

**AFPP – ONZIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 7 AU 9 DÉCEMBRE 2015**

BENZOVINDIFLUPYR, UN NOUVEAU SDHI POUR LE CONTROLE DES MALADIES FOLIAIRES

O. RAMBACH¹, D. BARTLETT³, S. BIERI², H.-U. HAAS², G. SCALLIET², A. STALKER³, S. DALE¹

¹Syngenta Crop Protection AG, CH4002 Basel, Switzerland, odile.rambach@syngenta.com

²Syngenta Crop Protection AG, Stein, Switzerland

³Syngenta Crop Protection AG, Jealott's Hill, United Kingdom

RÉSUMÉ

Le benzovindiflupyr est un nouveau fongicide à large spectre issue de la recherche Syngenta et appartenant au groupe des SDHI. SOLATENOL™ est une marque Syngenta pour décrire le benzovindiflupyr. Son efficacité intrinsèque contre des pathogènes majeurs, combinée à une forte affinité pour la cuticule cireuse des feuilles permet d'avoir une protection robuste et durable. Il a montré un excellent niveau de performance contre la rouille du soja (*Phakopsora pachyrhizi*). Il est également efficace contre un large spectre de maladies foliaires présentes sur les céréales (*Zymoseptoria tritici*, *Puccinia* spp., *Ramularia collo-cygni*, *Rhynchosporium secalis*, *Pyrenophora teres*) et sur d'autres cultures telles que les pommiers (*Venturia inaequalis*), les pommes de terre (*Alternaria* spp.), les cultures légumières (oïdium, alternariose, anthracnose), le maïs (*Puccinia sorghi*, *Cercospora zea-maydis*) et les arachides (*Puccinia arachidis*, *Sclerotium rolfsii*).

Mots-clés : benzovindiflupyr, solatenol, fongicide, rouille, septoriose, maladie foliaire.

ABSTRACT

BENZOVINDIFLUPYR, A NEW SDHI FUNGICIDE TO CONTROL FOLIAR DISEASES

Benzovindiflupyr is a new broad spectrum fungicide from Syngenta research and which belongs to the SDHI group. SOLATENOL™ is a trademark of Syngenta for the active ingredient benzovindiflupyr. The strong affinity to the target enzyme succinate dehydrogenase results in very high intrinsic activity on key pathogens. Combined with a strong association with the plant's wax layer, it provides reliable and long lasting disease control. Benzovindiflupyr has shown outstanding activity against soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*). It is also active on a broad spectrum of diseases in cereals (*Zymoseptoria tritici*, *Puccinia* spp., *Ramularia collo-cygni*, *Rhynchosporium secalis*, *Pyrenophora teres*) and other crops including pome fruits (*Venturia inaequalis*), potatoes (early blight), vegetables (powdery mildew, early blight, anthracnose), corn (*Puccinia sorghi*, *Cercospora zea-maydis*) and peanuts (*Puccinia arachidis*, *Sclerotium rolfsii*).

Keywords: benzovindiflupyr, solatenol, fungicide, rust, septoria, foliar disease.

INTRODUCTION

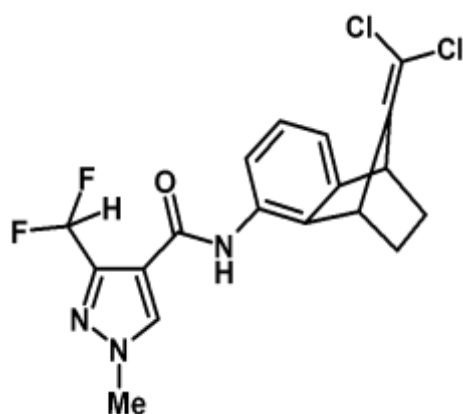
Une longue durée d'efficacité a été observée au champ sur des cultures telles que les céréales et le soja. Pour mieux comprendre l'origine de ce bénéfice apporté à la protection de ces cultures, des études en conditions de laboratoire, mais aussi sous serres et en conditions contrôlées de plein champ ont été réalisées à Stein et à Jealott's Hill (Centres de recherche Syngenta). Les résultats présentés dans cette communication permettent de mieux comprendre les propriétés du benzovindiflupyr et notamment son efficacité intrinsèque et son comportement dans la plante.

CARACTERISTIQUES DE LA SUBSTANCE ACTIVE

Le benzovindiflupyr (Figure 1) est une nouvelle substance active issue de la recherche Syngenta (Walter et al., 2014).

ISO name :	benzovindiflupyr
Nom de la substance active :	SOLATENOL™ est une marque déposée d'une société du groupe Syngenta
Nom chimique (IUPAC) :	N-[(1RS,4SR)-9-(dichlorométhylène)-1,2,3,4-tétrahydro-1,4-méthanonaphthalène-5-yl]-3-(difluorométhyl)-1-méthylpyrazole-4-carboxamide
Groupe :	SDHI (Succinate DeHydrogenase Inhibitor)
Groupe chimique :	pyrazole carboxamides, sous-groupe des benzonorbornenes

Figure 1 : Structure chimique du benzovindiflupyr
(Chemical structure of benzovindiflupyr)



FRAC target site :	C2, complex II Succinate Dehydrogenase
FRAC Code:	7
Solubilité dans l'eau (20°C) :	0,76 ppm
Log P _{ow} :	4,32
Photostabilité (T50) :	70 heures
Pression de vapeur :	< 0.00001 mPa (25 °C)

Le benzovindiflupyr montre une faible solubilité dans l'eau (0.76 ppm à 20°C) et une très forte lipophilicité (Log P_{ow} = 4.32). De plus, cette substance active n'est pas volatile et peu sensible à la dégradation par les radiations solaires.

Ces caractéristiques physicochimiques se traduisent par une forte affinité pour la cuticule cireuse des feuilles. Le benzovindiflupyr appliqué sur les feuilles est protégé contre les aléas climatiques (forte pluviométrie, rayons Ultraviolets). Il est aussi à l'abri d'une dégradation par le métabolisme de la plante. Ces propriétés se traduisent au champ par une grande persistance d'action pour protéger efficacement contre les maladies.

EFFICACITE INTRINSEQUE DU BENZOVINDIFLUPYR

TESTS D'INHIBITION DE L'ENZYME SUCCINATE DeHYDROGENASE (SDH)

L'inhibition de l'enzyme SDH a été testée *in vitro* pour *Zymoseptoria tritici*, *Botrytis cinerea* et *Rhizoctonia solani* en utilisant des suspensions purifiées de mitochondries. La purification des suspensions de mitochondries et les tests ont été réalisés selon des modalités précédemment décrites (Scalliet et al. 2012). Ces tests de laboratoire au niveau de l'enzyme SDH permettent de comparer les potentiels intrinsèques de différents carboxamides. Les valeurs de CI50 mesurées sont les concentrations requises pour inhiber 50 % de l'activité de la SDH au niveau des suspensions mitochondriales de *Z.tritici*, *B.cinerea* et *R.solani*.

Les figures 2, 3 et 4 représentent l'inhibition *in vitro* de la SDH par différents inhibiteurs de type carboxamide. Les CI50 pour les différents SDHI sont exprimées en nanomolaire (nM). Les résultats montrent que le benzovindiflupyr a un très fort potentiel d'inhibition de la SDH pour différents pathogènes. Son activité intrinsèque est globalement supérieure ou égale à celle d'autres SDHI.

La biodisponibilité est un paramètre majeur influençant l'efficacité biologique et qui peut parfois expliquer certaines différences lorsque les résultats *in vitro* sont comparés aux résultats *in vivo*. La qualité de la formulation joue un rôle important pour optimiser l'efficacité au champ.

Figure 2: CI50 (nM), dose nécessaire pour inhiber 50 % de la SDH pour *Z.tritici*
(IC50 (nM), rate needed for 50 % inhibition of the SDH in *Z.tritici*)

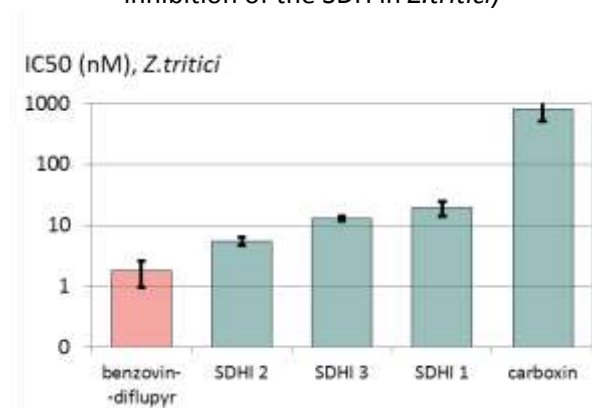
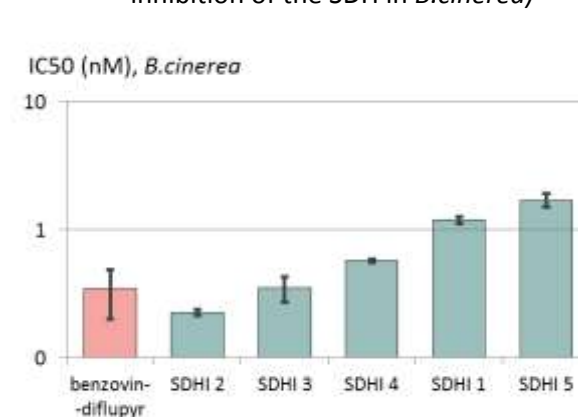
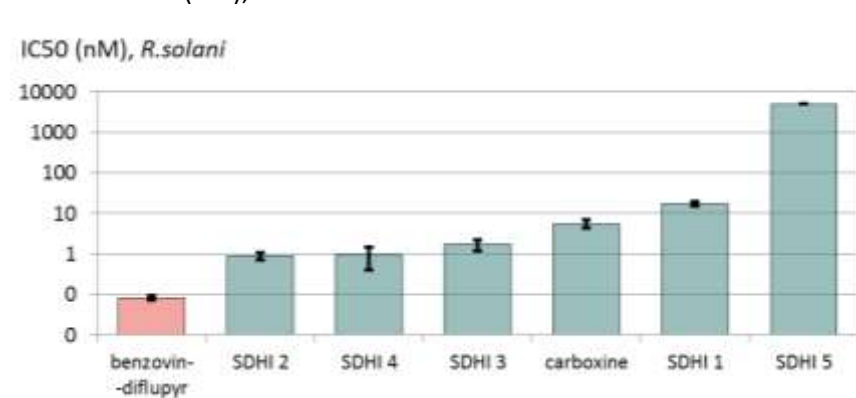


Figure 3: CI50 (nM), dose nécessaire pour inhiber 50 % de la SDH pour *B.cinerea*
(IC50 (nM), rate needed for 50 % inhibition of the SDH in *B.cinerea*)



nM: nanomolaire (SI, International System of Unit)

Figure 4: CI50 (nM), dose nécessaire pour inhiber 50 % de la SDH pour *R.solani*
(IC50 (nM), rate needed for 50 % inhibition of the SDH in *R.solani*)



nM: nanomolaire (SI, International System of Unit)

COMPORTEMENT DU BENZOVINDIFLUPYR DANS LA PLANTE

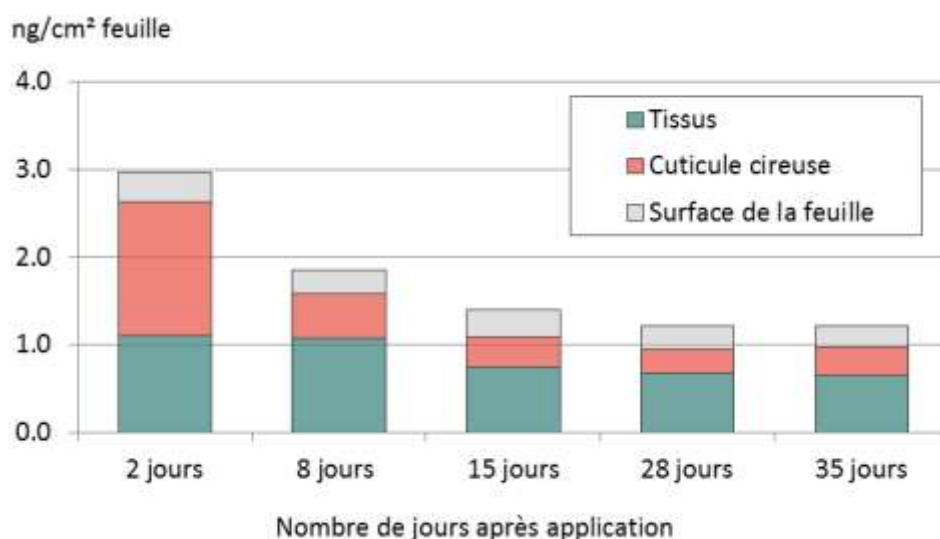
RETENTION FOLIAIRE AU COURS DU TEMPS

La figure 5 représente la localisation du benzovindiflupyr après application sur une feuille de blé. Les résultats montrent la répartition au cours du temps entre la surface la feuille, la cuticule cireuse et les tissus. Des mesures ont été réalisées 2, 8, 15, 28 et 35 jours après application au champ.

Pour se rapprocher des conditions de la pratique, une formulation en cours d'autorisation de vente a été utilisée (EC100, Concentré Emulsionnable à 100 g/L).

Une très bonne répartition du benzovindiflupyr est observée au niveau de la feuille entre les tissus internes et externes. Même 35 jours après l'application, la quantité de benzovindiflupyr mesurée reste à un niveau important pour protéger les feuilles.

Figure 5: Répartition du benzovindiflupyr dans la feuille de blé après application (ng/cm² de feuille).
(Benzovindiflupyr distribution in the leaf of wheat after application (ng/cm² leaf))

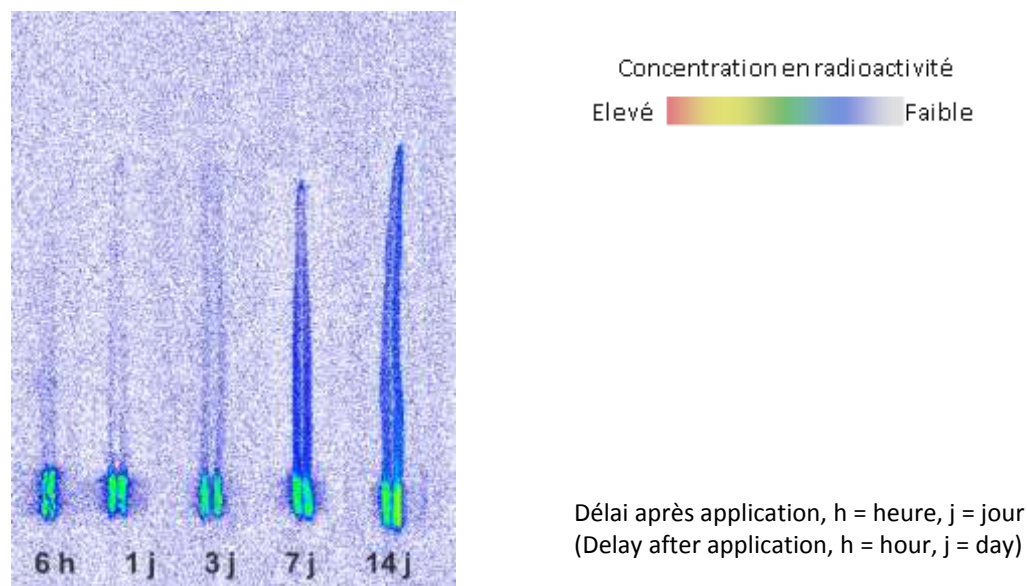


MOBILITE DANS LA PLANTE

Des autoradiographies provenant d'études réalisées sur feuilles de blé après application de benzovindiflupyr radiomarqué avec un isotope radioactif permettent de suivre au cours du temps le mouvement de la substance active dans les tissus de la feuille.

La figure 6 montre que le benzovindiflupyr est peu mobile dans la plante. Seule une petite partie de la substance active est transportée très lentement par le réseau vasculaire de la plante (xylème).

Figure 6 : Autoradiographie après application de benzovindiflupyr radiomarqué à la base de la Feuille 2 du blé
(Phosphorimage after radiolabelled benzovindiflupyr application at the basis of the wheat Leaf 2)

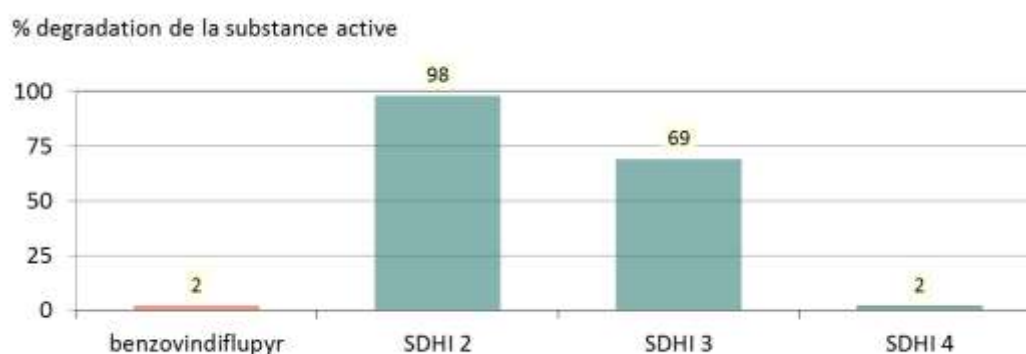


DEGRADATION DU BENZOVINDIFLUPYR PAR *Z. TRITICI*

Une incubation *in vitro* est réalisée en plaçant différentes substances actives en contact avec une suspension de *Z. tritici* pendant 72 heures. Pour chacune des SDHI, une concentration sub-létale est utilisée. Un témoin sans pathogène permet de prendre en compte les éventuelles dégradations liées à d'autres paramètres tels que l'hydrolyse.

Le pourcentage de dégradation des substances actives (Figure 7) est dû à la métabolisation par les cellules de septoriose. Le benzovindiflupyr est très peu métabolisé par la septoriose. C'est une caractéristique importante pour expliquer l'efficacité observée au champ.

Figure 7: % de dégradation métabolique de différentes SDHI en présence d'une suspension de cellules de *Z. tritici* après 72 heures.
(% metabolic degradation of several SDHIs in *Z. tritici* cell suspension after 72 hours)

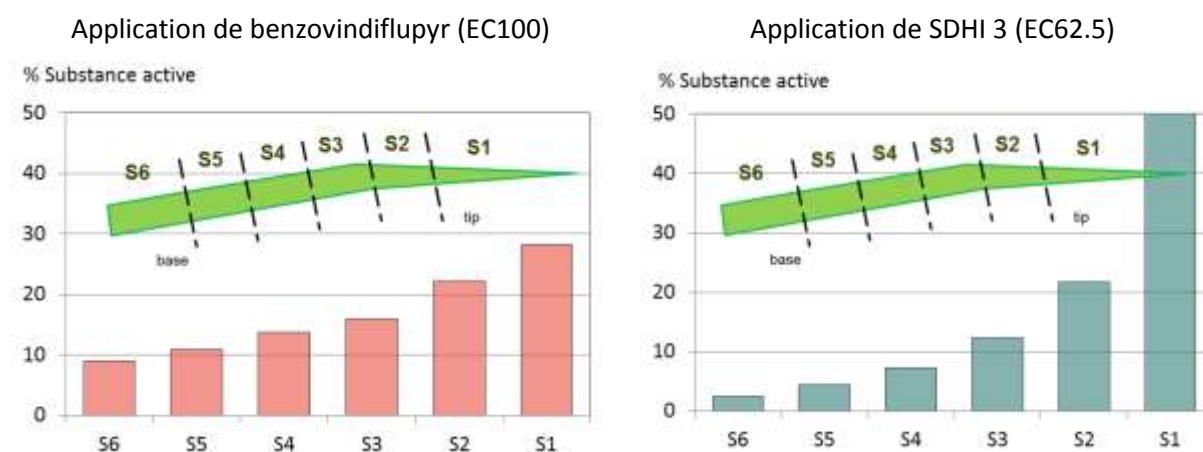


DISTRIBUTION DANS LES FEUILLES (PLEIN CHAMP)

Le benzovindiflupyr à 75 g/ha a été appliqué en plein champ sur des parcelles de blé au stade BBCH39 (dernière feuille totalement étalée). Le test a été réalisé avec une formulation en cours d'autorisation de vente (EC100, Concentré Emulsionnable à 100 g/L) et les quantifications de substance active ont été mesurées au niveau de 6 segments de la feuille drapeau (F1).

Quatorze jours après l'application, la quantification de la substance active au niveau des 6 segments montre que le benzovindiflupyr a légèrement migré vers l'extrémité de la feuille mais reste réparti de manière plus homogène qu'avec le SDHI 3 (Figure 8). Il est peu mobile et permet ainsi une protection optimale de la feuille entière au cours du temps.

Figure 8 : Répartition de la substance active (%) au niveau des 6 segments de la Feuille 1 (F1) collectées 14 jours après application
(Active Ingredient distribution (%) in 6 segments of Flag leaf collected 14 days after application)



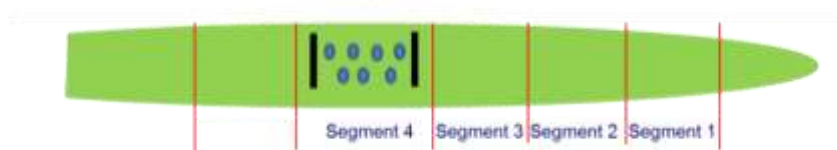
S = segment, F1 = Feuille drapeau (Flag Leaf)

DISTRIBUTION DANS LES FEUILLES (ESSAI SOUS SERRE)

Des tests sous serre ont permis de faire le lien entre les résultats de quantification de la substance active au niveau des segments de feuille et l'efficacité biologique au niveau de chacun de ces segments.

L'application a été faite au niveau du segment 4 comme indiqué par le schéma ci-dessous (Figure 9). Deux tests ont été réalisés. Le premier avec *Z.tritici* (Figure 10) et le second avec *P.recondita* (Figure 11). Une contamination artificielle avec *Z.tritici* (test 1) ou avec *P.recondita* (test 2) a été réalisée 14 jours après l'application sur toute la surface de la feuille. Les notations d'efficacité ont ensuite pu être réalisées sur chacun des segments de la feuille.

Figure 9 : Description de la feuille de blé avec les différents segments
(Wheat Leaf description with the different segments)



Les résultats précédents (Figure 8) montrent que la substance active est peu mobile. Elle migre très lentement dans la feuille et la répartition reste homogène au cours du temps.

Cette migration acropétale est suffisante pour permettre un excellent contrôle de la rouille brune ou de la septoriose sur la feuille complète, de la zone où le produit a été appliqué jusqu'à l'extrémité de la feuille (Figures 10 et 11). Ces propriétés physico-chimiques se traduisent par une efficacité homogène et durable sur l'ensemble de la feuille contrairement à des substances qui ont une forte mobilité dans la plante et qui migrent très rapidement aux extrémités des feuilles.

Figure 10 : % Efficacité/Témoin, *Z.tritici* sur les différents segments de feuille
(% Efficacy/Untreated, *Z.tritici* on the segments of leaves)

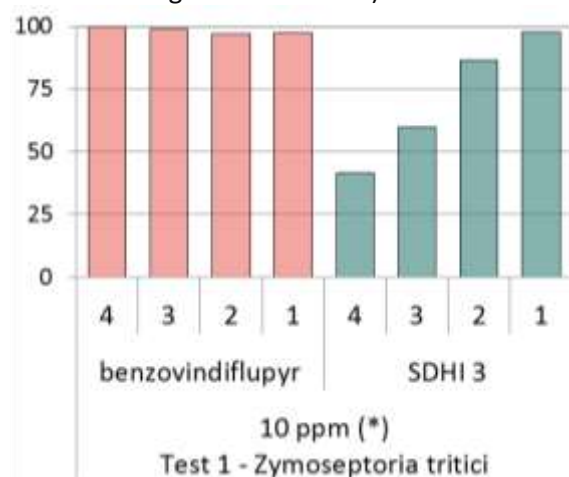
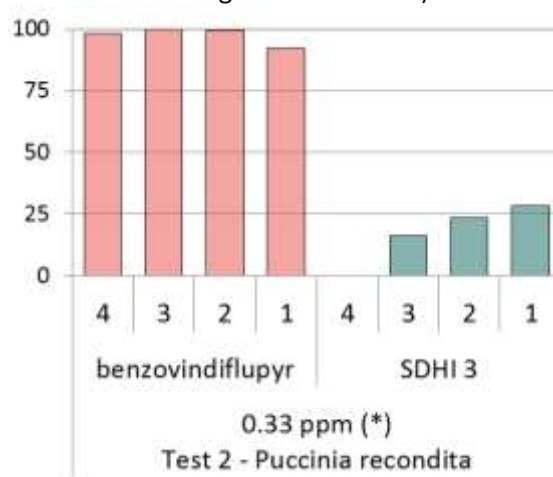


Figure 11 : % Efficacité/Témoin, *P.recondita* sur les différents segments de feuille
(% Efficacy/Untreated, *P.recondita* on the segments of leaves)



1, 2, 3 et 4 : segments de feuille allant de 4 (base de la feuille) à 1 (pointe de la feuille). L'application est réalisée sur le segment 4 et les notations sont réalisées sur les segments allant de 4 à 1.

(*) 0,33 et 10 ppm : concentrations en substances actives dans la préparation utilisée pour l'application

LONGUE DUREE D'ACTION EN CONDITIONS CONTROLEES (SEMI PLEIN CHAMP)

Des plantes ont été transplantées du champ vers des pots pour être ensuite disposées dans des espaces pouvant être fermés en cas d'intempéries (pluie ou vent), de façon à éviter les contaminations. Un premier test a été réalisé en 2014 à Stein (Centre de Recherche Syngenta) puis dupliqué sur le même site en 2015.

Les différents produits ont été appliqués de façon préventive en absence de maladies au stade BBCH37 (F2 totalement déployée). Les contaminations artificielles avec *Z.tritici* ont été réalisées 21 jours (essai 2014) ou 19 jours (essai 2015) après l'application, puis les notations sur F2, 21 jours (essais 2014) ou 20 jours (essais 2015) après les contaminations artificielles.

Photo 1: Vue d'ensemble du site de l'essai en 2014, Stein
(Global view of the trial in 2014, Stein)



Les résultats d'efficacité présentés proviennent de notations réalisées 42 jours après application (Figure 12, essais 2014) et 39 jours après application (Figure 13, essai 2015). Dans les deux cas, le benzovindiflupyr appliqué préventivement (19 ou 21 jours avant la contamination artificielle) montre une persistance d'action supérieure à celles des produits de la même famille chimique testés en comparaison.

Figure 12 : % Efficacité / Témoin
Essai 2014, 42 jours après application
(% Efficacy / Untreated
Trial 2014, 42 days after application)

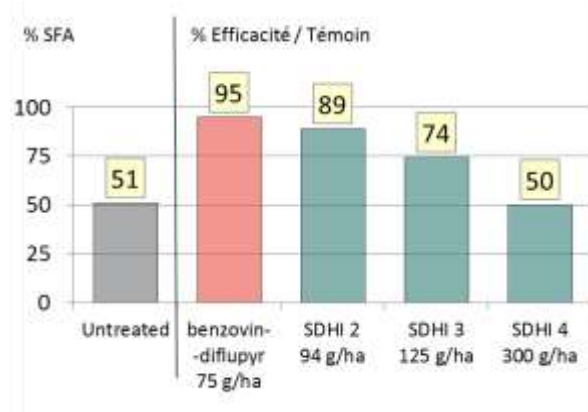
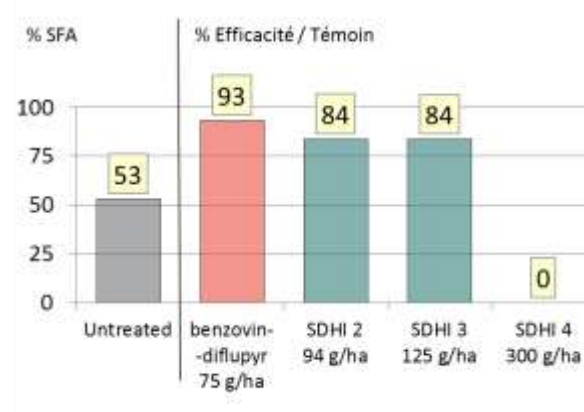


Figure 13 : % Efficacité / Témoin
Essai 2015, 39 jours après application
(% Efficacy / Untreated
Trial 2015, 39 days after application)



% SFA = % Surface Foliaire attaquée (% LAA = % Leaf Area Attacked)

EFFICACITE PLEIN CHAMP

CULTURE DU SOJA, RESULTATS SUR ROUILLE (*PHAKOPSORA PACHYRHIZI*)

Le benzovindiflupyr a montré une excellente efficacité (Figure 14) contre la rouille du soja (*Phakopsora pachyrhizi*) supérieure aux standards actuellement disponibles et qui se reflète au niveau du rendement (Figure 15). Cet excellent niveau de performance à 30 g/ha est le résultat combiné de son activité intrinsèque très élevée, de ses propriétés physico-chimiques et de sa biodisponibilité au niveau des pathogènes pour permettre une efficacité optimale au champ (Guicherit et al., 2013; Walter et al., 2014; Rambach et al., 2015). En association avec l'azoxystrobine, il est autorisé et vendu sous le nom de marque ELATUS™ dans les principaux pays producteurs de soja (Brésil, Paraguay, Uruguay, Argentine, Bolivie et Etats Unis).

Figure 14 : % de surface foliaire attaquée, 11 essais en 2014 (Brésil)
(Pest severity (%), 11 trials in 2014, Brazil)

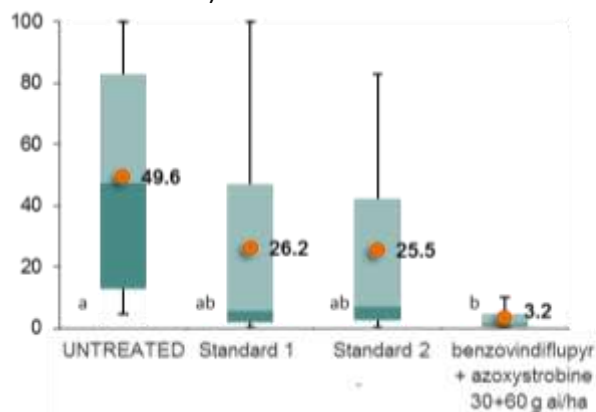
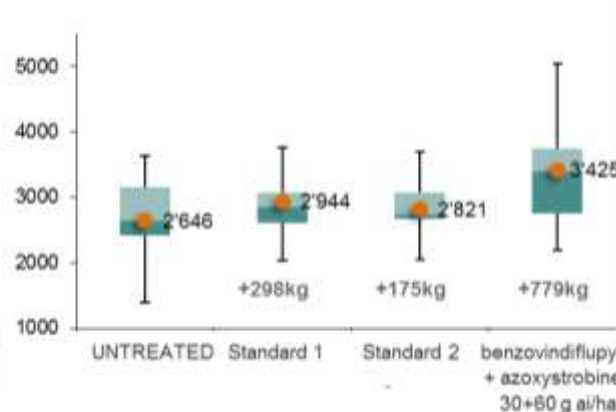


Figure 15 : Rendement en kg/ha, 5 essais en 2014 (Brésil)
(Yield (kg/ha), 5 trials in 2014, Brazil)



RESULTATS SUR CEREALES

En plus de son excellente efficacité sur la rouille du soja, le benzovindiflupyr à 75 g ai/ha est excellent pour lutter contre les principales maladies foliaires du blé (*Z.tritici*, *P.striiformis*, *P.recondita*) et de l'orge (*P.hordei*, *R.collo-cygni*, *R.secalis*, *P.teres*).

En 2014, la très forte pression de rouille brune et de rouille jaune apparue en Europe a permis de montrer dans les essais plein champ que le benzovindiflupyr apportait réellement un bénéfice sur ces maladies avec une excellente efficacité intrinsèque et une très bonne persistance d'action.

Des résultats sont détaillés dans une autre communication présentée lors de la conférence AFPP 2015 (Blanc et al., 2015)

RESULTATS SUR D'AUTRES CULTURES

Le benzovindiflupyr est aussi efficace contre d'autres maladies majeures telles que la tavelure du pommier, l'alternariose des pommes de terre, l'oïdium, l'alternariose et l'anthracnose de certaines cultures légumières, la rouille et la cercosporiose du maïs, la rouille et le sclerotium de l'arachide.

Tableau I: Liste des maladies majeures contre lesquelles le benzovindiflupyr a montré un intérêt majeur pour la protection des cultures
List of the key diseases benzovindiflupyr showed a good efficacy to protect the crops

Cultures	Pathogènes	efficacité du benzovindiflupyr
Soja	<i>Phakopsora pachyrhizi</i>	
	<i>Microsphaera diffusa</i>	
Céréales	<i>Zymoseptoria tritici</i>	
	<i>Puccinia sp.</i>	
	<i>Pyrenophora teres</i>	
Arachides	<i>Puccinia arachidis</i>	
	<i>Cercospora arachidicola</i>	
	<i>Sclerotium rolfsii</i>	
Haricots	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>	
	<i>Phaeoisariopsis griseola</i>	
Maïs	<i>Cercospora zea-maydis</i>	
	<i>Puccinia sorghi</i>	
	<i>Diplodia maydis</i>	
Pommiers	<i>Venturia inaequalis</i>	
Vigne	<i>Uncinula necator</i> bunch	
Pommes de terre	<i>Alternaria solani</i>	
Tomates	<i>Alternaria solani</i>	
	<i>Leveillula taurica</i>	
Poivrons, piments	<i>Colletotrichum spp.</i>	
Cucurbitacées	<i>Didymella bryoniae</i>	
	<i>Erysiphe cichoracearum</i>	
	<i>Sphaerotheca fuliginea</i>	

	Excellente efficacité supérieure aux standards actuels (Outstanding efficacy, superior to the current standards)
	Bonne efficacité équivalente aux standards actuels (Good efficacy, equivalent to the current standards)

CONCLUSION

L'efficacité intrinsèque du benzovindiflupyr, combinée à une forte affinité pour la cuticule cireuse et à une redistribution optimale au niveau des feuilles permet d'avoir une protection robuste et durable vis à vis de pathogènes majeurs. Il a montré un excellent niveau de performance contre la rouille du soja en Amérique du Sud, les maladies foliaires des céréales en Europe et aussi contre des pathogènes majeurs présents sur d'autres cultures telles que les pommiers, les cultures légumières, les pommes de terre, le maïs et les arachides. Contre la rouille, il apporte un réel bénéfice par rapport aux solutions actuellement disponibles.

Pour une utilisation durable de cette nouvelle substance active et plus globalement de l'ensemble des substances actives, il est important de s'assurer que les recommandations émises par le FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) sont bien mises en œuvre.

Cette nouvelle substance active est actuellement autorisée en Amérique du Sud (Brésil, Paraguay, Argentine, Uruguay, Bolivie), au Canada et aux Etats-Unis. D'autres autorisations sont attendues prochainement en Europe et en Asie.

BIBLIOGRAPHIE

Blanc F., Garraud A., Haefflinger A., 2015 - Le Solatenol™, une innovation fongicide céréales. *AFPP 2015*, Tours.

Guicherit E., Bartlett D., Dale S., Haas H-U., Scalliet G., Walter H., 2013 - Solatenol™ - The second generation benzonorbornene SDHI carboxamide with outstanding performance against key crop diseases. *The 17th International Reinhardtsbrunn Symposium*, Vol. VII, pp. 67-72. ISBN: 978-3-941261-13-6.

Rambach O., Bieri S., Haas H-U., Bartlett D., Dale S., 2015 - Solatenol™, an SDHI fungicide setting new standards in disease control. *IPPC 2015*, Berlin.

Scalliet G., Bowler J., Torsten L., Kirchhofer A., Steinhauer D., Ward K., Niklaus M., Verras A., Csukai M., Daina A., Fonne-Pfister R., 2012 - Mutagenesis and functional studies with Succinate DeHydrogenase Inhibitors in the wheat pathogen *Mycosphaerella graminicola*. *PLOS ONE*.

Walter H., Gribkov D., Tobler H., 2014 - Solatenol™: A new broad-spectrum SDHI fungicide. *IUPAC 2014*, San Francisco, 621.

Walter H., Guicherit E., Rambach O., Dale S., 2014 - Solatenol™: The second generation benzonorbornene SDHI setting new standards in disease control. *IUPAC 2014*, San Francisco, 730.

Walter H., Guicherit E., Rambach O., Dale S., 2014 - Solatenol™: Strongest soybean rust control, highest crop yields. *IUPAC 2014*, San Francisco, 729.