et 3 notes par plant (une par étage foliaire).

La régression logistique, un cas particulier du modèle linéaire généralisé (=GLM) est alors une bonne alternative à l'ANOVA. Il s'agit là encore d'une régression linéaire mais elle est plus flexible sur le type de données à analyser. La régression logistique permet d'analyser des données qualitatives binaires à partir d'un ensemble de variables qualitatives et quantitatives. Le modèle est construit grâce à la fonction GLM (family = binomial) sous R. Les tables de coefficient des GLM effectués sont en [Annexe 5](#). Les données de notations sont transformées en données binaires avec :

0 = plants sains (indice de maladie 0)

1 = plants touchés (indices de maladie 1, 2 et 3)

Le modèle permettra d'expliquer la répartition des plants sains et touchés au sein de chaque modalité dans le temps en fonction du stade des plants et du bloc ainsi que des interactions possibles entre ces facteurs.

Le mildiou attaque les feuilles des étages inférieurs avant de s'attaquer à celles des étages supérieurs, il est donc intéressant d'étudier chaque étage foliaire indépendamment et c'est pourquoi un GLM a été réalisé pour chaque étage foliaire des parcelles de drageons et de retours.

Afin de pouvoir étudier l'évolution de l'intensité de la maladie sur chaque modalité au cours du temps, des tests d'indépendance du χ^2 sont réalisés sur les données brutes de notation en classe sur les différents facteurs avec une probabilité critique de 0,05 (*Annexe 6*). Ce test est moins puissant que la régression logistique qui permet de construire un modèle prenant en compte plusieurs facteurs et leurs interactions, mais il permettra de discriminer des facteurs qui influenceraient l'intensité de la maladie et non sa présence.

3. Réseau producteur

i. Réseau retour

• Dynamique du mildiou

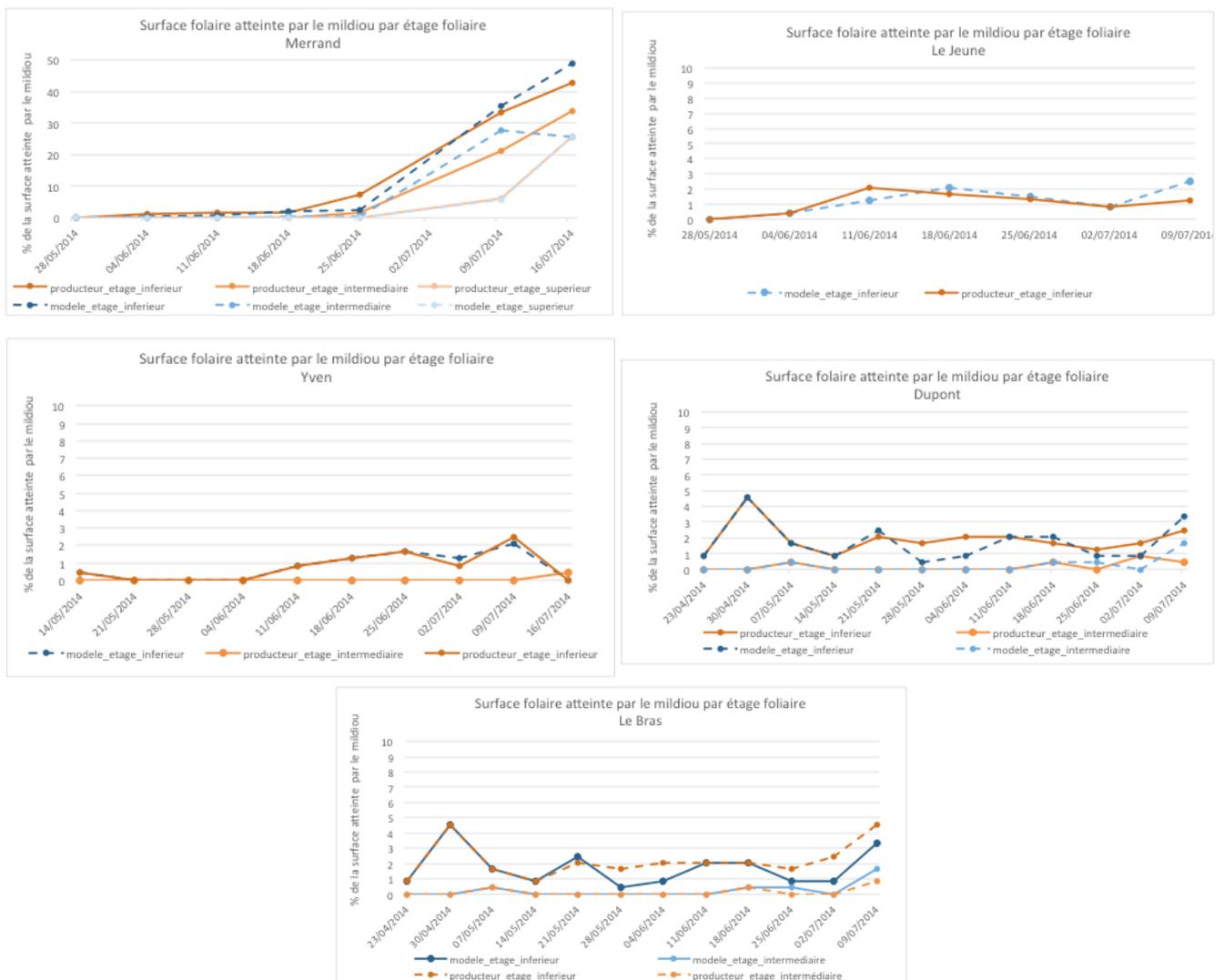


Figure 11. Graphes de l'évolution du mildiou au cours du temps sur les parcelles de retours- réseau producteur. Attention, les échelles sont différentes selon les graphes et l'intensité de la maladie.

La parcelle Merrien ne figure pas dans les graphes car aucune sporulation n'a été notée au cours du temps. Les graphes de la *figure 11* ont été créés à partir des données en classe en approximant le pourcentage de la surface de feuille touchée par étage foliaire :

Classe 0 : 0 %

Classe 1 : 5 %

Classe 2 : 30 %

Classe 3 : 75%

Une fois les proportions de surface foliaire atteinte par le mildiou calculées par plant, une moyenne des 12 plants notés est calculée afin d'obtenir un pourcentage par étage foliaire, par date et par parcelle.

Les attaques de début de saison ont diminué au cours du temps, comme le montre les courbes des parcelles Yven, Le Bras, Dupont et Le Jeune. Lorsqu'un étage foliaire est touché, l'étage qui lui est inférieur l'est aussi. On observe différentes dynamiques selon les parcelles. Les plus grands taux d'infestation sont visibles le 16 juillet aux stades **d** et **e**. Seule la parcelle Yven fait exception avec une diminution des attaques sur l'étage inférieur à cette date. La parcelle Merrand est la plus touchée dans la période critique d'avant récolte avec presque 48,75% du feuillage attaqué au stade **e** sur l'étage inférieur des plants traités de la zone modèle la dernière semaine. Les parcelles Dupont et Le Bras ont un développement identique jusqu'au 7 juillet. L'infestation de la maladie se fait plus importante dans la parcelle Le Bras. La proportion de feuilles attaquées sur l'étage inférieur devient plus faible dans la zone producteur de la parcelle Dupont (2,5%), traitée le 2 juin, que dans la parcelle Le Bras non traitée (3,33% sur l'étage inférieur).

- *Modélisation*

Etage inférieur

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
modalite	4.294		1	0.03824 *
date	228.149		12	< 2.2e-16 ***
producteur	77.539		4	5.782e-16 ***
date:producteur	132.426		42	2.687e-11 ***

La table d'ANOVA montrent que la modalité est un facteur statistiquement déterminant dans l'infestation de la maladie dans l'étage inférieur. La table des coefficients en annexe montrent que les plants de la modalité producteur ont une tendance à être moins touchés (estimate = -1,326). Le 9 juillet (p-value = 0,0238 ; estimate : -1.37.10¹³), il y a statistiquement plus de plants touchés qu'aux autres dates. Le 23 avril, les parcelles Merrand (p-value = <2.e-16 ; estimate = -4,499e+15) et Yven (p-value = <2.2e-16 ; estimate = -4.510e+15) sont moins touchées que la parcelle de référence (Dupont). Il y a un effet date et un effet bloc.

Etage intermédiaire

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
stade	244.400		5	< 2.2e-16 ***
producteur	62.571		4	8.353e-13 ***

Le modèle de la présence de mildiou sur les feuilles des étages intermédiaires des plants des parcelles de retour est dépendant du stade et de la parcelle (notée « producteur » dans la table). La table des coefficients du modèle montre que le stade le plus sensible est significativement le stade **e** (p-value = 2.54e-12 ; Estimate = 7.5579) et que les stades **a** à **e** sont tous plus sensibles que le stade **0**. La parcelle Merrand est significativement plus touchée que la parcelle de référence Dupont.

Etage supérieur

Aucun facteur n'explique significativement la distribution des plants touchés et non touchés.

- *Test d'indépendance du Khi²*

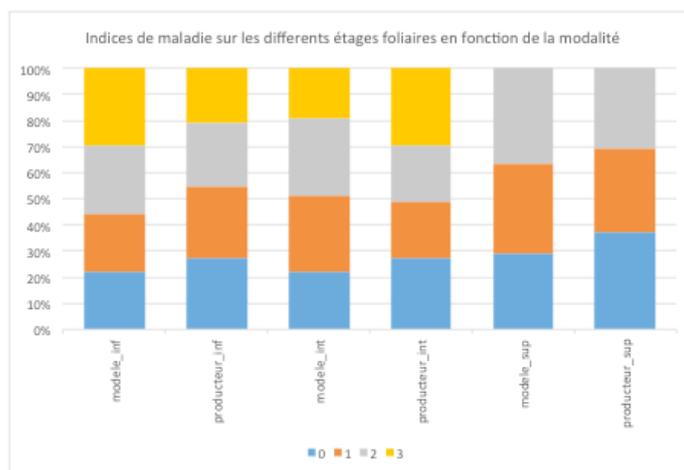


Figure 12. Répartition des surfaces foliaires attaquées en fonction de la modalité sur l'ensemble des parcelles du réseau retour.

Comme l'a montré le GLM, la modalité est un facteur jouant sur la présence de mildiou sur l'étage inférieur des plants du réseau producteur. Un test d'indépendance du Khi² réalisé sur les données brutes de notations de l'étage

inférieur par modalité (*figure 12*) n'abouti pas à cette conclusion ($p\text{-value} > 0,05$). Certes il y a proportionnellement plus d'indice 3 dans la zone modèle que dans la zone producteur, mais l'hypothèse d'indépendance ne peut pas être confirmée. La conclusion des tests de Khi2 sur les date et les stades est identique à celle du GLM. L'interaction observée dans l'élaboration du modèle sur l'étage foliaire supérieur ne pourra pas être analysée par le Khi².

4. Réseau drageon

• Dynamique du mildiou

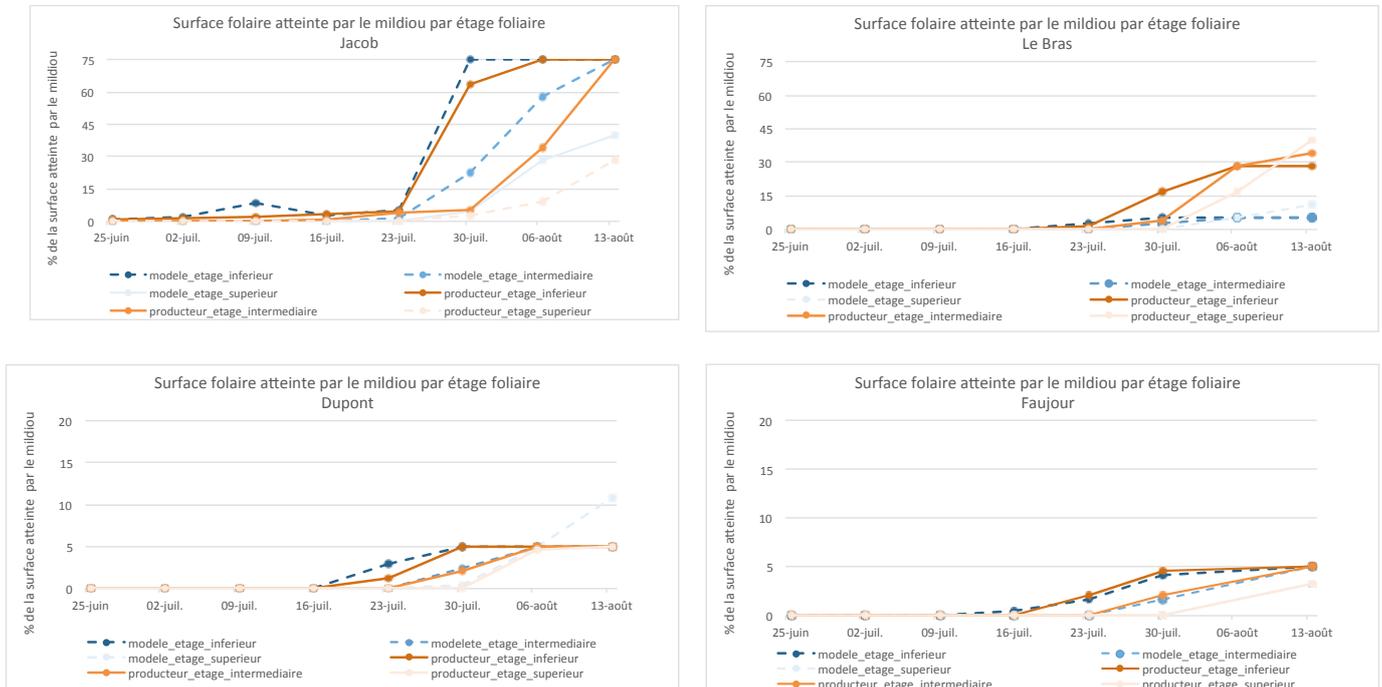


Figure 13. Graphes de l'évolution du mildiou au cours du temps sur les parcelles de drageons- réseau producteur. Attention, les échelles en y sont différentes selon les graphes et l'intensité de la maladie.

Seules les parcelles dont les plants atteignent un stade e ou m au 13 août sont représentées graphiquement (*figure 13*).

La pression mildiou augmente avec le temps et les étages supérieurs sont toujours moins touchés que les étages qui leur sont inférieurs. Sur la parcelle Jacob, la pression mildiou a été très forte et l'Oomycète s'est développé rapidement. Les étages inférieurs et intermédiaires sont au maximum d'infestation (75%) le 13 août au stade m.

Les courbes semblent atteindre un maximum plus faible autour de 5% pour la parcelle Faujour. Le mildiou est arrivé tôt mais n'a pas atteint de proportion trop élevée de surface de feuillage. Dans la parcelle Le Bras, la zone modèle semble moins touchée que la zone producteur. L'étage supérieur des plants de la zone modèle semble plus touché chez Dupont.

• Modélisation

Étage inférieur

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
date	405.06	7	< 2.2e-16	***
producteur	910.71	18	< 2.2e-16	***
stade	52.20	7	5.323e-09	***

Le GLM effectué sur les données de notation de l'étage inférieur montre que l'infestation évolue au cours du temps, en fonction de la parcelle et du stade. Avec la table des coefficients, on remarque que l'infestation du mildiou sur l'étage inférieur est différente le 2 juillet. Les valeurs estimées permettent de déduire que l'infestation augmente au cours du temps. La parcelle Nedelec I. est la moins touchée ($p\text{-value} = < 2e-16$; Estimate = -4,59836), puis viennent les parcelles Combot, Kerbrat, Faujour, Dupont, Le Bras, Le jeune, Cloarec, Cadiou Jaouen, Grall et Danielou. Les parcelles Massons et Nedelec A. sont aussi touchées que la parcelle Bohic. La parcelle Danielou est significativement plus touchée que toutes les autres. L'effet stade est lié à l'observation de mildiou sur l'étage inférieur des plants aux stades m, d et c. Les stades plus précoces, a et b, ne diffèrent pas du stade 0.

Etage intermédiaire

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
date	31.105	7	5.947e-05	***
producteur	179.231	18	< 2.2e-16	***
stade	84.925	7	1.358e-15	***

Le modèle final sur la présence de mildiou sur l'étage intermédiaire des plants dépend, tout comme sur l'étage inférieur, du temps, du bloc et du stade. Le mildiou a une évolution plus hétérogène au cours du temps que sur l'étage inférieur. Seule l'infestation à la date du 16 juillet est significativement différente de celle de la référence (2 juin).

Tout les stades sont plus touchés que le stade 0. L'infestation augmente du stade a jusqu'au stade le plus sensible : e. Une fois les capitules récoltés (stade m et r), la pression de la maladie diminue.

Etage supérieur

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
date	27.791	7	0.0002400	***
producteur	117.167	18	< 2.2e-16	***
stade	24.620	7	0.0008858	***

Le modèle final représentant la présence du mildiou sur l'étage foliaire supérieur est fonction de la date, de la parcelle et du stade de développement des plants. Ces paramètres sont les mêmes que pour les étages inférieurs et intermédiaires. La table des coefficients ne montre aucune p-value significative mais des tendances sont observées à la lecture des « estimate ». La présence de mildiou sur l'étage supérieur est importante les 17 et 30 juillet et le 6 août. De même, certaines parcelles ont du mildiou sur l'étage supérieur (Danielou, Le Jeune) sur une proportion plus importante des plants que d'autres (Combot, Le Roux). Les stades les plus avancés sont plus touchés.

• Khi^2

Les tests d'indépendance du Khi^2 ont été réalisés sur les données de notation en classe par étage foliaire sur les facteurs modalité, temps, producteurs et date. Ils montrent que les données d'intensité de maladie sont indépendantes de la modalité (p-value (étage inférieur) = 0,4 ; p-value (étage intermédiaire) = 0,4935 ; p-value (étage supérieur) = 0,9815). Tout comme les résultats du GLM, les tests effectués sur les facteurs temps et date montrent leur influence sur l'intensité de la maladie, quelque soit l'étage foliaire, les p-values sont inférieures à $2,2 \times 10^{-16}$ dans tous les cas.

5. Résultats au CATE

• Dynamique du mildiou

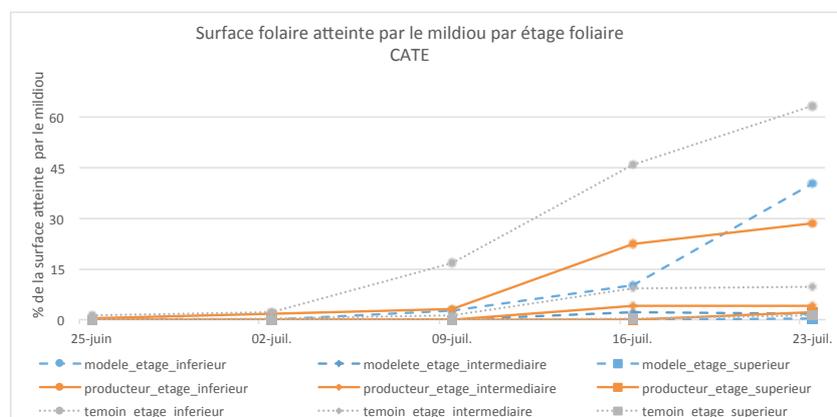


Figure 14. Evolution du mildiou au cours du temps sur la parcelle de retour de Castel au CATE.

La figure 14 montre que la surface foliaire de l'étage inférieur des plants témoins est beaucoup plus touchée que les autres modalités, quelque soit la date. Les étages des plants de la modalité modèle et producteur sont ensuite les plus touchés et ils semblent très proches. Les étages intermédiaire et supérieur sont touchés, quelque soit les modalités, dans une moindre mesure.

• *Modélisation*

Étage inférieur

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
date	126.628	4	< 2.2e-16	***
modalite	16.054	2	0.0003265	***

La présence de mildiou sur l'étage inférieur est significativement dépendante de la modalité et de la date. Le tableau des coefficients en annexe montre que les plants de la modalité producteur ont tendance à être plus affectés (-value = 0,074643) et ceux de la zone témoin sont significativement plus touchés. Il y a statistiquement plus de mildiou dans le temps.

Étage intermédiaire

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
date	94.343	4	< 2e-16	***
modalite	13.518	2	0.00116	**

L'infection de l'étage intermédiaire est significativement dépendante de la date et de la modalité. Il y a plus de mildiou dans la zone témoin ainsi que dans la zone producteur, par rapport à la zone modèle. La présence du pathogène augmente avec le temps.

Étage supérieur

Table d'ANOVA :

	LR	Chisq	Df	Pr(>Chisq)
date	27.614	4	1.493e-05	***

La présence de mildiou sur l'étage supérieur n'est dépendante que de la date. Elle augmente avec le temps.

• *Khi²*

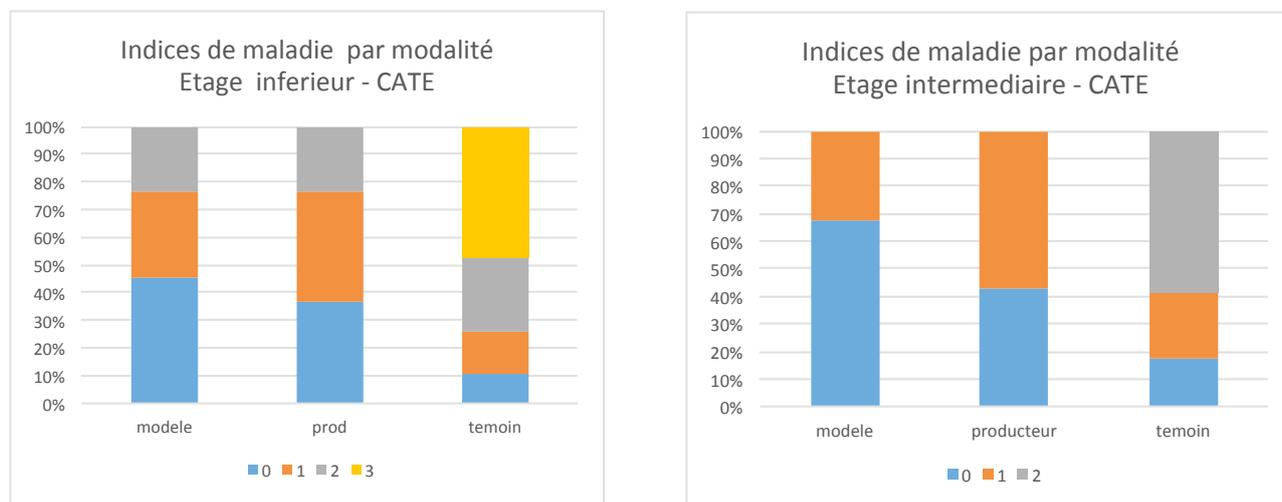


Figure 18. Graphique de la répartition des indices de maladies sur les étages inférieur (à gauche) et supérieur (à droite) en fonction de la modalité sur les plants de retours de l'essai du CATE.

Les tests d'indépendance du Khi^2 montrent que l'infestation de mildiou sur les étages inférieur (p-value = 0.02435) et intermédiaire (p-value = 0.03052) dépendent de la modalité, de la date, mais aussi du stade. La figure 15 montre que l'importance des plants touchés à hauteur de l'indice 3 sont seulement présents dans la modalité témoin sur l'étage inférieur et à hauteur de l'indice 2 pour l'étage intermédiaire. L'effet modalité est responsable de la présence/absence de mildiou ainsi que de son intensité. L'effet stade est responsable de l'intensité et non pas de la présence du mildiou, le changement de stade engendrerait donc une amplification de la maladie là où elle est déjà présente.

L'étage supérieur serait dépendant de la date et de la modalité, mais cette conclusion va à l'inverse des résultats obtenus dans le glm. Les notations étant de 0 ou de 1 sur cet étage, les résultats auraient dû concorder, on ne peut donc pas conclure.

Les données de notation sur les parcelles de dragons ne sont pas suffisantes pour réaliser leur analyse, le suivi ayant été moins rigoureux.

II. Traitement des données de rendements

1. Notation des rendement

La mesure des hampe florales au CATE afin d'acquérir des données pour le calcul des rendements a été effectuée à cinq dates différentes : le 25 juin, le 1^{er} juillet, le 15 juillet, le 23 juillet et le 31 juillet. Les mesures des diamètres de 301 hampes forales et leur poids ont permis de réaliser la *figure 16*. Les diamètres ont été mesurés avec une précision au mm sur le plant et les poids à une précision aux cinq g, juste après la coupe. Le poids des capitules augmente avec le diamètre au carré. On observe trois groupes distincts : les mères, les ailes, plus petites, et les clochettes. Les clochettes sont des capitules, plus petits que les ailes, et qui n'atteindront jamais une taille commercialisables. Elles sont souvent retirées avant les récoltes afin d'orienter un maximum de sève vers la mère et les ailes. La courbe de tendance a été créée avec un tableur. Elle commence à (0,0) : un diamètre inexistant correspond forcément à un poids nul. Son R^2 de 0,7172 est moyennement bon. La différence par rapport à 1 s'explique par la distribution des poids des capitules pour un même diamètre². Les points du graphique sont toute fois bien distribués de part et d'autre de la droite de tendance. Son équation est $y = 0,8004 \cdot x$. Il suffit de multiplier le diamètre x au carré mesuré par 0,8004 pour obtenir une approximation du poids du capitule. La distribution des données oblige la mesure d'un nombre conséquent de plants. Une centaine de plants sont mesurés par modalité afin de s'approcher du rendement réel dans le réseau producteur et les 240 plants de l'essai au CATE sont mesurés. Les résultats ainsi obtenus sont compilés dans les *tableaux 4 et 5* des points suivants.

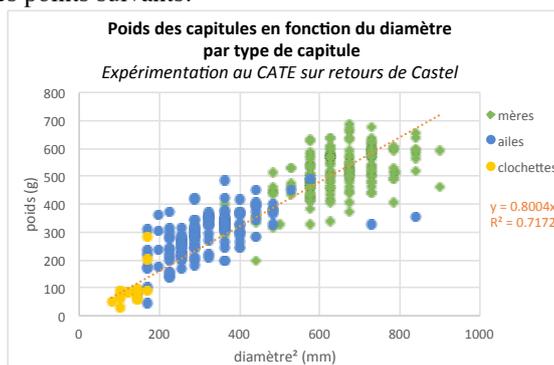


Figure 16. Résultats des mesures effectuées au CATE sur les diamètres des hampes florales et le poids des capitules.

2. Traitement statistique

Seuls les rendements des plants de deuxième année ont pu être évalués à la date du rendu de ce rapport mais le travail sera mené jusqu'au récoltes.

Le calcul des rendements a été réalisé sur 100 plants pour l'essai en plein champs et les plants malades, manquants ou qui ne donneront pas de capitule cette années, sont aussi pris en compte afin d'évaluer un rendement réel en tonne à l'hectare par parcelle (noté rendement_reel). Le nombre de ces plants peut varier entre les différentes modalités et donc influencer sur les différences de rendement entre les zones, en particulier au CATE ou le nombre de plants par répétition est de 20. Ces différences ne sont pas liées au mildiou car aucun capitule n'a été touché par la maladie sur les retours. Elles peuvent servir à mettre en avant un effet bloc mais le rendement potentiel à l'hectare doit être utilisé pour le traitement des données qui suivra afin que les résultats ne soient pas influencés par ce biais.

La densité de plants à l'hectare est de 10 000, les rendements réels et potentiels sont donc calculés comme suit :

$$\text{rendement}_{\text{réel}}(t. \text{ha}^{-1}) = \frac{10\,000 \times \sum \text{poids capitule}(g)}{\text{nombre de plant mesuré}} / 10^6$$

$$\text{rendement}_{\text{potentiel}}(t. \text{ha}^{-1}) = \frac{\text{nombre de plants notés} \times \text{rendement}_{\text{réel}}(t. \text{ha}^{-1})}{\text{nombre de plants notés} - \text{nombre de plants manquants}}$$

L'objectif principal est de savoir si les rendements en zone modèle, producteur et modèle au CATE et en zone modèle et producteur en plein champ diffèrent les uns des autres et dans quelle mesure. Pour cela, les données de rendements potentiels sont analysées par ANOVA (*Annexe 7*) après vérification de la distribution normale des données par un test de Shapiro-Wilk ($\alpha = 0,05$). L'hypothèse nulle de ce test est que « les valeurs sont issues d'une population normalement distribuée ». L'ANOVA est une comparaison multiple de moyenne de données quantitatives (ici le rendement) par rapport à une variable explicative qualitative (ici la modalité).

3. Résultats des réseaux producteur

Tableau 4. Rendements des parcelles de retours du réseau producteur.

Parcelle	Zone Producteur					Zone Modèle				
	Poids moyen mère (g)	Poids moyen aile (g)	Rendement réel (t.ha ⁻¹)	Rendement potentiel (t.ha ⁻¹)	Rapport nb.ailes / nb mères	Poids moyen mère (g)	Poids moyen aile (g)	Rendement réel (t.ha ⁻¹)	Rendement potentiel (t.ha ⁻¹)	Rapport nb.ailes / nb mères
Le Jeune	720	287	10,30	12,6	1,3	658	356	9,1	11,1	1,4
Merrien	662	339	8,8	9,1	1,3	657	384	11,1	11,4	0,7
Yven	265	165	3,4	4,0	0,2	347	289	3,2	3,9	0,2
Le Bras	528	269	7,4	7,5	1,0	538	244	7,1	7,3	1,1
Dupont	532	259	7,3	7,6	1	538	244	7,1	7,3	1,1

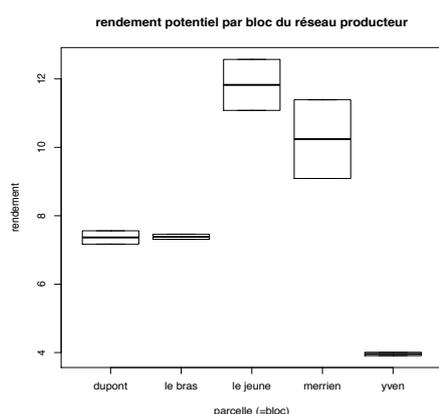


Figure 17. Représentation en boîte à moustache des rendements calculés par producteur, quelque soit la modalité.

Les données de rendements réels, au vu des effets sur les données du CATE (voir II.4. page 25), ne seront pas utilisées pour les données des parcelles du réseau producteur. Seules les données de rendements potentiels seront utilisées.

Le test de Shapiro sur les données de rendements potentiels chez les producteur indique que la distribution des données ne suit pas une loi normale ($p\text{-value} = 3,7.10^{-5}$). Les données ne sont pas normalisables car leur distribution est asymétrique. Lorsque l'on teste la normalité des données par parcelle, seule la parcelle Merrien suit une loi normale, un test non paramétrique doit donc être appliqué en alternative. Le nombre de modalités étant de deux et les données indépendantes, le test de Mann and Whitney est adapté pour la situation. L'hypothèse nulle est « les deux échantillons sont identiquement positionnés ». La $p\text{-value}$ est de 0,1484 ($p > 0,05$). L'hypothèse nulle ne peut donc pas être rejetée, la distribution des rendements par capicule des zones « producteur » et « modèle » sur l'ensemble des parcelles est identique.

Un effet « bloc » est observé. La simple lecture des données du *tableau 4* permet de le dire et la représentation graphique en boîte à moustache des rendements potentiels par producteur permet de le visualiser (*figure 17*). Visuellement, trois groupes de parcelles ressortent : des rendements plus élevés chez Le Jeune et Merrien, des rendements plus faibles chez Dupont et Le Bras et enfin une dispersion et un rendement minimum chez Yven.

4. Résultats au CATE

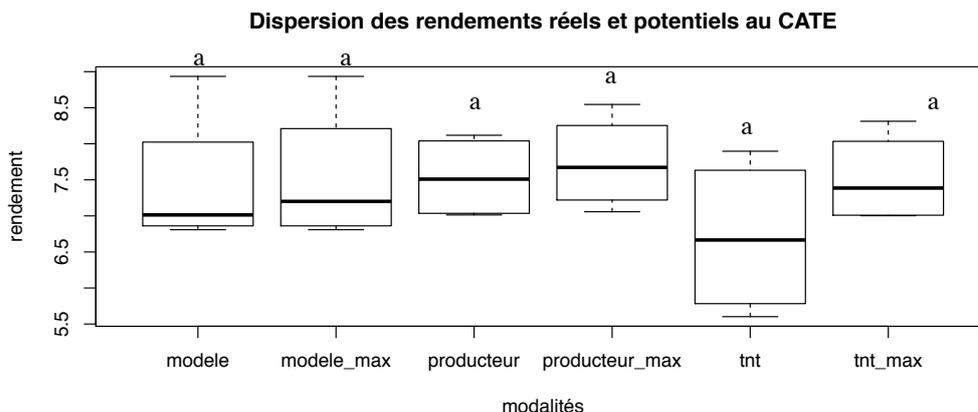


Figure 18. Résultat de l'ANOVA à un facteur sur les rendements réels (modele, producteur et tnt pour le témoin non traité) et potentiels (modele_max, producteur_max et tnt_max) des 4 blocs sous forme de boîte de dispersion. Les lettres identiques au dessus des boîtes à moustache signifient des groupes sans différence significative.

Tableau 5. Rendements des parcelles de retours du réseau producteur.

Bloc	Zone Témoin		Zone Producteur		Zone Modèle	
	Rendement réel (t.ha ⁻¹)	Rendement potentiel (t.ha ⁻¹)	Rendement réel (t.ha ⁻¹)	Rendement potentiel (t.ha ⁻¹)	Rendement réel (t.ha ⁻¹)	Rendement potentiel (t.ha ⁻¹)
A	7,9	8,3	7,9	7,9	8,9	8,9
B	7,4	7,8	8,1	8,5	7,1	7,5
C	6,0	7,0	7,0	7,4	6,8	6,8
D	5,6	7	7,1	7,1	6,9	6,9
moyenne	6,7	7,5	7,5	7,7	7,4	7,5

Le test de Shapiro sur les données de rendement de la parcelle de retour au CATE indique que les données sont distribuées normalement (p-value = 0,1984, W = 0,9075). L'ANOVA peut donc être réalisée sur les rendements potentiels par zone. L'hypothèse nulle est : « les rendements potentiels sont identiques quelque soit la modalité ».

Les résultats de l'ANOVA des rendements réels et potentiels à 2 facteurs (modalité et bloc) montrent que les rendements, réels ou potentiels, sont globalement identiques dans les trois zones, modèle, producteur et témoin (p-value = 0,05449). Cependant, le rendement réel du témoin semble légèrement plus faible que les autres (figure 18). En effet, comparé au rendement réel de la zone modèle, celui des zones témoins est statistiquement plus faible (p-value = 0,0282 ; Estimate = - 0,73472). Il est de 6,7 t.ha⁻¹ en moyenne contre 7,4 t.ha⁻¹ pour le rendement réel en zone modèle à 7,7 t.ha⁻¹ pour les autres modalités. Cette ANOVA a permis de vérifier l'hypothèse selon laquelle le nombre de plants manquants peut influencer sur les rendements : le nombre cumulé de plants manquants des zones témoins est de 9 contre 1 en zones modèle et 2 en zones producteur.

Le facteur « bloc » a une p-value de 2,468.10⁻⁵ (<0,05). Les rendements, réels comme potentiels, sont donc différents d'un bloc à l'autre. Comparé au bloc a, le bloc b est moins productif (p-value = 0,0276 ; estimate = -0,60249) et les blocs c (p-value = 2,11e-05 ; estimate = -1,50181) et d (p-value = 1,24e-05 ; estimate = -1,57533) encore plus. Les blocs c et d sont moins productifs que le bloc a et le bloc b est intermédiaire comme le montrent les chiffres au dessus des boîtes de dispersion des figures 19 et 20.

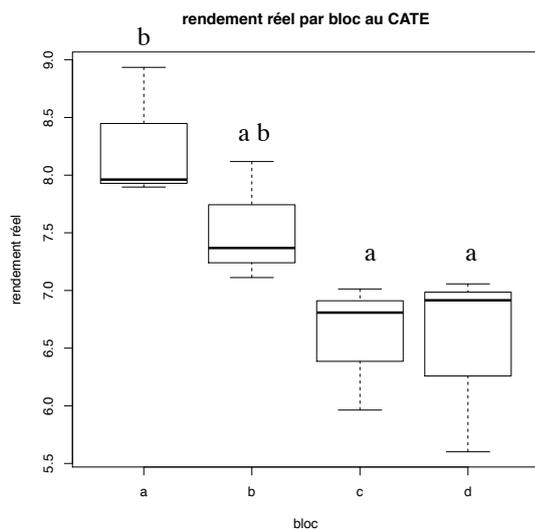


Figure 19. Résultat de l'ANOVA à un facteur sur les rendements réels par bloc sous forme de boîte de dispersion. Les lettres différentes au dessus des boîtes signifient des groupes significativement différents.

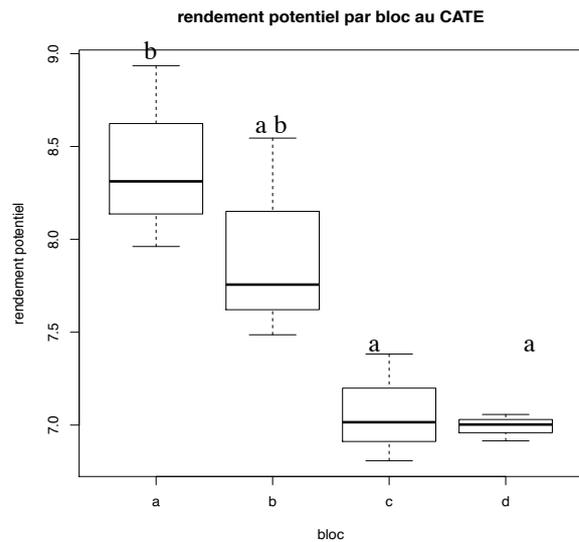


Figure 20. Résultat de l'ANOVA à un facteur sur les rendements potentiels par bloc sous forme de boîte de dispersion. Les lettres différentes au dessus des boîtes signifient des groupes significativement différents.

Discussion

I. Discussion sur la fiabilité du modèle

Les rendements en zones modèle et producteurs sont identiques sur les parcelles et les notations de mildiou aussi alors que les producteurs ont traités jusqu'à 4 fois plus que les indications du modèle qui n'en a préconisé qu'un seul. L'utilisation de Milart par des producteurs ayant réalisé plus d'un traitement est donc bénéfique. L'objectif principal était de prouver aux producteurs que le modèle déclenche une alerte au bon moment et, au vu des différents résultats, il fonctionne.

Le premier traitement est le plus important. Il conditionne tout d'abord les traitements suivants. Ensuite, les traitements disponibles pour les producteurs étant peu efficaces en utilisation curative, il permet s'il est bien positionné de retarder la venue de l'Oomycète. Sur les retours, le premier traitement a été mal positionné car du mildiou a été observé dans toutes les parcelles avant le déclenchement d'une alerte mais cela n'a pas empêché au modèle d'être fonctionnel. Le risque d'infestation de la parcelle peut être modifié sur le modèle, c'est ce qui a été fait. Le « risque fort » permet de déclencher une alerte plus précocement qu'en « risque moyen » en changeant les seuils de déclenchement. Il a été rarement utilisé dans le passé et s'est avéré peu concluant. En risque fort, le modèle a déclenché une alerte dans les parcelles concernées mais, sans avoir entré de traitement dans le modèle, l'alerte a disparu quelques jours plus tard. La fonction « risque fort » serait à revoir. Le déclenchement tardif du modèle sur les retours est lié à l'acquisition des données météorologiques. Le modèle commence à calculer les indices de sporulation le 1^{er} mars, la météorologie a été mise à jour 2 fois par semaine à partir de cette date. Des oospores issues d'une reproduction sexuée ont pu être conservées dans les parcelles pendant l'hiver, l'indice de sporulation au 1^{er} mars n'était alors pas nul. Le modèle devrait continuer à « tourner » pendant l'hiver pour prendre en compte ce phénomène, il déclencherait alors des alertes plus tôt. Le calage du premier traitement sur drageons a été beaucoup plus efficace. Seule la parcelle Bohic a été concernée par des symptômes précoces par rapport à l'alerte. Pour 7 parcelles, le modèle a déclenché une alerte moins d'une semaine avant l'apparition des symptômes. Pour 5 parcelles, l'alerte a été donnée une semaine avant l'apparition des symptômes et pour les 6 dernières parcelles l'alerte a eu lieu environ 2 semaines avant l'apparition de symptômes. Ces résultats encourageant confirment l'utilité de faire démarrer le modèle avant le 1^{er} mars pour améliorer son efficacité sur les parcelles de 2^{ème} année.

L'effet bloc observé en retours comme en drageons montre l'importance de l'itinéraire culturale dans la pression de la maladie et le rendement. Le modèle prend en compte un certain nombre de facteurs liés à la parcelle (date de broyage, variété, irrigation etc.) mais il pourrait être perfectionné en prenant en compte la fertilisation et le dédrageonnage par exemple. Ces caractéristiques influent sur la densité de feuillage et donc l'humidité et le risque d'apparition de la maladie. Dans la parcelle Le Bras par exemple, première parcelle de retour sur laquelle ont été observées des sporulations, la densité de feuillage était importante car il n'y a pas eu de dédrageonnage assez tôt au printemps, ce qui a pu favoriser l'apparition précoce de la maladie. Il est important de prendre en compte un délai entre l'alerte et le traitement d'environ une semaine lié à différentes contraintes (climat, temps disponible etc.) mais à priori cela n'impacte ni sur l'indice de maladie, ni sur le rendement.

Le modèle s'est montré encore plus efficace au CATE que dans les parcelles en essais. Cela peut être lié aux dates de traitements « producteur », aux méthodes de traitements, à l'homogénéité des unités expérimentales ou encore au nombre de plants notés par rapport au nombre de plants totaux.

II. Discussion autour de l'indice de maladie

Sur drageons, la pression est plus forte que sur retours, le modèle a déjà déclenché 2 alertes pour la majorité des parcelles. Sur les parcelles de deuxième année, les zones modèles et producteurs sont identiques et sur les parcelles de première année elles le sont aussi. Si la tendance se confirme jusqu'à la fin des récoltes, le gain en nombre de traitements sera plus important que pour les retours. La pression de la maladie sur les drageons augmente en effet plus vite que celle sur les retours et les producteurs sont moins enclins à accepter des dégâts sur leur parcelles de drageons que de retours.

Le taux d'infestation est fortement conditionné par le stade et la date, donc le climat. Le plant est à son maximum de sensibilité en montaison au vu des résultats sur les retours et les drageons. Ce phénomène est surtout visible sur les drageons où la pression de la maladie est plus forte.

Certaines parcelles ont été plus touchées que d'autres. Ce n'est pas lié au traitement mais à la conduite culturale. Les parcelles peu dédrageonnées et présentant beaucoup d'adventices ont un risque plus fort de développement de la maladie. La parcelle de retour Merrand (station météorologique du Tregor), la plus touchée, était en effet infestée d'adventices. Parallèlement, la parcelle Yven, située dans une aire géographique différente (station météorologique du CATE), malgré la présence forte d'adventices, n'a pas montré de fortes attaques de mildiou. Les conditions météorologiques favorables sont donc nécessaires et le facteur « désherbage » peut amplifier le phénomène.

L'essai au CATE a montré que les plants traités aux déclenchement des alertes par le modèle sont moins touchés que les plants traités en modalité « producteurs », et ce malgré le nombre supérieur de traitements. Ce résultat montre l'importance du positionnement des traitement fongicides du mildiou et la fonctionnalité du modèle.

Lorsque les conditions climatiques sont très favorables au mildiou, l'application d'un traitement n'aura pas un effet suffisamment bon pour endiguer l'évolution de la maladie, comme l'ont montrées les parcelles Jacob et Merrand. Pour une même zone géographique restreinte, les observations de mildiou sur le terrain sont souvent similaires comme le montre l'arrivée tardive du mildiou sur les parcelle Kerbrat, Cloarec et Faujour. L'augmentation de la densité du réseau de stations météorologiques pourrait améliorer la fiabilité du modèle sur le territoire.

III. Discussion autour des rendements

Les rendements en zone modèle et producteur sur retours sont identiques. L'importance de prendre en compte le nombre de plants manquants a été prouvée et s'est surtout observée au CATE.

Aucune perte directe (mildiou sur capitule) ou indirecte n'est à déplorer. Le modèle a donc bien fonctionné. L'objectif de Milart est surtout de diminuer le nombre de traitements sur drageons en positionnant des traitements si et seulement s'ils sont nécessaires. Les producteurs traitent plus les parcelles de 1^{ère} année que de 2^{ème} année, si les résultats qui seront obtenus sur drageons sont identiques à ceux des retours, les gains n'en seront que plus importants.

Les variations observées d'une parcelle à l'autres sont liées aux pratiques culturales. Prenons deux exemples :

- Le producteur Le Jeune a réalisé un seul traitement « producteur », 2 jours avant le déclenchement du modèle. Le modèle n'ayant préconisé qu'un seul traitement le 12 juin, les deux zones sont donc relativement identiques. Sa parcelle a été irriguée une fois à 20 mm pendant la nuit du 30 juin, après les traitement. L'irrigation de nuit a moins d'impact sur le développement du mildiou que lorsqu'elle a lieu en début de journée. La parcelle est restée propre (= avec peu d'adventices) tout au long de la saison. Une parcelle avec de nombreux adventices sera plus humide et donc plus favorable au mildiou. Allié au désherbage et à l'irrigation, le précédent riche a permis d'obtenir des plants vigoureux et assez haut (environ 1,5 m) qui ont alors donné des mères lourdes (720g) et un rapport nombre d'ailes/nombre de mères le plus élevé des parcelles de retours en suivi. Le rendement a donc été très bon (9,7t.ha⁻¹). La pression mildiou est restée faible (<3% de surface foliaire atteintes et aucune sporulation sur jeune feuille) et aucun traitement en surplus n'a été effectué. La réflexion du producteur a été bonne.

- Parallèlement, la parcelle Yven, peu touchée par le mildiou elle aussi, a eu un rendement très faible (3,3 t.ha⁻¹). La zone producteur n'a pas été traitée et la zone modèle a été traitée une fois. Le faible rendement est lié à la présence d'adventices qui ont étouffé les plants d'artichaut, ils sont resté petits et ont donné des mère légères (165 g en moyenne).

IV. Impact sur les pratiques des producteurs

Selon les producteurs, l'acceptation de dégâts sur une parcelle est différente. Cette vision va conditionner le nombre de traitements effectués. Les notions de dégâts et de dommages sont importantes pour comprendre leur comportement des producteurs vis à vis des traitements (agriculture.gouv.fr). Un dégât est une « déviation visible ou mesurable par rapport à une plante saine causée par la présence de bioagresseurs sur une culture » tandis qu'un dommage est lié à une perte de rendement. Dans le cas de notre étude, le rendement n'a pas été affecté, il y a eu des dégâts sans dommages sur les parcelles. On pourrait penser que le rendement ait été affecté de manière similaire dans les zones modèles et producteurs, mais cette hypothèse semble peu probable et les pratiques culturales sont une cause plus plausible aux différences observées entre les parcelles. De plus, l'essai au CATE montre que le rendement de la zone témoin est identique à ceux des zones traitées. Certains producteurs n'acceptent aucun dégât tandis que d'autres sont plus souples. Cela va conditionner le nombre de traitements qu'ils effectueront sur leur parcelle. L'utilisation du modèle est un moyen sûr de diminuer le nombre de traitements effectués, sur drageons notamment, sans inquiéter les producteurs.

Les enjeux économiques liés aux traitements antifongiques sur les parcelles d'artichauts sont faibles. La diminution du nombre de traitement sur une parcelle représente un gain de 23 à 45€ de l'hectare, selon les produits et les doses utilisés, par traitement. L'impact environnemental, lui, n'est pas négligeable. Afin de chiffrer les conséquences des traitements sur l'environnement, un indice a mis au point au Danemark, l'Indice de Fréquence de Traitement de fongicide (IFT) ([tableau 6](#)). Il représente l'intensité des traitements effectués sur une parcelle. Il permet, plus que leur coût, de mesurer l'impact environnemental des traitements phytosanitaires. Il se calcule comme suit :

$$IFT (fongicide) = \sum \frac{dose\ appliquée \times surface\ traitée}{dose\ homologuée \times surface\ de\ la\ parcelle}$$

Même si l'échantillon est réduit, l'IFT moyen est inférieur avec le modèle par rapport à la pratique du producteur. Ces chiffres donnent à réfléchir et sont, auprès des producteurs, un argument de poids en faveur du modèle.

Tableau 6. Traitements effectués sur les parcelles de retours de Castel au CATE et sur le réseau producteur de retours.

producteur	modalité	Dates de traitement	Date de l'alerte	IFT ¹	$\frac{T_{prod.2}}{T_{mod.}}$
CATE	producteur	7 mai 30 mai 2 juillet		2,7	3/2
	modèle	13 mai 2 juillet	7 mai 1 ^{er} juillet	1,6	
Le Jeune	Producteur	11 juin		1	1/1
	Modèle	14 juin	12 juin	1	
Merrien	Producteur	16 avril 26 mai 17 juin 2 juillet		3,2	4/1
	Modèle	17 juin	16 juin	1	
Yven	Producteur	0		0	0/1
	Modèle	20 juin	16 juin	1	
Le Bras	Producteur	2 juin		0,9	1/1
	Modèle	14 mai	7 mai	0,6	
Dupont	Producteur	14 mai 2 juin		1,5	2/1
	Modèle	14 mai	7 mai	0,6	
Merrand	Producteur	0		0	1/1
	Modèle	18 juin	13 juin	1	

¹ Indice de fréquence de traitement

² Rapport du nombre de traitements « producteur » sur le nombre de traitements « modèle ».

Conclusion de partie

Le modèle a prouvé son efficacité sur retours et des résultats similaires sont attendus sur drageons. Les rendements des zones « modèle » et « producteur » sont identiques ainsi que les indices de maladie. Le modèle Milart s'est montré plus efficace que les positionnement des traitements « producteurs » du CATE et ce malgré la nécessité de petits ajustements (trêve hivernale et risque fort).

L'appropriation par les producteurs reste une étape plus délicate à cause du frein informatique lié au outils d'aide à la décision. Afin de supprimer cette barrière, il est possible d'envisager la création de parcelles types par les conseillers qui pourront transmettre les alertes via les flash d'information.

PARTIE II. Produits alternatifs aux fongicides classiques

Matériels et méthodes

I. Test de moyens de lutte alternatifs au fongicides classiques

1. Test d'efficacité en laboratoire

i. Objectif de l'essai

L'essai réalisé en 2014 s'inscrit dans la continuité des essais menés au cours des années précédentes à Vegenov. Son objectif est de tester l'efficacité de différents produits alternatifs aux fongicides chimiques contre le mildiou de l'artichaut. Une fois évalués en laboratoire, les produits pourront être testés en conditions semi-contrôlées, avant leur évaluation au champ. L'essai permettra de confirmer ou d'infirmer les résultats obtenus en 2013 et de tester de nouveaux produits.

ii. Matériel

- Matériel végétal

Les tests d'efficacité de produits ont été réalisés sur des artichauts de semis de variété OPAL. *Bremia lactucae* étant un agent pathogène obligatoire, ses spores ont été maintenues sur des plants d'artichaut de semis de variété sensible Concerto. Les graines des 2 variétés sont commercialisées par la société Nunhems®.

- Matériel fongique

La souche de *Bremia lactucae* utilisée pour inoculer les plants est la souche B1Art45a. Elle est issue d'un isolement monospore réalisé à Vegenov en 2011 et est conservée sous azote liquide (conservation sur plusieurs années) et à -20°C sur du matériel végétal dans des boîtes de Pétri. Le matériel ainsi congelé peut se conserver 6 à 10 mois. Avant de réaliser l'essai, la souche a été décongelée puis ré-inoculée sur de jeunes plants afin d'obtenir un inoculum issu de spores fraîches.

- Produits

Tableau 7. Liste des produits testés dans les essais en laboratoire

N° de l'essai	Code produit ¹	Dose appliquée	Substance active
1 à 4	Eau	-	-
1 à 4	Silicivivre	0,5%	Sulfate de cuivre + Silices marines
1 à 4	P12JD04	5% - 2% - 1,5%	Acides aminés et levures
1 à 4	P10A04	2% - 1%	Non communiquée
1 à 4	P13B35	1%	Algues et cuivre
1 à 4	P13A47	31,25g.L ⁻¹	Sucres
1 à 4	P13E43	1 g.L ⁻¹	Argiles et cuivre
1 et 3	Etonan	1% - 0,75%	Phosphites
1 et 2	P08T13	1%	Phosphites
1 et 2	P11T14	2,5%	Phosphites
3 et 4	P13O39	2%	Extraits d'algues
3 et 4	P14O15	2%	Extraits d'algues
3 et 4	P14O16	0,25%	Extraits d'algues

Les produits testés lors de cet essai (*tableau 7*) ont montré, lors des années précédentes, une bonne activité antifongique.

- *Echelle de notation*

L'échelle de notation des cotylédons (*tableau 8*) a été mise en place par Vegenov en collaboration avec les partenaires de la filière, la chambre d'agriculture et le CATE, afin que les notations au champ et les notations en laboratoire puisse être comparées.

Tableau 8. Echelle de notation du mildiou de l'artichaut sur cotylédons

Echelle de notation	Symptômes sur cotylédons
0	Aucune sporulation
3	Sporulation très localisée (<10% de la surface)
5	Sporulation faible (10 à 25% de la surface) ou Sporulation moyenne (25 à 50% de la surface), pas de nécrose
7	Sporulation sur 50 à 75% de la surface Eventuellement début de nécrose
9	Sporulation sur >75% de la surface Eventuellement nécrose

iii. Test de l'efficacité des traitements

Quatre essais ont été réalisés entre les mois de mars et de juillet 2014. Ils comprennent 3 ou 4 répétitions de 3 à 6 plants et sont menés selon le protocole de la *figure 21*.

Les plants d'artichauts sont semés en godet dans un terreau de semis puis mis en serre dans des bacs chauffants jusqu'à germination pour les deux premiers essais. La germination a été menée en salle de culture (18, 5°C nuit et 20°C jour) pour les essais suivants, suite à une mauvaise levée des graines en conditions trop chaudes de serre. La levée des graines d'artichaut s'est alors révélée beaucoup plus homogène.

Les plants sont cultivés au stade cotylédons étalés, 1^{ère} feuille apparente, durant deux semaines environ avant le 1^{er} traitement. Deux traitements préventifs espacés de 5 jours sont réalisés avec les produits sélectionnés. L'inoculation de *Bremia lactucae* a lieu 3 jours après le second traitement. Les plants des différentes modalités de chaque répétition sont randomisés après les traitements et l'inoculation. La notation est effectuée dès l'apparition de sporulations, une semaine environ après l'inoculation.

- *Traitement*

Les produits testés (*tableau 1*) ont été préparés en solution avec de l'eau osmosée à la dose préconisée par le fabricant dans un premier temps. Les produits ayant montré un effet phytotoxique (*photo 8*) sont de nouveau évalués à une dose inférieure. Ils sont vaporisés sur les artichauts, sous Sorbonne, jusqu'à la limite de ruissellement. Deux modalités témoins sont traitées pour chaque essai : une modalité « eau », témoin négatif, ainsi qu'une modalité « Silicivivre ». Ce produit est utilisé comme référence à Vegenov car il s'est montré efficace lors d'essais antérieurs pour lutter contre le mildiou de l'artichaut.



Photo 8. Exemples de symptômes de phytotoxicité observés sur artichauts de variété Opal. A. Taches brunes et jaunissement du cotylédons sur un plant de la modalité « P13B35 » lors de l'essai en laboratoire n°1. B. Nécrose des cotylédons d'un plant de la modalité « P10A04 » de l'essai en laboratoire n°1. C. Début de nécrose des cotylédons de plants de la modalité « P12JD04 » de l'essai en laboratoire n°3.

• Inoculation

L'ensemble des manipulations nécessaires à l'inoculation des plantules est réalisé sous hotte PSM. Des spores sont récupérées sur les cotylédons de plants préalablement inoculés puis mises en solution. L'inoculum est calibré à 20 000 spores.ml⁻¹ grâce à une lame de Malassez (*photo 10*), concentration permettant à l'apparition des symptômes 7 jours plus tard.

L'inoculum est ensuite vaporisé sur les jeunes plantules d'Opal puis, les plants sont enfermés dans des mini-serres et cultivés en salle de culture (*photo 9*). Une obscurité d'au moins 8 heures étant nécessaire, les mini-serres sont bâchées après l'inoculation.

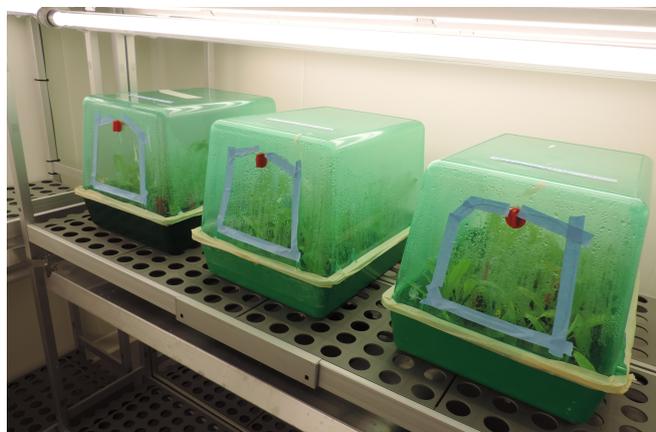


Photo 9. Mini-serres de l'essai en laboratoire n°1 mis en chambre de culture après inoculation. Chaque mini-serre représente une répétition.

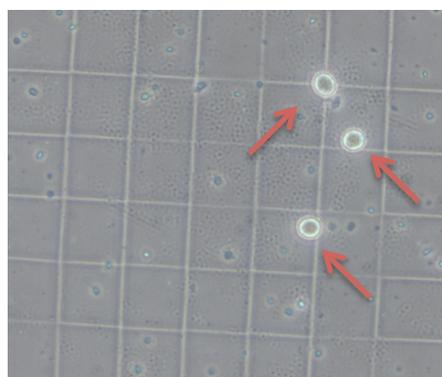


Photo 10. Spores de *Bremia lactucae* observées sur une lame de Malassez au microscope électronique.

• Notation

La notation des cotylédons est réalisée selon l'échelle du *tableau 8* à l'apparition des symptômes. Afin de ne pas être influencé, les différentes modalités sont codées.

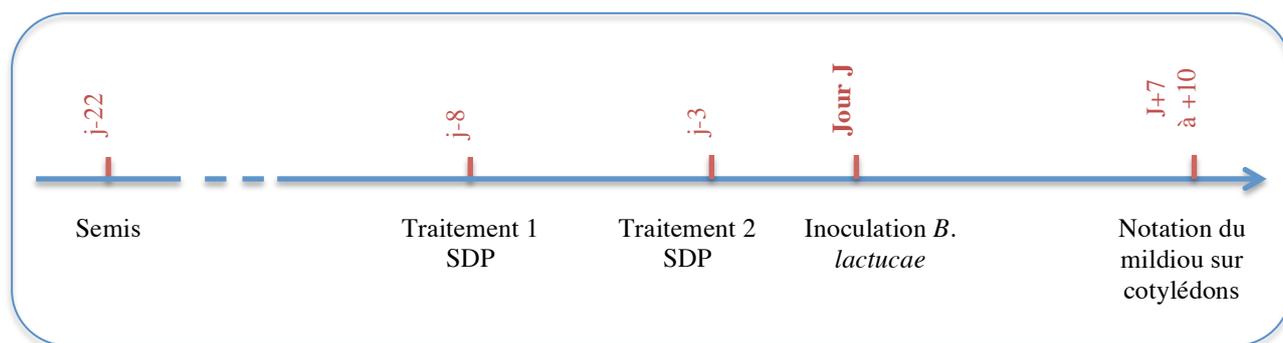


Figure 21. Protocole des tests d'efficacité effectués à Vegenov.

2. Test en conditions semi-contrôlées

i. Objectif de l'essai

L'objectif principal de cet essai est de mettre au point un protocole d'évaluation de produits en condition semi-contrôlées en se rapprochant le plus possible des pratiques de laboratoire. L'objectif second est d'évaluer, dans des conditions intermédiaires à celles du champ, les produits ayant montré une efficacité au laboratoire. Il a été réalisé sous abris au CATE.

Le protocole décrit ci-dessous a été utilisé pour un premier essai. Il a évolué en fonction des résultats obtenus lors des 3 essais ultérieurs.

ii. Matériel

• Matériel végétal

Le premier essai a été effectué sur des variétés d'artichauts et du cardon afin de choisir le matériel végétal adéquat, c'est à dire dont l'inoculation soit satisfaisante en conditions semi-contrôlées. Deux variétés de semis ont été testées : l'artichaut de variété Opal (Nunhems®) et le cardon de variété Plein Blanc Inerme (Gautier®). Les artichauts de variété Opal sont connus pour être plus sensibles au mildiou que le cardon, plus résistant. Des éclats de souche d'artichaut de variété Violet de Provence ont aussi été utilisés afin de tester le protocole sur des plants non issus de semis et dont la sensibilité au mildiou est intermédiaire à celle des deux variétés de semis.

• Matériel fongique

La souche utilisée pour les essais en conditions semi-contrôlées est la même que celle utilisée dans les essais de laboratoire, BlArt45a.

• Produits

Outre l'eau et le Silicivivre, trois produits ont été testés en condition semi-contrôlées (*tableau 9*).

Tableau 9. Liste des produits testés dans les essais en conditions semi-contrôlées.

N° de l'essai	Code produit ¹	Dose appliquée	Substance active
1 à 4	Eau	-	-
1 à 4	Silicivivre	0,5%	Sulfate de cuivre + Silices marines
1	P13A47	1,6L.ha ⁻¹	Propamocarbe HCl + Fluopicolide
2 à 4	Etonan	1%	Phosphites
2 à 4	P13B35	1%	Algues et cuivre

• Echelle de notation

Les plants étant plus grands que ceux utilisés au laboratoire, les 3 à 4 premières feuilles vraies ont pu être traitées et inoculées. L'échelle de notation utilisée est donc modifiée par rapport aux essais de laboratoire car elle prend en compte l'état du mildiou sur les feuilles vraies (*tableau 10*).

Tableau 10. Echelle de notation du mildiou de l'artichaut sur feuille

Echelle de notation	Symptômes sur feuilles vraies
0	Aucune sporulation
3	Sporulation très localisée (<10% de la surface des feuilles)
5	Sporulation faible à moyenne (10 à 50% de la surface) Eventuellement nécroses
7	Sporulation sur 50 à 75% de la surface Eventuellement nécroses
9	Sporulation sur >75% de la surface Eventuellement nécroses

iii. Évaluation de produits-mise en place du protocole

Le protocole utilisé pour l'essai en condition semi-contrôlées (*figure 22*) est similaire à celui employé au laboratoire. L'essai étant mené sur des plants plus grands, la date de semis est avancée et un rempotage est nécessaire.

- *Traitement*

Les produits (*tableau 9*) sont préparés à Vegenov, dans les mêmes conditions que pour l'essai mené au laboratoire et les mêmes témoins sont utilisés. Le traitement a ensuite lieu sous abris au CATE sur des plants au stade 4 feuilles.

- *Inoculation*

Un inoculum calibré à 20 000 spores.ml⁻¹ est préparé sous hotte au laboratoire puis les plants sont inoculés sous abris à la station expérimentale. Il est vaporisé jusqu'à la limite de ruissellement. Les plants sont ensuite bâchés afin de disposer des conditions d'obscurité et d'humidité nécessaires à la germination des spores.

- *Notation*

La notation s'effectue dès l'apparition de sporulations sur les feuilles, ce qui nécessite une veille journalière car le temps d'apparition des symptômes dans de telles conditions est plus aléatoire qu'en laboratoire. Au bout d'une semaine, les plants seront bâchés le soir et débâchés le matin pour avoir des conditions d'obscurité et d'humidité adéquates.

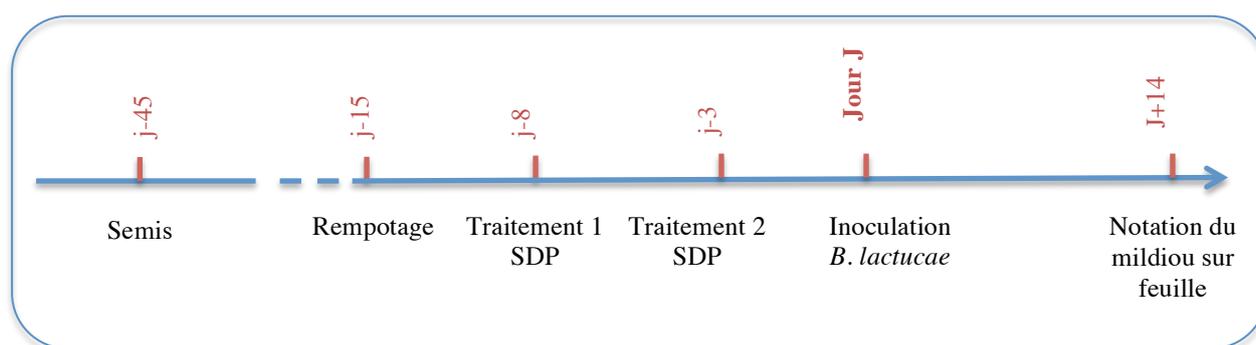


Figure 22. Protocole du 1^{er} test d'efficacité effectué au CATE.

Résultats et discussion

I. Test d'efficacité en laboratoire

1. Traitement des résultats

Pour chaque modalité de chaque essai, l'indice de maladie moyen (IM) et l'efficacité des produits par rapport à l'eau (E) sont calculés comme suit :

$$IM = \sum_{i=0}^9 \left(\frac{i \times j}{N} \right) \quad E = 100 - \left(100 \times \frac{IM \text{ modalité } x}{IM \text{ modalité eau}} \right)$$

Des tests statistiques sont réalisés grâce au logiciel « statbox » utilisé à Vegenov. Les mêmes analyses ont été faites avec le logiciel R (*Annexe I*) afin que l'ensemble des résultats du rapport soient traités avec le même logiciel. On notera que les résultats obtenus avec l'un ou l'autre des logiciels sont identiques.

Une Analyse de Variance (ANOVA) a été effectuée lorsque la distribution des données était gaussienne. L'analyse de variance n'est pas appropriée pour des données en classes de maladies qui sont qualitatives mais elle permet de donner une idée du comportement des produits les uns par rapport aux autres. Les lettres différentes au-dessus des barres d'erreur sur les graphiques d'indices moyens de maladie indiquent des moyennes significativement différentes ($p < 0,05$) ; lorsqu'elles ne sont pas présentes cela signifie que l'ANOVA n'a pas pu être réalisée à cause de la distribution des données.

L'ANOVA, lorsqu'elle a été possible, est complétée par l'analyse du Khi² de comparaison des effectifs qui permet de comparer des données qualitatives. Il permet de comparer les effectifs réels par classe de maladie et par modalité à des effectifs théoriques.

Afin d'avoir des effectifs plus importants dans les classes d'indices de maladie pour le test du χ^2 , les indices 7 et 9 ont été regroupés sous le terme « Sensible » (S). L'indice 5 représente les plants « Moyennement Sensibles » (MS), l'indice 3 les plants « Moyennement Résistants » (MR) et l'indice 0 les plants « Résistants » (R).

Pour faciliter la lecture des résultats, un graphique a été réalisé grâce à la table des pourcentages par rapport aux lignes c'est à dire le pourcentage de plants dans chaque classe de maladie par modalité. Les classes dont les effectifs réels sont significativement plus importants que les effectifs théoriques ($p < 0,05$) ont été entourées d'un trait noir. Les tables de significativité du χ^2 sont jointes en *Annexe 2*. Il est important de préciser que lorsque l'effectif d'une classe n'est pas significatif, cela ne signifie pas que le produit n'a pas eu d'effet sur cette classe de maladie. Le manque d'effectif dans la modalité ou l'homogénéité des résultats des différents produits d'un même essai peu expliquer cet effet.

Les essais en laboratoire sont nommés « essai labo x » et les essais en station expérimentale sous abris sont notés « essai CATE x » avec « x » les numéros des essais dans l'ordre chronologique dans lequel ils ont été réalisés.

2. Essai labo n°1

i. Résultats

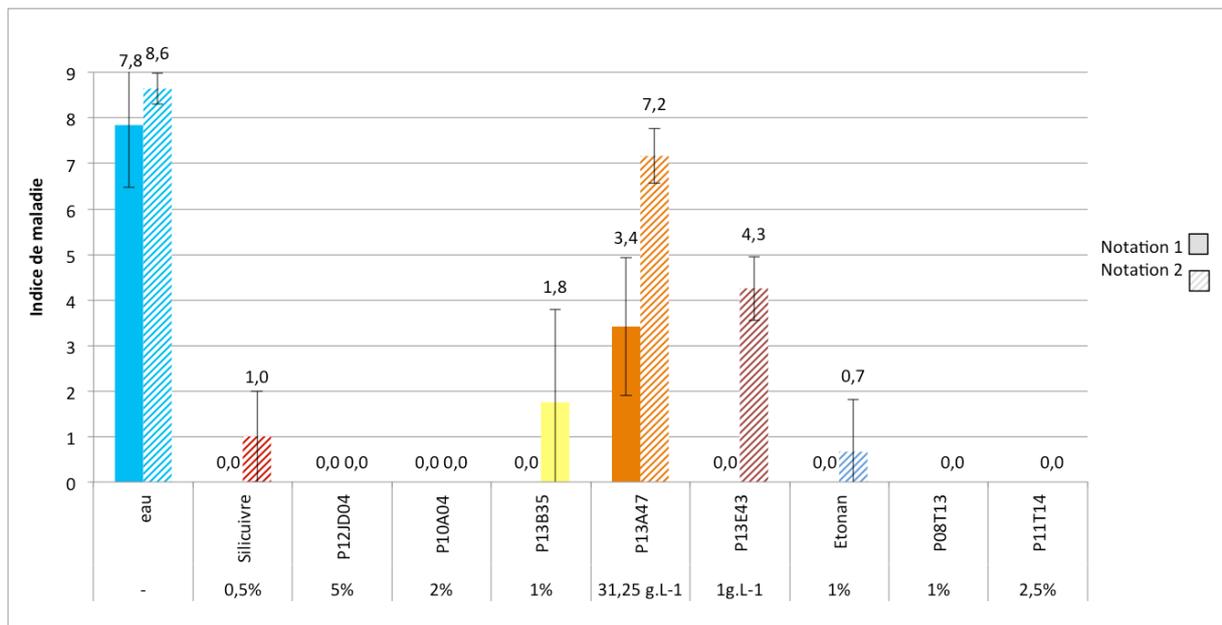


Figure 23. Essais labo 1. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).

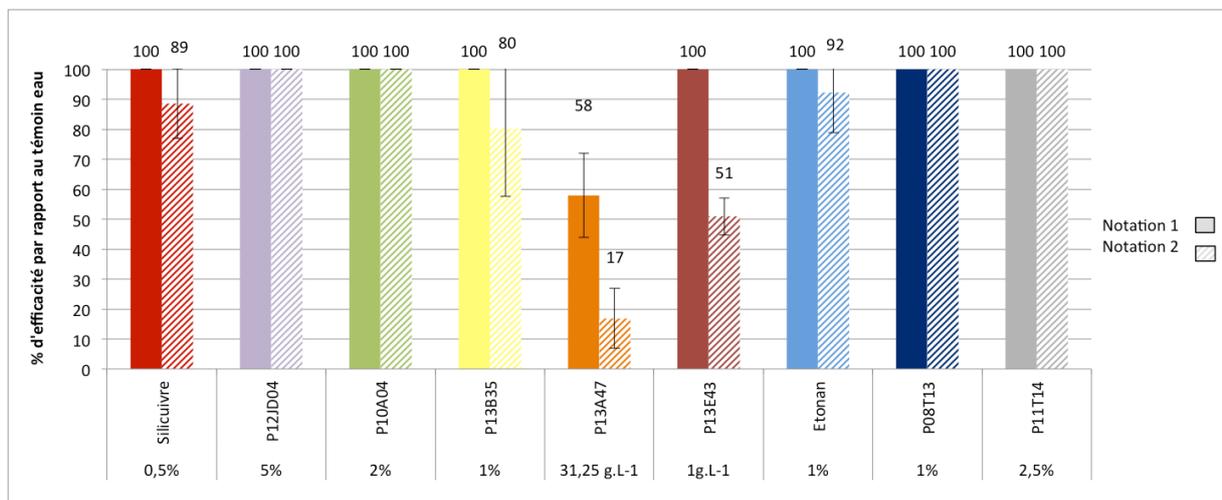


Figure 24. Essai Labo 1 – notations 1 et 2. Efficacité des produits par rapport à l'eau (%) (\pm l'écart type à la moyenne).

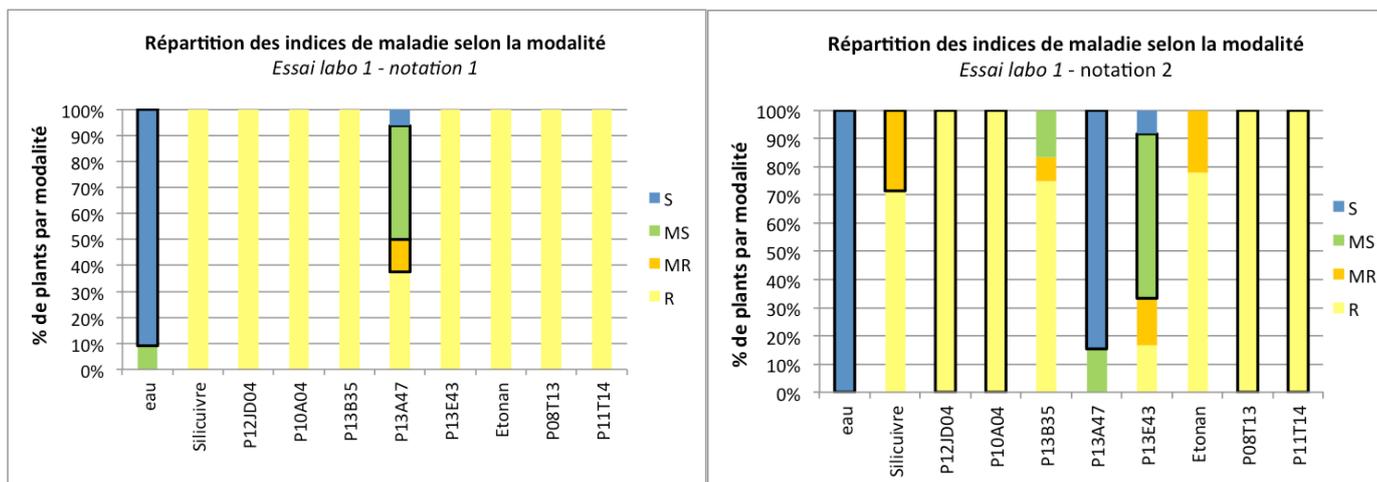


Figure 25. Essai Labo 1 - notations 1 et 2. Résultat du test du χ^2 .

Neuf produits en plus de l'eau ont été testés à la dose préconisée par le fabricant dans le premier essai avec 3 répétitions par modalité et 3 à 6 plants par répétition. Deux notations ont été effectuées 7 et 11 jours après l'inoculation. Lors de la première notation, les notes attribuées aux plants de la modalité « eau » n'étaient pas maximales et très peu de symptômes avaient été observés sur les autres modalités ; l'état des plants le permettant, une deuxième notation a donc été effectuée 4 jours après la première.

On observe une augmentation de l'indice de maladie moyen de l'eau entre les deux notations qui passe de 7,8 à 8,6 (figure 23). Le test du χ^2 montre que ces plants sont significativement plus représentés dans la classe « Sensible » et moins dans la classe R que les effectifs théoriques (figure 25). Aucun symptôme n'a été observé avant la seconde notation sur les plants traités au Silicivire (IM = 1). Les deux témoins ont donc joué leur rôle, l'eau n'ayant pas protégé les plants du mildiou contrairement au Silicivire qui ne laisse apparaître que très peu de symptômes 11 jours après l'inoculation (figure 24). L'étude de l'efficacité des produits peut donc être réalisée.

Lors de la première notation, seul le produit P13A47 n'a pas protégé totalement les plants du mildiou. Il a un comportement se rapprochant de celui de l'eau avec des effectifs MS et MR supérieurs aux effectifs théoriques et un effectif R inférieur. En 4 jours, son indice de maladie moyen est passé de 3,4 à 7,2 et la classe MS contient significativement plus d'individus.

Il a fallu attendre la seconde notation pour voir des sporulations apparaître sur les plants traités avec les produits P13B35 (IM = 1,8), P13E43 (IM = 4,3) et Etonan (IM = 0,7). Les plants traités avec les produits P12JD04, P10A04, P08T13 et P11T14 étaient asymptomatiques à chaque notation.

ii. Discussion

L'homogénéité de l'efficacité des produits lors de la première notation n'a pas permis d'établir de différence significative entre les effectifs réels et théoriques de la classe R. L'apparition de symptômes lors de la seconde notation a modifié le nombre de plants théoriques de cette catégorie et a mis en avant les produits les plus efficaces : P12JD04, P10A04, P08T13 et P11T14. Le nombre de plants traités a pu jouer en défaveur du Silicivire, pour lequel seul l'effectif MR est significativement différent de l'effectif théorique. Il en est de même pour les produits P13B35 et Etonan dont aucune classe n'a d'effectif significativement supérieur à l'effectif théorique. Respectivement 71%, 75% et 78% des plants testés avec ces produits (Silicivire, P13B35 et Etonan) ont un IM de 0. Aucune significativité n'est observé au niveau des effectifs théoriques résistants, ce qui ne les exclue pas des produits considérés comme efficaces dans cet essai.

Le produit P13E43 qui était totalement efficace contre le mildiou à la première notation s'est montré moins convainquant lors de la deuxième, sa persistance d'action est peut être trop limitée dans le temps.

Bien que l'indice de maladie soit nul pour les plants traités avec les produits P12JD04 et P10A04, ceux-ci ont montré un effet phytotoxique respectivement important et moyen sur les cotylédons. Il est donc important de vérifier l'état des plants lorsque des tests d'efficacité de produits sont réalisés à la dose préconisée par le fabricant.

iii. Conclusion

Les produits P12JD04 et P10A04 étant efficaces à 100%, ils seront testés à des concentrations inférieures dans les prochains essais afin de réduire leur phytotoxicité.

Les produits **P08T13** et **P11T14** ressortent de ce premier essai, leur efficacité par rapport à l'eau est de 100% et aucune phytotoxicité n'a été observée sur les plants traités. Ces résultats concordent avec ceux de l'année dernière, leur efficacité est maintenant validée. Les produits **P13B35** et **Etonan** dont l'efficacité reste importante à la seconde notation ressortent aussi de cet essai.

3. Essai labo n°2

L'essai 2 n'a pas été concluant à cause d'une levée trop hétérogène des plants en serre. Les produits testés étaient les mêmes que ceux du premier essai.

4. Essai labo n°3

i. Résultats

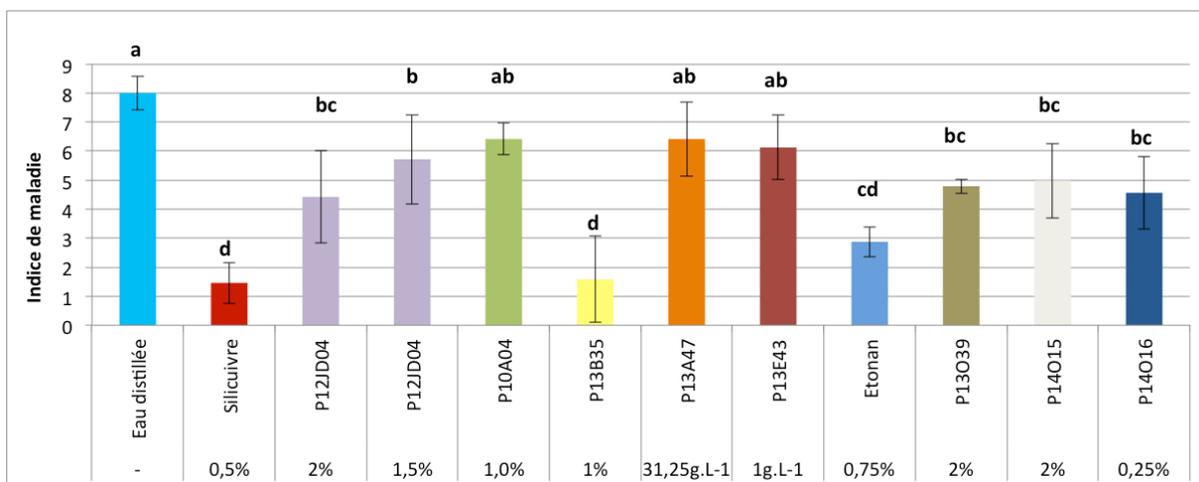


Figure 26. Essai labo 3. Indices moyens de maladie des différentes modalités (%) (\pm l'écart type à la moyenne).

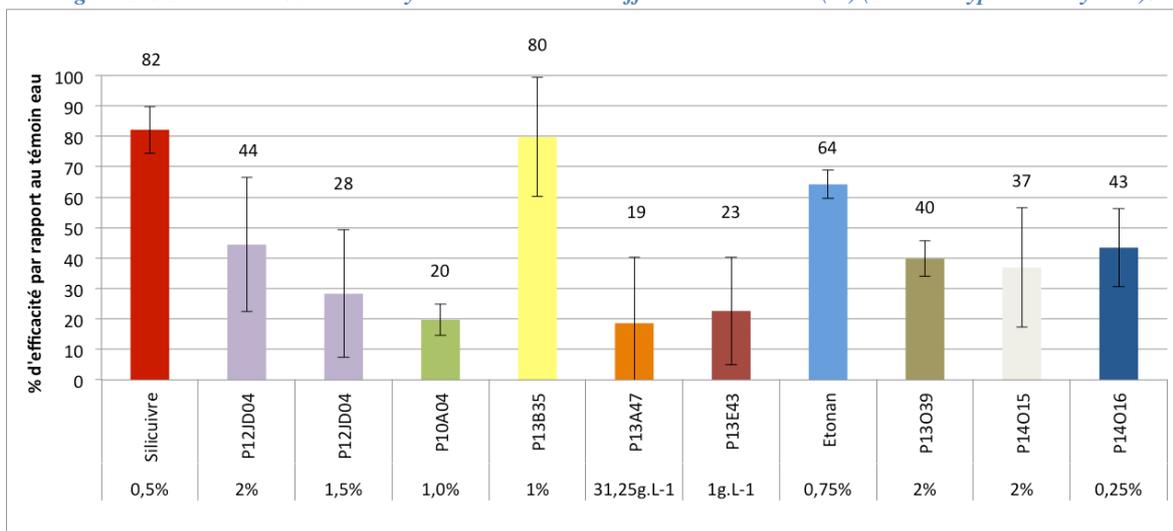


Figure 27. Essai labo 3. Pourcentage d'efficacité des produits testés par rapport à l'eau (\pm l'écart type à la moyenne).

Dix produits ont été testés lors de ce troisième essai en laboratoire en 4 répétitions (4 à 7 plants par répétition). La notation a été effectuée 10 jours après l'inoculation (figures 26, 27 et 28).

Les produits ayant montré des effets phytotoxiques lors de l'essai 1 sont testés à des doses inférieures à celles préconisées par le fabricant :

- **P12JD04** est testé à 2% et 1,5% au lieu de 5%
- **P10A04** est testé à 1% au lieu de 2%.

L'indice de maladie moyen des plants non traités est de 8,0 et est significativement plus élevé que celui des plants traités ($p > 0,05$) quelque soit la modalité. L'effectif S est surreprésenté par rapport à l'effectif théorique. L'IM observé sur les plants traités au **Silicivivre** est de 1,5. Il est le plus faible observé lors de cet essai. Le nombre de plants présents dans la classe R est significativement supérieur à l'effectif théorique. Les témoins ont fonctionné, les autres produits peuvent donc être étudiés.

Le produit **P13B35** a montré une efficacité identique à celle du **Silicivivre** et l'effectif de la classe R est surreprésenté dans les deux cas. L'**Etonan** a une tendance à appartenir au même groupe (IM = 2,9). Les produits **P12JD04** (2%), **P13O39**, **P14O15** et **P14O16** ont une efficacité légèrement inférieure à celle du **Silicivivre** et leur IM est compris entre 4,4 et 5. Le produit **P12JD04** vaporisé à la dose de 1,5% montre une efficacité intermédiaire entre celle de ces produits et celle de l'eau (IM = 5,7).

Les produits **P10A04**, **P13A47** et **P13E43** ne se distinguent pas significativement du témoin négatif, leurs indices de maladie sont de 6,4 pour les deux premiers et 6,1 pour le dernier. Les effectifs de la classe Sensible des produits **P13E43** et **P10A04** sont surreprésentés.

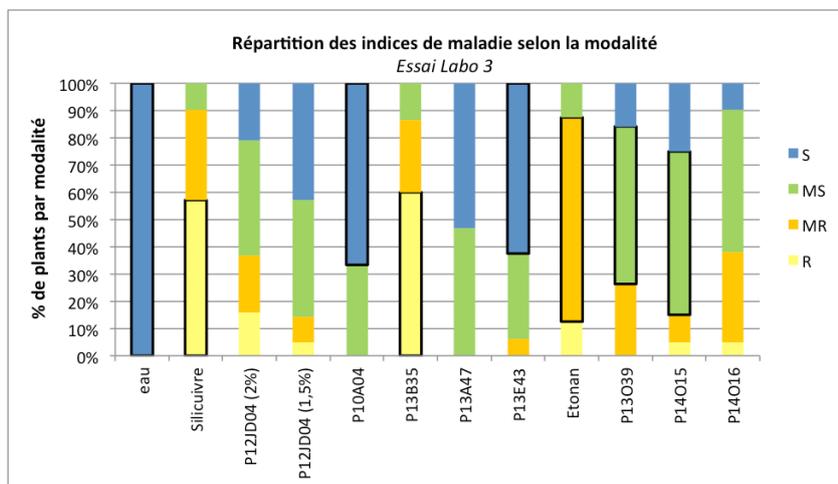


Figure 28. Essai labo 3. Résultat du test du χ^2 .

ii. Discussion

Le produit **P12JD04** a montré une phytotoxicité dans l'essai labo 1. Lorsque l'on diminue la dose d'application, il ne montre plus de signe de phytotoxicité. Cependant, l'indice passe de 4,4 à 2% à 5,7 à 1,5%. De même, le produit **P10A04** ne montre pas de phytotoxicité lorsqu'il est appliqué à la dose de 1% mais son efficacité par rapport à l'eau n'est que de 20%. Ces deux produits deviennent donc moins intéressants que dans l'essai 1, en particulier le **P10A04**. Il sera intéressant de tester ces deux produits à des doses supérieures, tout en étant inférieures à la dose phytotoxique.

Le produit **P13B35** ressort de cet essai, tout comme dans l'essai 1, car il est aussi efficace que le **Silicivivre**. Les produits **P13A47** et **P13E43** sont de nouveau peu efficaces. Il y a une distribution égale entre les effectifs S et MS des plants traités par **P13A47**, ce fait ajouté à l'effectifs total de la modalité (15 plants) peut expliquer pourquoi aucune des classe n'est surreprésentée.

Les produits **P13O39**, **P14O15** et **P14O16** n'ont pas été testés dans l'essai précédent et semble avoir une efficacité moyenne. Il serait intéressant de valider ces résultats en augmentant leur concentration.

iii. Conclusion

Les produits les plus intéressants de l'essai sont le **P13B35** et l'**Etonan**, tandis que les produits **P13A47** et **P13E43** semblent peu efficaces, les résultats concordent avec ceux du premier essai. Les nouveaux produits testés, **P13O39**, **P14O15** et **P14O16**, semblent avoir un certain potentiel et il sera intéressant de les tester dans l'essai suivant.

5. Essai labo n°4

i. Résultats

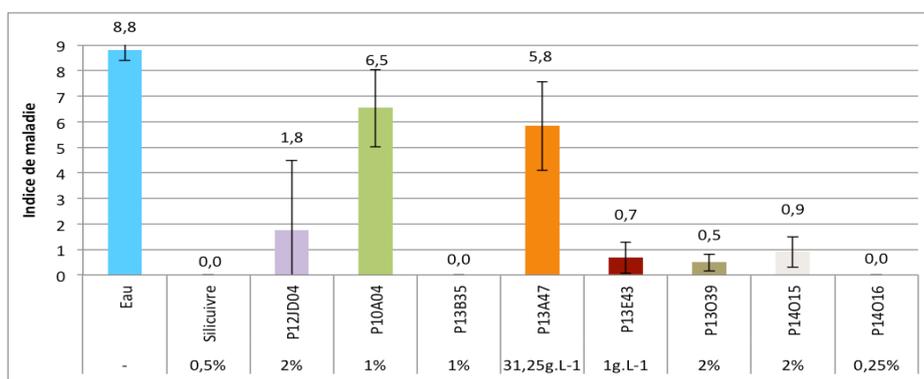


Figure 29. Essai labo 4. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).

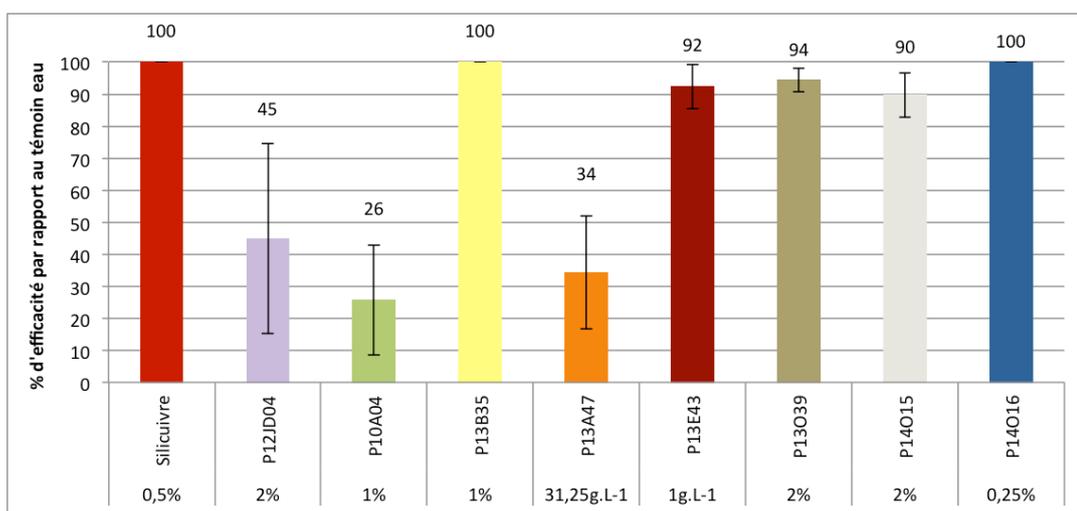


Figure 30. Essai labo 4. Efficacité des produits testés par rapport à l'eau (%) (\pm l'écart type à la moyenne).

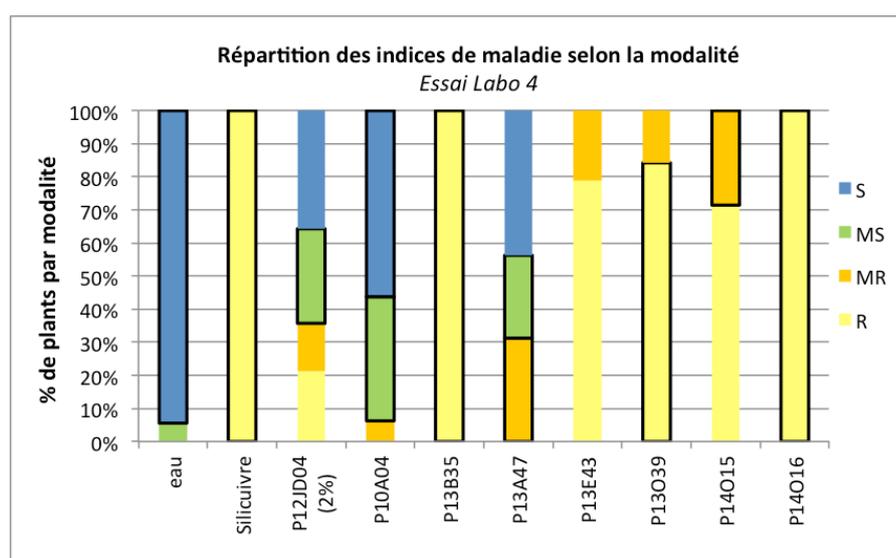


Figure 31. Essai labo 4. Résultat du test du χ^2 .

Neuf produits ont été testés dans l'essai 4, avec 4 répétitions par modalité et 4 à 5 plants par répétition. La notation a été effectuée 7 jours après l'inoculation (figures 29, 30 et 31).

Le nombre de plants de la classe S de la modalité **eau** est surreprésentée et l'IM de 8,8. Le **Silicivivre** a été efficace sur tous les plants vaporisés (IM = 0). Les témoins ont fonctionné, les autres produits peuvent être étudiés.

Les produits **P13B35** et **P14O16** ont un IM nul et la classe R est surreprésentée dans les deux cas.

Les produits **P13E43** (IM = 0,7), **P14O15** (IM = 0,5) et **P13O39** (IM = 0,9) ont des indices de maladie faibles. Seul deux de ces produits montrent des classes dont les effectifs sont significativement supérieurs aux effectifs théorique : la classe R pour le **P13O39** et la classe MR pour le **P14O15**.

Les plants vaporisés par le produit **P12JD04** à 2% ont un IM de 1,8, l'écart-type est grand ($\pm 2,7$) et la classe MS est surreprésentée.

Les plants traités par les produits **P10A04** à 1% (IM = 6,5) et **P13A47** (IM = 5,8) ont des indices de maladie relativement élevés. Pour le premier les effectifs des classes MS et S sont surreprésentés par rapport aux effectifs théoriques et pour le second il en est de même pour les classes MR et MS.

ii. Discussion

Les produits **P13O39**, **P14O15** et **P14O16** aussi testés dans l'essai précédent montrent une bonne efficacité, en particulier le **P14O16** qui a totalement protégé les plants du mildiou.

Le produit **P13E43** se révèle être meilleur que dans l'essai précédent. La question du temps pendant lequel il est capable de protéger le plant du mildiou se pose tout comme dans l'essai 1. Il serait bon de tester à nouveau ce produit.

Le produit **P13A47** est, comme dans les essais précédents, peu efficace vis-à-vis du mildiou.

Le produit **P12JD04** s'est montré très bon lorsqu'il est utilisé à la dose de 5% (essai labo 1) et moyennement efficace à 2% (essai labo 3 et 4). Il serait intéressant de l'utiliser à des doses intermédiaires entre 5% et 2%. L'essai pourrait montrer si, à une dose moyenne, le produit est plus efficace et non phytotoxique pour l'artichaut. De même, le produit **P10A04** dont la phytotoxicité était moyenne à 2% mais l'efficacité maximale se révèle peu efficace lorsqu'il est utilisé à la dose de 1%. Il serait tout aussi intéressant de le tester à nouveau à des doses intermédiaires.

Le produit **P13B35** est, comme dans les essais précédents, très efficace et non phytotoxique.

iii. Conclusion

Le produit **P13A47** peut être éliminé de la liste des produits potentiellement efficaces dans la lutte contre le mildiou de l'artichaut

Le produit **P13B35** protège encore une fois très bien les plants du mildiou, il ressort donc de cet essai. De même, les produits **P13O39**, **P14O15** et **P14O16** sont très efficaces mais il faudrait valider ces résultats. Le produit **P13A47** peut être abandonné et il sera utile de tester les 2 produits phytotoxiques (**P12JD04** et **P10A04**) à des doses intermédiaires.

6. Conclusion générale

Tableau 11. Résumé des résultats obtenus lors des essais en laboratoire (IM).

Produit	Dose	Essai 1 (IM N1/IM N2)	Dose	Essai 3 (IM)	Dose	Essai 4 (IM)
Eau	-	7,8/8,6	-	8	-	8,8
Silicivivre	0,5%	0/1	0,5%	1,5	0,5%	0
P12JD04	5%	0/0 *	2% / 1,5%	4,4 / 5,7	2%	1,8
P10A04	2%	0/0 *	1%	6,4	1%	6,5
P13B35	1%	0/1,8	1%	1,6	1%	0
P13A47	31,25 g.L ⁻¹	3,4/7,2	31,25 g.L ⁻¹	6,4	31,25 g.L ⁻¹	5,8
P13E43	1 g.L ⁻¹	0/4,3	1 g.L ⁻¹	6,1	1 g.L ⁻¹	0,7
Etonan	1%	0/0,7	0,75%	2,9	-	-
P08T13	1%	0/0	-	-	-	-
P11T14	2,5%	0/0	-	-	-	-
P13O39	-	-	2%	4,8	2%	0,5
P14O15	-	-	2%	5	2%	0,9
P14O16	-	-	0,25%	4,6	0,25%	0
Informations complémentaires	Notation à J+7 et J+11		Notation à J+10 Changement des conditions après inoculation : 15°C/19°C pendant 5 jours puis 15°C/14°C pendant 2 jours puis 16,5°C/18°C pendant 4 jours		Notation à J+7	

* Observation de phytotoxicité

L'ensemble des résultats obtenus dans les 3 essais qui ont aboutis sont visibles dans le tableau 11. Seul l'essai 2 a échoué pour des raisons de levée trop hétérogène.

D'une manière générale, le nombre de 5 plants par effectif théorique et par classe pour le test du Chi^2 n'a pas toujours été respecté, ce qui explique la non significativité de certaines données. Des essais plus conséquents auraient permis d'améliorer la significativité des données et de diminuer possiblement l'écart-type.

Après les traitements, les plants n'ont pas été remis immédiatement dans la chambre de culture. En dehors de celle-ci, l'humidité est moins élevée et la température plus forte. Le temps passé hors de la chambre diffère d'un essai à l'autre et peut expliquer les légères différences entre les essais.

Les témoins ont toujours fonctionné et ont permis de poursuivre l'analyse des résultats. Lors de l'essai 3, moins satisfaisant que les essais 1 et 4, la levée des plants a été tardive et les conditions de température en chambre de culture ont changées (*tableau 11*). Elles ont pu influencer l'action des produits sur le mildiou d'une manière différente que dans les autres essais. Cela dit, d'un essai à l'autre, les résultats sont concordants et donnent des pistes quant aux produits qui seront testés en station expérimentale puis au champ.

Le produit **P13A47** n'a pas montré d'efficacité suffisante pour être choisi comme un fongicide intéressant.

Le produit **P13E43** réagit différemment d'un essai à l'autre à une même concentration d'application. L'ensemble des essais montre qu'il agit moins après 10 à 11 jours (IM = 6,1 et 4,3) qu'après une semaine (IM = 0 et 0,7). Il faudrait refaire des essais en testant ce produit afin de confirmer sa période d'efficacité.

Les produits **P12JD04** et **P10A04** ont montré un effet phytotoxique à la dose préconisée par le fabricant (essai 1). Lorsque l'on diminue la dose d'application, des sporulations apparaissent sur les plants traités par ces produits. L'IM des plants traités au **P10A04** passe de 0 lors ce qu'il est utilisé à 2% (essai 1), à 6,4 à la dose de 1% après 10 jours (essai 3) et à 6,5 après 7 jours (essai 4). L'indice est similaire lorsqu'il est utilisé à 1% quelque soit le temps entre l'inoculation et la notation. L'écart type est plus faible dans l'essai 3 (0,6) que dans l'essai 4 (1,5). Soit le produit agit autant à J+7 et J+10 ; soit les conditions de température de l'essai 2 lui ont été favorables. Il sera intéressant de mettre en place de nouveaux essais avec ce produit.

Parallèlement, Le produit **P12JD04** est peu efficace à 1,5% (essai 2) et plus efficace à 2%. Cette efficacité est meilleure dans l'essai 4 (IM = 1,8) que dans l'essai 3 (IM = 4,4). Cependant l'écart-type est important dans les deux essais (essai 3 = 1,6 et essai 4 = 2,7). Ces chiffres sont donc à modérer et il serait intéressant de tester ce produit à nouveaux à des doses intermédiaires et sur un nombre de plants plus important. La dose la plus efficace qui ne montre pas de symptômes de phytotoxicité pourra être choisie afin de tester ce produit en station expérimentale puis au champ.

Les produits **P13O39**, **P14O15** et **P14O16** ont un comportement similaire dans les essais 3 et 4. Dans l'essai 3, ils semblent moyennement efficaces ce qui peut être dû à l'attente de 10 jours avant la notation et/ou aux conditions en chambre de culture. La notation à J+7 de l'essai 3 met en valeur ces trois produits qui méritent d'être testés à nouveau en laboratoire dans la perspective de réaliser une étude en condition semi-contrôlées puis au champ.

L'**Etonan** à 1%, actuellement autorisé provisoirement pour lutter contre le mildiou de l'artichaut, est lui aussi très efficace (IM = 0,7 à J+11). Utilisé à une dose inférieure de 0,75% il semble moins efficace (IM = 2,9 à J+10) mais cela serait à vérifier dans un autre essai car les conditions de température variables de l'essai 3 ont pu jouer sur les indices de maladie observés sur les plants traités à cette concentration.

Un des produits qui se démarque le plus est le **P13B35** à 1%. On remarque que son action de protection est totale les 7 premiers jours qui suivent l'inoculation des plants (essais 1 et 4). Elle a tendance à diminuer après 10 jours (essais 1 et 3) mais l'IM reste très modéré (max. 1,8 à J+11). Il n'a montré aucune phytotoxicité et est aussi efficace que le Silicivivre. Dans l'avenir, ce produit sera testé en station expérimentale puis au champ.

Les produits **P08T13** et **P11T14** montrent un effet antifongique totale dans l'essai 1, ce qui concorde avec les essais antérieurs, ils seront donc testés en station expérimentale puis au champ.

Le cuivre et les algues sont des substances actives efficaces. L'étude du mode d'action des produits et du temps pendant lequel ils protègent le plant du mildiou est un complément d'information qui s'avèrera utile pour les produits qui seront testés en station expérimentale et au champ.

II. Test en conditions semi-contrôlées

1. Essai CATE n°1

i. Résultats

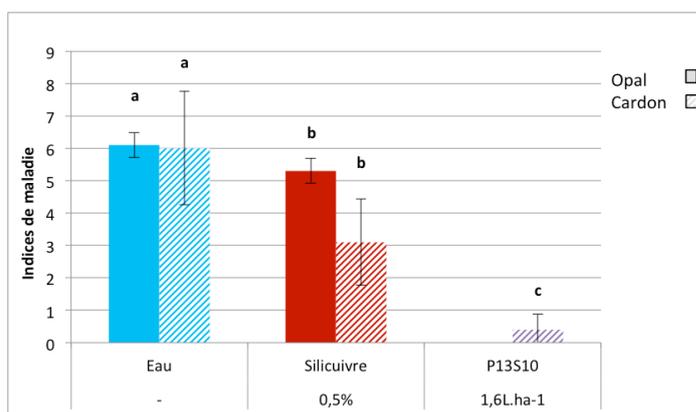


Figure 32. Essai CATE 1. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).

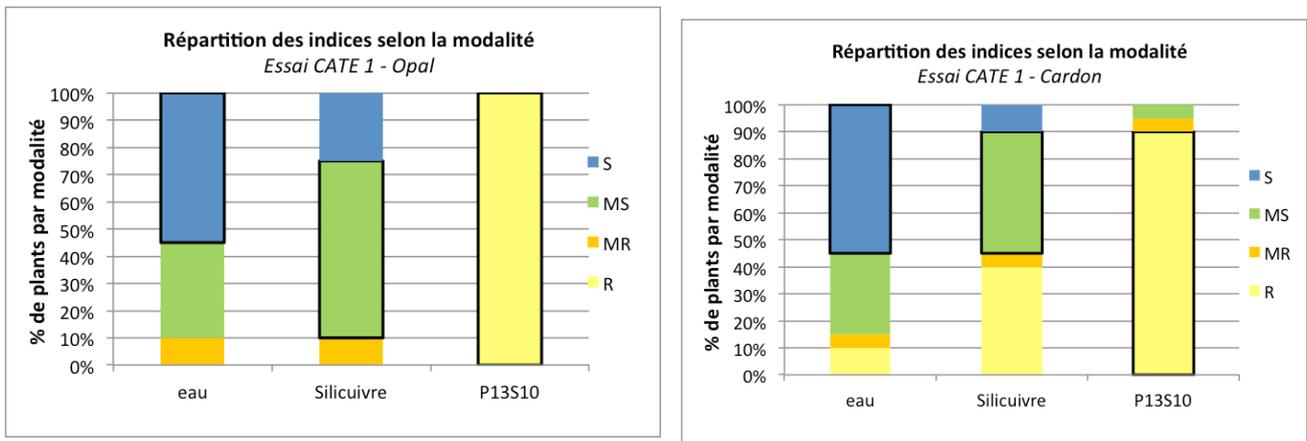


Figure 33. Essai CATE 1. Résultat du test du $\text{K}\chi^2$ (Opal et Cardon).

Les éclats de souche de Violet de Provence n'ayant montré aucun symptôme après l'inoculation, ils n'y sont pas représentés. Deux produits en plus de l'eau ont été testés lors du premier essai en station expérimentale, le **Silicivire** et **P13S10** avec 4 répétitions de 5 plants par modalité. Les résultats obtenus sont visibles dans les *figures 32 et 33*. Les plants ont été notés 57 jours après le semis sous abris.



Photo 11. Essai CATE 1. Etat des plants une semaine après l'inoculation. De gauche à droite : Cardons, Opal, Violet de Provence.

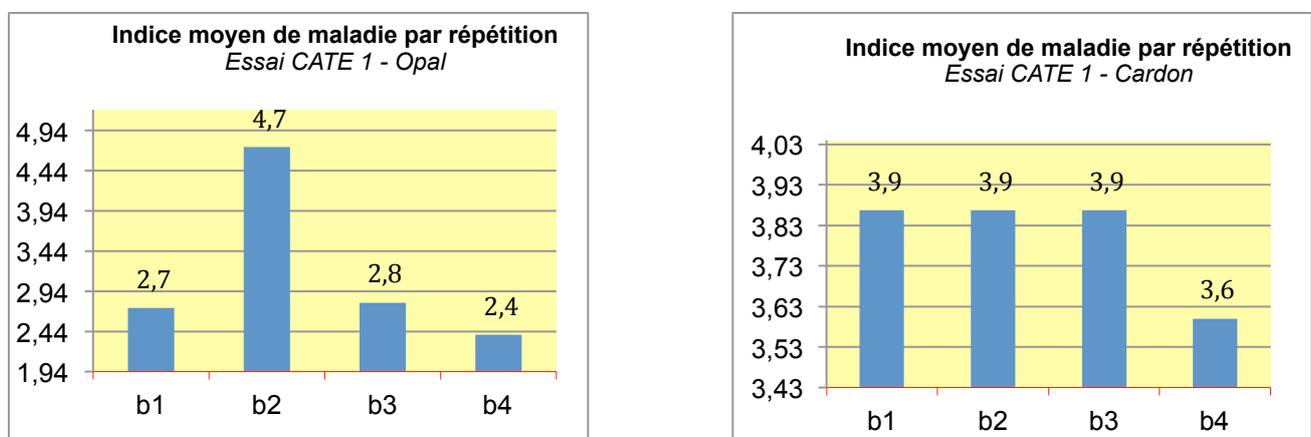


Figure 34. Essai CATE 1. Effet bloc observé entre les différentes répétitions de variété Opal (à gauche) et Cardon (à droite). L'IM du bloc 2 de la variété Opal (4,7) est supérieur à ceux des autres blocs (2,7 ; 2,8 ; 2,4). Ecart-type (Opal) = 1,1. Ecart-type (cardon) = 0,13. En abscisse : numéro des répétitions (= blocs). En ordonnée : IM par répétition.

Les plants de la modalité **eau** sont les plus touchés avec un indice moyen de maladie de 6,0 quelque soit la variété (Opal ou cardon). Les plants d'Opal traités au **Silicivire** ont un IM de 5,3 tandis que les plants de cardon ont un IM de 3,1. Les plants de la modalité **Silicivire** sont significativement différents du témoin négatif et appartiennent au

même groupe quelque soit la variété. Les indices de maladie observés sur les plants d'Opal et de cardon traités avec le produit **P13S10** sont significativement identiques. Les plants d'Opal n'ont montré aucun symptôme de maladie et le cardon très peu (IM = 0,4). Une semaine après l'inoculation, les plants de cardon sont plus vigoureux que les plants d'Opal (*photo 11*) et les éclats de souche ont certes réussi à être cultivés en pot, mais ne montrent aucun symptôme de mildiou.

ii. Discussion

Les résultats obtenus sur les témoins sont différents de ceux obtenus en laboratoire. Les plants traités à l'eau n'ont pas un indice moyen (IM = 6) aussi élevé qu'en conditions de laboratoire (IM= 8 à 8,8) mais les plants de la classe S sont tout de même surreprésentés dans cette modalité. Le graphique d'efficacité par rapport à l'eau n'est pas présenté car il perd son sens à partir du moment où les plants témoins ne sont pas suffisamment touchés. Il est plus difficile d'inoculer la maladie à des plants plus avancés cultivés sous abris, dans des conditions d'humidité plus faible et de température plus élevée dans la journée.

Parallèlement, les plants traités au **Silicuvivre** montrent des symptômes plus avancés qu'en laboratoire ; l'indice de maladie passe de 0 à 1,5 en laboratoire et de 3,1 à 5,3 sous abris selon la variété et les plants moyennement sensibles sont surreprésentés quelque soit la variété.

Le produit **P13S10** a montré une efficacité significativement supérieure à celle du **Silicuvivre**, quelque soit la variété, cependant il est issu de la chimie. Il a servi de témoin chimique et ne sera plus utilisé dans les autres essais. En plus des témoins (eau et Silicuvivre), le produit **P13B35** qui avait montré une très bonne efficacité en laboratoire et l'Etonan, un produit homologué provisoirement et lui aussi efficace, seront testés dans les essais à venir.

L'objectif principal de ce premier essai était de choisir le matériel végétal le plus adéquat pour de futur essai en station expérimentale. La variété de semis de cardon a été choisie pour les 3 essais suivants pour différentes raisons. L'inoculation des artichauts «Violet de Provence» s'est avérée trop compliquée, l'épaisseur des feuilles et leur duvet très dense étant un frein à la germination des spores de *Bremia*. L'utilisation de la variété de semis Opal a elle aussi été abandonnée à cause de leur sensibilité trop importante vis à vis de l'environnement. En effet, leurs feuilles étaient très claires et semblaient souffrir de carences (*photo 11*) et un effet « bloc » supérieur à celui du Cardon a été observé (*figure 34*). Même si cette variété est connue pour être plus sensible au mildiou, son IM est similaire à celui du cardon. L'inoculation des cardons a été meilleure car le niveau d'infestation des plants de la modalité « eau » était supérieur à celui observé sur les plants d'Opal. Des cotylédons de cardon modalité « eau » ont été infestés jusqu'à l'indice 9 tandis que l'indice maximal observé sur Opal est de 7. Enfin, l'action du Silicuvivre a montrée une meilleure tendance à la protection des plants sur cardon.

2. Essai CATE n°2

i. Résultats

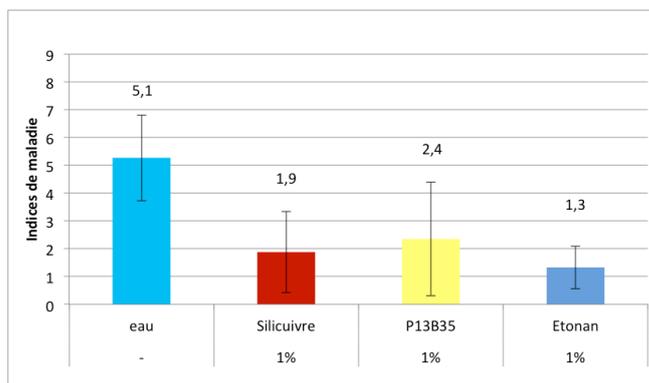


Figure 35. Essai CATE 2. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).

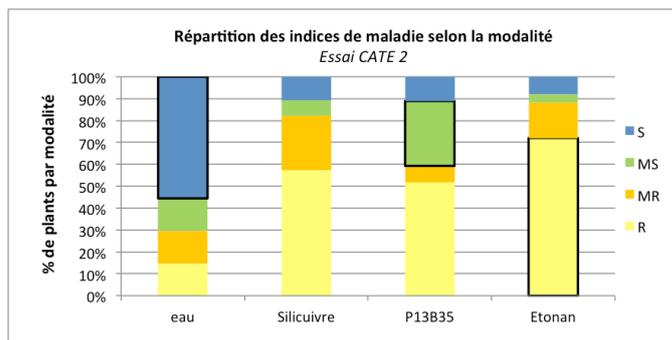


Figure 36. Essai CATE 2. Résultat du test du χ^2 .

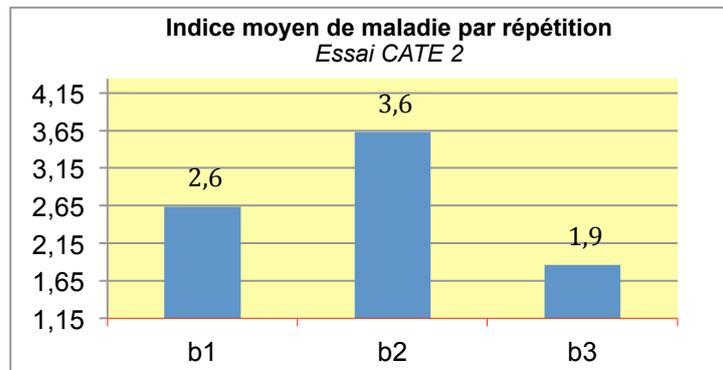


Figure 37. Essai CATE 2. Effet bloc observé. Ecart-type = 0,89. Les b signifient « blocs ».

Le deuxième essai réalisé au CATE a été noté 32 jours après le semis en salle de culture. Trois produits ont été testés en plus de l'eau en 3 répétitions de 7 à 10 plants.

Les plants traités à l'eau sont surreprésentés dans la classe S et leur IM est de 5,1. Ce sont les plants les plus touchés par le mildiou (*figure 35 et 36*). Les plants traités au **Silicuvire** ont un IM de 1,9 ; aucune classe de maladie n'est surreprésentée et 57% des plants n'ont eu aucun symptôme de la maladie.

52 % des plants traités au **P13B35** sont restés sains, leur IM est de 2,4 et l'effectif de la classe MS est surreprésenté par rapport à l'effectif théorique. Les plants traités à l'**Etonan** sont les moins touchés et sont surreprésentés dans la classe R soit 72% des plants traités. L'IM est de 1,3.

On observe un léger effet bloc, l'IM du bloc 2 est de 3,6 contre 2,6 et 1,8 pour les blocs 1 et 3 (*figure 37*).

ii. Discussion

L'IM des plants traités à l'eau est plus faible que celui obtenu en laboratoire et celui du **Silicuvire** légèrement plus élevé. De même, le **P13B35** est moins efficace sous abris qu'en laboratoire. L'Etonan semble légèrement moins efficace lorsque l'on regarde les IM, mais la classe S est surreprésentée, ce qui fait de lui le produit le plus efficace de l'essai. Les plants ne se comportent donc pas de la même manière vis-à-vis du mildiou pour les témoins en condition semi-contrôlées sous abris et les différences entre les modalités sont moins franches.

Le protocole a évolué suite à cet essai car différents problèmes ont été rencontrés :

- Tout comme dans l'essai 1, le Silicuvire, témoin positif au laboratoire, n'a pas montré une efficacité aussi bonne en conditions semi-contrôlées qu'en laboratoire. Il en est de même pour le P13B35.

Trois hypothèses peuvent expliquer cette différence.

✓ Le Silicuvire (et P13B35) montre une meilleure action dans des conditions de laboratoire. Les écarts de température diurne/nocturne et d'une journée à l'autre y sont beaucoup moins importants et l'humidité relative plus importante et plus stable dans le temps.

✓ Le Silicuvire (et P13B35) a une action de contact et a été lessivé lors des arrosages effectués sur le feuillage. Pour vérifier cette hypothèse, l'arrosage des essais suivant a été contrôlé et effectué au niveau du terreau.

✓ Le Silicuvire (et P13B35) montre une meilleure action antifongique sur des plants jeunes. L'essai n°4 a été mis en place afin de vérifier cette hypothèse. Les plants n'ont pas été repotés et ont été inoculés à un stade similaire à celui des essais de laboratoire (2 cotylédons étalés et premières feuilles apparentes).

- Les plants étaient en « mauvais état » à cause des conditions climatiques chaudes sous abris.

Solution apportée :

✓ Des feutres ont été mis en place sous les bacs contenant les plants afin de conserver une humidité élevée sans pour autant provoquer d'asphyxie racinaire dans les essais suivants.

✓ Les plants seront aussi préventivement fertilisés afin de prévenir les carences dues aux conditions climatiques chaudes et sèches sous abris.

✓ Un ombrage a été mis en place pour éviter l'évaporation de l'eau liquide nécessaire à l'infestation du mildiou et diminuer la température.

- Il y a un léger effet bloc avec une diminution de l'indice moyen de maladie par répétition en bordure d'essai. Le positionnement des bacs contenant les plants semble avoir un effet sur l'infestation de la maladie. Le bloc 2, situé entre les blocs 1 et 3, a pu profiter d'une humidité relative plus importante qui a été favorable au développement de la maladie.

Solution apportée : le temps imparti entre l'essai 3 et 4 n'a pas permis de trouver une solution à cet effet, mais ils permettront de le confirmer.

3. Essai CATE n°3

i. Résultats

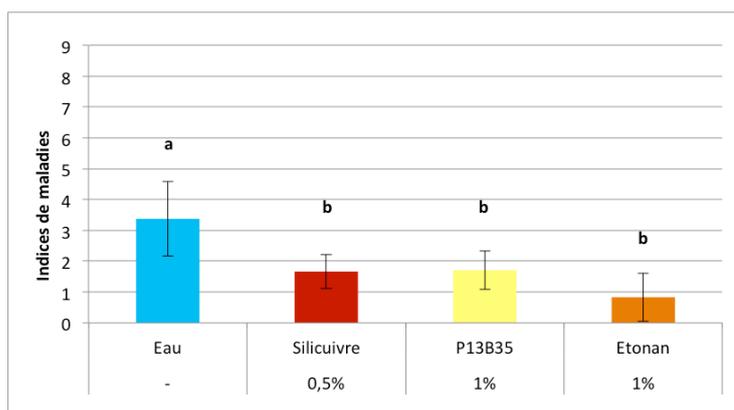


Figure 38. Essai CATE 3. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).

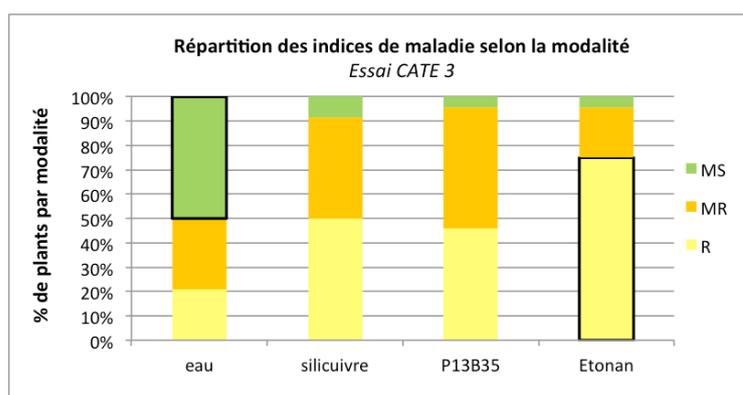
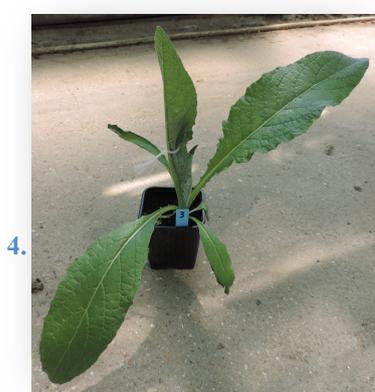


Figure 39. Essai CATE 3. Résultat du test du χ^2 .

Les plants du troisième essai au CATE ont été notés 53 jours après le semis en salle de culture. Trois produits ont été testés en 4 répétitions (6 plants par répétition). Les plants ont été traités une première fois au stade 4 feuilles étalées et une seconde fois, 5 jours plus tard, au stade 6 feuilles étalées (*photo 12*). Le dispositif mis en place (*photo 13*) a évolué comme expliqué dans la discussion de l'essai n°2.



4.

Photo 12. Essai CATE 3. Stade des plants lors du 2^{ème} traitement. Les 2 nouvelles feuilles qui ont poussées entre les 2 traitements sont attachées.



Photo 13. Essai CATE 3. Dispositif expérimental.

L'IM de l'**eau** (IM = 3,4) est significativement plus élevé que celui des 3 autres modalités et la classe MS est surreprésentée (*figure 38 et 39*). L'IM du **Silicuvivre** et du **P13B35** est de 1,7. L'IM de l'Etonan est de 0,8 et l'effectif R est surreprésenté par rapport à l'effectif théorique.

Les plants cultivés sous abris avec ombrage, fertilisation, et feutre sont restés bien verts.

i. Discussion

Les évolutions apportées au dispositif ont permis aux plants de mieux résister aux conditions difficiles sous abris et en pot. L'IM du témoin **eau** est peu élevé mais est plus important que ceux des plants traités avec des fongicides, les produits ont donc eu un effet antifongique. Les indices de maladie observés sur les plants traités à l'**Etonan** et au **P13B35** sont similaires à ceux observés en laboratoire (IM essai labo 1 (Etonan) = 0,7 ; IM essai labo 1 (P13B35) = 1,8 ; IM essai labo 3 (P13B35)= 1,6). Cela ne permet pas de conclure que leur action contre le mildiou est aussi bonne car l'IM de l'**eau** est trop faible.

L'arrosage sur le terreau n'a pas permis de faire évoluer l'IM observé sur les plants traités au **Silicuvivre**. Par contre, le **P13B35** a mieux fonctionné dans ces conditions. Le cuivre contenu dans ces produits doit être accumulé dans les tissus du plant pour avoir une action contre le mildiou ; l'arrosage par le dessous a permis de ne pas lessiver le produit P13B35 avant qu'il ne soit absorbé par le plant.

Le problème rencontré dans cet essai est la faible sporulation sur les plants traités à l'eau malgré les efforts fournis pour conserver une humidité relative élevée. La température d'inoculation élevée de début d'après-midi a pu avoir un rôle important ; les spores de mildiou nécessitant des températures fraîches pour germer. Lors du prochain essai, les plants seront inoculés en fin d'après midi.

5. Essai CATE n°4

i. Résultats

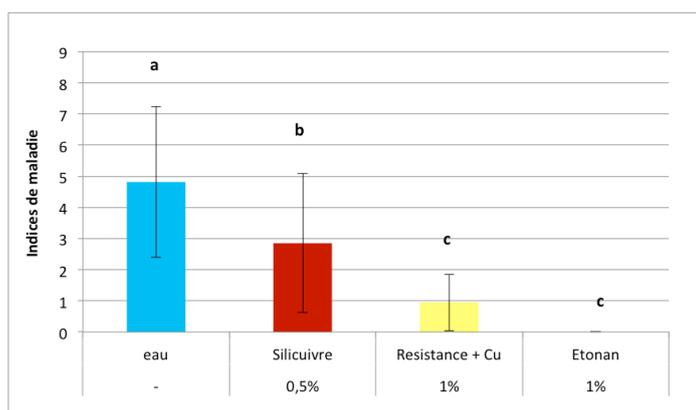


Figure 40. Essai CATE 4. Indices moyens de maladie des différentes modalités (\pm l'écart type à la moyenne).

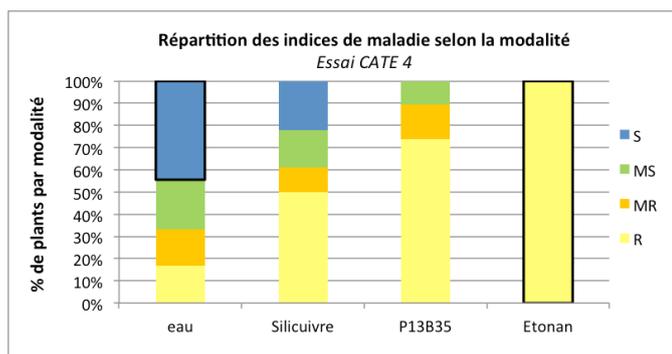


Figure 41. Essai CATE 4. Résultat du test du χ^2 .

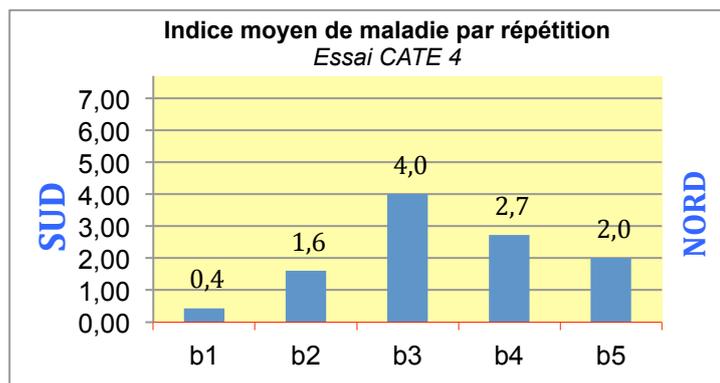


Figure 42. Essai CATE 2. Effet bloc observé. Ecart-type = 1,3. Les b signifient « bloc ».



Photo 14. Dispositif expérimental de l'essai au CATE n°4. A gauche : disposition des 5 répétitions après le 1^{er} traitement. A droite : dispositif après l'inoculation, les plants sont bâchés et un ombrage a été mis en place

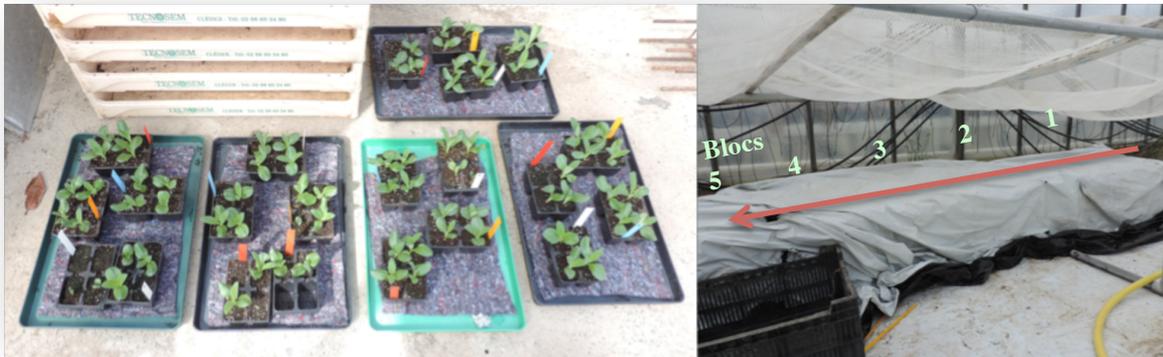


Photo 15. Stades des plants de l'essai n°4 au CATE. A gauche : lors du premier traitement, les 2 premières feuilles sont apparentes. A droite : lors du deuxième traitement, les deux premières feuilles sont étalées et la troisième feuille est apparente.

Trois produits, identiques à l'essai 3, ont été testés dans le quatrième essai du CATE en 5 répétitions de 3 à 6 plants par répétition (*figure 40*). Ils ont été notés à un stade similaire à celui du laboratoire pour étudier le comportement du Silicivivre sous abris vis à vis du mildiou sur des plants jeunes, 32 jours après le semis (*photo 15*). Ils ont été traités une première fois au stade « cotylédons étalés » apparition des 2 premières feuilles et une seconde fois au stade 2 feuilles étalées (*photo 14*).

Les plants traités à l'**eau** (IM = 4,8) sont statistiquement différents des plants traités et la classe S est surreprésentée. Les plants traités au Silicivivre (IM = 2,9) se distinguent des deux autres modalités qui ont été plus efficaces : **P13B35** (IM = 1,0) et **Etonan** (IM=0,0). La classe R est surreprésentée par rapport aux effectifs théoriques pour les plants traités à l'**Etonan** (*figure 41*).

Un effet bloc a été observé avec un écart-type aussi important que celui observé sur les IM d'Opal du premier essai (*figure 42*). Les blocs du milieu sont plus touchés que les blocs extérieurs. Le bloc le plus au Sud est moins touché que le bloc le plus au Nord

ii. Discussion

L'effet bloc observé dans l'essai 1 et 2 se retrouve dans ce dernier essai. Le nombre de répétitions a permis de voir apparaître deux gradients : les répétitions disposées coté Sud (b1 et b2) ont été moins touchées par le mildiou que la répétition coté Nord (b4 et b5) ; plus une répétition est encadrée de plant, plus l'IM est élevé (b3). Le mildiou a profité d'une humidité élevée sur les plants du bloc 3, humidité liée à la présence de plants de chaque côté du bloc. On peut émettre l'hypothèse que les plants situés au Sud ont séché plus vite et la température a été plus élevée, ce qui a empêché la maladie de s'installer autant que sur les plants situés au Nord.

Le témoin eau n'a pas montré d'IM aussi élevé qu'au laboratoire. Les plants de la modalité **eau** du bloc 3 ont des indices de maladie de 7 et 9 avec un IM du bloc de 7,7. Le **Silicivivre** ne montre pas une action supérieure sur des plants plus jeunes par rapport à des plants plus âgés (essai CATE 3). Les conditions rudes sous abris doivent donc lui être défavorables. L'**Etonan** quant à lui a beaucoup mieux fonctionné. Aucun plant n'a été touché. Il agit mieux sur des plants plus jeunes.

6. Conclusion générale

Les résultats obtenus lors des essais réalisés sous abris en station expérimentale sont visibles dans le *tableau 12*.

Le protocole a évolué au fil des essais. La culture d'artichaut de plus d'un mois en godet a nécessité, en plus d'un rempotage, l'apport de fertilisants et la mise en place d'un ombrage afin de réduire la température et l'évaporation de l'eau. L'arrosage a été effectué par le dessous après la prise en compte du mode d'action des produits composés de

cuivre et des feutres ont été placés sous les godets afin de conserver une humidité suffisante pour les plants sans asphyxier les racines. La sporulation du mildiou a été facilitée par la mise en place de l'ombrage et la conservation de l'humidité par les feutres mais ces précautions n'ont pas été suffisantes. Lors du dernier essai au mois de juillet, les températures étaient élevées et un fort effet bloc a été observé. Afin de le réduire, le positionnement de plants non traités et non inoculés sur les cotés de l'essai est une solution. Ces plants permettraient de conserver une humidité plus élevée sur les plants les plus à l'extérieur de l'essai.

Les produits testés sous abris se conduisent comme en laboratoire mais d'une manière moins franche car les conditions de température, d'humidité et de luminosité sont changeantes contrairement au laboratoire. Le stade des plants semble jouer un rôle bénéfique pour P13B35 et l'Etonan mais pas pour le produit témoin Silicuiivre. Il serait intéressant de réaliser des essais sous abris au printemps ou en automne, saisons pendant lesquelles les conditions climatiques seraient plus favorables au développement de la maladie.

De futurs essais pourront être menés pour mettre au point le protocole final en réduisant l'effet bloc dans un premier temps ; puis pour tester des produits s'étant montrés efficace en laboratoire dans un second temps avant leur évaluation au champ. Il n'y a pas d'intérêt à évaluer des produits peu ou pas efficaces en conditions semi-contrôlées. Les tests en laboratoire sont réalisés pour faire ce premier tri.

Tableau 12. Résumé des résultats obtenus lors des essais en station expérimentale sous abris (IM).

Produit	Dose	Essai 1 IM (Opal/ cardon)	Dose	Essai 2 (IM)	Dose	Essai 3 (IM)	Dose	Essai 4 (IM)
Eau	-	6,1/6,0	-	5,3	-	3,4	-	4,8
Silicuiivre	0,5%	5,3/3,1	0,5%	1,9	0,5%	1,7	0,5%	2,9
P13S10	1,6L.ha ⁻¹	0,0/0,4	-	-	-	-	-	-
P13B35	-	-	1%	2,4	1%	1,7	1%	1,0
Etonan	-	-	1%	1,3	1%	0,8	1%	0,0
Evolution du protocole	/		Essais sur cardon Semi en salle de culture		Ombrage Arrosage au niveau du terreau Mise en place de feutres		Essai sur plants au stade laboratoire	

Conclusion générale

La prise de conscience de l'impact des systèmes agricoles sur la qualité de l'environnement oblige les producteurs à repenser leur mode de fonctionnement. Dans ce contexte de promotion de la protection intégrée des cultures, de nouveaux outils se développent, notamment pour lutter contre le mildiou de l'artichaut. Cette maladie est la principale cause de dégâts sur les parcelles bretonnes et les dommages qu'elle peut provoquer est une source d'inquiétude pour les producteurs. Les produits fongicides homologués sont peu efficaces et agissent surtout en préventif et leur positionnement est difficile à établir. Afin de pallier à ces difficultés, de nouvelles stratégies de lutte sont mises en place.

Le modèle de prévision des risques Milart a fait ses preuves et fonctionne très bien malgré quelques imperfections. Le positionnement des traitements a permis de réduire les dégâts et d'éviter les pertes de rendement. La prochaine étape sera de le valoriser auprès des producteurs en les accompagnant dans l'utilisation de ce nouvel outil d'aide à la décision.

Outre les OAD, d'autres méthodes de lutte sont à l'étude dont certaines sont plus prometteuses que d'autres en particulier les SDP. Les essais menés en laboratoire ont permis de sélectionner des produits très efficaces (P13B35, P08T13 ou encore P11T14). La mise en place du protocole d'évaluation de produits sous abris est une avancée majeure mais le passage au champs reste une étape qui n'est pas encore franchie.

I. Bibliographie

i. Livres

- ESTORGUES Vianney, conseillers légumes des 4 chambres d'agriculture de Bretagne. Maladies & ravageurs des légumes de plein champ en Bretagne. Chambre d'agriculture de Bretagne, 2005, 150 p. ISBN : 9782951505629
- DAGNELIE Pierre. Principes d'expérimentation – Planification des expériences et analyse de leurs résultats [en ligne]. Gembloux, Belgique : Les presses agronomiques de Gembloux, A.S.B.L., 2012, 413 p. Disponible sur : <www.dagnelie.be/docpdf/ex2012.pdf> (consulté le 15.03.2014). ISBN : 9782870161173.
- DROESBEKE Jean-Jacques, FINE Jeanne, SAPORTA Gilbert. Plans d'expériences : application à l'entreprise [en ligne]. Paris, France : Éditions Technip, 1997, 509 p. Disponible sur : <books.google.fr> (consulté le 02.04.2014). ISBN : 2710807335.
- PITRAT Michel, FOURY Claude. Histoire de légumes : Des origines à l'orée du XXIème siècle [en ligne]. Quae, 2004, 410 p. Disponible sur <books.google.fr> ISBN : 978-2738010667.
- SPICHIGER Rodolphe-Edouard, SAVOLAINEN Vincent-V, FIGEAT Murielle, JEANMONOD Daniel. Botanique systématique des plantes à fleurs. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, 2004, 390 p. ISBN : 2880745020
- TINSSON Walter. Plans d'expérience : constructions et analyses statistiques. Chapitre 1 : la notion de plan d'expérience [en ligne]. Springer, 2010, pp. 3-36. (Mathématiques et Applications). Disponible sur : <<http://www.springer.com/978-3-642-11471-7>> (consulté le 18.03.2014). ISBN : 9783642114717.

ii. Articles, fiches techniques, Thèses

- BIGOT Claude, FOURY Claude. Multiplication in vitro d'artichaut (*Cynara scolymus* L.) à partir de semences : comparaison au champ de quelques clones à la lignée dont ils sont issus. *Agronomie*, 1984, 4 : 699-710.
- BLANCHARD Antoine, LIMACHE Flora. Les stimulateurs des défenses naturelles des plantes (SDN). 2005, rapport bibliographique. Cerafel. Environnement qualité, 2009, aujourd'hui et demain n°58.
- CTIFL. Artichaut. Memento fruits et légumes [en ligne]. 2010. Disponible sur <http://www.fruits-et-legumes.net/etudes/doc_filiere/artichaut.PDF>. Consulté le 20/06/2014.
- COLLET Jean-Michel. Le mildiou de l'artichaut : où en est-on ? *Info CTIFL*, 2013, n° 294 : 46-48.
- COLLET Jean-Michel. Le mildiou de l'artichaut – Une maladie à problème. *Infos CTIFL*, 2008, n°240 : 43-45.
- Comité de développement des agriculteurs et chambre d'agriculture du Finistère. Artichaut. 2014, fiche technique.
- DAGNELIE Pierre. Le plan d'expérience évolue... . *Revue MODULAD* [en ligne]. 2008, numéro 38 : 13-36. Disponible sur : <www.modulad.fr/archivesdetail.htm#38> (consulté le 18.03.2014) ISSN : 17697387.
- DE NARDI Fabiola Stockmans, CALVETE Eunice Oliveira, GRANDO Magali Ferrari, CRAVERO Vanina Pamela, CECATTO Ana Paula, LIMA Fernanda. Productive characters in seedlings of artishokes seed propagated. 2013, VII congreso ibérico de agroingeniería y ciencias hortícolas.
- DORÉ Claire, VAROQUAUX Fabrice. Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. 2006, Inra-Quae, collection Savoir-Faire. ISBN : 978-2738012159. 812 p.
- FOURY Claude. Quelques aspects du développement de l'artichaut (*Cynara scolymus* L.) issu de semences ; analyse plus particulière de la floraison en conditions naturelles. Paris 6 : Université de Pierre et Marie Curie, 1987.
- FranceAgriMer. Les filières des fruits et légumes – Chiffres clés 2012. [en ligne]. Les cahiers de FranceAgriMer, 2012, 87 p. Disponible sur <www.franceagrimer.fr> (consulté le 30.03.2014).
- FRATIANNI Florinda, TUCCI Marina, DE PALMA Monica, PEPE Rosa, NAZZARO Filomena. Polyphenolic composition in different parts of some cultivars of globe artishoke (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus* (L.) Fiori). *Food Chemistry* [en ligne]. 2007, numéro 104, pp. 1282-1286. Disponible sur : <www.sciencedirect.com>(consulté le 10.05.2014).
- GEBHARDT Rolf. Antioxydative and protective properties of extracts from leaves of the artishoke (*Cynara scolymus* L.) against hydroperoxide-induced oxidative stress in cultured rat hepatocytes. *Toxicology and applied pharmacology*, 1997, 144 : 279-286.
- GEBHARDT Rolf. Inhibition of cholesterol biosynthesis in primary cultured rat hepatocytes by artishoke (*Cynara scolymus* L.) extracts. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 1998, 286 : 1122-1128.
- KLARZYNSKI Olivier et FRITIG Bernard. Stimulation des défenses naturelles des plantes. *Science de la vie*, éditions scientifiques et médicales elsevier 2001, 324 : 953-963.
- MABEAU Serge, BATY-JULIEN Céline, HÉLIAS Anne-Blandine, CHODOSAS Odile, SURBLED Michel, MÉTRA Pierre, DURAND Daniel, MORICE Gabriel, CHESNÉ Christophe, MEKIDECHE Karim. Antioxydant activity of artishoke extracts and by-products. *ISHS, Acta Horticulturae*, 2007, 630. Pp : 491-496.
- PADGETT-JOHNSON M., LAEMMLEN F. Downy mildew of lettuce (*Bremia lactucae*) : biology, disease symptoms and damage. Using the Downy Mildew Index Model for disease management. Date inconnue.
- Prince de Bretagne. Catalogue 2013. [en ligne]. Disponible sur <www.princedebretagne-pro.com> (Consulté le 02.05.2014).
- Prince de Bretagne. L'organisation légumière bretonne : solide, efficace, structurée. Prince infos [en ligne]. 2009, n°24. Disponible sur <www.sicastpol.fr> (consulté le 07.05.2014).
- Réseau GAB-FRAB. Fruits et légume fiche n°3, 2010. Fiche technique.
- SALEH Said Abdel-Halim. Physiological responses of artishoke plants to irrigation and fertilization under special recognition of salinity. *Department für Pflanzenwissenschaften*, 2003.
- SCHERM H. et VAN BRUGGEN A.H.C. Response surface models for germination and infection of *Bremia lactucae*, the fungus causing downy mildew of lettuce.. *Ecological Modelling*. Amsterdam : Elsevier Science Publisher B.V., 1993, 65 : 281-296.
- Scherm H, van Bruggen AHC. Concurrent spore release and infection of lettuce by *Bremia lactucae* during mornings with prolonged leaf wetness. *Phytopathology*, 1995, 85 : 552-555.
- SCHUTZ Katrin, PERSIKE Markus, CARLE Reinhold, SCHIEBER Andreas. Characterization and quantification of anthocyanins in selected artishoke (*Cynara scolymus* L.) cultivars by HPLC-DAD-ESI-MS. *Anal Bioanal Chem*, 2006, 384 : 1511-1517.
- Sicard D, Legg E, Brown S, Babu NK, Ochoa O, Sudarshana P, Michelmore RW. A genetic map of the lettuce downy mildew

pathogen, *Bremia lactucae*, constructed from molecular markers and avirulence genes. *Fungal Genetics and Biology*, 2003, 39 : 16-30.

SONNANTE Gabriella, PIGNONE Domenico, HAMMER Karl. Domestication of Artishoke an Cardoon : From Roman Times to the Genomic Age [en ligne]. *Oxford Journals.*, *Annals of Botany*, 2007, 100 : 1095-1100. Disponible sur : <www.aob.oxfordjournals.org> (consulté le 18.03.2014).

Su H, van Bruggen AHC, Subbarao KV, Scherm H. Sporulation of *Bremia lactucae* affected by temperature, relative humidity, and wind in controlled conditions. *Phytopathology*, 2004, 94 : 396-401.

Tchervenivanova, E. Development of a model to predict sporulation of *Bremia lactucae* in lettuce. Thesis, National Library of Canada, 1995, 94p.

Terragricoles de Bretagne. Nitrachek, un outil d'aide à la décision de terrain. 2013, 2p.

VALADE Romain. Potentiel évolutif et adaptation des populations de l'agent du mildiou de la laitue, *Bremia lactucae*, face aux pressions de sélection de la plante hôte, *lactuca sativa*. Paris : Université Paris Sud, 2012, 173p.

Van Maanen, A., Xu, X.-M. Modelling plant disease epidemics. *European Journal of Plant Pathology*, 2003, 109 : 669-682

WEBER Roland, BARNES Jonathan, PITT Denis. Teaching techniques for mycology- 2. *Bremia lactucae*. Washington Singer laboratories, Department of Biological Sciences. UK : University of Exeter, 1997, V11.

WIDER B., PITTLER MH., THOMPSON-COON J., ERNST E. Artishoke leaf extract for treating hypercholesterolaemia (review). *The Cochrane Library*, 2013, I3.

XU Limin. Development of molecular approaches in the study of lettuce downy mildew (*Bremia lactucae*) population biology. Université de Warwick, 2011.

2. Sites internet

BLANCHET-SCALLIET Christophe. Statistique appliquée aux sciences de l'ingénieur – Chapitre 4 Plans d'expérience [en ligne]. Disponible sur : <www.mi.ec-lyon.fr/Html/Ens/Ensmaths/Option/statsichap4.pdf> (consulté le 18.03.2014).

LETOURMY Philippe, GOZÉ Éric. Expérimentation agronomique planifiée [en ligne]. Disponible sur : <<http://agroecologie.cirad.fr>> (consulté le 18.03.2014).

¹e-phy. Etonan. <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/spe/2100060-10023465.htm> Consulté le 30/03/2014.

²e-phy. Optimo Tech <http://e-phy.agriculture.gouv.fr/spe/2110141-10023065.htm> consulté le 30/03/2014

faostat. Top production artishoke. faostat.fao.org/ consulté le 30/03/2014. Consulté le 06/04/2014

Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable. Directive Nitrates. http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Directives_nitrates.pdf. Consulté le 21/05/2014.

DREAL Bretagne. La Directive Nitrates en Bretagne. <http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/cinquieme-programme-d-action-a2271.html>. Consulté le 21/05/2014.

INRA. L'artichaut. <http://www7.inra.fr/internet/Directions/DIC/presinra/SAQfiches/artichaut.htm>. Consulté le 15/04/2014.

SICA Saint Pol de Léon. Saisonnalité et volumes. sicastpol.fr/saisonnalite-et-volumes. consulté le 08.04.2014

28 aout 2014, http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/GUIDE_STEPHYopt.pdf

cerafel.com (30/03)

¹larousse. Artichaut. www.larousse.fr/encyclopedie/divers/artichaut/23166. Consulté le 04/04/2014.

²larousse.fr. experience. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/exp%C3%A9rience/32237>. Consulté le 15/04/2014.

Tela-botanica. *Cynara scolymus* L www.tela-botanica.org/bdtdfx-nn-20541-synthèse . Consulté le 23/03/2014.

Annexes

- Annexe 1.** Exemple d'alerte donnée par le modèle Milart.
- Annexe 2.** Echelle de notation du mildiou de l'artichaut en plein champ.
- Annexe 3.** Stades phénologiques de l'artichaut.
- Annexe 4.** Parcellaire du réseau de retours et de drageons.
- Annexe 5.** Modèle linéaire généralisés-résultats.
- Annexe 6.** ANOVA-Résultats.

Le mildiou de l'artichaut *Artishoke downy mildew*

Positionnement des traitements fongicides en fonction d'un modèle de prévision des risques *Fungicide applications and artishoke downy mildew modelling*

Tests d'efficacité de produits alternatifs *Effectiveness tests of alternative products*

L'artichaut (*Cynara scolymus* L.) est une plante de la famille des *Asteraceae* cultivée pour son inflorescence immature appelée capitule. En France, il est principalement cultivé en Bretagne. La maladie la plus importante touchant l'artichaut dans cette région est le mildiou du feuillage et des capitules causé par l'Oomycète *Bremia lactucae* Regel. En condition climatique humide et froide, il peut se développer très rapidement et diminuer le rendement. Les produits phytosanitaires pour lutter contre cette maladie sont peu nombreuses et le positionnement des traitements fongicides est difficile. Dans ce contexte, des méthodes de lutte ont été développées.

Le modèle de positionnement des risques du mildiou de l'artichaut Milart permet de positionner les traitements aux moments opportuns. Des essais menés chez des producteurs et en station expérimentale ont prouvé son efficacité, reste à valoriser cet OAD auprès des producteurs.

Quatre tests d'efficacité de produits ont été effectués en laboratoire. Les produits P13B35, P08T13 et P11T14 ont montré une très forte activité antifongique. Quatre essais sous abris ont permis de mettre en place un protocole afin de tester des produits en conditions intermédiaires entre le laboratoire et le plein champ. Le protocole n'est pas parfait mais des pistes sérieuses sont à l'étude pour le perfectionner. Le passage au champ reste délicat.

Mot clés artichaut, mildiou, stimulateur de défense des plantes, modèle de prévision des risques, Chambre d'Agriculture.

Artishoke (*Cynara scolymus* L.) belongs to the family *Asteraceae* and it is cultivated for its capitulum. In France, artishoke is cultivated in Brittany. The most important disease in this region is downy mildew of leaves and capitulum. It is caused by the oomycete *Bremia lactucae* Regel. When climate is wet and mild, *B. lactucae* can rapidly become problematic by severely reducing the yield. Only few protection products to fight this disease exist and the fungicide treatments positioning is difficult. In that context, new methods have been developed.

The downy mildew of artishoke modelling (Milart) can predict the most convenient moment to treat the plot of artishokes. Tests have been carried out in an experimental station and in fields and proved the effectiveness of Milart. In the future, The model will be highlighted to the producers.

Four effectiveness tests have been carried out in a laboratory. P13B35, P08T13 and P11T14 are products that showed an anti-fungal activity against downy mildew. Then, four tests under shelters make it possible to set up a protocol in intermediate conditions, between the laboratory and the field. This protocol is nearly perfect. The next step is to set up a protocol of effectiveness tests in fields.

Key words artishoke, downy mildew, resistance inducers, modelling plant disease, Chamber of Agriculture.