

**AFPP – 6<sup>e</sup> CONFÉRENCE SUR LES MOYENS ALTERNATIFS DE PROTECTION  
POUR UNE PRODUCTION INTEGRÉE  
LILLE – 21, 22 ET 23 MARS 2017**

**R2E : UN RESEAU D'EXPERIMENTATION PARTICIPATIF  
POUR MIEUX INTEGRER LES SOLUTIONS DE BIOCONTROLE  
C. MAUMENE <sup>(1)</sup>, C. DRILLAUD <sup>(2)</sup>**

- <sup>(1)</sup> Arvalis Institut du végétal, Station Expérimentale, 91720 Boigneville (France)  
c.maumene@arvalisinstitutuvegetal.fr
- <sup>(2)</sup> Arvalis Institut du végétal, Le Magneraud, 17700 Saint Pierre d'Amilly (France)  
c.drillaud@arvalisinstitutuvegetal.fr

## **RÉSUMÉ**

Le Réseau d'Excellence Expérimentale (R2E) est une instance de collaboration entre des structures de recherche et développement travaillant ensemble à l'élaboration de références agronomiques, en vue de développer une agriculture multi performante. Les motivations principales des membres du R2E sont les suivantes : i) évaluer et participer au développement des innovations agronomiques au sens large, ii) mettre en commun de l'expertise technique et des moyens expérimentaux afin de réaliser un programme de R&D commun, iii) garantir l'homogénéité et l'excellence des méthodologies, iiiii) renforcer la représentativité des références acquises en valorisant la diversité des situations agronomiques.

Pour son année de lancement en 2015, le réseau R2E a choisi de s'intéresser aux solutions de biocontrôle disponibles ou en développement, pour lutter contre la septoriose du blé. En 2016, le champ thématique a été élargi à la lutte contre la fusariose de l'épi sur blé tendre, toujours par les produits de biocontrôle. Cette communication s'attachera à présenter cette expérience de recherche participative, ainsi que les premiers résultats 2016 acquis sur septoriose dans ce cadre.

Mots-clés : R2E, réseau d'expérimentation, recherche participative, biocontrôle, blé, septoriose.

## **ABSTRACT**

### **R2E: A PARTICIPATORY EXPERIMENTATION NETWORK FOR BETTER INTEGRATE BIOCONTROL SOLUTIONS**

The "Experimental Excellence Network" (R2E) is a collaboration between various research and development organizations working together to develop agronomic references in order to develop a multi-efficient agriculture. The main motivations of R2E members are: i) to evaluate and participate in the development of agronomic innovations in the broad sense, ii) to pool technical expertise and experimental means to carry out a common R & D program, iii) to guarantee the homogeneity and the excellence of the methodologies, iiiii) to reinforce the representativeness of the references acquired by valorising the diversity of agronomic situations.

For its launch year in 2015, the R2E network has chosen to focus on available or developing biocontrol solutions for the control of wheat Septoria. In 2016, the thematic field was extended to the control of Fusarium head blight on soft wheat by biocontrol products. This paper will present this participatory research experience as well as the first results obtained against Septoria in 2016, in this context.

Keywords: R2E, experimental network, participatory research, biocontrol, wheat, septoria.

## INTRODUCTION

Les produits de protection des plantes qui font l'objet de toutes les attentions, sont constamment décriés par la presse grand public et sous pression réglementaire, qu'elle soit nationale ou européenne. Le nombre de substances actives inscrites sur l'annexe du règlement européen relatif aux pesticides a considérablement diminué. Elles étaient de plus de 1 000 substances dans les années 80, pour moins de 400 actuellement. Les réglementations nationales, lorsque qu'elles n'interdisent pas leur utilisation, imposent des restrictions, de plus en plus fréquemment. Par ailleurs, le développement de résistances compromet l'efficacité des solutions restantes, diminuant encore davantage les ressources disponibles pour protéger les cultures. Dans ce contexte, le biocontrôle apparaît comme une solution possible parmi les différents leviers que rassemble la protection intégrée.

La loi d'avenir et le code rural définissent le biocontrôle comme « les agents et produits utilisant des mécanismes naturels dans le cadre de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures. Ils comprennent en particulier, les macroorganismes et les produits phytopharmaceutiques composés de micro-organismes, de médiateurs chimiques, comme les phéromones et les kairomones et de substances naturelles d'origine végétale, animale ou minérale ». La loi prévoit pour les produits de biocontrôle des délais d'évaluation en vue d'une AMM raccourcis. Elle permet entre autre de maintenir pour cette catégorie de produits la publicité commerciale, de réduire la taxe destinée à financer le dispositif de phytopharmacovigilance. Les produits de biocontrôle ne sont pas non plus concernés par les objectifs de réduction d'utilisation de produits phytosanitaires<sup>1</sup>. Ils peuvent en outre faire l'objet de fiches actions dans le cadre du dispositif CEPP<sup>2</sup>.

Mais les produits de biocontrôle sont encore très peu nombreux en grandes cultures et parfois moins efficaces que les produits conventionnels. La laminarine est actuellement l'unique solution de biocontrôle disponible pour lutter contre la septoriose du blé. Il est donc urgent que la recherche se mobilise à tous les niveaux, depuis l'étape découverte, en passant par tous les stades de développement jusqu'à l'utilisateur final. Il apparaît, pour commencer, indispensable de recenser toutes les solutions déjà commercialisées ou en cours de développement sur un usage ou un autre, pour bien évaluer, le champ des possibles, si limité soit-il, pour être capable finalement de valoriser en pratique les solutions disponibles aussi efficacement que possible. Il faut parallèlement informer et former les acteurs de terrain à une utilisation optimale, parfois plus complexe et plus contraignante que celle de produits conventionnels. Il faudra par-dessus tout, faire preuve d'honnêteté et de réalisme dans cette entreprise.

Un travail collectif d'accompagnement du biocontrôle sur le terrain, s'appuyant sur des résultats acquis localement dans le cadre de réseaux d'expérimentation structurés, nous semble une solution adaptée pour vaincre les scepticismes et faire évoluer les pratiques. Neuf coopératives agréées BPE (Bonnes Pratiques d'Expérimentation) et Arvalis Institut du végétal se sont engagés à soutenir l'innovation et en premier lieu celles inhérentes au biocontrôle dans le cadre d'un réseau participatif d'expérimentation. Pour son année de lancement en 2015, le réseau R2E a choisi d'évaluer les solutions de biocontrôle disponibles ou en développement pour lutter contre la septoriose du blé. En 2016, le champ thématique a été élargi à la lutte contre la fusariose de l'épi sur blé tendre, toujours par le biocontrôle. Seuls les résultats d'expérimentation de l'année 2016 sur septoriose sont présentés dans cette communication. Ils apportent les premiers éléments de réponse et démontrent que des réseaux d'expérimentation sur une base participative sont possibles et efficaces. Ils confirment qu'en matière de recherche appliquée, et en particulier d'expérimentation au champ, les efforts cumulés de chacun

---

<sup>1</sup>Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime, publiée le 03 novembre 2016 : <https://info.agriculture.gouv.fr/gedei/site/bo-agri/instruction-2016-853>

<sup>2</sup> Certificat d'Economie de Produits Phytosanitaires : <https://info.agriculture.gouv.fr>

peuvent faire avancer plus vite une idée ambitieuse : accélérer l'émergence de nouvelles solutions de biocontrôle pour les grandes cultures.

## MATERIEL ET MÉTHODES

Le réseau d'essai mis en place rassemble les contributions des entreprises suivantes : Agrial, Arvalis Institut du végétal, Triskalia, Dijon Céréales, Lorca, Noriap, Terre Atlantique, Terrena, Val'épi-Sevépi. Toutes disposent d'un service technique et d'un agrément « Bonnes Pratiques d'Expérimentation ». Le protocole de travail a été bâti collectivement. Il avait pour objectif en 2016 d'évaluer les potentialités de produits de biocontrôle pour lutter contre la septoriose, dans le cadre d'un programme, dans des essais dits de valeur pratique, au sens de la méthode générale de la CEB n°14. Le principe retenu consiste à substituer, partiellement ou totalement, le premier traitement (T1) d'un programme de protection à deux traitements par une solution de biocontrôle. Le premier traitement est réalisé au stade 2 nœuds (Z32) et le second traitement (T2) au stade Z39-45 (tableau I).

Tableau I : Protocole septoriose, R2E 2016  
(Protocol for Septoria control, R2E 2016)

T1 à Z32 <sup>a</sup>	dose / ha	T2 à Z39 à 45 <sup>a</sup>	dose / ha
Témoin non traité	-	Témoin non traité	
Témoin non traité	-	réf. . B	0.7
ref. A	1.33	ref . B	0.7
ref. A	0.67	ref . B	0.7
ref. A + laminarine	0.67 + 0.5	ref . B	0.7
ref. A + chitosan	0.67 + 0.5	ref . B	0.7
ref. A + chitosan + phosphonate de potassium	0.67 + 1 + 3	ref . B	0.7
ref. A + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	0.67 + 3	ref . B	0.7
ref. A + soufre + dérivés terpéniques	0.67 + 3.5	ref . B	0.7
ref. A + soufre	0.67 + 3	ref . B	0.7
chitosan + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	1 + 3	ref . B	0.7

<sup>a</sup> ref A : chlorothalonil 375 g/l + propiconazole 62.5 g/l + cyproconazole 40 g/l (CHEROKEE) ; T2 : metconazole 45 g/l + fluxapyroxad 62.5 g/l (LIBRAX) ; laminarine 37g/l ; chitosan 100 g/l (662) ; phosphonate de potassium 730 g/l (DSPF016) ; peptides extraits de *Trichoderma harzianum* 20% + Mn 4% + Bore 3% (FERTISAIN) ; soufre + co-formulants à base de dérivés terpéniques issus du pin 700 g/l (HELIOSOUFRE S) ; soufre 800 g/l (ACTIOL).

Les produits de biocontrôle ou les biostimulants sont introduits en substitution d'une demi-dose de la référence haute (ref. A), utilisée à sa dose d'utilisation pratique. Les produits retenus (tab.I) sont à base de chitosan, de phosphonate de potassium, d'extraits de *Trichoderma harzianum* + éléments fertilisants, de soufre additionné ou non de dérivés terpéniques ou de laminarine introduite en qualité de référence biocontrôle.

Les essais sont implantés avec une variété sensible à la septoriose et si possible résistante aux autres maladies, en particulier à la rouille jaune. Ils sont conduits en 4 blocs de Fisher, avec témoin inclus, sur des parcelles de 20 m<sup>2</sup> minimum. Les conditions d'implantations sont résumées au tableau II.

Tableau II : Conditions d'implantation des essais  
(Conditions for implementation of trials)

Organisme	Lieux	Dp t	Date de semis	Précédent	Variété	Sensibilité <i>Septoria tritici</i>
Arvalis	Boigneville	91	20/10/2015	Fèverole de printemps	Pakito	4
Lorca	La Maxe	57	01/10/2015	Pois de printemps	Lavoisier	5.5
Terrena	Pouillé	44	19/10/2015	Maïs fourrage	Orégrain	4.5
Agrial	Thaon	14	13/10/2015	Colza	Bergamo	5
Sevepi - Val 'Epi	Trumilly	60	02/10/2015	Pois de conserve	Bermude	5
Dijon céréales	Quetigny	21	13/10/2015	Maïs grain	Apache	4.5
Triskalia	Trébrivan	22	27/10/2015	Maïs fourrage	Dinosor	4
Vivescia	Beine Nauroy	51	13/10/2015	Colza oléagineux	Trapez	4
Terre Atlantique	Aigrefeuille d'A.	17	23/10/2015	Pois protéagineux	Armada	6
Noriap	Croixrault	80	02/10/2015	Pois protéagineux	Selekt	5

Les notations sont conduites selon la méthode CEB N°189. Elles sont réalisées sur toutes les modalités à T2 + 20 jrs puis T2 + 30 jrs. Le détail des observations réalisées est donné au tableau III. Les essais sont récoltés et le rendement ramené à un taux d'humidité de référence de 15%.

Tableau III : Dates et stades de traitement, dates de notation et date de récolte  
(Dates and growth stages of treatments, dates of assessments, dates of harvest)

	T1	T2	Notations <sup>a</sup>			Récolte
Lorca	13/04/2016 Z32	17/05/2016 Z39	22/06/2016 T2+35 (F1, F2)			26/07/2016
Terrena	06/04/2016 Z32	27/04/2016 Z41	10/05/2016 T2+13 (F1, F2, F3)	27/05/2016 T2+30 (F1, F2, F3)	21/06/2016 T2+55 (F1, F2)	20/07/2016
Agrial	28/04/2016 Z33	17/05/2016 Z39	10/06/2016 T2+24 (F1, F2, F3)	23/06/2016 T2+37 (F1, F2)	05/07/2016 T2+54 (f1)	11/08/2016
Sevepi/Val'épi	08/04/2016 Z32	11/05/2016 Z39	13/06/2016 T2+33 (F1, F2)	29/06/2016 T2+49 (F1, F2)		08/08/2016
Dijon céréales	19/04/2016	12/05/2016	02/06/2016	20/06/2016		21/07/2016

	Z32	Z41	T2+21 (F2)	T2+39 (F1)		
Triskalia	27/04/20 16	17/05/20 16	06-juin	22-juin	08-juil	08/08/20 16
	Z32	Z41	T2 + 20 (F1, F2, F3, F4)	T2 + 36 (F1, F2, F3)	T2 + 52 (F1, F2)	
Vivescia	29/04/20 16	17/05/20 16	06/06/2016	17/06/2016	30/06/2016	30/07/20 16
	Z32	Z39	T2+20 (F3)	T2+31 (F2)	T2+44 (F1)	
Arvalis	19/04/20 16	09/05/20 16	03/06/2016	15/06/2016	28/06/2016	26/07/20 16
	Z32	Z39	T2+22 (F1, F2, F3)	T2+34 (F1, F2, F3)	T2+47 (F1, F2, F3)	
Terre Atlantique	24/03/20 16	22/04/20 16	10/05/2016	31/05/2016	14/06/2016	10/07/20 16
	Z32	Z39	T2+20 (F2, F3)	T2+41 (F1, F2)	T2+53 (F1)	
Noriap	13/04/20 16	17/05/20 16	06/06/2016	22/06/2016		10/08/20 16
	Z32	Z39	T2+20 (F1, F2)	T2+36 (F1, F2)		

<sup>a</sup> F1, F2, F3, représentent respectivement la 1<sup>ère</sup>, 2<sup>ème</sup>, et 3<sup>ème</sup> feuille sous l'épi

Les résultats après calcul de l'efficacité font l'objet de regroupements différents selon l'information recherchée : en confondant les différents étages foliaires et les différentes dates de notation, ou en distinguant les différents étages mais en confondant les dates, ou encore en distinguant les étages foliaires et les dates de notation. Les différents regroupements des efficacités font l'objet d'un traitement statistique sans transformation sous R.

## RESULTATS

Les résultats d'efficacité de chacun des 10 essais et l'efficacité moyenne sont donnés dans le tableau IV. Les analyses statistiques font apparaître des différences significatives entre les modalités. L'apport du T1 est significatif. A la dose de référence de 1.33l, il apporte très régulièrement 12 points d'efficacité supplémentaires sur l'ensemble du programme par rapport à la modalité sans T1. En revanche, l'effet dose n'apparaît pas significatif. La modalité T1 à 0.67l ne diffère, de la dose de référence 1.33l, que de 4 points d'efficacité. Dans ce contexte, les efficacités des produits de biocontrôle évalués en association avec le T1 (ref.A, dose basse) varient de 57% à 71%. Ce sont les associations à base de soufre qui donnent les meilleurs résultats. La formulation de soufre commercial (HELIOSOUFRE S) présente une efficacité statistiquement supérieure à la référence T1 ref.A dose haute. Les autres modalités ne sont pas statistiquement différentes de la référence ref.A, à la dose basse ou haute. Seule la modalité entièrement biocontrôle Chitosan + FERTISAIN ne diffère ni de la modalité sans T1, ni de la référence T1 ref.A, dose basse.

Tableau IV : Efficacités en % sur septoriose : 10 essais du réseau R2E en 2016  
(Efficacy in % against Septoria :10 trials from the "réseau R2E" in 2016)

Efficacité %	Moyenne F1+F2+F3	NK 5%	
ref.A 1.33l	ref.B 0.7l	63	ab..
ref.A 0.67l	ref.B 0.7l	59	.bc.

-	ref.B 0.7l	51	...d
ref. A 0.67l + soufre + dérivés terpéniques	ref.B 0.7l	68	a...
ref. A 0.67l + soufre	ref.B 0.7l	65	ab..
ref. A 0.67l + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	ref.B 0.7l	62	ab..
ref.A 0.67l + chitosan + phosphonate de potassium	ref.B 0.7l	62	ab..
ref. A 0.67l + laminarine	ref.B 0.7l	61	ab..
ref. A 0.67l + chitosan	ref.B 0.7l	61	abc.
chitosan + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	ref.B 0.7l	54	..cd
<i>p value</i>		0	
<i>ETR</i>		4.95	

Une analyse statistique sur les différents étages foliaires démontre que les différences entre les modalités portent principalement sur la protection de la F2. Les différences entre modalités sont non significatives sur F1 et sur F3 (tab.V). Seule la modalité entièrement biocontrôle au T1 se distingue des autres modalités. Sur F2, le classement est assez proche du classement obtenu sur la moyenne de tous les étages foliaires, à une nuance près : les deux spécialités à base de soufre diffèrent significativement de la référence T1 ref.A dose basse. L'intérêt du soufre est confirmé, quelle que soit la formulation.

Tableau V : Efficacités en % sur septoriose sur les différents étages foliaires F1, F2 ou F3 (10 essais : réseau R2E en 2016)

(Efficacy in % against Septoria on the different leaf layers L1, L2 or L3 (10 trials from the "réseau R2E" in 2016))

Effacité %	F3 (6 essais)	F2 (8 essais)	F1 (10 essais)
ref.A 1.33l	54 a.	59 ab..	69
ref.A 0.67l	48 a.	54 .bcd	66
-	18 .b	48 ...d	65
ref. A 0.67l + soufre + dérivés terpéniques	60 a.	64 a...	71
ref. A 0.67l + soufre	61 a.	64 a...	68
ref. A 0.67l + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	51 a.	56 abc.	68
ref.A 0.67l + chitosan + phosphonate de potassium	46 a.	54 .bcd	69
ref. A 0.67l + laminarine	53 a.	58 ab..	68
ref. A 0.67l + chitosan	51 a.	56 abc.	69
chitosan + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	22 .b	49 ..cd	67
<i>pvalue</i>	0	0	0.36
<i>ETR</i>	11.05	4.96	4.71

Sur le plan du rendement, malgré des rendements parfois très faibles dans certains essais, la synthèse (tab.VI) permet de dégager des différences significatives entre les modalités. En tendance, les différences d'efficacité sont bien corrélées à la mesure des rendements.

L'analyse révèle que dans les conditions de ces essais, l'importance du premier traitement n'est pas considérable. Les rendements des programmes avec T1 ref.A dose haute ou basse ne diffèrent de la modalité sans T1, que d'un peu plus d'un quintal (différence non significative statistiquement).

L'absence d'effet dose sur les rendements entre les modalités T1 ref.A dose basse et T1 ref.A dose haute apparaît surprenante et en contradiction avec les résultats d'efficacité. Diverses interprétations peuvent être proposées. Il se pourrait que les effets régulateurs du cyproconazole contenu dans la référence (ref.A) puissent être responsables de cette absence de réponse sur le rendement. Il a, en effet, été observé dans les essais un effet régulateur particulièrement marqué pour cette modalité à la dose haute. Le rendement en aurait très légèrement souffert.

S'agissant des modalités avec biocontrôle, celles à base de soufre, quelle que soit la formulation, présentent un avantage statistiquement significatif sur les références, estimé entre 2 et 3 q/ha. Les autres modalités ne diffèrent pas entre elles, ni des références T1 à dose haute ou basse.

Tableau VI : Rendements des essais de lutte contre la septoriose (10 essais : réseau R2E en 2016)  
(Yields in Septoria control trials (10 trials from the "réseau R2E" in 2016))

Rendements	q/ha	NK 5%
ref.A 1.33l	67.2	..cd
ref.A 0.67l	67.2	..cd
-	66.0	...d
ref. A 0.67l + soufre + dérivés terpéniques	70.0	a...
ref. A 0.67l + soufre	69.3	ab..
ref. A 0.67l + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	68.6	abc.
ref.A 0.67l + chitosan + phosphonate de potassium	67.9	.bcd
ref. A 0.67l + laminarine	67.7	.bcd
ref. A 0.67l + chitosan	67.5	.bcd
chitosan + extraits de <i>Trichoderma harzianum</i> + fert.	66.7	..cd
<i>p value</i>	0	
<i>ETR</i>	1.37	

## DISCUSSION

Les essais réalisés en 2016, dans le cadre de ce réseau, ont permis de mettre en évidence des différences entre programmes de protection de l'ordre d'une dizaine de points d'efficacité, due à des efficacités différentes au T1. Lesquelles différences se sont traduites par des différences significatives sur le rendement estimées entre 2 à 3 q/ha. Cette expérience démontre la capacité d'un réseau à détecter des différences de faible ampleur et à produire des résultats sur lesquels il est possible de s'appuyer sans hésitation pour orienter la recherche et le développement.

Les modalités testées, comprenant la laminarine, le chitosan seul ou associé au phosphonate de potassium, les extraits de *Trichoderma* + fertilisants ont donné des résultats en tendance positifs mais non significatifs. Le principal acquis technique, statistiquement significatif, est le bon comportement des spécialités à base de soufre pour contrôler la septoriose. Ce résultat ne surprend pas totalement. Le soufre est, en effet, l'un des fongicides les plus anciennement utilisés par l'homme pour protéger les cultures. Sur le blé, son action est connue pour lutter contre l'oïdium et a largement été valorisée dans les années 80-90 en Champagne crayeuse. Son activité, en plein champ pour lutter contre la septoriose est, en revanche, moins connue. Un essai seul, réalisé en 2000 par Arvalis Institut du végétal en 4 applications de 8000g de soufre rappelle l'activité du soufre contre la septoriose, mais également sur rouille brune en condition de pression de maladie modérée. Ce manque de référence est le reflet du peu d'attention qui a été portée à une solution, entièrement tournée vers ses usages traditionnels, en particulier vers la lutte contre l'oïdium des céréales et de la vigne et de nutrition.

En conditions contrôlées les informations disponibles sont également rares ou très anciennes. Les travaux de Fitt *et al.* (2011) relatifs à l'impact du changement de la composition de l'air sur la sévérité des maladies du blé et du colza ont conduit à actualiser partiellement les références acquises avec le soufre. Les teneurs en soufre élevées de l'atmosphère sont directement corrélées à la prévalence de *Staganosporium nodorum* sur *Mycosphaerella graminicola* (Fitt *et al.*, 2011). Les travaux réalisés par la suite ont permis de conclure à une relation de cause à effet. (Chandramohan et Shaw, 2013). La présence de sulfite (SO<sub>2</sub>) dans l'eau de pluie et la concentration en sulfate dans les sols seraient à l'origine des évolutions de flore constatées.

Le mode d'action du soufre reste encore incomplètement connu. Son activité sur oïdium résulte de la sublimation du soufre minéral, en dioxyde d'hydrogène, lui-même transformé en sulfure d'hydrogène, hautement toxique, au contact de la spore ou des tissus de la plante, notamment à l'intérieur des stomates (action directe sur l'oïdium : Barker, 1929 ; Goodwin et Martin, 1929 ; McCallan 1949 ; Williams et Cooper, 2004). Le dioxyde de soufre, soluble dans l'eau, peut également se transformer en acide sulfureux, conduisant une modification du pH en surface du végétal traité. Cette acidité peut être responsable d'éventuelles agressions des tissus végétaux, et en même temps inhiber la germination des spores du champignon. A un pH de 4, la germination et la croissance mycélienne sont affectées. L'acide sulfureux, instable, produit des ions sulfites, dont les propriétés bactéricides sont utilisées pour la conservation des aliments, notamment des fruits secs, des viandes et dans le vin.

Le soufre minéral, s'il se présente sous forme de particules suffisamment fines, peut également être absorbé directement par les tissus du végétal. Legris-Delaprotte *et al.* (1987) estiment que 2% des quantités de soufre micronisé (particules < 10 µ) sont absorbées et métabolisées par la plante sous forme de cystine, méthionine, glutathion et sulfates. Ces métabolites soufrés participent aux mécanismes de défense des plantes, en contribuant à la production de phytoalexines, de glucosinolates et de sulfure d'hydrogène également (Shnug, 1997 in Walters and Bingham, 2007).

Des effets indirects de protection contre *Phaeosporia nodorum* et *Mycosphaerella graminicola*, ont également été observés en renforçant l'alimentation soufrée, par augmentation de la disponibilité en soufre dans le sol, ou dans le support de culture (Chandramohan et Shaw., 2013). Il a aussi été observé une réduction des symptômes après application d'acide sulfureux sur le feuillage, dont l'efficacité s'est avérée variable selon le cultivar.

Sur le plan pratique, le soufre apparaît dans les conditions de ces essais comme une solution possible de substitution à des fongicides conventionnels à des doses d'utilisation d'environ 2400 g/ha, soit 30% de la dose autorisée sur oïdium du blé. Les produits testés (HELIOSOUFRE S et ACTIOL) sont homologués sur un grand nombre de cultures, notamment sur la vigne pour lutter contre l'oïdium. Le soufre est utilisable en agriculture biologique, où il s'avère incontournable pour lutter contre l'oïdium. Il est également autorisé sur oïdium des céréales (à la dose de 8000g/ha). Par ailleurs, il figure sur la liste des produits de biocontrôle (Note de service DGAL/SDQSPV/2016-853 du 03/11/2016). Il bénéficie donc des mesures d'accompagnement du biocontrôle. En outre, HELIOSOUFRE S fait déjà l'objet d'une fiche-action CEPP (fiche action n°2016-008) pour lutter contre l'oïdium des cultures. Il serait donc envisageable de déposer une demande d'extension d'usage sur céréales, en particulier sur le blé, pour permettre son utilisation pour lutter contre la septoriose. Une autorisation pour cet usage ouvrirait des possibilités sur plus de 5 millions d'hectares, sur lesquels une réduction de la dose du premier fongicide de 50% est envisageable. Enfin le soufre étant un fongicide multisite, il pourrait être combiné utilement à d'autres modes d'actions unisites, en particulier avec d'autres produits de biocontrôle, et contribuer à leur durabilité.

Dans la perspective d'optimiser l'utilisation du soufre, des essais complémentaires, évaluant l'effet dose, sont souhaitables. Le potentiel de cette solution reste à explorer plus complètement, associée à d'autres produits conventionnels, sur d'autres positionnements, sur d'autres usages sur céréales ou colza. Le soufre figure aujourd'hui parmi les solutions rapidement actionnables, et disposant d'un réel potentiel en terme d'efficacité et de possibilités de développement.

## CONCLUSION

Un réseau d'expérimentation participatif, tel que le réseau R2E, peut dégager rapidement des pistes de travail. A l'heure, où le passage au champ apparaît comme une étape critique pour le développement de nouvelles solutions, le réseau R2E a permis en 2016, de proposer, parmi la laminarine, le chitosan seul ou associé au phosphonate de potassium et les extraits de *Trichoderma* + fertilisant, le soufre comme étant la meilleure piste de travail. Ses qualités, ignorées ou négligées, méritent d'être reconsidérées à la lumière du nouveau contexte de la protection des plantes. Les données produites devraient conduire rapidement à une demande d'extension d'usage sur la septoriose du blé et permettre d'envisager un développement de ce fongicide multisite, sur cet usage. D'autres usages en grande culture mériteraient d'être explorés.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier particulièrement les entreprises membres du réseau R2E, et en particulier leurs correspondants techniques : David Bousseau (Terrena), Benoît Camus (Triskalia), Thierry Corre (Terre Atlantique), Jean-François Degay (Vivescia), Marc Delattre (Dijon Céréales), Jacques Desbureaux (Lorca), Alain Laloï (Val'épi/ Sev'épi), Didier Lardillier (Agrial) et Philippe Pluquet (Noriap). Nous tenons également à remercier les équipes techniques qui ont réalisé les essais, ainsi que Hugues Bergamini qui a assuré le suivi du réseau dans sa globalité, et réalisé la synthèse des données en 2016. Nous remercions également toutes les entreprises de l'agrofourniture qui nous ont fait confiance et cru à cette initiative.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barker B. T. P., 1929. Investigations on the fungicidal action of sulphur. IV. Third progress report. In : Agricultural and Horticultural Research Station. *Annual Report.1929*. Long Ashton, Bristol. 130–148.
- Chandramohan P., Shaw M. W., 2013. Sulphate and sulphurous acid alter relative susceptibility of wheat to *Phaeophtheria nodorum* and *Mycosphaerella graminicola*. *Plant pathology*, 62, 1342-1349.
- Fitt B. D. L., Fraaije B. A., Chandramohan P., Shaw M. W., 2011. Review, Impacts of changing air composition on severity of arable crop disease epidemics. *Plant pathology*, 60, 44-53.
- Goodwin W. M., Martin H., 1929. The Action of Sulphur as a Fungicide and as an Acaricide. *Annals of Applied Biology*, Volume 16, Issue 1, 93–103.
- Legris-Delaporte S., Ferron F., Landry J., Costes C., 1987. Metabolization of elemental sulfur in wheat leaves consecutive to its foliar application. *Plant Physiology*, 85, 1026-1030.
- McCallan S. E. A., 1949. The nature of the fungicidal action of copper and sulphur. *The Botanical Review*, Volume 15, Issue 9, 629–643.
- Walters D. R., Bingham I. J., 2007. Influence of nutrition on disease development caused by fungal pathogens: implications for disease control. *Annals of Applied Biology*, 151, 307-324.
- Williams J. S., Cooper R. M., 2004. Review : The oldest fungicide and newest phytoalexin - a reappraisal of the fungitoxicity of elemental sulphur. *Plant pathology*, 53, 263-279.

Liste des produits phytopharmaceutiques de biocontrôle, au titre des articles L.253-5 et L.253-7 du code rural et de la pêche maritime

[file:///C:/Users/maumec/Downloads/2016-853\\_final%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/maumec/Downloads/2016-853_final%20(1).pdf) [consulté le 25 novembre 2016].

Registre national des certificats d'économie de produits phytopharmaceutiques (CEPP), fiches action : <https://alim.agriculture.gouv.fr/cepp/#/content/ap-fichesaction> [consulté le 25 novembre 2016].