

**AFPP – SIXIEME CONFERENCE INTERNATIONALE
SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS, France, 6-7-8 DECEMBRE 2000**

**QUINOXYFEN – SENSIBILITÉ DES POPULATIONS D'OÏDIUM DU BLÉ
ET ÉTUDE DE RÉSISTANCE CROISÉE (1995 – 1999)**

I. ROUGERIE^(a), U. BERNHARD^(b), C. LONGHURST^(c), F.G. FELSENSTEIN^(d)

^(a) Dow AgroSciences, 6 avenue Charles de Gaulle, 78150 Le Chesnay, France

^(b) Dow AgroSciences GmbH, Truderinger Strasse 15, D-81677 Munich, Allemagne

^(c) Dow AgroSciences Europe, Letcombe Laboratory, Letcombe Regis, Wantage,
Oxon, OX12 9JT, R-U

^(d) EpiLogic GmbH, Agrobiological Research, 85354 Freising-Weihenstephan,
Allemagne

RÉSUMÉ :

Un suivi européen de sensibilité de populations d'oïdium du blé au quinoxyfen (fongicide spécifique des oïdiums commercialisé dès 1997) est réalisé tous les ans depuis 1995. Les moyennes annuelles de CE₅₀ sont : 0,060 mg/l en 1995, 0,052 mg/l en 1996, 0,071 mg/l en 1997, 0,039 mg/l en 1998 et 0,039 mg/l en 1999. Aucune nouvelle classe de sensibilité n'a été trouvée depuis sa commercialisation. La légère tendance à une plus grande sensibilité de l'oïdium en 1998-1999 est attribuée à des variations expérimentales. Des souches montrant une baisse de sensibilité à des représentants des « morpholines », triazoles, strobilurines et anilino-pyrimidines ont fait l'objet d'étude de sensibilité croisée avec le quinoxyfen. Aucune résistance croisée n'a été mise en évidence entre le quinoxyfen et ces familles fongicides.

Mots-clés : *Erysiphe graminis*, quinoxyfen, suivi, sensibilité, résistance croisée

SUMMARY

QUINOXYFEN: BASELINE MONITORING AND CROSS RESISTANCE PATTERNS IN WHEAT: 1995-1999

A European monitoring programme with quinoxyfen for wheat powdery mildew was carried out between 1995 and 1999. Mean EC₅₀s found by year were: 0.060 mg/l in 1995, 0.052 mg/l in 1996, 0.071 mg/l in 1997, 0.039 mg/l in 1998 and 0.039 mg/l in 1999. No new sensitivity classes were found. The slight shift to higher sensitivity in 1998 and 1999 was correlated with similar shifts in three wild type isolates and was ascribed to experimental variation. Selected isolates with reduced sensitivity to triazoles, "morpholines", strobilurins and anilino-pyrimidines were assayed for their cross-sensitivity relationships to quinoxyfen. No cross-resistance was found between quinoxyfen and the other fungicides tested.

Key-words: *Erysiphe graminis*, quinoxyfen, monitoring, sensitivity, cross-resistance

INTRODUCTION

L'oïdium du blé, *Erysiphe graminis DC f. sp. tritici Em. Marchal*, est une importante maladie des céréales en Europe. Ce pathogène a montré un grand potentiel d'adaptation aux fongicides élaborés ces vingt dernières années. Durant la décennie 80, l'attention s'est portée sur la baisse quantitative de sensibilité de l'oïdium aux triazoles (inhibiteurs de la C14 déméthylation) (GISI *et al.*, 1994). Puis, dans les années 90, une réduction quantitative de sensibilité aux morpholines et fongicides apparentés a été rapportée (FELSENSTEIN *et al.*, 1994).

A partir de 1996, les strobilurines, nouvelle famille chimique, apparaissent : leur usage se développe rapidement à travers l'Europe. En 1998, des isolats présentant un comportement de résistance qualitative sont prélevés dans le nord de l'Allemagne.

Le quinoxyfen (5,7-dichloro-4(4-fluorophénoxy)quinoline), matière active de la nouvelle famille chimique des phénoxyquinoléines, est commercialisé en Europe dès 1997. Ce fongicide, dont le mode de distribution original s'exprime grâce à une mobilité de surface, est particulièrement actif contre les oïdiums de nombreuses cultures, dont les céréales et la vigne (LONGHURST *et al.*, 1996). Le mode d'action biochimique est différent des autres fongicides actuellement sur le marché. Le quinoxyfen intervient précocement durant les phases de contamination en inhibant la germination et la formation d'appressoria. De récentes études démontrent que le quinoxyfen stoppe le développement de l'oïdium en perturbant les premiers signaux cellulaires (WHEELER *et al.*, 2000, sous presse).

Un suivi européen de sensibilité des populations d'oïdium du blé au quinoxyfen est réalisé chaque année depuis 1995. De plus, au vu du contexte précité, il est essentiel d'étudier les sensibilités croisées de populations d'oïdium entre le quinoxyfen et les fongicides d'autres familles chimiques, ayant des modes d'action différents. Ainsi les sensibilités croisées de souches d'oïdium du blé présentant des phénomènes de baisse de sensibilité à des triazoles, morpholines, strobilurines et anilino-pyrimidines ont été mesurées.

MATERIEL ET METHODES

Des échantillons de conidies d'oïdium du blé ont été prélevés au hasard dans l'air, dans différentes régions d'Europe. Cet échantillonnage a été réalisé à l'aide d'un piège à spores embarqué, muni d'un ventilateur. Les distances de piégeage dans une même région étaient d'une centaine de kilomètres. Les spores ainsi piégées sont cultivées sur des segments de feuille de blé d'une variété très sensible à cette maladie (Kanzler). Ces segments de feuilles sont placés dans des boîtes de Pétri avec de l'eau

sur un milieu contenant 0,6% d'agar et 35 mg/l de benzimidazole. Les spores collectées se multiplient en colonies ou isolats en conditions contrôlées (18°C, en lumière continue de 10 mmol/m²s), (FELSENSTEIN *et al.*, 1998).

Chaque isolat issu d'une spore est ensuite transféré sur de nouveaux segments de feuille pour y être stocké et multiplié dans les mêmes conditions que précédemment, avant l'étude proprement dite.

La sensibilité de la descendance de chaque spore est déterminée à l'aide d'une série de tests utilisant des segments de feuille de 3 cm de long issus de plantules de blé de 10 jours. La veille, ces plantules ont été traitées avec différentes solutions de fongicides jusqu'à la limite du ruissellement. Pour déterminer les niveaux de sensibilité au quinoxyfen, une évaluation des Concentrations Efficaces à 50% (CE₅₀) est réalisée selon une échelle logarithmique avec un facteur de 2.

Pour éviter les phénomènes d'interactions entre traitements liées à la volatilité de certains produits, on utilise pour chaque traitement des boîtes de Pétri individuelles de 6 cm de diamètre. Chaque boîte contient 5 fragments de feuille identiques constituant les répétitions. Ainsi, une série de 10 boîtes permet par exemple d'analyser un isolat avec 10 concentrations d'un même fongicide, témoin non traité inclus. Ce n'est que lors de la phase d'inoculation que les boîtes d'une même série sont placées les unes à côté des autres, pendant une minute, dans une « tour » permettant une contamination homogène à sec de conidies. Au bout de dix jours d'incubation, la couverture foliaire de la maladie est notée par rapport au témoin non traité. La CE₅₀ de chaque isolat est alors calculée par analyse Probit.

A titre comparatif, les souches de référence "Benno", "Sappo" and W72, issues d'une collection de laboratoire, sont intégrées à ces études. Ces isolats, prélevés au champ dans les années 70, avant la mise sur le marché des différents groupes fongicides étudiés, représentent ainsi la sensibilité de populations d'origine n'ayant pas subi de sélection.

RESULTATS ET DISCUSSION

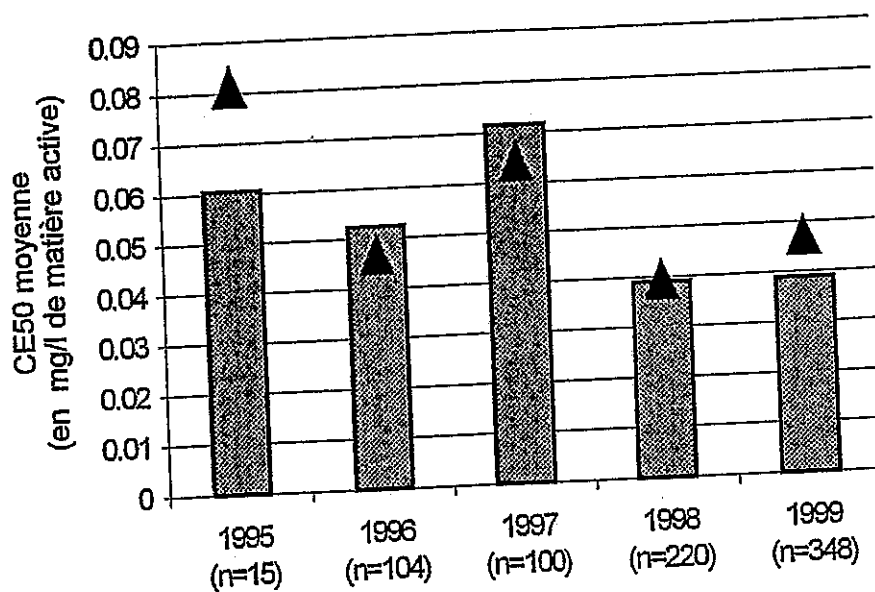
Suivi de sensibilité des populations d'oïdium

La sensibilité au quinoxyfen d'isolats d'oïdium du blé a été suivie entre 1995 et 1999 au sein d'un programme européen. Les nombres d'isolats pris en compte dans ces études varient de 15 en 1995 à 348 en 1999. Ils proviennent majoritairement d'Allemagne, de France et d'Angleterre.

Les moyennes annuelles des CE₅₀ pour le quinoxyfen sont présentées dans le tableau et le graphe suivants :

Tableau I et figure 1 : Sensibilité (CE₅₀) d'isolats d'oïdium du blé au quinoxyfen établie lors d'un programme européen de suivi des populations de 1995 à 1999.
Sensitivity (EC₅₀) of wheat powdery mildew isolates to quinoxyfen established in a European monitoring programme between 1995 and 1999. The library or wild type isolates included were Benno, Sappo and W72.

Année	1995	1996	1997	1998	1999
Nombre d'isolats (n)	15	104	100	220	348
CE ₅₀ moyenne en mg/l de matière active	0,060	0,052	0,071	0,039	0,039
CE ₅₀ Minima	0,018	0,016	0,023	0,018	0,013
CE ₅₀ Maxima	0,084	0,155	0,225	0,091	0,146



▲ Les souches sauvages de référence sont Benno, Sappo, et W72.

Aucune nouvelle classe de sensibilité au quinoxyfen n'a été trouvée depuis sa mise sur le marché. La légère dérive vers une sensibilité supérieure en 1998 et 1999 est comparable à celle des trois souches de référence Benno, Sappo, W72 (Figure 1). Elle peut donc être attribuée à une variation expérimentale. Ces résultats démontrent l'importance lors de ces études d'utiliser des isolats de référence parfaitement caractérisés pour s'assurer de conclusions claires.

Etude de sensibilité croisée

Le tableau II compare, isolat par isolat, les CE_{50} obtenues avec le quinoxyfen et celles provenant de substances actives représentatives des familles fongicides chimiques suivantes : triazoles, morpholines, strobilurines. Une grande majorité des isolats utilisés pour cette étude a été prélevée en Allemagne et à un degré moindre, en Angleterre en 1998 et 1999 (selon la même méthode décrite auparavant).

Le tableau III présente une comparaison des CE_{50} du quinoxyfen et de celles d'un représentant de la famille des anilino-pyrimidines. Les isolats utilisées lors de cette deuxième étude ont été prélevés principalement dans le Nord et le Nord-est de la France en 1999 et surtout au cours du printemps 2000.

Tableau II : Sensibilité croisée de souches d'oïdium du blé au quinoxyfen et aux références 1 (strobilurine), 2 (morpholine), 3 (triazole).
 Cross-Resistance patterns of wheat Powdery mildew to quinoxyfen, and references 1 (strobilurin), 2 (morpholine), 3 (triazole).

Souche*	CE50 mg/litre			
	Quinoxyfen	Référence 1 (strobilurine)	Référence 2 (morpholine)	Référence 3 (triazole)
Benno	0,042	1,190	0,747	0,038
Sappo	0,036	1,153	0,576	0,035
W72	0,049	1,222	0,539	0,041
1	0,040	0,860	2,054	0,453
2	0,035	0,923	2,579	1,139
3	0,035	1,033	4,448	0,403
4	0,039	1,130	5,716	0,262
5	0,045	1,190	3,253	0,905
6	0,034	1,285	2,858	0,608
7	0,035	1,285	2,500	1,215
8	0,023	1,857	3,321	0,253
9	0,048	2,858	5,716	0,545
10	0,027	>100	2,961	0,607
11	0,023	>100	4,408	0,594
12	0,052	>100	3,425	0,505
13	0,051	>100	3,947	1,139
14	0,025	>100	5,716	0,475
15	0,029	>100	3,151	0,366
16	0,037	>100	3,103	0,453
17	0,027	>100	3,842	0,505
18	0,038	>100	2,845	0,505
19	0,075	>100	3,664	0,795
20	0,035	>100	4,746	0,505

* Benno, Sappo et W72 sont les souches de référence issues d'une population d'origine n'ayant pas subi de sélection.

Tableau III : Sensibilité croisée des souches d'oïdium du blé au quinoxyfen et à une référence de la famille des anilino-pyrimidines.
 Cross-resistance patterns of wheat powdery mildew isolates to quinoxyfen and anilino-pyrimidine reference.

Souche*	Sensibilité (CE_{50} mg litre ⁻¹)	
	Quinoxyfen	Référence anilino-pyrimidine
Benno	0,049	2,96
Sappo	0,047	3,06
W72	0,052	3,10
F16-4/99	0,026	3,41
F16-3/99	0,027	4,26
F16-5/99	0,046	4,40
F16-1/99	0,027	11,43
F3-2/00	0,037	26,44
F6-1/00	0,041	26,56
F4-2/00	0,070	27,18
F16-2/99	0,050	27,29
F3-1/00	0,034	28,28
F3-3/00	0,026	30,74
F5-3/00	0,039	31,58
F4-5/00	0,046	32,57
F4-3/00	0,070	35,58
F4-4/00	0,049	35,58
F5-1/00	0,047	40,00
F4-1/00	0,049	40,92
F8-1/00	0,032	45,73
F7-1/00	0,024	48,90
F7-2/00	0,032	52,86
F5-2/00	0,054	53,13
F6-2/00	0,042	58,40

*Souches prélevées en 1999 et 2000 dans le Nord et le Nord-Est de la France.

Aucune résistance croisée n'a été observée entre le quinoxyfen et les représentants des principales familles fongicides testés : triazoles, morpholines, strobilurines (tableau II) et anilino-pyrimidines (tableau III).

Les souches présentant une baisse de sensibilité vis-à-vis de ces différentes références montrent une sensibilité au quinoxyfen équivalente à la sensibilité d'origine des souches sauvages de référence Benno, Sappo et W72.

CONCLUSIONS

La sensibilité de l'oïdium du blé au quinoxyfen a été évaluée à travers l'Europe de 1995 à 1999. Les résultats obtenus ont mis en évidence une distribution des sensibilités des différentes populations testées similaire au fil des années. De manière générale, cette distribution est comparable à celles obtenues lors des premières études de sensibilité de base, à partir de 1991 (HOLLOMON *et al.*, 1996), présentant aussi une large variabilité intra-annuelle entre les différents isolats collectés. Aucune souche résistante n'a été isolée. Le suivi de la sensibilité de l'oïdium au quinoxyfen se poursuit à travers l'Europe.

Aucune résistance croisée n'a été observée entre le quinoxyfen et les quatre principales familles chimiques utilisées dans la lutte contre l'oïdium, présentant des modes d'action différents : triazoles, morpholines, anilino-pyrimidines et strobilurines. Le quinoxyfen se révèle donc comme une solution originale dans la gestion des phénomènes de résistance actuels ou potentiels de l'oïdium des céréales. Il permet d'apporter une remarquable efficacité contre l'oïdium en s'intégrant dans de nombreux programmes fongicides.

BIBLIOGRAPHIE

FELSENSTEIN F.G., STEDEN C., SPEICH J., 1994 - Shifts in morpholine sensitivity of the wheat powdery mildew pathogen, *Erysiphe graminis* f.sp. *tritici*, and their influence on disease control. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 1994*, 475-800.

FELSENSTEIN F.G., KUCK K.-H., 1998 - Spiroxamine sensitivity of wheat and barley powdery mildew: Determination of baseline sensitivity and assessment of the risk of resistance. *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer* 51, 5-24.

GISI U., RIMBACH E., BINDER H., ALTWEGG P., HUGELSHOFER U., 1986 - Biological profile of SAN 619 F and related EBI-fungicides. *Proc. British Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 1986*, II 857-864.

HOLLOMON D.W., WHEELER I., DIXON K., LONGHURST C., SKYLAKAKIS G., 1996 - Resistance profiling of the new powdery mildew fungicide quinoxyfen (DE-795), in cereals. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 1996*.

LONGHURST C., DIXON K., MAYR A., BERNHARD U., PRINCE K., SELLARS J., PROVE P., RICHARD C., ARNOLD W., DREIKORN B., CARSON C., 1996 - Quinoxyfen, a novel fungicide for the control of powdery mildew in cereals, grapes and vegetables. *Proc. Brighton Crop Prot. Conf. - Pests and Diseases 1996*, 27-32.