

**AFPP –CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES MÉTHODES ALTERNATIVES EN PROTECTION DES CULTURES
LILLE – 13-15 MARS 2015**

PROTECTION ALTERNATIVE DU MILDIOU DE L'ARTICHAUT (*BREMIA LACTUCAE*)

C. MONOT ⁽¹⁾, J.-M. COLLET ⁽²⁾, N. MEZENEC ⁽³⁾, S. PERENNEC ⁽³⁾, A. STEPHAN ⁽³⁾, M. COCHENNEC ⁽³⁾ et
M. TURNER ⁽¹⁾

⁽¹⁾ VEGENOV- BBV – PENN AR PRAT 29 250 SAINT POL DE LEON – FRANCE – monot@bbv.fr

⁽²⁾ CENTRE TECHNIQUE INTERPROFESSIONNEL DES FRUITS ET LEGUMES / COMITE D'ACTION
TECHNIQUE ET ECONOMIQUE (CTIFL / CATE), VEZENDOQUET - 29 250 SAINT POL DE LEON – FRANCE
- jm-collet@cate.fr

⁽³⁾ CHAMBRE D'AGRICULTURE DU FINISTERE 29 250 SAINT POL DE LEON – FRANCE -
nicolas.mezencev@finistere.chambagri.fr

RÉSUMÉ

Une stratégie de protection durable contre le mildiou de l'artichaut a été développée grâce à une collaboration entre la Chambre d'Agriculture, la station régionale du CATE et le Centre de recherche Vegenov. Un premier volet concerne l'élaboration et la mise à disposition d'un modèle de prévision des risques. Ce modèle est maintenant opérationnel et utilisé par les conseillers agricoles mais son utilisation directe par les producteurs n'est pas encore réalisée. Par ailleurs, une recherche de moyens de lutte par des produits alternatifs d'origines et de modes d'action variés a été effectuée via des criblages en laboratoire, en serre et en plein champ. En laboratoire, 18 produits ont présenté des efficacités de protection intéressantes, dont 8 sont compatibles avec le cahier des charges de l'agriculture biologique.

Mots-clés : Artichaut, Mildiou de l'artichaut, Modèle de prévision des risques, produits alternatifs.

ABSTRACT

A sustainable protection strategy against artichoke downy mildew was developed by the chamber of agriculture of Finistère, the experimental station "CATE" and the Research center "Vegenov". A first approach was the elaboration of a disease warning system for mildew. This model is now operational as currently used by agricultural consultant of the chamber of agriculture, but it is not yet used by farmers themselves. A second approach was the research and screening of low-risk products in laboratory, greenhouse and field trials. Under controlled conditions, 18 products showed interesting protection efficiency, including 8 that are compatible with organic farming.

Keywords: Downy mildew, *Bremia lactucae*, disease warning system, low risk products.

INTRODUCTION

L'artichaut, en Bretagne, est chaque année victime du mildiou, causé par l'agent pathogène *Bremia lactucae*. Cette maladie attaque la face supérieure des feuilles et les capitules. Les attaques précoces du feuillage entraînent des baisses de rendement significatives. Les attaques sur « têtes » affectent directement la qualité visuelle des capitules et donc leur valeur marchande. La maladie n'est significativement présente qu'en Bretagne. Une des difficultés rencontrées dans la lutte chimique tient dans le positionnement des traitements : le cycle de la plante est pluriannuel, la maladie est toujours présente et les produits de traitements sont préventifs (Collet JM., 2008). Un programme de création variétale spécifique est en place depuis plusieurs années ; il s'agit de recherche à long terme. Depuis 2007, un travail collaboratif entre la CA29, la station expérimentale du CATE et le centre de recherche technologique Vegenov vise à développer une stratégie de protection durable contre le mildiou de l'artichaut. Dans cette optique, deux volets principaux ont été développés (i) l'élaboration et la validation d'un modèle mil@rt de prédiction des risques permettant une rationalisation des traitements phytosanitaires, (ii). la recherche et l'évaluation de produits de protection alternatifs efficaces.

MATERIEL ET MÉTHODE

MODELE DE CALCUL DES RISQUES DE SPORULATION DU MILDIOU ET DE SON INCUBATION EN FONCTION DE DONNEES CLIMATIQUES.

Le modèle choisi est basé sur les tables de Güntz et Divoux établies pour le mildiou de la pomme de terre, celui ci reprend, dans un premier temps, faute de connaissances biologiques précises sur le mildiou de l'artichaut, les tables d'estimation des risques de sporulation du mildiou en fonction de la température pour une durée d'humidité relative au moins égale à 90% (Duvauchelle S., 1992). Ces données ont été affinées par des essais en chambres climatisées (Monot *et al.*, congrès AFPP 2011). Concernant la programmation du modèle, une base de données MYSQL est constituée en temps réel et fournit les données nécessaires au fonctionnement du programme (Cochennec, 2012)

Validation et mise à disposition du modèle mil@rt:

Ce programme suit un protocole de validation depuis le printemps 2008 (Cochennec, 2012). Cette validation du modèle consiste à suivre en parallèle un réseau de parcelles sur un secteur restreint autour de la station météorologique, et à observer la concordance entre les courbes théoriques de contamination et d'incubation du mildiou et l'observation de l'épidémie sur le terrain.

Afin de déterminer la pertinence des prévisions indiquées par le modèle, un premier essai a été réalisé en 2013 sur des parcelles de la station expérimentale du CATE (Saint-Pol-de-Léon). Trois modalités ont été comparées : « témoin non traité », « modèle » dont les plants ont été traités après déclenchement d'une alerte par le modèle et « producteur » dont les plants ont été traités avec une vision de producteur. L'essai a été réalisé sur des parcelles de drageons (plants de l'année) et de retours (plants de seconde année) de variété Castel, sensible au mildiou. Pour ces deux plantations, un dispositif en blocs de Fisher à 4 répétitions a été mis en place et au moins 2 rangs non traités entouraient l'essai. Le plan aléatoire était généré par le logiciel StatBox. Chaque parcelle élémentaire comprenait 20 plants.

Un deuxième essai en plein champ sur la même variété a été réalisé en 2014 dans l'optique de familiariser les producteurs d'artichauts du Finistère avec l'outil Mil@rt. Deux modalités ont été mises en place : « modèle » dont les plants sont traités après déclenchement d'une alerte par le modèle Milart et « producteur » dont les plants sont traités par le producteur, sans contrainte. La taille de chaque zone a différé d'une parcelle à l'autre et a été d'au moins 4x50 rangs. Les parcelles ont été gérées en totalité par les producteurs. L'essai a été réalisé sur 6 parcelles de retours et 21 parcelles de drageons. Deux des parcelles, une en drageons, l'autre en retours, étaient positionnées au CATE.

Notations : Chaque semaine, un indice de maladie allant de 0 à 3 a été attribué pour 12 plants pris au hasard dans chaque modalité et sur chaque parcelle ainsi que le stade de développement des plants. En fin de saison, le rendement de chaque zone a été indirectement estimé par la mesure du diamètre des hampes florales d'une centaine de plants par modalité (Stephan, 2014).

Essais fongicides :

- ESSAIS EN CONDITIONS CONTROLEES :

. Les substances évaluées ont été classées selon leur composition : A = produits à base d'algues (10 produits), MO = produits à base de micro-organismes (8 produits), EM = produits à base de éléments minéraux (4 produits), S= produit à base de polysaccharides (2 produits), AA = produits à base d'acides aminés (3 produits), PL = produits à base d'extraits de plantes (10 produits), PH = produits à base de phosphites (5 produits), F = fongicides (4 produits), Bion, Silicivre = références.

Sept essais ont été réalisés de 2011 à 2014, comprenant 2 à 4 répétitions de chacune 3 à 6 plantes.

44 produits alternatifs ont été évalués, en comparaison avec un témoin traité à l'eau et une référence « produit alternatif » (le silicivre) et une référence de stimulateur de défense des plantes (SDP), le Bion. Dans tous les essais, les applications ont été faites préventivement à l'inoculation : dans une première série d'essais (Figure 1), un seul traitement a été appliqué, 2 à 5 jours avant l'inoculation. Les résultats de ces 4 essais ont été regroupés par type de produits dans chaque graphique. Lors des trois derniers essais (Figure 2), deux applications ont été faites 8 jours et 3 jours avant l'inoculation.

Deux variétés de semis d'artichaut ont été utilisées : Opal (Nunhems) et Gros Vert de Laon (variété traditionnelle) très sensibles au mildiou. Les semis ont été placés en serre pendant deux semaines avant le traitement pour assurer une levée homogène.

Les traitements ont été réalisés au stade cotylédonnaire. Les produits ont été vaporisés jusqu'à limite de ruissellement.

La souche utilisée de *Bremia lactucae* est une souche isolée dans le Finistère sur artichaut en 2011. L'inoculum est préparé à partir de spores collectées sur des tissus infectés d'une variété sensible d'artichaut. Cet inoculum est calibré à 15 000 spores/ mL sous lame de Malassez.

L'inoculum est pulvérisé sur les jeunes plants. Ceux-ci sont alors placés en incubation en mini-serres jusqu'à apparition des symptômes.

L'échelle de notation est une échelle à 5 points, qui va de 0 = absence de sporulation à 9 = plus de 75% de surface touchée.

Une moyenne pour l'ensemble des plantes ayant subi le même traitement peut alors être calculée. L'efficacité de chaque produit/ dose est calculée par rapport au témoin eau.

- ESSAI EN PLEIN CHAMP

Trois préparations ayant donné des résultats prometteurs au laboratoire ont été testées en plein champ au CATE (AA1, PH2 et MO7) avec la participation de la Chambre d'Agriculture du Finistère, dans des conditions très proches des pratiques agricoles, au cours de l'été 2012, selon le protocole suivant : Le dispositif adopté est un dispositif en blocs de Fisher à trois répétitions avec des parcelles élémentaires de 20 plants, soit 20 m². La variété plantée est Castel, reconnue comme sensible, en contamination naturelle.

Deux témoins ont été inclus dans le dispositif, une référence chimique comme témoin positif, le Rhodax (Fosethyl-Aluminium + Mancozèbe) et un témoin non traité comme témoin négatif. Les bouillies phytosanitaires sont préparées moins d'une heure avant l'application. L'application est réalisée à l'aide d'une rampe de pulvérisation ATH portée. 3 applications ont été réalisées en juillet, espacées de 2 semaines.

La notation se fait par évaluation du pourcentage de surface foliaire attaquée par le mildiou. Les feuilles retenues sont les feuilles bien développées non sénescentes. Les plantes en avance ou en retard par rapport à la moyenne de la parcelle d'essai sont écartées de la notation (Sensibilité phénologique différente).

Les résultats sont analysés après transformation $\text{Arcsin}(\text{Racine}(X/100))$

- ESSAIS EN SERRE

L'objectif est de mettre au point le protocole d'un test sur des plantes plus âgées qu'au laboratoire, avant de pouvoir cribler les produits en routine.

Deux essais ont été organisés en 4 répétitions comprenant chacune 3 à 6 plantes. Deux produits ont été évalués, ainsi qu'un témoin traité à l'eau, une référence « produit alternatif » et un fongicide. Deux applications ont été réalisées préventivement, 8 et 3 jours avant l'inoculation.

Pour ces essais, c'est une variété de Cardon (Plein blanc inermé, Gautier) qui a été utilisée car les variétés d'artichaut précitées se sont avérées trop sensibles dans ces conditions expérimentales. Les semis ont été placés en serre pendant quatre semaines avant d'être repotés et traités.

Les traitements ont été réalisés au stade 4 feuilles et les produits ont été vaporisés jusqu'à limite de ruissellement.

La souche de *Bremia lactucae* utilisée est la même que celle utilisée dans les essais au laboratoire. L'inoculum est préparé à partir de spores collectées sur des tissus infectés d'une variété sensible d'artichaut. Cet inoculum est calibré à 15 000 spores/ mL sous lame de Malassez.

L'inoculum est pulvérisé sur les jeunes plants. Ceux-ci sont alors placés en incubation sous bâche. La bâche est enlevée au bout de 24h et remplacée après une semaine, la nuit, jusqu'à apparition des symptômes.

L'échelle de notation est une échelle à 5 points, qui va de 0 = absence de sporulation à 9 = plus de 75% de surface touchée.

Une moyenne pour l'ensemble des plantes ayant subi le même traitement est calculée. Deux essais à 4 répétitions randomisées ont été réalisés regroupés sur un même graphique (fig 4)

L'efficacité de chaque produit/ dose est évaluée par rapport au témoin 'eau'.

RESULTATS

Modèle mil@rt : prise en main par les producteurs:

Essais en station expérimentale en 2013 et 2014

Dans les essais menés au CATE, le modèle a déclenché une alerte et les plants ont donc été traités une fois. Concernant la parcelle « producteur », deux traitements ont été effectués. Dans les deux cas, le contrôle du mildiou a été effectif. Les parcelles non traitées ont été touchées par le mildiou et il était donc nécessaire d'effectuer un traitement.

Le rendement calculé en fin d'essai sur les deux parcelles traitées était équivalent, l'utilisation du modèle a donc permis d'éviter un traitement dans ces deux essais.

Essais chez les producteurs (2014):

Le modèle Mil@rt a déclenché 1 à 2 alertes sur l'ensemble des parcelles et les parcelles de la modalité « modèle » ont été traitées en conséquence. Le nombre de traitements effectués par les producteurs a varié de 0 à 4. Compte tenu de l'hétérogénéité de comportements des producteurs, il n'est pas possible de conclure si le modèle a permis ou non de réduire le nombre de traitements effectués. Malgré la différence du nombre de traitements entre les modalités « modèle »

et « producteur », aucune différence significative d'intensité de la maladie n'a été observée. De même, il n'a pas été constaté de différence de rendement entre les parcelles traitées avec le modèle et celles traitées selon le souhait du producteur.

A noter que le modèle Mil@rt a déclenché la première alerte en moyenne une semaine avant l'apparition des premières taches de mildiou pour les parcelles de drageons, ce qui confirme sa précision.

L'outil de modélisation est disponible sur le web sans limitation d'accès depuis 2 ans.

Criblage de produits alternatifs en conditions contrôlées

Entre 2011 et 2014, 44 produits alternatifs ont été évalués à Vegenov pour leur capacité à lutter contre le mildiou de l'artichaut (Figure 1 et 2). Nous avons sélectionné un panel de produits d'origines et de mode d'action variés comme des extraits d'algues (Fig 1a), des produits à base d'acides aminés (Fig 1b), de polysaccharides (Fig 1b), des extraits de plantes (Fig 1c), des micro-organismes (Fig 1d), des produits à base d'éléments minéraux (Fig 1e) ou à base de phosphite (Fig 1f). La référence alternative utilisée dans nos essais est le silicivivre, qui permet une efficacité de protection complète. La référence SDP Bion® a également été évaluée mais n'a pas conduit à une protection des plants.

En fonction des recommandations données par les fournisseurs, certains produits ont été évalués avec 1 ou 2 traitements (Figures 1 et 2 respectivement).

Sur la globalité des sept essais, 14 produits ont induit une très bonne protection ($IM < 3$) et 4 ont permis une protection moyenne ($3 < IM < 5$).

Parmi ces produits efficaces, 8 sont compatibles avec le cahier des charges de l'agriculture biologique. Il s'agit des produits A1, A2, A3, A6, EM2, MO8, MO7 et du silicivivre.

Figure 1 : Comparaison des indices de maladies au laboratoire obtenus après un traitement préventif des plants d'artichaut par des extraits d'algues (1a), des produits à base d'acides aminés et de polysaccharides (Fig 1b), des extraits de plantes (Fig 1c), des micro-organismes (Fig 1d), des produits à base d'éléments minéraux (Fig 1e) ou à base de phosphite (Fig 1f). L'IM moyenne du témoin eau sur les quatre essais à un traitement est 8.6 ± 0.31 . Les chiffres entre parenthèse après le code de chaque produit, indiquent le nombre de répétitions indépendantes réalisées avec chaque produit.

Comparison of disease indexes in the laboratory after one preventive treatment of artichoke plants with algae extract (1a), amino acids and polysaccharides (Fig 1b), plants extracts (Fig 1c), micro-organisms (Fig 1d), minerals products (Fig 1e) or phosphonates (Fig 1f). Disease index average of three trials with two treatments is 8.6 ± 0.31 . Numbers in brackets after products names indicate number of independent repetitions for each product.

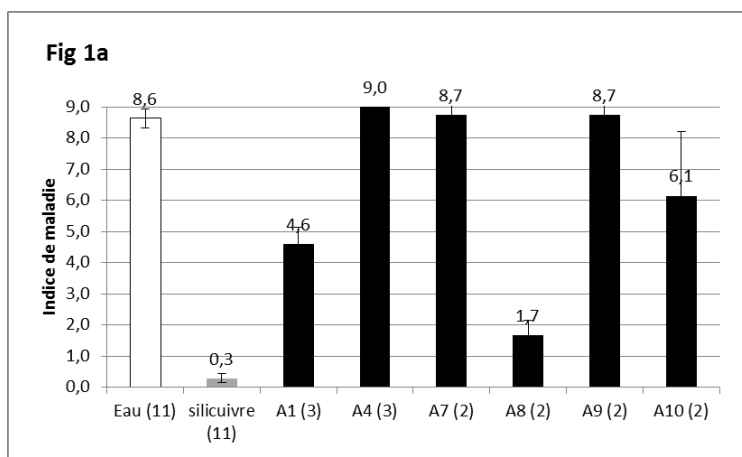
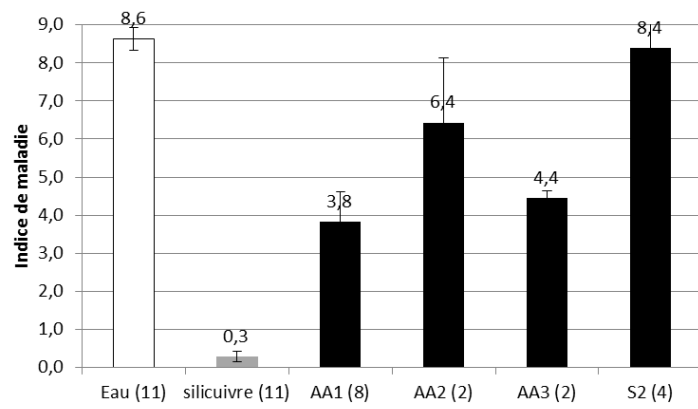
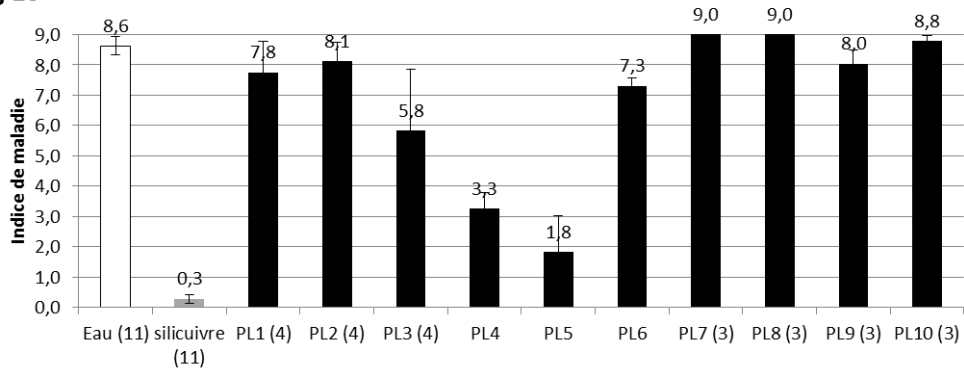
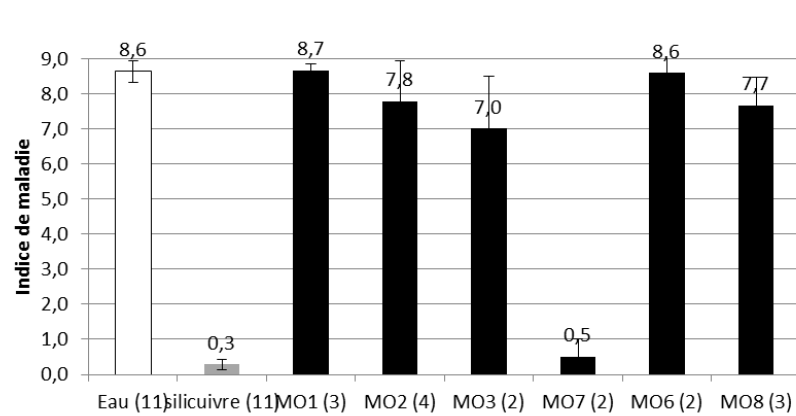
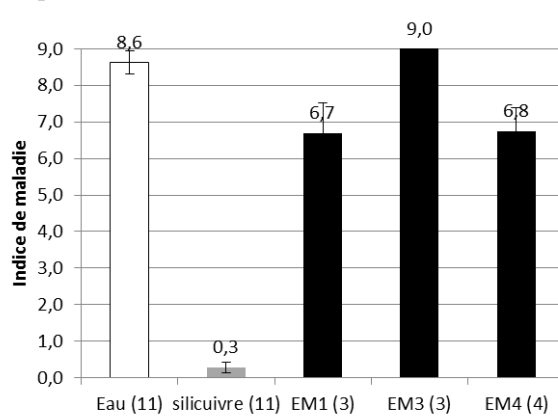


Fig 1b**Fig 1c****Fig 1d****Fig 1e**

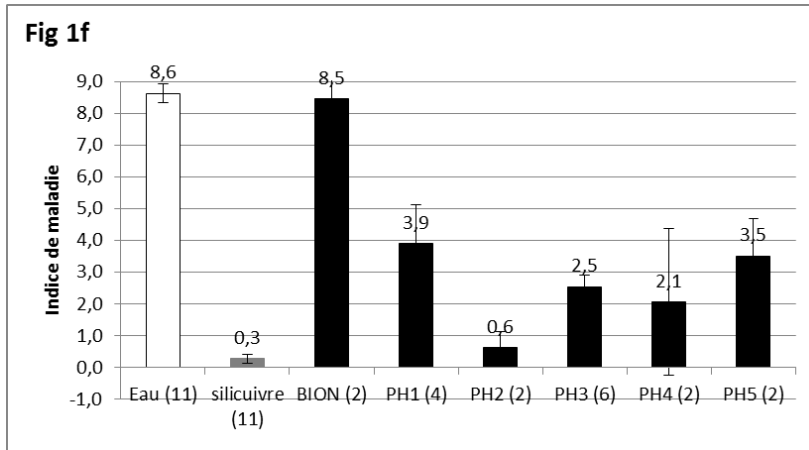
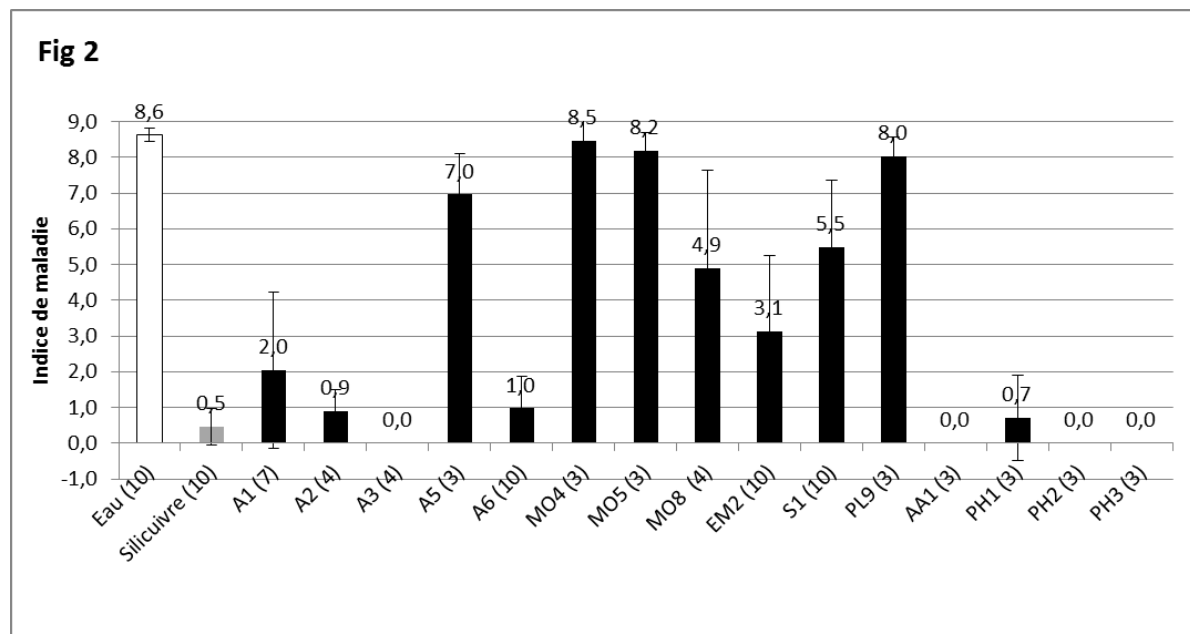


Figure 2 : Comparaison des indices de maladies au laboratoire obtenus après deux traitements préventifs des plants d'artichaut par des produits issus d'extraits d'algue (code A), de micro-organismes (codes MO), de produits à base d'éléments minéraux (code EM), à base de polysaccharides (code S), d'extraits de plantes (code PL), d'acides aminés (code AA) ou à base de phosphite (codes PH). L'IM moyen du témoin eau sur les trois essais à deux traitements est de 8.6 ± 0.19 . Les chiffres entre parenthèse après le code de chaque produit, indiquent le nombre de répétitions indépendantes réalisées avec chaque produit.

Comparison of disease indexes in the laboratory after two preventive treatments of artichoke 'plants with algae extract (A), amino acids (AA), polysaccharides (S), plants extracts (PL), micro-organisms (MO), minerals products (EM) or phosphonates (PH). Disease index average of three trials with two treatments is 8.6 ± 0.19 . Numbers in parenthesis after products names indicate number of independent repetitions for each product.



Criblage de produits alternatifs en plein champ

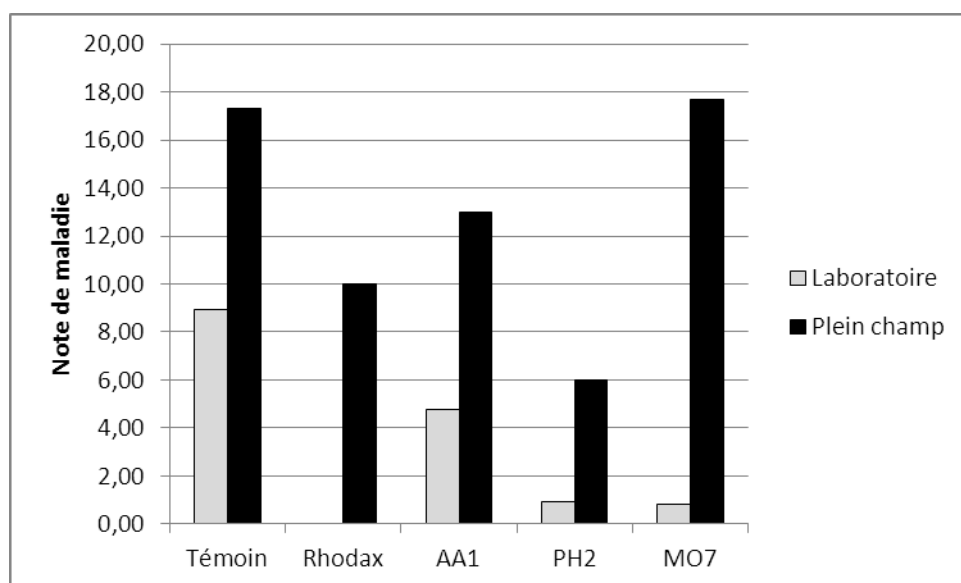
Suite aux premiers criblages en 2011 et 2012, 3 produits ont été sélectionnés pour être évalués en plein champ (AA1, PH2 et MO7). Dans cet essai, aucun produit n'a montré un niveau de protection statistiquement significatif (Tableau 1), y compris le produit de référence homologué (Rhodax). Si les produits AA1 et MO7 se sont révélés moins performants que le produit de référence, il est intéressant de noter que le produit PH2 présentait une efficacité supérieure à ce dernier.

En comparant les résultats obtenus en laboratoire et en plein champ (Figure 3), on constate que les 2 meilleurs produits en laboratoire, qui présentaient une efficacité de protection équivalente, se comportent très différemment en plein champ. En effet, PH2 garde une efficacité de protection intéressante, alors que le MO7 ne présente aucune efficacité de protection puisque le niveau d'infestation est similaire à l'eau. Le produit AA1, moins performant en laboratoire, a un niveau de protection intermédiaire, mais non significativement différent.

Tableau I : Moyennes des pourcentages de surfaces foliaires attaquées
Average of percentage of foliar area damaged

	% moyen de surface foliaire attaquée
Témoin non traité	17,33
Rhodax	10
AA1	13
PH2	6
MO7	17,67

Figure 3: Comparaison des indices de maladies au laboratoire et au champ (01/08/14) pour trois produits alternatifs
Comparison of disease indexes in the laboratory and in the field (08/01/14) for three PDS

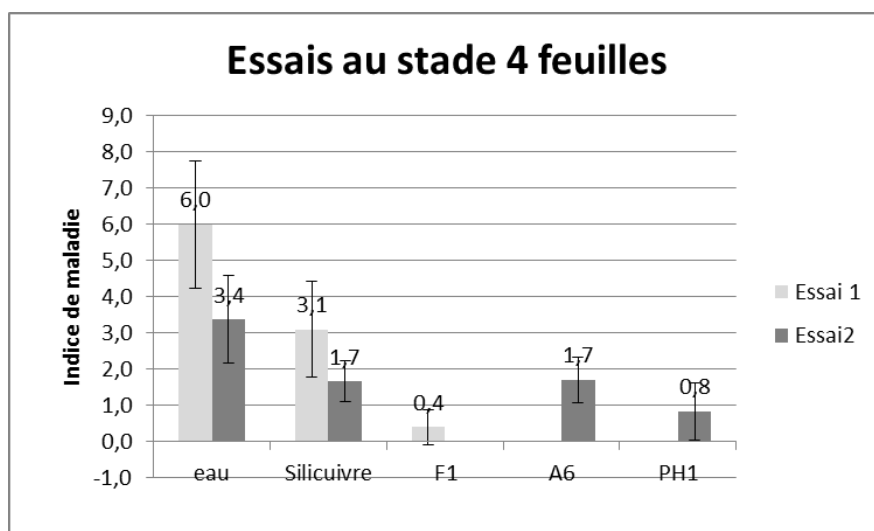


Mise en place d'un dispositif expérimental en conditions semi-contrôlées

La mise au point du test en conditions de serre a permis d'évaluer lors de deux essais le niveau de protection donnée par deux produits A6 et PH1, en comparaison de trois témoins : eau, Silicuvivre et F1 (figure 4). Malgré une infestation moindre par rapport aux essais réalisés en conditions contrôlées (Figure 2), les indices de maladie (IM) étant de 6.0 et 3.4 dans ces conditions, pour un IM de 8.6 en moyenne lors de 7 essais en laboratoire, les résultats obtenus sont relativement similaires dans les deux conditions d'essais (laboratoire et serre) pour les produits A6 et PH1, qui protègent efficacement les plants contre le mildiou.

Figure 4 : Comparaison des indices de maladie de jeunes plants d'artichaut traités deux fois puis inoculés en conditions semi-contrôlées lors de deux essais (Compilation de deux essais indépendants)

Comparison of disease indexes of young plants of artichoke with two treatments before inoculation in two greenhouse assays.



DISCUSSION ET CONCLUSION

Concernant le modèle de prévision des risques, l'approche collaborative menée a permis la mise en place d'un modèle fonctionnel.

Dans les essais chez les producteurs, l'utilisation du modèle a abouti au même nombre de traitements en moyenne pour les modalités « modèle » et « producteur ». Il est important de noter que la pression maladie était faible cette année et que les comportements des producteurs se sont révélés très hétérogènes dans ces conditions.

Le déclenchement de l'alerte s'est révélé moins précis pour les parcelles de retours (artichaut de deuxième année), du fait du climat particulièrement doux au printemps 2014. Cependant, l'incidence est relative, car ces plants sont moins sensibles au mildiou que les drageons (plants de l'année), pour lequel le modèle a été validé en conditions de terrain. L'alerte a été déclenchée préventivement à l'infestation et a laissé une fenêtre d'une semaine pour les interventions phytosanitaires. Le déclenchement de l'alerte pourrait être optimisé par un suivi des vols de spores pour mieux connaître le début du cycle du mildiou et donc, gagner en réactivité.

Des gains de précision sont possibles par l'adoption d'une date de calage ajustée à l'année, une meilleure connaissance des relations entre sensibilité variétale, sensibilité phénologique et virulence du mildiou. Des études sont également à poursuivre pour quantifier l'inoculum primaire (Aspirateur à spores, étude plus précises de décroissance de la viabilité des spores en fonction des conditions climatiques), et pour analyser la virulence du champignon (Collecte de spores, génotypage, étude de virulence des souches).

L'enjeu le plus important maintenant est de faire en sorte que les producteurs utilisent le modèle en routine. En effet, malgré une démonstration de son efficacité et une interface simplifiée, seul un faible pourcentage de producteurs s'en sert. Les applications sur smartphone ou avertissement par SMS 'à la parcelle' ont plus de chance d'être reçus, d'autant que ces avertissements ne nécessitent pas de démarche de la part de l'utilisateur (Ouvrir l'ordinateur, se connecter...), mais la nécessité restera d'effectuer le paramétrage initial des parcelles et la mise à jour des stades, des traitements réalisés, des irrigations...

Concernant les essais avec les produits alternatifs, plusieurs produits avec des origines et des modes d'action variés semblent avoir un potentiel intéressant en conditions contrôlées. Les essais en plein champ ont révélé un produit avec une efficacité supérieure à la référence homologuée, même si le niveau d'efficacité reste insuffisant pour contrôler la maladie de manière satisfaisante. Les résultats obtenus au laboratoire au stade cotylédonaire n'étant pas toujours cohérents avec les résultats des essais au champ, des essais sous serre en conditions semi-contrôlées ont été mis en place afin de faire une étape de intermédiaire de validation. Des ajustements de protocole sont en cours de réalisation pour augmenter le niveau d'infestation et l'homogénéiser entre répétitions.

L'enjeu maintenant est double : identifier, parmi les nouveaux produits prometteurs en conditions contrôlées, des produits efficaces au champ et les intégrer au modèle mil@rt. Pour ce faire, il nous faut connaître leur mode d'action (curatif ou préventif), leur niveau d'efficacité, leur positionnement et leur résistance au lessivage sur le feuillage.

REMERCIEMENTS

Aux agriculteurs de St Pol de Léon, pour la mise à disposition de leurs parcelles et leurs encouragements.

BIBLIOGRAPHIE

Cochennec M., 2012. « Le mildiou de l'artichaut, modèle épidémiologique et moyens de lutte » Mémoire de fin d'études Diplôme d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du paysage, Agro Campus Angers.

Collet J.M., 2008. Le mildiou de l'artichaut, Une maladie à problèmes. Infos-CTIFL, 240 43-45.

Monot, C., Collet, J.M., Mezencev, N. 2011. Modélisation du mildiou de l'artichaut (*Bremia lactucae*). AFPP, Quatrième conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures, Lille, 8-10 Mars 2011, 9p.

Stephan, A. 2014. « Le mildiou de l'artichaut : positionnement des traitements fongicides en fonction d'un modèle de prévision des risques ». Mémoire de stage de Master2 ERE, Institut national supérieur, Agro Sup de Dijon.

Duvauchelle S. 1992. Le mildiou de la pomme de terre (*Phytophthora infestans*). Aperçu des connaissances. SRPV Loos en Gohelle : 69p.

L'interface du modèle mil@rt est consultable à l'adresse suivante : <http://www.milart.web4me.fr/>
Contact **webmaster** : nicolas.mezencev@finistere.chambagri.fr