

COMBINER DES PRODUITS DE BIOCONTROLE POUR DES STRATEGIES DE TERRAIN EFFICACES

M. ROGER* ; G. CHAMPROUX* ; C. RAMPONI** ; A. ARBIZZANI***, L. ANTONIO GUTIERREZ****

* : Certis Europe BV – 5 rue Galilée – 78280 Guyancourt – France

** : Certis Europe Services – Route de Beaucaire, Lieu-dit Caberiolles, 30320 Marguerittes – France

*** : Certis Europe BV : Via Varese, 25/D (Scala A) - 21047 Saronno (VA), Italy

****: Certis Europe BV: C/ Severo Ochoa 18, Piso 2 Bulevar Parque, Elche (03203), Alicante, Spain

RÉSUMÉ

L'efficacité des produits de biocontrôle repose souvent sur le respect de paramètres précis.

Ainsi, une première étape consiste à définir en laboratoire l'influence de chaque facteur pour définir des recommandations pratiques précises. Selon les produits, il peut s'agir d'exigences climatiques, de qualité d'application et de positionnement par rapport au cycle du ravageur.

Certains de ces paramètres sont contrôlables comme la qualité d'application, ou prévisibles comme le climat en serre, ce qui explique le large développement du biocontrôle dans ces situations. En revanche, certains paramètres sont très fluctuants dans des conditions de plein champ (température, humidité, cycle des ravageurs) et les conditions réelles peuvent ne pas être adaptées au produit de biocontrôle choisi. Par exemple lorsque le stade du ravageur à cibler ne correspond pas aux conditions climatiques recommandées pour le produit.

Grâce à l'analyse de 3 années d'apprentissage à l'aide d'expériences de terrain contre le psylle du poirier, une stratégie combinant, entre autres, l'utilisation de deux produits de biocontrôle complémentaires, l'un à base de maltodextrine, l'autre à base de *Beauveria bassiana* souche GHA est proposée afin de répondre à la diversité des situations réelles.

Mots-clés : psylle du poirier, *Cacopsylla pyri*, maltodextrine, *Beauveria bassiana*, biocontrôle, stratégies

SUMMARY

The efficacy of biocontrol products is often conditioned by compliance with precise parameters during and after their application. Thus, a first step consists in defining in the laboratory the influence of each factor to define precise practical recommendations. Depending on the products, this may be climatic requirements, quality of application and positioning with respect to the pest cycle.

Some of these parameters are controllable such as the quality of application, or predictable such as the climate in a greenhouse, explaining the wide development of biocontrol in these situations. On the other hand, certain parameters are very fluctuating under full field conditions (temperature, humidity, pest cycle) and the present conditions may not be adapted to the chosen biocontrol product. For example, when the sensitive stage of the pest does not correspond to the climatic conditions recommended for the product.

Thanks to the analysis of 3 years of learning using field experiments against the pear psylla, a strategy combining, among other things, the use of two complementary biocontrol products (based on maltodextrin and *Beauveria bassiana* strain GHA respectively) is proposed in order to answer to the diversity of real situations.

Keywords: pear psylla, *Cacopsylla pyri*, maltodextrine, *Beauveria bassiana* insecticide, biocontrol strategies

Introduction

Après avoir défini en laboratoire les conditions nécessaires pour obtenir une efficacité optimale avec les solutions de biocontrôle, il convient de passer à la pratique. Or l'étape consistant à passer au champ est souvent un échec, et la conclusion reste souvent que les efficacités au champ sont trop variables avec le biocontrôle.

Parmi les exigences des produits de biocontrôle, le respect de la qualité des applications est réalisable mais cela peut exiger des adaptations de pratiques, voire de matériel. Le respect des stades d'application précis implique des observations minutieuses et régulières, mais est également atteignable. En revanche, il n'est pas toujours possible d'imposer le respect de paramètres climatiques au moment des applications en conditions de plein champ.

Pour résoudre cela, des programmes d'essais au champ sont mis en place au niveau européen afin d'évaluer la performance en conditions pratiques et de vérifier les conditions réelles permettant aux produits de biocontrôle d'être efficaces. En particulier, Certis a démarré il y a 4 ans le développement de 2 produits de biocontrôle différents sur une même cible, le psylle du poirier.

Ces produits sont l'Eradicoat Max® (maltodextrine – substance naturelle issue d'hydrolyse d'amidon) et le Botanigard OD® (*Beauveria bassiana* souche GHA, micro-organisme entomopathogène), dont les matières actives sont utilisables en agriculture biologique et répondent à la définition du biocontrôle.

Nous émettons l'hypothèse qu'il est possible d'aller au-delà de la conclusion classique que « les efficacités sont variables au champ » et que nous pouvons tirer des enseignements des essais en conditions pratiques pour recommander des stratégies de biocontrôle capables de répondre à la diversité des situations de terrain.

Matériel et méthodes

Une analyse détaillée est conduite sur la base de huit essais testant l'efficacité de produits de biocontrôle sur le psylle du poirier (*Cacopsylla pyri* L.). Ceux-ci sont réalisés entre 2017 et 2019 en Espagne et en Italie. Ils ont été mis en place pour l'évaluation au champ de 2 spécialités de biocontrôle, dans le cadre de programmes de développement propres à chaque produit.

Le psylle du poirier, ravageur étudié dans le cadre de cette analyse, est dommageable en culture de poirier par affaiblissement des arbres (prélèvement de sève) et dégradation de la qualité des fruits (installation de fumagine empêchant la commercialisation des poires).

En France, grâce aux mesures préventives mises en place pour réduire les 1^{ères} pontes et les huiles appliquées en fin d'hiver sur œufs de *Dysaphis piri* (Boyer de Fonscolombe), moins d'un traitement annuel est en moyenne effectué contre le psylle en verger conventionnel. En production biologique, les auxiliaires sont particulièrement efficaces (principalement *Anthocoris nemoralis* F.) et le psylle du poirier n'y est pas un problème majeur. En revanche, c'est sur les vergers en conversion que les producteurs font face à des difficultés, sur une durée moyenne de 3 ans. La pratique en verger conventionnel est de traiter la deuxième génération avec une spécialité à base d'abamectine ou de spirotetramat si le seuil de risque est dépassé (combinaison de la pression et de la présence d'auxiliaires). Sur les générations suivantes, des mesures prophylactiques sont mises en place.

En Espagne et en Italie, la situation est différente : les auxiliaires ne suffisent généralement pas à maîtriser les populations de psylle, car le début de la 2^{ème} génération de psylle ne coïncide généralement pas avec des populations suffisantes d'*Anthocoris nemoralis*. De plus, à cause des températures chaudes des mois de Mai/Juin, de nombreuses générations se succèdent et 5 à 6 traitements peuvent être nécessaires. C'est également le cas en vergers biologiques. Dans ces

conditions, éviter l'usage de produits à larges spectres est particulièrement intéressant pour protéger les auxiliaires, leur permettre de s'installer sur la suite de la saison et éviter ainsi quelques traitements.

Il s'agit donc de cette deuxième génération, qui est visée par les 1ers traitements, qui est étudiée dans l'ensemble des essais. Les essais retenus sont ceux présentant un niveau de psylle homogène avant la 1^{ère} application et présentant des populations en quantité suffisante. Les populations visées pour débiter les essais sont les stades œufs ou un mélange de populations d'œufs et de 1ères éclosions récemment débutées (1^{er} stade larvaire).

La référence utilisée dans la plupart des essais est Vertimec® (abamectine EC 18 g/L), à l'exception d'un essai où il s'agit du Movento 48 SC® (spirotetramat SC 4.53%). Ces références ont été choisies en raison de leur homologation dans les pays où sont effectués les essais, et ces solutions peuvent parfois se trouver en échec localement en raison de l'intensité des attaques et des difficultés de positionnement dans le cycle du ravageur. Ainsi, nous ne prenons pas ici l'approche classique de ne considérer un essai comme valide que si la référence a fonctionné, et nous analysons l'efficacité de la spécialité de biocontrôle intrinsèquement. Cette approche nous permet d'appréhender son comportement en plein champ indépendamment de l'efficacité du produit de référence, ce qui est pertinent également vis-à-vis des modes d'actions, qui sont distincts. La valeur de l'efficacité de la référence est conservée dans les tableaux de résumé des efficacités, pour information.

Les produits de biocontrôle testés - maltodextrine 496 g/l et *Beauveria bassiana* GHA, $2,2 \times 10^{10}$ ufc/ml - sont des produits de contact nécessitant une excellente qualité d'application pour toucher les cibles. Un minimum de 1000L/ha est ainsi utilisé dans tous les essais. La maltodextrine procède par action de choc en provoquant la suffocation des cibles, par suite du séchage de la solution après application. *Beauveria bassiana* quant à lui germe avant de pénétrer à l'intérieur de l'insecte où il se développe jusqu'à provoquer sa mort par septicémie.

Tous les essais sont BPE et suivent la méthode EPPO 1/44(2) Efficacy evaluation of insecticides, *Cacopsylla* spp (EPPO, 1997). Dans tous les essais les solutions de biocontrôle sont appliquées 4 fois, à des intervalles d'environ 7 jours. Avant chaque application et 7 et 14 jours après la dernière, un comptage des populations est réalisé en distinguant les œufs, les jeunes larves (L1, L2, L3), les larves âgées (L4 et L5) et les adultes. Le nombre d'individus de chaque catégorie par rameau est compté sur 10 rameaux marqués au début et suivis tout au long de l'essai.

Les résultats d'efficacité à la dose prévue d'homologation sont présentés. Une analyse de variance (ANOVA) a été réalisée. Quand un effet significatif du traitement est obtenu (sur la base de l'analyse ANOVA), les différences entre les moyennes sont vérifiées avec le test de Student-Newman-Keuls ($P = 0,05$). Dans le cas de données montrant des variances de traitement non homogènes (test d'homogénéité de Bartlett), celles-ci ont été transformées. Les moyennes présentées sont non transformées et uniquement l'indication d'une différence avec le témoin non traité est ici rapportée, dans le but de vérifier si le produit de biocontrôle a eu un effet significatif ou non sur la diminution des populations.

L'évolution des populations est analysée pour chaque essai pour ne retenir que les notations pertinentes. Deux notations par essai sont sélectionnées, par défaut les deux dernières, sauf lorsque les populations ont chuté avant la fin des notations. Le détail des notations retenues dans chaque essai est présenté dans le tableau I et tableau II Les dates d'applications et de notations sont également représentées graphiquement en [annexe, Figure 2 et 3](#).

Tableau I : détails des essais maltodextrine

Table I : details on maltodextrine trials

Référence de l'essai	490.I.SAG18e Italie 2018	177.I.SAG19/e Italie 2019	CSI09018 Italie 2018	CSI01019 Italie 2017
Produit de biocontrôle	Eradicoat Max (476 g/L, maltodextrine, EC)			
	Dose 2%			
	4 applications			
Produit de référence	Vertimec (18g/L, abamectine EC)			
	Dose 0.075% ou 0.75L/ha			
	2 applications	2 applications	3 applications	2 applications
Date des applications	T1 : 23 Mai T2 : 30 Mai T3 : 11 Juin T4 : 18 Juin	T1 : 7 Juin T2 : 14 Juin T3 : 26 Juin T4 : 3 Juillet	T1 : 18 Mai T2 : 25 Mai T3 : 6 Juin T4 : 12 Juin	T1 : 10 Mai T2 : 16 Mai T3 : 24 Mai T4 : 31 Mai
Explication du choix des notation analysées	Chute des populations à T4+7	Pas de chute de population	Chute des populations à la dernière notation	Pas de chute de population
Notations analysées	11 et 18 Juin (T2+12 et T3+7)	10 et 17 Juillet (T4+7 et T4+14)	11 et 19 Juin (T3 + 6 et T4+7)	30 Mai et 5 Juin (T3 + 6 et T4 + 6)

Tableau II : détails des essais *Beauveria bassiana*(details on *Beauveria bassiana* trials)

Référence de l'essai	SRES17-054-010IE Espagne 2017	SRES17-055-010IE Espagne 2017	CSI08018 Italie 2018	11079128 Italie 2019
Produit de biocontrôle	Botanigard OD (<i>Beauveria bassiana</i> GHA, 2,2*1010 ufc/ml)			
	Dose : 0.15%			
	4 applications			
Produit de référence	Vertimec (Abamectine 18g/l EC)			Movento 48 SC (spirotetramat 4,53%, SC)
	Dose 0.075% ou 0.75L/ha			4.5 l/ha
	2 applications			2 app.
Date des applications	T1 : 20 Avril T2 : 27 Avril T3 : 4 Mai T4 : 11 Mai	T1 : 20 avril T2 : 27 Avril T3 : 4 Mai T4 : 11 Mai	T1 : 18 Mai T2 : 25 Mai T3 : 31 Mai T4 : 7 Juin	T1 : 10 Mai T2 : 17 Mai T3 : 24 Mai T4 : 30 Mai
Explication du choix des notation analysées	Populations en réduction depuis 6 Mai mais niveaux suffisants	En dernière notation, populations en décroissance mais restent importantes	T3+7 : dernière population suffisante, les 2 suivantes trop faibles	T3+7 populations en décroissance, dernière notation possible
Notations analysées	18 et 25 Mai (T4+7 et T4+14)	18 et 25 Mai (T4+7 et T4+14)	30 Mai et 6 Juin (T2 + 5 et T3+7)	25 et 31 Mai (T2+8 et T3+7)

Résultats et interprétation

Les résultats d'efficacité obtenus dans les essais testant la maltodextrine sont présentés dans le [Tableau III](#). La notion de pression est présentée à chaque date pour vérifier que le stade du ravageur est présent en quantité suffisante pour une notation fiable.

Tableau III : résultats d'efficacité de la maltodextrine

(efficacy results of maltodextrine)

Référence de l'essai			490.I.SAG18e	177.I.SAG19/e	CSI09018	CSI01019
Stade du ravageur	Timing de la notation	Type de notation				
Œufs	1ère Notation	<i>Pression témoin</i>	15.8	7.80	6.1	
		% eff. biocontrôle	55.2 (≠)	82.7 (≠)	48 (=)	
		% eff. référence	40.8 (≠)	76.8 (≠)	44.7 (=)	
	2ème Notation	<i>Pression témoin</i>	18.3	11.60	4.7	
		% eff. biocontrôle	77.1 (≠)	86.9 (≠)	71.4 (=)	
		% eff. référence	41.2 (≠)	81.9 (≠)	51.3 (=)	
Jeunes larves	1ère Notation	<i>Pression témoin</i>	17.3	3.50	11.4	27.5
		% eff. biocontrôle	57.5 (≠)	59.2 (≠)	89.9 (≠)	44.1 (=)
		% eff. référence	74.5 (≠)	81.9 (≠)	77.8 (≠)	40.3 (=)
	2ème Notation	<i>Pression témoin</i>	19.0	5.50	5.8	22.8
		% eff. biocontrôle	61.9 (≠)	65.7 (≠)	78.9 (≠)	39.3 (=)
		% eff. référence	86.2 (≠)	79.1 (≠)	75.1 (≠)	31.4 (=)
Larves âgées	1ère Notation	<i>Pression témoin</i>	10.1	6.40	5.1	11.0
		% eff. biocontrôle	45 (na)	87.9 (≠)	91.2 (≠)	28.5 (=)
		% eff. référence	69 (na)	89.8 (≠)	83.9 (≠)	37.6 (=)
	2ème Notation	<i>Pression témoin</i>	17.3	9.20	1.0	23.2
		% eff. biocontrôle	68 (na)	81.8 (≠)	84.6 (≠)	20.7 (=)
		% eff. référence	76 (na)	90.4 (≠)	61.5 (≠)	34.9 (≠)
Adultes	1ère Notation	<i>Pression témoin</i>			0.5	
		% eff. biocontrôle			57.1 (=)	
		% eff. référence			42.9 (=)	
	2ème Notation	<i>Pression témoin</i>			0.2	
		% eff. biocontrôle			33.3 (=)	
		% eff. référence			0 (=)	

Unité de la pression dans les témoins non traités : nombre d'individus par rameau. Le signe entre parenthèses indique si le nombre d'individus est différent du non traité (≠), égal (=), ou si la statistique est non disponible (na).

Considérant les stades avec une présence suffisante (soit tous les stades sauf les adultes, présents en trop faible quantité), des niveaux d'efficacité de la maltodextrine intéressants ont été observés sur 3 essais : 490.I.SAG18e (jusqu'à 77% d'efficacité), 177.I.SAG19/e (jusqu'à 87.9% d'efficacité), et CSI09018 (jusqu'à 91.2% d'efficacité). Les niveaux de population sont majoritairement statistiquement différents des parcelles témoin.

L'essai CSI01019 en revanche présente une efficacité très faible quel que soit le stade, et les comptages ne montrent aucune différence avec le témoin non traité. L'efficacité maximale observée est de 44% sur jeunes larves à la 1^{ère} notation analysée.

Les résultats obtenus dans les essais testant *Beauveria bassiana* sont présentés dans le [Tableau IV](#).

Tableau IV : résultats d'efficacité de *Beauveria bassiana* efficacy results of *Beauveria bassiana*

Référence de l'essai			SRES17-054-010IE	SRES17-055-010IE	CSI08018	11079128
Stade du ravageur	Timing de la notation	Type de notation				
Œufs	1ère Notation	Pression témoin	3.4	11.1	10.8	
		% eff. biocontrôle	58.5 (=)	23.2 (=)	0 (=)	
		% eff. référence	43 (=)	38.5 (=)	30 (=)	
	2ème Notation	Pression témoin	2.8	9.9	5.1	
		% eff. biocontrôle	63.3 (=)	37.2 (=)	25.7 (=)	
		% eff. référence	55 (=)	35.1 (=)	0 (=)	
Jeunes larves	1ère Notation	Pression témoin	7.4	23.1	5.0	20.8
		% eff. biocontrôle	64.5 (≠)	68.9 (≠)	37.4 (=)	28.4 (≠)
		% eff. référence	86.7 (≠)	90.3 (≠)	32.5 (=)	99.9 (≠)
	2ème Notation	Pression témoin	7.5	16.8	2.8	9.1
		% eff. biocontrôle	71.8 (≠)	57 (≠)	11.8 (=)	37.3 (≠)
		% eff. référence	85.2 (≠)	77.7 (≠)	0 (=)	99.4 (≠)
Larves âgées	1ère Notation	Pression témoin	1.6	4.8	4.4	
		% eff. biocontrôle	46.9 (=)	65.2 (≠)	33.6 (=)	
		% eff. référence	91 (≠)	90.5 (≠)	66.7 (≠)	
	2ème Notation	Pression témoin	3.5	7.5	1.0	
		% eff. biocontrôle	73.7 (≠)	70.3 (≠)	0 (=)	
		% eff. référence	91.7 (≠)	93.7 (≠)	7.5 (=)	
Adultes	1ère Notation	Pression témoin			0.5	
		% eff. biocontrôle			0 (=)	
		% eff. référence			33.3 (=)	
	2ème Notation	Pression témoin			0.5	
		% eff. biocontrôle			42.9 (=)	
		% eff. référence			14.3 (=)	

Unité de la pression dans les témoins non traités : nombre d'individus par rameau. Le signe entre parenthèses indique si le nombre d'individus est différent du non traité (≠), égal (=), ou si la statistique est non disponible (na).

Dans le cas de la spécialité à base de *Beauveria bassiana*, tous les stades peuvent être pris en compte sauf les adultes, stade encore trop peu représenté lors des dernières notations considérées.

Deux des essais testant *Beauveria bassiana* montrent de bonnes efficacités : l'essai SRES17-054-010IE (jusqu'à 73.7% d'efficacité) et SRES17-055-010IE (jusqu'à 70.3% d'efficacité), avec des différences statistiques vis-à-vis du témoin.

Les 2 autres essais montrent quant à eux de très faibles efficacités, avec des populations statistiquement équivalentes à celles rencontrées dans le témoin (maximum 37.4% d'efficacité sur l'essai CSI08018 et 37.3% sur l'essai 11079128).

En résumé, un fort contraste d'efficacité entre les essais a été observé, quelle que soit la solution de biocontrôle étudiée (comme montré Figure 1) :

- En 2017, les 2 essais *B. bassiana* conduits en Espagne ont démontré une bonne efficacité, alors que dans l'essai italien conduit la même année le produit n'a pas été efficace.
- En 2018, *B. bassiana* testé dans l'essai reconduit au Nord de l'Italie n'a pas non plus été efficace, alors qu'un essai d'évaluation de la maltodextrine mis en place dans la même région montre une bonne efficacité, ainsi que dans un essai conduit en Sicile.

- En 2019, la maltodextrine continue de se montrer efficace dans l'essai conduit en Sicile, mais il est en échec sur l'essai renouvelé dans le Nord de l'Italie.

Figure 1 : Localisation et année des essais
(location and year of the trials)



Légende : repère rouge : faible efficacité ; repère vert : bonne efficacité.

Il est donc intéressant de rechercher l'origine de cette variabilité. Plus précisément, nous proposons d'identifier s'il se dégage une logique en fonction des conditions météorologiques rencontrées sur les périodes des essais.

Avant cela, une hypothèse à vérifier est le niveau de pression. Les produits de biocontrôle peuvent en effet trouver leurs limites face à de très fortes pressions et les différences constatées pourraient y trouver leur origine. Le **Tableau V** reprend le niveau de pression de chaque notation.

Tableau V : Niveau d'infestation par essai (somme du nombre d'individus tous stades confondus)
(Infestation level per trial - sum of number of individuals of all stages)

Référence de l'essai		Maltodextrine				<i>Beauveria bassiana</i>			
		490.I.SAG 18e	177.I.SAG19 /e	CSI09018	CSI01019	SRES17-054-010IE	SRES17-055-010IE	CSI080 18	1107912 8
Niveau d'efficacité de l'essai		Bon	Bon	Bon	Faible	Bon	Bon	Faible	Faible
Infestation	1ère Notation	43.2	17.7	22.6	38.5	12.4	39.0	20.1	20.8
	2ème Notation	54.6	26.3	11.5	46.0	13.8	34.2	8.9	9.1

L'essai maltodextrine présentant la moins bonne efficacité a un niveau de pression inférieur à l'un des essais ayant bien fonctionné. Pour *Beauveria bassiana*, les 2 essais en échec ont des niveaux de pression inférieurs à un des essais avec une bonne efficacité. Ainsi, les niveaux de pression ne semblent pas corrélés aux niveaux des efficacités, quel que soit le produit étudié.

Les conditions liées à la pression du ravageur étant écartées, caractérisons les conditions d'application afin de vérifier si les conditions optimales d'utilisation sont respectées pour chaque produit.

Pour la maltodextrine tout d'abord, un temps de séchage rapide est nécessaire, de l'ordre de 1 à 2h. Le séchage rapide est permis par une combinaison de facteurs, sans seuil précis prédéfini :

température, hygrométrie, vent. Les conditions lors des applications sont résumées dans le [Tableau VI](#).

Tableau VI : Conditions à l'application lors des traitements à la maltodextrine (conditions at maltodextrine application)

Référence de l'essai	Maltodextrine			
	490.I.SAG18e	177.I.SAG19/e	CSI09018	CSI01019
Traitements pris en compte	T1 : 23 Mai T2 : 30 Mai T3 : 11 Juin	T1 : 7 Juin T2 : 14 Juin T3 : 26 Juin T4 : 3 Juillet	T1 : 18 Mai T2 : 25 Mai T3 : 6 Juin	T1 : 10 Mai T2 : 16 Mai T3 : 24 Mai T4 : 31 Mai
Températures (C°)	25.0 25.5 26.8	23.0 23.3 25.3 25.3	16.1 22.6 31.4	17.1 13.1 21.6 19.6
Hygrométries (%)	42 54 49	67 42 60 70	70 60 56	74 58 70 59
Vent (mètre par seconde)	0 0 0	0 0 0 0	0 0 0	0 0 0 0
Heure du traitement	11:40 11:45 11:30	10:50 11:10 11:40 11:30	9:20 18:16 15:45	10:45 11:30 11:30 12:30

3 à 4 traitements sont pris en compte en fonction des notations pertinentes (pour les essais 490.I.SAG18e et CSI09018, seules 3 applications sont prises en compte, en raison de la chute des populations. Les T3 y sont les derniers traitements dont l'efficacité a été évaluée de manière fiable)

Il est à noter que les températures sont nettement plus faibles sur l'essai CSI01019. Celles-ci sont largement inférieures à 20°C pour les 2 premières applications, et proches de 20°C pour les 2 suivantes, alors que les températures sur les 3 autres essais, à l'exception d'une application à 16°C sur l'essai CSI09018, sont au-dessus de 22°C. Il n'y avait pas de vent dans les essais et les valeurs d'hygrométrie ne semblent pas être différenciantes. Ainsi, la température lors de l'application apparaît comme étant le paramètre le plus important à respecter pour la maltodextrine.

Ensuite pour le *Beauveria bassiana*, il est nécessaire d'avoir une forte humidité le plus longtemps possible après l'application, ainsi qu'une protection aux UV jusqu'à ce que le champignon pénètre dans l'insecte. De la même manière, un seuil précis d'hygrométrie n'est pas défini : d'après les données de laboratoire, plus l'humidité est forte et de longue durée, meilleure sera l'efficacité. Les données d'hygrométrie au moment de chaque application sont résumées dans le [Tableau VII](#) ainsi que d'autres paramètres climatiques.

Tableau VII : Conditions à l'application lors des traitements au *Beauveria bassiana* (conditions at *Beauveria bassiana* application)

	<i>Beauveria bassiana</i>			
Référence de l'essai	SRES17-054-010IE	SRES17-055-010IE	CSI08018	11079128
Traitements pris en compte	T1 : 20 Avril T2 : 27 Avril T3 : 4 Mai T4 : 11 Mai	T1 : 20 avril T2 : 27 Avril T3 : 4 Mai T4 : 11 Mai	T1 : 18 Mai T2 : 25 Mai T3 : 31 Mai	T1 : 10 Mai T2 : 17 Mai T3 : 24 Mai
Températures (C°)	13.5 9.2 17.5 19.4	13.5 9 19.3 21.3	23.5 23.5 22.4	na na na
Hygrométries (%)	52 85 71 55	50 63 55 52	65 74 87	na na na
Vent (mètre par seconde)	0 0 0 0	0 0 0 0	0 1 2	na na na
Heure du traitement	19:30 19:30 19:30 19:30	19:30 19:30 19:30 19:30	12:10 18:10 9:10	na na na

Pour l'essai CSI08018, le T3 est le dernier traitement dont l'efficacité a été évaluée de manière fiable. (la dernière notation prise en compte intervient quelques jours seulement après la dernière application, celle-ci ne peut donc être considérée comme participant à l'efficacité rapportée, puisqu'elle se mesure au minimum 5 jours après application). Les données ne sont pas disponibles sur l'essai 11079128.

Les données d'hygrométrie à l'application ne paraissent pas expliquer la variabilité des niveaux d'efficacité.

Les températures sont plus élevées à l'application du *Beauveria bassiana* dans l'essai CSI08018 ou le produit n'a pas fonctionné (>22°C) ; dans ce même essai 2 des applications n'ont pas été faites le soir, mais le matin ou le midi, exposant potentiellement le champignon aux UV.

Pour le *Beauveria bassiana*, il est également pertinent de regarder la température sur une semaine après chaque traitement, car le champignon est sensible aux fortes chaleurs pendant son développement dans l'insecte, soit sur une durée d'une semaine après traitement. Le [Tableau IIX](#) suivant résume les conditions de température et d'hygrométrie moyennes sur la semaine suivant chaque application.

Tableau VIII : conditions climatiques la semaine suivant chaque application pour le *Beauveria bassiana* (climatic conditions of the week following each application for *Beauveria bassiana*)

Référence de l'essai	Traitement	Moyenne des températures sur 7 jours			Nombre de jours > 30°C	Hygrométrie moyenne
		Moyenne journalière	Minimum journalier	Maximum journalier		
SRES17-054-010IE	T1	12.9	8.2	17.5	0.0	76.6
	T2	14.9	9.7	20.1	0.0	79.7
	T3	17.0	13.0	20.9	0.0	82.9
	T4	20.5	13.1	27.9	0.0	65.7
SRES17-055-010IE	T1	13.4	4.6	22.2	0.0	61.1
	T2	11.4	4.0	18.7	0.0	70.0
	T3	17.3	8.8	25.9	0.0	60.4
	T4	18.8	10.1	27.6	1.0	64.3
CSI08018	T1	18.5	12.1	26.0	0.0	82.5
	T2	22.7	16.1	30.6	5.0	81.0
	T3	22.8	15.6	31.0	7.0	76.8
11079128	T1	18.3	11.3	25.2	0.0	71.6
	T2	19.7	12.0	27.4	1.0	62.6
	T3	20.7	12.2	29.3	4.0	58.9

Pour une lecture plus visuelle, un résumé graphique des conditions climatiques des 8 essais est présenté en Annexe (Figures 2 et 3). Sur la base des moyennes des températures suivant chaque application, on remarque que les essais CSI08018 et 11079128 ont connu des températures nettement plus chaudes, ainsi que plusieurs jours dépassant 30°C sur la semaine suivant les applications. Les données d'hygrométrie moyennes n'apparaissent en revanche pas comme facteurs de différenciation des essais.

Les conditions à l'application pour les 2 produits et les conditions sur la semaine qui suit pour le *Beauveria bassiana* permettent donc d'expliquer les efficacités constatées. Plus précisément, en tenant compte du climat global pendant la durée de l'essai (de la 1^{ère} application à la dernière application participant à la dernière notation d'efficacité), dans les [Tableaux IX et X](#), il apparaît que la moyenne des températures de la période de traitement indique à posteriori la méthode de biocontrôle à préférer sur chaque site : une température moyenne supérieure à 20-22°C pour l'usage d'un programme maltodextrine, une température inférieure à 16-18°C pour le *Beauveria bassiana*. Cependant, les données d'hygrométrie moyennes ou de pluviométrie cumulées ne semblent pas pertinentes.

Ainsi, en reprenant les bilans des performances produits en fonction des localisations et des années des essais :

- En 2017, *Beauveria bassiana* testé dans 2 essais en Espagne (SRES17-054-010IE et SRES17-055-010IE) ont donné une bonne efficacité, alors que dans l'essai italien (11079128) conduit la même année le produit pas n'a pas été efficace : les températures ont été nettement plus faibles en Espagne que dans le Nord de l'Italie.
- En 2018, *Beauveria bassiana* testé au Nord de l'Italie (CSI08018) ne montre pas d'efficacité : le mois de l'essai a été très chaud, mais à l'inverse a bien correspondu aux conditions optimales de la maltodextrine dans l'essai CSI09018 mis en place dans la même région. Les

conditions siciliennes ont également été favorables à la maltodextrine dans l'essai qui y a été conduit (490.I.SAG18e).

- Enfin, en 2019, la maltodextrine a rencontré de bonnes conditions en Sicile (177.I.SAG19/e), où le produit a été efficace, mais le climat dans le Nord de l'Italie a été trop froid (CSI01019), amenant à une efficacité basse.

Tableau IX : Conditions climatiques sur la durée des essais maltodextrine (climatic conditions on maltodextrine trials)

	Moyenne des températures sur la durée de l'essai			Hygrométrie moyenne	Cumul des pluies
	Moyenne des températures moyennes	Moyenne des températures minimales	Moyenne des températures maximales		
490.I.SAG18e	22.6	13.9	30.7	na	0.0
177.I.SAG19/e	25.7	16.8	34.1	52.9	5.6
CSI09018	21.3	15.3	27.9	72.1	57.8
CSI01019	15.4	10.7	20.0	79.7	61.6

Tableau X : Conditions climatiques sur la durée des essais *Beauveria bassiana* (climatic conditions on *Beauveria bassiana* trials)

	Moyenne des températures sur la durée de l'essai			Hygrométrie moyenne	Cumul des pluies
	Moyenne des températures moyennes	Moyenne des températures minimales	moyenne des températures maximales		
SRES17-054-010IE	15.5	7.0	23.9	63.7	32.4
SRES17-055-010IE	14.2	6.0	22.4	64.4	35.0
CSI08018	20.0	13.5	27.8	81.7	23.7
11079128	18.8	11.5	26.2	67.0	34.4

Discussion

L'analyse des essais met en évidence la variabilité d'efficacité des produits de biocontrôle testés, mais permet également d'expliquer les raisons de cette variabilité. La maltodextrine fonctionne mieux en conditions chaudes et sèches et *Beauveria bassiana* en conditions froides. Cependant, cette analyse est faite à posteriori, en analysant les conditions climatiques de chaque site.

Pour permettre le développement du biocontrôle sur le terrain, il est nécessaire de garantir une efficacité dans toutes les situations. Ainsi, la connaissance fine des conditions de succès des solutions permet de proposer une approche pour conseiller une solution adaptée aux conditions climatiques à venir.

Une des options est de recommander le *Beauveria bassiana* en tête de programme, sur le début de la 2ème génération, et de placer la maltodextrine sur la fin du programme, pour avoir un produit qui se trouvera en général le plus adapté au climat du moment (les températures augmentant), mais cela ne vaut pas lors des années atypiques et en cas de périodes ne correspondant pas aux normes saisonnières.

Pour s'adapter à toutes les situations, il conviendrait de choisir le produit le plus pertinent à chaque date, en fonction des conditions climatiques du moment où une application est nécessaire, par rapport au cycle et au stade biologique du ravageur. Cela permet de ne pas être contraint de repousser

un traitement, ce qui serait fait si l'on devait attendre les bonnes conditions pour le produit choisi. Repousser (ou avancer) un traitement aboutit à traiter en décalage par rapport au stade optimal de traitement de la cible, et n'est donc pas une stratégie pertinente.

Par exemple, dans l'essai où la maltodextrine n'a pas montré d'efficacité (CSI01019), la 2^{ème} application a été réalisée à 13°C. Quand on regarde cependant les conditions de la semaine, les températures ont été basses tous les jours, or il fallait traiter sans attendre car les produits n'ont aucune rémanence d'activité (le traitement précédent n'agissait plus). Dans un programme agriculteur, notre analyse amène à établir que les conditions prévues sur la semaine auraient été en accord avec un traitement au *Beauveria bassiana*.

La température joue aussi sur le cycle du ravageur lui-même. C'est aussi un paramètre d'explication de la pertinence d'utilisation des 2 solutions. En effet, en cas de température élevée, le cycle du ravageur est plus court et la maltodextrine est mieux adaptée en raison de son mode d'action de choc. En cas de température plus fraîche le développement est plus long, et le contexte plus favorable au *Beauveria bassiana* qui a une action sur les cibles au bout de plusieurs jours seulement.

Ainsi, la règle de décision dans le cas du psylle du poirier que nous dégageons dans cette étude est la suivante : sur la 2^{ème} génération et les suivantes, si nécessaire en fonction des observations de terrain, un traitement tous les 7 jours, en débutant la protection sur les œufs et les tous premiers stades larvaires, soit avec la maltodextrine si la température est chaude sur la journée (température max > 25°C), soit avec *Beauveria bassiana* si les températures sont fraîches (température moyenne < 17°C) et que des jours à plus de 30°C ne sont pas prévus sur la semaine à venir.

Sur la base de ces travaux, les deux solutions (la maltodextrine et *Beauveria bassiana*) sont attendues pour une homologation sur psylle du poirier, à un horizon de 1 à 2 ans.

Conclusion

L'analyse des essais réalisés au champ, couplée à une connaissance fine des solutions de biocontrôle, met en lumière les paramètres véritablement clés et la compréhension des échecs et des réussites de terrain. Ces travaux sont à multiplier plus généralement sur d'autres cibles, afin de valider pour d'autres usages des stratégies de protection combinées.

Au-delà du constat d'une efficacité variable au champ des solutions de biocontrôle, les paramètres explicatifs de ces variations sont identifiés et permettent de proposer des stratégies pour adapter le produit aux conditions réelles. En effet, dans le cas des produits de biocontrôle, les conditions favorables peuvent ne pas être rencontrées et nécessitent ainsi de changer de type de produit.

Et dépassant le constat qu'il est complexe d'utiliser les produits de biocontrôle, parce qu'ils ont des exigences variées, on fait émerger le besoin de disposer d'un panel de solutions ayant une grande diversité de conditions nécessaires, pour que chaque situation pratique trouve une solution. Chaque situation pourra alors être raisonnée en intégrant des règles de décision prenant en compte des prévisions météorologiques (ou autre paramètre technique pertinent lié aux produits disponibles), mais aussi les seuils de risque, les niveaux de population des auxiliaires, le choix entre traitements de biocontrôle ou traitements conventionnels, ainsi que l'intégration des mesures préventives et prophylactiques.

Bibliographie

EPPO - European and Mediterranean Plant Protection Organization, 1997, Efficacy evaluation of insecticides, *Cacopsylla* spp. PP 1/44(2), Revision 2.

Annexes

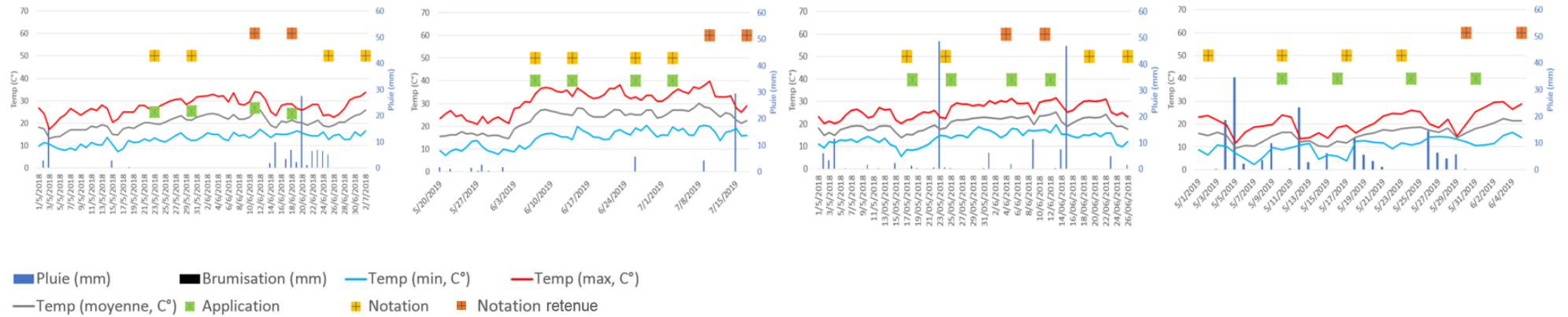


Figure 2 : climats des essais maltodextrine, applications et notations (climate of maltodextrine trials, applications and assessment dates)

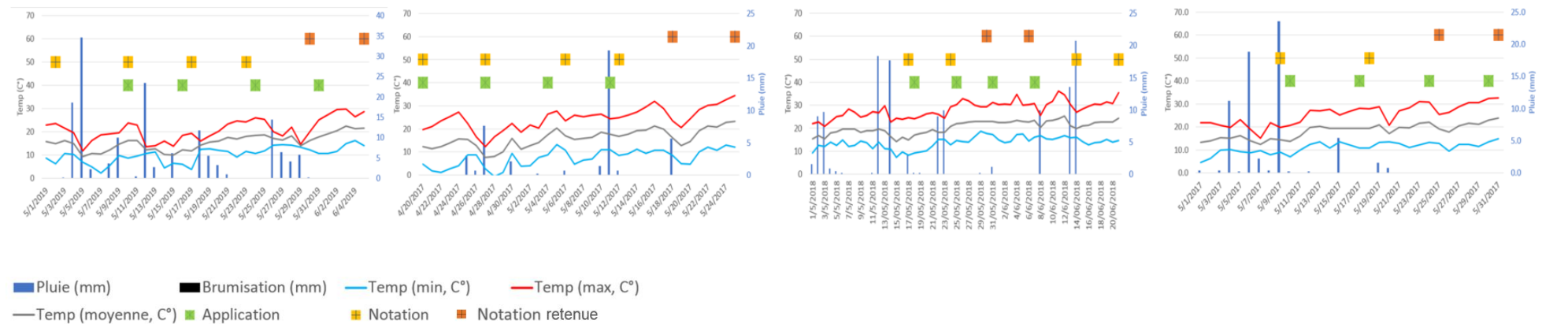


Figure 3 : climats des essais *Beauveria bassiana*, applications et notations (climate of *Beauveria bassiana* trials, applications and assessment dates)