

**AFPP – CINQUIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE
SUR LES MÉTHODES ALTERNATIVES DE PROTECTION DES PLANTES
LILLE – 11 AU 13 MARS 2015**

**UTILISATION DE STIMULATEURS DE DEFENSES DES PLANTES CONTRE L'OIDIUM DU MELON ET LE
MILDIU DE LA LAITUE**

C. ADE⁽¹⁾, M. TORRES⁽²⁾, B. MAISONNEUVE⁽³⁾, M. PITRAT⁽³⁾, J. GUERRAND⁽⁴⁾, L. GUIGAL⁽⁵⁾, M. PERUS⁽⁶⁾,
A. BURLET⁽⁷⁾, D. LAVIGNE⁽⁸⁾, F. BELLVERT⁽⁹⁾

⁽¹⁾ CTIFL – ZI Belle Etoile – Antares- 35, allée des Sapins- 44483 Carquefou cedex

⁽²⁾ CTIFL – 751, Chemin de Balandran – 30127 Bellegarde

⁽³⁾ INRA – Domaine St Maurice, allée de chênes, CS 60094, F 84143 Montfavet cedex

⁽⁴⁾ Vegenov BBV- Penn ar Prat – 29250 Saint Pol de Léon

⁽⁵⁾ CEHM – Mas de Carrière – 34590 Marsillargues

⁽⁶⁾ PLRN – Route d'Estaires – 62840 Lorgies

⁽⁷⁾ SERAIL – 123, chemin du Frinday, Les Hoteaux – 69126 Brindas

⁽⁸⁾ CEFEL – 49 Chemin des Rives – 82 000 Montauban

⁽⁹⁾ Université Claude Bernard Lyon 1 – 6 Rue Raphael Dubois – 69622 Lyon

RÉSUMÉ

L'usage de Stimulateurs de Défenses des Plantes (SDP) pour lutter contre l'oïdium du melon et le mildiou de la laitue, a été testé avec une étude d'efficacité des SDP et des facteurs pouvant influencer celle-ci : stress abiotiques et génotype cultivé, en laboratoire et en culture. Sur 23 SDP évalués, les efficacités sont fort variables. Pour *Podosphaera xanthii*, un stress hydrique ou nutritif modéré semble augmenter l'efficacité des SDP alors que celle-ci chute en cas de stress intense. Pour *Bremia lactucae*, l'effet du stress hydrique n'a pas été noté. De plus, la réactivité des plantes à un SDP varie selon leur génotype et la souche du bioagresseur (pour certaines accessions). La plupart des accessions testées est non réactive aux SDP choisis. Malgré l'efficacité observée de certains SDP sur certains sites, aucune stratégie de protection ne ressort clairement pour le melon. En laitue, l'acibenzolar-S-méthyl ressort comme seul SDP efficace mais aucune stratégie n'est satisfaisante.

Mots-clés : *Podosphaera xanthii*, *Bremia lactucae*, éliciteur, stress, génotype.

ABSTRACT

USE OF PLANT DEFENCES INDUCERS AGAINST POWDERY MILDEW ON MELON AND DOWNY MILDEW ON LETTUCE

The use of Plant Defences Elicitors (EDS) against powdery mildew of melon and downy mildew of lettuce, was assessed with a study evaluating the efficacy of EDSs and factors which may impact it: abiotic stress and grown cultivars, under laboratory and production conditions. Out of 23 claimed EDSs, efficacies vary widely. For *Podosphaera xanthii*, a moderate water or nutritional stress seems to increase the efficacy of EDSs although it decreases when the stress is too intense. For *Bremia lactucae*, the effect of water stress was not observed. Moreover, the plant responsiveness to EDSs differs according to its genotype and the strain of bioaggressor (for some accessions only). Most of the tested accessions doesn't respond to chosen EDSs. Despite the observed interest of some elicitors in some field sites, no strategy can be recommended in melon. As regards lettuce, acibenzolar-S-methyl emerges as only effective EDS but no strategy stands out.

Keywords: *Podosphaera xanthii*, *Bremia lactucae*, elicitor, stress, genotype.

INTRODUCTION

Les stimulateurs de défenses des plantes (SDP) sont des produits d'origines diverses (extraits de plantes, de microorganismes, produits de synthèse...), qui sont capables d'induire les mécanismes de défenses naturelles des plantes afin que celles-ci soient plus aptes à se défendre contre les agressions extérieures (Benhamou, 2009 ; Hallier, 2011). Aucune définition officielle n'étant établie à ce jour, voici celle proposée par le RMT Elicitra : « on définit par le terme SDP toute substance ou tout micro-organisme vivant non pathogène qui, appliqué sur une plante, est capable de promouvoir un état de résistance significativement plus élevé par rapport à une plante non traitée, face à des stress biotiques voire abiotiques. Un SDP n'agit généralement pas directement sur les bioagresseurs » (Berthelot et Hallier, 2013).

Dans le cadre du projet DEFILeg (2010-13), des SDP ont été testés contre l'oïdium du melon (*Podosphaera xanthii* (Castagne) U. Braun & Shishkoff 2000) et le mildiou de la laitue (*Bremia lactucae* Regel 1843), deux maladies fongiques très répandues. Cet article se propose de faire la synthèse des principaux résultats obtenus au cours de 3 ans de travaux.

Face à la complexité du mode d'action de ces produits, et avant de pouvoir utiliser de façon fiable et efficace ces produits dans les stratégies de protection, les éléments suivants ont été étudiés :

- connaissances sur le fonctionnement et les modes d'action des SDP (efficacité des produits, effets des stress abiotiques tels que l'irrigation et la fertilisation) ;
- influence du génotype de la plante sur l'activation des mécanismes de défense (réactivité aux SDP) ;
- intégration de SDP au sein de stratégies de protection classiques ;
- identification de marqueurs traduisant l'activité de défense des plantes (résultats non présentés ici ; Bellvert, 2012).

MATERIEL ET MÉTHODE

EVALUATION DE L'EFFICACITE DES SDP EN CONDITIONS CONTROLEES

Des pré-tests de phytotoxicité sur disques foliaires ont été réalisés sur 23 produits d'origines diverses (extraits végétaux, bactéries, minéraux, hormones...)(tab. I). L'activité biocide des produits a été également évaluée (résultats non présentés ici).

Leur efficacité a ensuite été mesurée sur plante entière en serre pour l'oïdium du melon et en chambre de culture pour la laitue, au travers d'un traitement préventif sur laitue (J-5 avant inoculation) et d'un traitement préventif, suivi d'un traitement curatif précoce pour le melon (J-5 et J+5 après inoculation). Chaque produit candidat a été testé dans au moins 2 essais pour chaque espèce.

Tableau I : Liste des produits testés en conditions contrôlées (List of tested products under controlled conditions).

Code produit	Composition
AP	Extrait d'algue + argile
BABA	Acide bêta-aminobutyrique
ASM	Acibenzolar -S-méthyl 50%
CF	Calcium et nitrate de zinc
Chitosan	Oligomères de N-acétyl glucosamine
EI	Extrait de levure + acides aminés + base engrais
EI+H	Extrait de levure +adjuvant
Eu	Eugénol formulé
P2	Extrait d'algue
P2'	Extrait d'algue
P2''	Extrait d'algue
P3	Extrait d'algue

Ju	Extrait d'algue (base d'AP)
Meja	Méthyl-jasmonate
MSK	SiO ₂ 20%
TTF10	Extrait de renouée
M6	Extrait de renouée
N	Base NPK/Phosphite
P1	Extrait d'algue
PK	Phosphite de potassium
AML10	Extrait d'acides aminés
SE	Extrait d'algue + phosphite + acides aminés
ST	Fenugrec
TR	Base NPK/Phosphite + Mg, Ca et Si (0,15%)
TSK	Base NPK + 2SiO ₂

INFLUENCE DES CONDITIONS D'UTILISATION SUR L'EFFICACITÉ DES SDP

L'effet des facteurs abiotiques (irrigation et fertilisation) sur l'efficacité des SDP, a été évalué en conditions contrôlées ou semi contrôlées dans un premier temps. Dans un deuxième temps, des essais ont été réalisés en conditions de plein champ afin d'évaluer l'influence des conditions environnementales dans leur globalité.

Pour le melon (variétés Védraçais et MC 15200A), les essais se déroulaient dans plusieurs compartiments de serre, chacun subissant un type de stress (hydrique, nutritif modéré, nutritif intense, et hydrique+nutritif). Des inoculations ont été réalisées à partir de la souche Sf3-5 04Sm2 fournie par l'INRA. Le suivi de la maladie s'est poursuivi 25 jours après la première application des SDP suivants : acibenzolar-S-méthyl (ASM), extrait d'algue (P2'') et calcium et nitrate de zinc (CF). A chaque date de notation, le nombre de feuilles avec symptôme, ainsi qu'une estimation de la surface foliaire attaquée ont été notés.

Pour la laitue, les essais ont été mis en place sur jeunes plantules de la variété Sensai en chambre climatique, avec un stress hydrique débutant 2 à 3 jours avant application du SDP. Les plantes ont été inoculées artificiellement (souche Bl:25). L'essai a permis de comparer le comportement des plantes non stressées et non traitées, non stressées et traitées, stressées non traitées et stressées et traitées. Les produits testés sont l'acibenzolar-S-méthyl à 0,05 %, l'extrait d'algue (P2'') à 2L/ha, et un extrait de levure (El) à 800 g/ha. Les notations réalisées ont permis d'évaluer le niveau de sporulation 10, 12 et 14 jours après inoculation.

En parallèle des tests en conditions de culture ont été réalisés au CTIFL, au CEFEL et au CEHM pour le melon ; à la SERAIL et au PLRN pour la laitue. Pour la laitue, les SDP testés sont : calcium et nitrate de zinc à 1%, acibenzolar-S-méthyl à 0,01%, extrait de levure à 0,2%. Un total de 6 applications a été réalisé : la 1^{ère} en pépinière, puis une tous les 10 jours.

RECEPTIVITÉ DES GENOTYPES AUX SDP

En conditions contrôlées sur disques de feuilles (6 disques par accession), 600 accessions de melon inoculés avec la souche 04Sm2 d'oïdium ont été traitées avec la laminarine, l'acibenzolar-S-méthyl et le calcium et nitrate de zinc. Et sur jeunes plants inoculés soit par la souche Bl:25 de mildiou (338 accessions), soit par Bl:26 (117 accessions), 455 accessions de laitue ont été traitées avec l'acibenzolar-S-méthyl, le calcium et nitrate de zinc et l'extrait de levure (ressources génétiques INRA). Une note visuelle de sporulation a été attribuée à chaque feuille traitée (0 à 9 sur disques de feuilles de melon ; 0 à 4 sur feuilles de laitue) et un classement des accessions a été effectué d'après les notes maximales obtenues pour chaque traitement.

Des essais complémentaires ont été menés sur des effectifs plus importants, avec plusieurs souches par agent pathogène, sur des plantes à différents stades : test en laboratoire (INRA), puis contrôle en parcelle de plein champ jusqu'au stade récolte (CTIFL). Ainsi, des tests en laboratoires sur jeunes plantes de 32 accessions de melon ont été effectués à raison de 6 répétitions de 3 plantes avec les 3 SDP et 2 souches d'oïdium (04Sm2 et 08Sm9). Pour le pathosystème laitue/mildiou, le même

protocole que pour le criblage a été utilisé, mais avec 16 plantes par accession pour chacun des 3 SDP ; 5 tests de 10 accessions ont été inoculés par BI:25 et 5 tests avec BI:26. En outre, 10 accessions ont été testées avec l'extrait d'algue et la souche BI:25 dans une expérience. Pour chaque pathosystème, dans chaque test, un témoin traité à l'eau, selon le même protocole que les traitements par les SDP, a été noté comme référence de sporulation de chaque accession.

Un contrôle en production a été effectué sur 5 (melon) et 6 (laitue) accessions contrastées au CTIFL de Carquefou. Les notations ont été réalisées tout au long de la culture, puis en fin de culture.

INTEGRATION DES SDP AU SEIN DE STRATEGIES DE PROTECTION

Cas du pathosystème oïdium/melon

Les SDP jugés intéressants ont été testés au champ (CTIFL Balandran, CEFEL, CEHM) dans différentes stratégies de protection. Les essais ont été réalisés sur la variété Strato (Clause) et sur deux autres variétés (Védrantais et une accession de l'INRA, résultats non présentés ici), choisies pour leur bonne réactivité aux SDP. Dans tous les cas, le premier traitement a été réalisé au débâchage puis les traitements ont suivi à une cadence de 7 à 9 jours.

En 2012, 3 stratégies de protection incluant des SDP ont été testées en alternance avec les produits phytopharmaceutiques référents (stratégies commençant par un SDP); l'acibenzolar-S-méthyl, la laminarine et le calcium et nitrate de zinc ont été évalués sur la variété Strato et l'acibenzolar-S-méthyl a également été testé sur la variété Védrantais.

En 2013, dix stratégies de protection ont été testées sur Strato, incluant deux stratégies SDP séquence (c'est-à-dire 3 applications successives dès le débâchage de la culture suivie de 2 à 3 traitements au soufre) avec l'acibenzolar-S-méthyl et la laminarine ; une stratégie « ASM pépinière séquence », c'est-à-dire une application d'acibenzolar-S-méthyl en pépinière puis 3 applications successives dès le débâchage de la culture) ; une stratégie « ASM pépinière alternance », c'est-à-dire une application d'acibenzolar-S-méthyl en pépinière puis 3 applications en alternance avec le référent chimique dès le débâchage de la culture.

Les résultats obtenus sont comparés à un témoin « eau » et à un référent chimique comprenant deux traitements à l'azoxystrobine et des traitements au soufre.

Cas du pathosystème mildiou/laitue

En 2012, 2 stratégies de protection ont été déclinées pour les 4 SDP retenus : une succession de RHODAX -mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44%- (2 traitements) suivie de 2 traitements aux SDP (acibenzolar-S-méthyl, extrait d'algue ou extrait de levure) ; une alternance de produits avec un traitement au mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44% suivi d'un traitement aux SDP (acibenzolar-S-méthyl, extrait d'algue ou extrait de levure), puis un traitement au mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44% et enfin un autre traitement à base de SDP.

Les essais incluaient un témoin non traité et une référence chimique mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44%.

En 2013, 2 stratégies de protection ont été déclinées pour 2 SDP : une succession de 2 traitements aux SDP (acibenzolar-S-méthyl ou extrait de levure) suivie de mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44% (2 traitements) ; une alternance de produits avec un traitement au SDP suivi d'un traitement au mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44% puis un traitement au SDP et enfin un autre traitement au mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44%.

En complément des témoins non traités et la référence, deux témoins de vraisemblance ont été inclus dans les essais : un pour les SDP appliqués en alternance (= eau-mancozèbe + fosétyl-Al -eau-mancozèbe+ fosétyl-Al), et un autre pour les SDP appliqués en séquence (= eau- eau-mancozèbe+ fosétyl-Al- mancozèbe+ fosétyl-Al).

RESULTATS

EVALUATION DE L'EFFICACITE DES SDP EN CONDITIONS CONTROLEES

Cette première étape visait à sélectionner pour chaque agent pathogène les produits les plus efficaces et ayant réellement une action de stimulation des défenses des plantes.

Les résultats (fig. 1) montrent une grande variabilité des efficacités entre produits. Certains présentent une efficacité proche de celle de la référence fongicide (ORTIVA- azoxystrobine) : extrait de renouée (TTF10) 0,5%, 2 produits à base d'extrait d'algue (P1 et P3) et un phosphite avec Mg-Ca-Si (TR). D'autres n'ont par contre montré qu'une faible efficacité sur les 2 essais indépendants et n'ont donc pas été retenus par la suite : méthyl-jasmonate (Meja), fenugrec (ST) et le jus d'algue (Ju). La plupart des autres produits ont une efficacité intermédiaire allant de 30% à 70%.

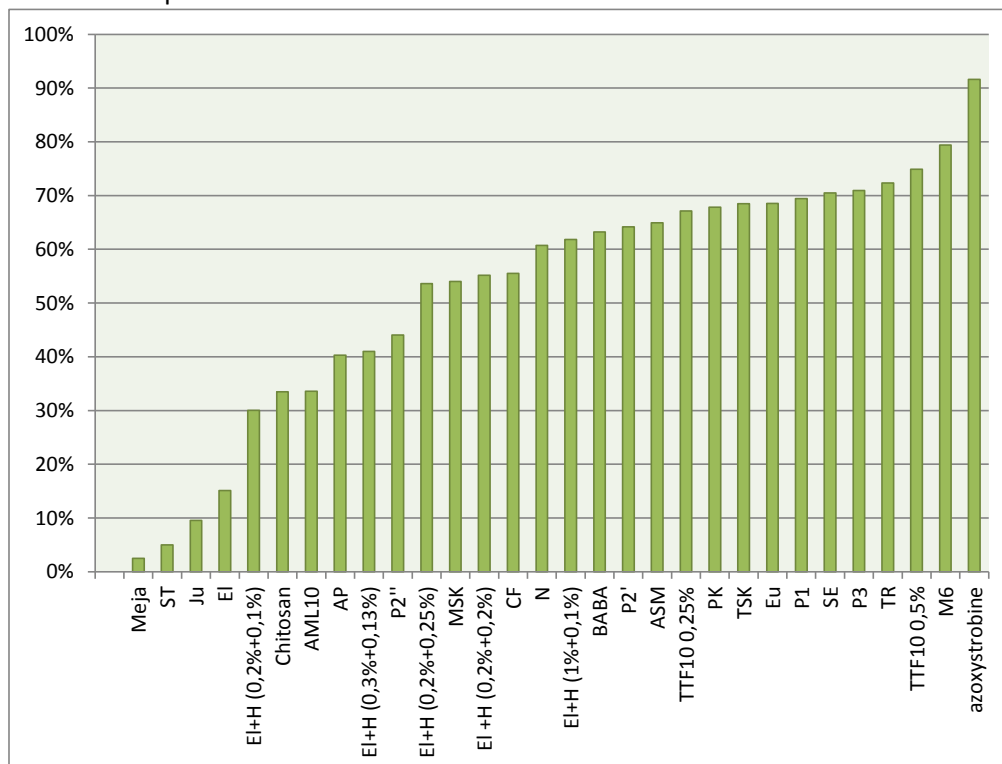


Figure 1 : Efficacité moyenne des SDP par rapport au témoin eau, contre le mildiou du melon sur disques foliaires en conditions contrôlées. H= HELIOSOL (66,5% alcools terpéniques). (Average efficacy of elicitors compared to water control, against powdery mildew on melon with foliar discs under controlled conditions).

Pour le mildiou de la laitue, les résultats sont similaires avec des efficacités très variables selon les produits.

Les produits qui ont été retenus pour leur efficacité en conditions contrôlées et leurs compositions diverses, sont :

- Pour l'oïdium du melon :

Un extrait d'algue (produit à base de laminarine, P2''), l'extrait de renouée (TTF10), le phosphite Mg-Ca-Si (TR), un autre phosphite (N), l'acibenzolar-S-méthyl (ASM), l'extrait de levure + alcools terpéniques (El+H), le calcium et nitrate de zinc (CF), un extrait d'acides aminés (AML10) et l'eugénol (Eu).

- Pour le mildiou de la laitue :

Un extrait d'acides aminés (AML10), l'extrait de levure (El), un extrait d'algue (P2''), le calcium et nitrate de zinc (CF), deux phosphites (TR et N) et l'extrait de renouée (TTF10).

INFLUENCE DES CONDITIONS D'UTILISATION SUR L'EFFICACITÉ DES SDP

Concernant la laitue, l'effet du stress sur l'action des SDP n'a pas été montré pour les produits testés. Pour le melon, les résultats obtenus nous permettent de conclure que les stress ont une influence sur le niveau d'efficacité des SDP utilisés : alors qu'un stress modéré (stress nutritif par exemple où 75% des apports nutritifs recommandés sont apportés) semble améliorer la réceptivité des plantes aux SDP, un stress trop intense aboutit à une chute d'efficacité des SDP.

RECEPTIVITÉ DES GENOTYPES AUX SDP

Une majorité des accessions (82% des melons testés sur disques d'une part, 50 et 71% des laitues inoculées resp. avec Bl:25 ou Bl:26 d'autre part) n'a été protégée par aucun des SDP testés. Dans les 2 pathosystèmes, l'acibenzolar-S-méthyl est le SDP qui protège un maximum d'accessions (17% des melons ; 46% des laitues testées avec la souche Bl:25 et 25% avec Bl:26). Pour le pathosystème mildiou/laitue, les 3 SDP ont une certaine efficacité, mais l'acibenzolar-S-méthyl est actif sur un plus grand nombre d'accessions.

Dans des tests sur jeunes plantes, pour le pathosystème oïdium/melon, seul l'acibenzolar-S-méthyl est capable de protéger les plantes et 7 accessions se sont montrées très bien protégées. Dans les 2 pathosystèmes, chez la majorité des accessions testées avec 2 souches (32 melons, 17 laitues), le même niveau de protection est observé en laboratoire avec les 2 souches. Cependant pour quelques accessions, la protection n'a été efficace que vis-à-vis de l'une des 2 souches testées, aussi bien avec l'acibenzolar-S-méthyl dans le système oïdium/melon qu'avec les 3 SDP dans le système mildiou/laitue (fig. 2)

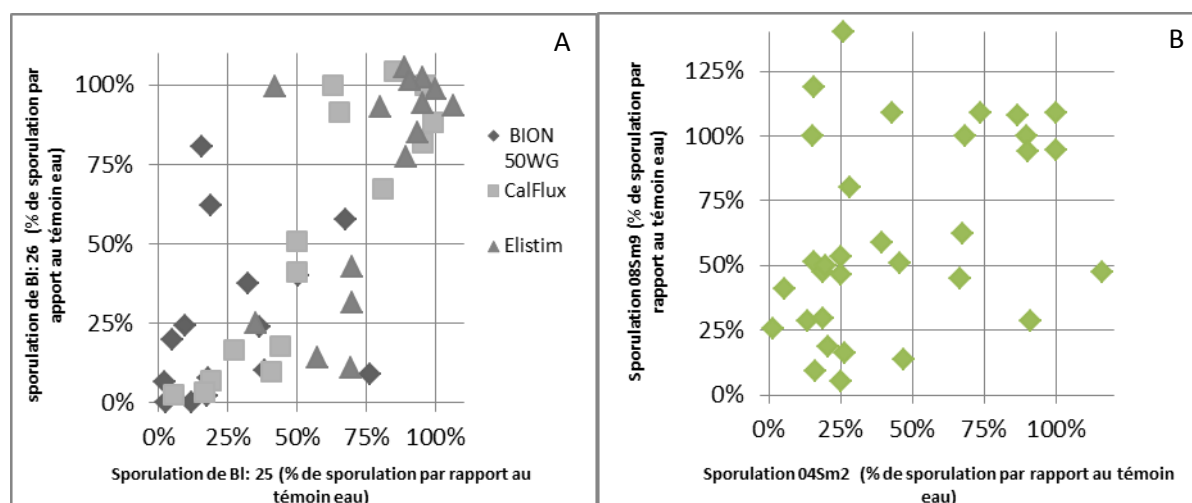


Figure 2 : Protection contre deux souches d'oïdium par l'acibenzolar-S-méthyl sur 32 accessions de melon (A) et contre deux souches de mildiou par 3 SDP sur 15 accessions de laitue (B). (Protection against 2 strains of powdery mildew by acibenzolar-S-methyl on 32 accesions of melon (A) and against 2 strains of downy mildew by 3 elicitors with 15 accessions of lettuce (B).) Moyenne des scores de sporulation des feuilles traitées par rapport au témoin eau.

Les points situés en bas à gauche du graphique sont bien protégés par les SDP pour les deux souches. Les points situés en haut à gauche du graphique ou en bas à droite ne sont protégés que pour une souche. Les points situés en haut à droite du graphique ne sont pas protégés par les SDP.

Suite à ces essais réalisés en conditions contrôlées, un contrôle en production a été effectué.

Pour le pathosystème oïdium/melon, parmi les trois SDP testés, l'acibenzolar-S-méthyl et la laminarine permettent de limiter les attaques d'oïdium, alors que le calcium et nitrate de zinc présente une plus faible efficacité. Il ressort de cet essai de fortes différences variétales de réaction aux traitements : 3 variétés sont réactives à l'acibenzolar-S-méthyl (efficacité supérieure à 80%), 2 l'extrait d'algue et 2 autres au calcium et nitrate de zinc.

Trois produits ont été testés sur le mildiou de la laitue: acibenzolar-S-méthyl à 0,05 %, extrait de levure à 800g/ha, et extrait d'algue à 2L/ha. Dans cet essai, la variété Viba n'a quasiment pas été contaminée, sa réactivité ne peut donc pas être analysée. Ceci pourrait venir d'une résistance à la souche de mildiou présente dans l'essai, souche « naturelle » différente de BI:25, d'après un contrôle de la virulence, qui a dû prendre le pas sur la souche inoculée. Seule la variété Blonde à bord rouge a été protégée par des SDP, avec une bonne efficacité de l'acibenzolar-S-méthyl (différence significative avec le témoin non traité, test Newman et Keuls, $\alpha=5\%$) et une efficacité moyenne de l'extrait de levure. Ceci confirme le comportement de cette variété en laboratoire. Les 4 autres variétés ne sont pas protégées par l'extrait de levure comme en laboratoire ; par contre la protection moyenne par l'acibenzolar-S-méthyl de 2 d'entre elles en laboratoire n'a pas été observée dans cet essai au champ.

INTEGRATION DES SDP AU SEIN DE STRATEGIES DE PROTECTION

Cas du pathosystème oïdium/melon

L'acibenzolar-S-méthyl et l'extrait d'algue permettent de diminuer la fréquence de maladie. Sur les 6 fois où des stratégies à base de laminarine ont été testées, 2 ont été efficaces. Sur les 12 fois où des stratégies à base de acibenzolar-S-méthyl ont été testées, 11 ont été efficaces (en prenant en compte les différences significatives avec $\alpha=5\%$ et les tendances).

Cas du pathosystème mildiou/laitue

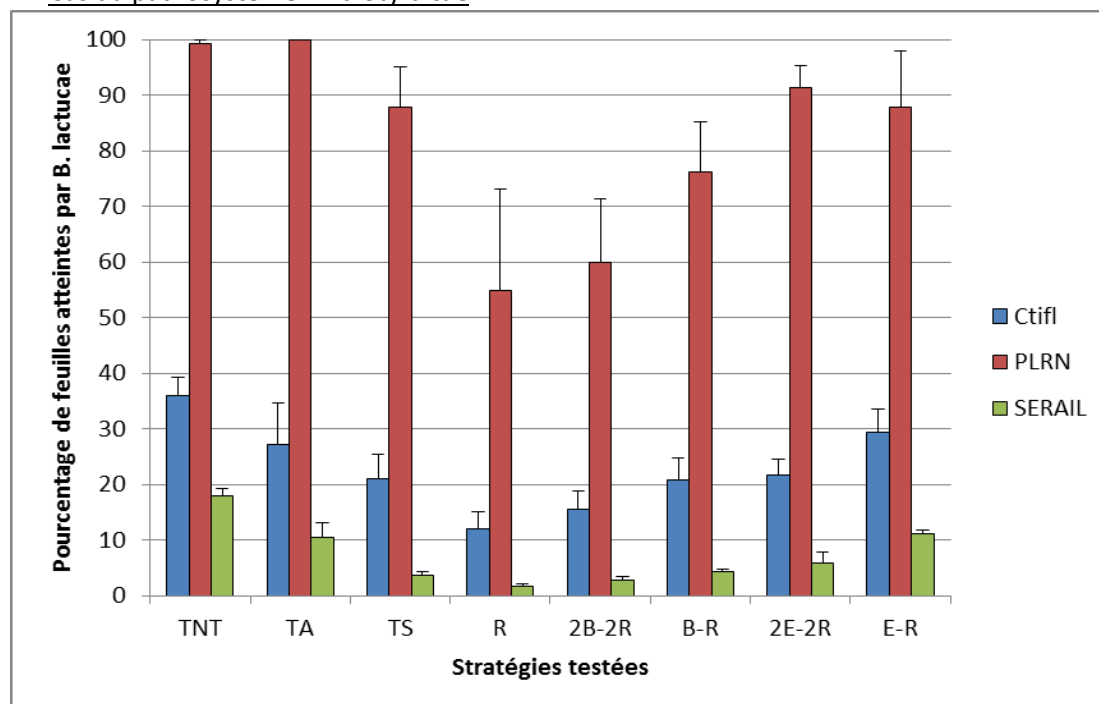


Figure 3: Fréquence d'attaque due au mildiou dans les 3 essais au champ 2013 à la récolte. (Frequency of downy mildew attack at harvest in 3 fields trials in 2013.) Moyenne de 4 répétitions de 10 plantes notées, et erreur standard. TNT : témoin eau, R : référence chimique -mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44%, TA : témoin alternance eau/mancozèbe+fosétyl-Al/eau/mancozèbe+fosétyl-Al, TS : témoin de succession eau/eau/mancozèbe+fosétyl-Al/mancozèbe+fosétyl-Al, 2B-2R : acibenzolar-S-méthyl/acibenzolar-S-méthyl/R/R, B-R : acibenzolar-S-méthyl/R/ acibenzolar-S-méthyl/R, 2E-2R : extrait de levure/extrait de levure/R/R, E-R :extrait de levure/R/extrait de levure/R.

L'extrait de levure n'est pas efficace dans nos conditions d'application, alors que l'acibenzolar-S-méthyl est efficace, appliqué en alternance et en séquence (fig. 3). L'application de 2 acibenzolar-S-méthyl suivis de 2 mancozèbe 26% + fosétyl-Al 44% permet de diminuer les attaques de manière significative (NK, $\alpha=5\%$) par rapport au témoin de vraisemblance dans les trois essais 2013.

DISCUSSION

EVALUATION DE L'EFFICACITE DES SDP EN CONDITIONS CONTROLEES

La variabilité des résultats montre que ces tests en conditions contrôlées sont indispensables pour éliminer les produits inefficaces et strictement biocides. En revanche, les tests ont été réalisés sur une variété de melon et de laitue seulement. Or nous avons constaté qu'il existe des différences de réactivités aux SDP entre génotypes (Maisonneuve, Allen-Abouard, et Pitrat, 2013). Le choix du (ou des) génotype(s) à tester est donc primordial pour ne pas passer à côté de SDP d'intérêt.

INFLUENCE DES CONDITIONS D'UTILISATION SUR L'EFFICACITE DES SDP

Concernant la laitue, dans certains essais réalisés avec l'acibenzolar-S-méthyl et l'extrait de levure, le stress seul a montré un effet sur l'intensité de la maladie, la diminuant dans un essai et l'augmentant dans un autre. Des essais complémentaires doivent donc être réalisés pour conclure clairement sur le rôle du stress hydrique sur le développement de *B. lactucae*.

Concernant le melon, les résultats obtenus en conditions contrôlées n'ont pas pu être extrapolés aux conditions de culture. De nombreuses références bibliographiques pointent les effets non-additifs entre les stress biotiques et abiotiques (Mittler, 2006). Ainsi la sécheresse est connue pour réduire la résistance aux bioagresseurs (Atkinson et Urwin, 2012). Chez *Arabidopsis thaliana*, une faible luminosité induit une baisse des défenses (Kangasjärvi *et al.*, 2012). Il existe donc un nombre important de facteurs abiotiques et biotiques présents dans les parcelles de production, difficilement contrôlables et ne facilitant pas la reproductibilité des résultats. Pour le moment, ces expérimentations permettent simplement d'affirmer qu'il est souhaitable d'éviter les stress hydriques et nutritifs trop intenses sur la culture de melon lorsque des SDP sont utilisés, car leur efficacité est largement diminuée.

RECEPTIVITE DES GENOTYPES AUX SDP

Ces travaux ont mis en évidence un fort effet variétal dans l'efficacité des SDP vis-à-vis d'un agent pathogène (Maisonneuve, Allen-Abouard, et Pitrat, 2013). En laboratoire, une majorité des accessions testées est non stimulée par les SDP étudiés, en particulier chez le melon. L'acibenzolar-S-méthyl est le SDP le plus efficace en laboratoire comme en culture dans les 2 pathosystèmes. Les autres SDP testés sont inefficaces en laboratoire et en culture (melon) ou ne sont efficaces que sur quelques accessions (laitue).

Le niveau de protection chez quelques accessions dépend aussi de la souche. Certains résultats ont été retrouvés en culture (meilleure réaction de Blonde à bord rouge en laitue), mais des différences sont aussi observées entre les essais au champ et les pré-tests effectués en conditions contrôlées pour l'oïdium et le mildiou. Ces différences pourraient s'expliquer par le stade de la plante qui a varié entre les essais, la souche de pathogène en présence, la dose d'inoculum ou une variation de résultats selon la méthodologie d'essai (disque de feuille ou plantules) (Develey-Rivière et Galiana, 2007). Par exemple, il a été montré qu'entre feuilles de vigne d'âge croissant, les plus âgées répondaient le mieux à la stimulation des réactions de défense par la laminarine sulfatée (Steimetz *et al.*, 2012). Pour la laitue par exemple, la variété Viba n'a quasiment pas été contaminée et sa réactivité n'a pu être analysée. Ceci proviendrait d'une résistance à la souche de mildiou présente dans l'essai, souche « naturelle » différente de Bl:25, d'après un contrôle de virulence, qui a dû prendre le pas sur la souche inoculée. Or, il serait intéressant de confirmer l'équivalence des réactivités variétales aux SDP entre conditions contrôlées ou non, afin que le criblage de ces réactivités puisse facilement être réalisé au laboratoire.

INTEGRATION DES SDP AU SEIN DE STRATEGIES DE PROTECTION

L'intérêt des SDP dans la lutte contre l'oïdium du melon est avéré (Torres, 2013). Cependant, les efficacités sont variables selon les cas, et les expérimentations menées n'ont pas permis de définir quelles stratégies et quelles conditions d'application sont celles qui favorisent l'action des SDP. A ce jour, nous ne pouvons pas conclure quant à la stratégie à préconiser aux producteurs afin de protéger de manière sûre leurs cultures. De plus, des phytotoxicités (baisse du taux de sucre, impact

sur le rendement) ont pu être observées dans certains essais et une prudence s'impose lors de l'utilisation de produits SDP.

Pour *B. lactucae*, le SDP acibenzolar-S-méthyl est à appliquer en conditions de faible pression, donc en début de culture, ou en alternance avec un produit chimique qui maintient la pression de mildiou faible.

Cependant, l'efficacité de ces stratégies est insuffisante pour protéger correctement les laitues contre le mildiou et des problèmes de sélectivité ont pu être observés les années précédentes. De plus, les stress extérieurs sont à l'origine de variations d'intensité de la résistance. Les réactions de défenses sont donc induites naturellement, et en particulier si la plante est stressée pendant une longue période. Ceci a été suggéré chez le blé, l'orge et la tomate. La question est donc de savoir si ces plantes peuvent être stimulées à nouveau et si oui, dans quelle mesure (Walters, 2009) ?

CONCLUSION

Le projet DEFILég a permis de tester une large gamme de produits revendiquant une action de stimulation des défenses des plantes, dans des conditions d'essais semblables, c'est-à-dire en conditions contrôlées. Ce premier résultat permettra aux producteurs et techniciens de connaître le potentiel de la molécule pour lutter contre l'oïdium du melon ou le mildiou de la laitue, et de sélectionner des molécules à réel effet SDP.

Parmi tous les produits testés, celui qui semble le plus efficace sur les deux pathosystèmes est l'acibenzolar-S-méthyl, alors que les efficacités observées pour les autres SDP sont soit partielles, soit variables d'un site à l'autre et d'une année sur l'autre.

Ce projet a également permis de pointer du doigt l'impact de facteurs biotiques (variété, souche de l'agent pathogène) et abiotiques (conditions d'utilisation selon les stress présents) sur l'efficacité des SDP en conditions de culture. Il en ressort que de très nombreux facteurs impactent l'efficacité des SDP, et il reste toujours difficile de maîtriser tous ces facteurs afin d'obtenir des résultats concordants entre sites et années d'essai.

De plus, l'efficacité de ces produits est dépendante du génotype sur lequel le SDP est appliqué. Les interactions génotypes*SDP sont confirmées, que ce soit dans les essais en conditions contrôlées ou en plein champ. Ces diversités de réactivité seraient intéressantes à exploiter en sélection. Cependant pour sélectionner des variétés à « bonne réactivité », à partir des meilleures accessions identifiées, il semble très utile, voire indispensable, de disposer de marqueurs biochimiques et/ou moléculaires plus performants que ceux identifiés pour l'heure. Un exemple de méthode d'évaluation à prendre est celui de « BioMolChem », développée au niveau biologique, moléculaire et biochimique sur le mildiou et l'oïdium de la vigne. Cette approche a permis d'établir des corrélations entre l'expression de gènes de défense, la présence de certains stilbènes et une efficacité des défenses de *Vitis vinifera* cv. *Cabernet-Sauvignon* vis-à-vis de l'oïdium et du mildiou suite à l'application de SDP (Dufour, 2011).

Enfin, ce projet a également permis de donner des réponses concrètes d'utilisation de SDP en parcelles de production : en melon, l'acibenzolar-S-méthyl permet dans la quasi-totalité des cas, de contrôler l'oïdium et la laminaire a montré une efficacité intéressante en 2013. Ces produits représentent donc une perspective de protection novatrice et intéressante, mais la variabilité des résultats et l'apparition dans certains cas de phytotoxicités nous amènent à la prudence lors de l'utilisation de ces SDP.

Concernant le mildiou de la laitue, un seul produit présente un intérêt sur les variétés utilisées en culture, l'acibenzolar-S-méthyl, mais son efficacité reste partielle et variable. Il est clair que l'utilisation de SDP seul semble inenvisageable pour le moment. Les traitements chimiques, associés inévitablement à une bonne prophylaxie et des résistances variétales, restent une des clés de voute de la protection des laitues contre le mildiou.

Nous pouvons conclure qu'il serait intéressant de coupler l'application de SDP aux outils d'aide à la décision. En effet, les SDP ne sont efficaces que sur certaines variétés et en conditions de stress nul

ou modéré. La combinaison d'éléments de décision pourrait permettre de les utiliser au moment opportun, en traitement préventif lorsque les stress extérieurs sont limités, et que les conditions climatiques sont défavorables aux champignons. Ce pilotage pourrait s'avérer efficace mais devrait être réalisé finement. En effet, l'oïdium est un parasite dont les épidémies deviennent rapidement incontrôlables. Un modèle épidémiologique de suivi du mildiou de la laitue est disponible en plein champ. En melon, aucun modèle ne permet de prédire les attaques d'oïdium. La mise au point de ces outils reste donc primordiale.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques (ONEMA) pour son soutien financier dans la réalisation de ce projet labellisé et suivi par le GIS PICLeg, et les partenaires qui ont contribué à l'acquisition des résultats : l'INRA, le CNRS, VEGENOV-BBV et les stations d'expérimentations (CEFEL, CEHM, PLRN et SERAIL).

BIBLIOGRAPHIE

- Atkinson Nicky J. et Urwin P. E., 2012 - The Interaction of Plant Biotic and Abiotic Stresses: From Genes to the Field. *Journal of Experimental Botany* 63, 10, 3523-3243.
- Bellvert F., 2012- Flavonoids investigation: a tool to develop elicitor on Cucumis melo for sustainable agriculture . 1^{er} Congrès international Natural products and biocontrol, IBMA-PO2N-Qualimed-UPVD, 19 septembre 2012, Perpignan.
- Benhamou N. 2009. La résistance chez les plantes: principes de la stratégie défensive et applications agronomiques. Tec & doc : Lavoisier, Paris, 360 p.
- Berthelot R. et Hallier S., 2013 - LE RMT ELICITRA- comprendre, développer et promouvoir au sein des filières végétales les stratégies de stimulation des défenses des plantes . Colloque Elicitra, RMT Elicitra, 13 juin 2013, Avignon.
- Develey-Rivière M-P. et Galiana E., 2007 - Resistance to Pathogens and Host Developmental Stage: A Multifaceted Relationship within the Plant Kingdom. *New Phytologist* 175, 3, 405-416.
- Dufour M-C., 2011 - Etude de l'efficacité des défenses de différents géotypes de Vitis induites par élicitation face à la diversité génétique de bioagresseurs (*Plasmopara viticola* et *Erysiphe necator*) : du gène au champ. Thèse de doctorat : Biologie cellulaire et physiopathologie. Bordeaux : Université Bordeaux 2, 366 p.
- Hallier S., 2011 - Les stimulateurs des défenses des plantes : une solution face aux enjeux actuels de la protection des plantes ?. 4^{ème} conférence internationale sur les méthodes alternatives en protection des cultures, AFPP, 8 et 9 mars 2011, Lille.
- Kangasjärvi S., Neukermans J., Li S., Aro E-M. et Noctor G., 2012 - Photosynthesis, Photorespiration, and Light Signalling in Defence Responses . *Journal of Experimental Botany* 63, 4, 1619-1636.
- Maisonneuve B., Allen-Abouard C. et Pitrat M., 2013 - Effect of plant genotype on the efficacy of stimulators of plant defences in two horticultural pathosystems. In : OILB-WPRS. *Induced resistance in plants against insects and diseases*, 10-13 juin 2013, Avignon. Avignon: INRA, 327-331 . Bulletin 89 : Leaping from success in the lab to success in the field.
- Mittler R., 2006 - Abiotic Stress, the Field Environment and Stress Combination. *Trends in Plant Science* 11, 1, 15-19.
- Steimetz E., Trouvelot S., Gindro K., Bordier A., Poinssot B., Adrian M. et Daire X., 2012 - Influence of leaf age on induced resistance in grapevine against *Plasmopara viticola*. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 79, 89-96.
- Torres M., 2013 - Use of elicitors to protect melon crops against powdery mildew (PM): a multisite field experiment. In : OILB-WPRS. *Induced resistance in plants against insects and diseases*, 10-13 juin 2013, Avignon. Avignon: INRA, 409-414 . Bulletin 89 : Leaping from success in the lab to success in the field.
- Walters D. R., 2009 - Are Plants in the Field Already Induced? Implications for Practical Disease Control. *Crop Protection* 28, 6, 459-465.