

**AFPP – 8^{ème} CONFERENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 5 ET 6 DÉCEMBRE 2006**

**OBSERVATOIRE DES RESISTANCES AUX FONGICIDES CHEZ L'OIDIUM DU BLE :
RESULTATS DU GROUPE DE TRAVAIL AFPP 2001-2005**

A.-S. WALKER^{1*}, E. WILHELM², P. LEROUX¹

¹ INRA, Unité de Phytopharmacie et Médiateurs Chimiques, 78 026 Versailles Cedex

² DRAF-SRPV, Champagne-Ardenne, 51 100 Reims

* walker@versailles.inra.fr

RESUME

L'oïdium du blé *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* est une des maladies foliaires majeures des cultures de blé et fait l'objet de 1 à 2 traitements fongicides par saison. Ce champignon a développé des résistances à pratiquement toutes les familles chimiques de fongicides homologuées : triazoles et amines (IBS), strobilurines et phénoxyquinoléines. L'implantation et la fréquence des souches résistantes sont cependant variables : alors que la résistance aux IBS et aux strobilurines est largement implantée, en particulier dans la moitié Nord de la France et induit régulièrement des pertes d'efficacité au champ, la résistance au quinoxyfène n'est détectée que depuis 2003 en région Champagne et dans les secteurs limitrophes. Selon les cas, il convient donc d'adapter les stratégies de traitement pour conserver une efficacité correcte des traitements et limiter le développement des résistances émergentes.

Mots-clé : *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*, résistance, IBS, strobilurines, quinoxyfène.

SUMMARY

MONITORING WHEAT POWDERY MILDEW RESISTANCE TO FUNGICIDES : RESULTS FROM THE AFPP NETWORK 2001-2005

Wheat powdery mildew *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* is one of the foliar major diseases on wheat in France and may be controlled with one to two fungicide sprays per season. Consequently, this fungus developed resistance towards nearly all the fungicide families registered: sterol biosynthesis inhibitors (SBIs) – triazoles and amines –, strobilurins and phenoxyquinoleines. Nevertheless, location and frequency of the resistant strains is still various: if resistance towards SBIs and strobilurines is widely implanted, mostly in the North part of the country, resistance towards quinoxyfen has only been detected in 2003 in the Champagne region. According to the local situation, it so important to adapt the treatment schedules to keep a convenient efficacy for the fungicide treatment and to restrict the development of emerging resistances.

Key-words: *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici*, resistance, SBIs, strobilurins, quinoxyfen.

INTRODUCTION

L'oïdium du blé *Erysiphe graminis* DC f. sp. *tritici* (syn. *Blumeria graminis*) est un champignon pathogène important de cette culture en France. Sa nuisibilité atteint 10 Qx/ha sur les variétés cultivées sensibles, en cas d'attaque précoce en sortie d'hiver. Les attaques tardives (après 2 nœuds) sont peu dommageables. Les premières attaques, lorsqu'elles ont lieu à l'automne (cas en 2006 dans le grand quart Nord Est de la France), peuvent être observées dès le stade première feuille sous la forme d'un feutrage blanc-crème, poudreux (forme asexuée du champignon), générant les conidies, responsables de la dispersion de la maladie (par le vent, essentiellement). La forme sexuée de la maladie est visible en fin de saison, par l'apparition de ponctuations noires à la surface des feuilles, les cléistothèces, générant les spores sexuées ou ascospores. La maladie se conserve en hiver sous la forme de conidies, ascospores ou mycélium, infectant les résidus de culture, les repousses de blé ou les graminées sauvages (Jarvis *et al*, 2002).

En situation à risque, l'oïdium fait l'objet, conjointement à d'autres champignons pathogènes du blé, de 1 à 2 traitements phytosanitaires par saison. Le premier, au stade 1-2 nœuds cible plus particulièrement ce parasite. Les populations françaises d'oïdium du blé montrent une grande variabilité de sensibilité aux différents fongicides homologués (Walker et Leroux, 2003 ; Walker *et al*, 2004). Cet article vise à établir un état des lieux des résistances rencontrées en France à partir des résultats des expérimentations au champ entre 1998 et 2005, et des monitorings conduits entre 2002 et 2005. Ces résultats ont été obtenus par le groupe de travail « Résistance des maladies du blé aux fongicides » de l'AFPP, constitué de représentants du SPV, d'Arvalis Institut du Végétal, de l'INRA et des différentes sociétés phytosanitaires.

Les fongicides utilisés pour lutter contre l'oïdium du blé, leur mode d'action et les mécanismes de résistance associés sont présentés dans le tableau II. Les résultats de monitoring par matière active sont synthétisés dans le tableau I. L'efficacité des différentes spécialités est présentée dans les figures 1 à 5.

MATERIEL ET METHODE

1. ANALYSES *IN-VITRO* DE SENSIBILITE DE L'OÏDIUM DU BLE AUX FONGICIDES (Walker *et al*, 2003 et 2004)

Les populations d'oïdium sont isolées à partir des conidies collectées sur une vingtaine de feuilles de blé oïdiées, issues du témoin de l'essai. L'oïdium étant biotrophe obligatoire, les isolats sont cultivés sur feuilles de blé en survie sur un milieu gélosé et incubés pendant 10 jours à 17°C, photophase 16h.

La sensibilité des populations à l'azoxystrobine, au quinoxifène et à la fenpropidine est analysée par inoculation à sec des conidies sur des fragments de feuilles de blé (10 répétitions par dose) traitées. Les traitements sont réalisés à l'aide d'une tour de Burgerjon ; une à 2 doses discriminantes sont utilisées par fongicide, en plus du témoin traité à l'eau distillée.

La résistance aux triazoles est réalisée par un test de PCR allèle-spécifique, permettant de détecter dans les populations la présence de la mutation Y136F.

2. ESSAIS D'EFFICACITE DES FONGICIDES AU CHAMP (figures 1 à 5)

L'efficacité au champ des fongicides est évaluée par un dispositif en 4 blocs de Fisher, avec parcelles de 20 à 30 m² ; 1 traitement unique est appliqué au stade BBCH 31, selon les modalités suivantes en 2005 : Cyproconazole : 80 g MA/ha ; Fenpropidine : 562,50 g MA/ha ; Quinoxifène : 150 g MA/ha ; Cyprodinil : 750 g MA/ha ; Azoxystrobine : 250 g MA/ha ; Epoxiconazole + Krésoxim-méthyl : 125 + 125 g MA/ha ; CQF (mélange 3 voies cyproconazole, quinoxifène, fenpropidine) : 80 + 150 + 562.50 g MA/ha.

Au moins 3 notations (% de surface foliaire infestée) à des stades différents de la culture sont effectuées, permettant de comparer préventivité et curativité des produits. Les efficacités par étage foliaire sont rapportées à l'infestation du témoin.

RESULTATS

1. LES PRODUITS A FAIBLE ACTIVITE INTRINSEQUE : SOUFRE ET CYPRODINIL

L'utilisation du soufre (multisites) et du cyprodinil (anilinopyrimidines) reste anecdotique de part leur activité intrinsèque limitée. Le soufre n'est pas concerné par la résistance, du fait de son mode d'action multisite. L'efficacité pratique du cyprodinil, globalement décroissante depuis 1998 (figure 5) pourrait être corrélée avec une dérive de sensibilité observée au laboratoire par Rougerie *et al*, 2000.

2. LES INHIBITEURS DE LA BIOSYNTHESE DES STEROLS (IBS)

2.1 Les triazoles

Les triazoles sont homologués sur oïdium en France depuis le début des années 80 et leur utilisation s'est rapidement généralisée. Les triazoles appartiennent au groupe des IDM ou inhibiteurs de la 14 α -déméthylation des stérols ; ce sont des fongicides pénétrants ou systémiques, possédant un assez bon effet curatif. La résistance à cette classe de fongicides, de niveau faible à moyen, est généralisée en France (93,7 à 100 % des populations avec présence de l'allèle résistant, selon les années ; tableau I) et la résistance est associée à une modification de la cible de ces fongicides (mutation Y136F sur le gène *CYP51* codant pour la 14 α -déméthylase ; Delye *et al*, 1998). Cette situation explique les échecs de traitement et les baisses d'efficacité régulièrement rapportées en pratique depuis les années 1980. Aujourd'hui, l'efficacité résiduelle de la plupart des triazoles est insuffisante pour qu'ils soient utilisés contre l'oïdium. Certains d'entre eux, toutefois, ont conservé une assez bonne efficacité, souvent comparable à celle des amines (cyproconazole, fluquinconazole et tétraconazole notamment) (figure 5), mais leur persistance d'action est moyenne et ils protègent mal les feuilles non sorties lors de l'application du fongicide.

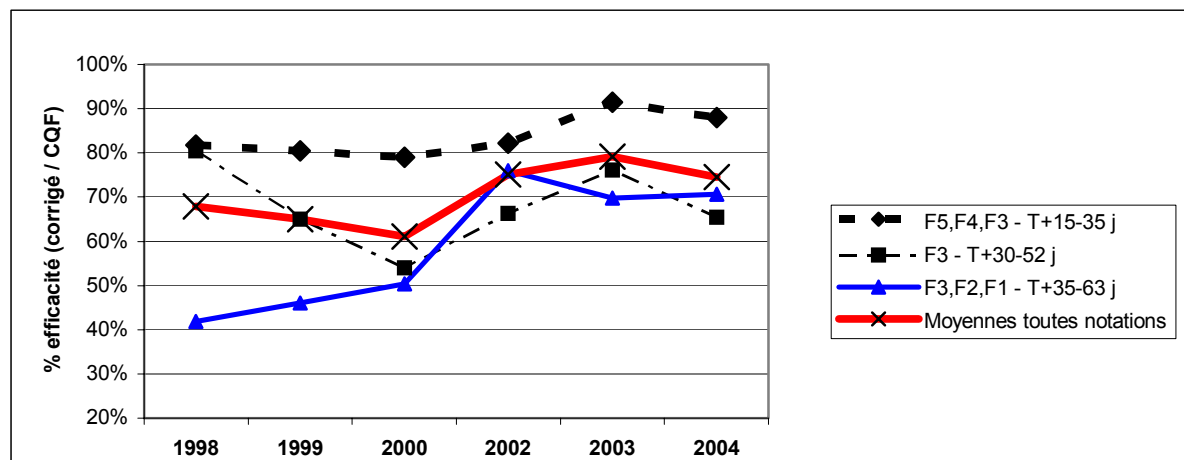
2.2 Les amines

Ces fongicides IBS, du fait de leur fonction amine, inhibent la Δ 14-réduction des stérols. Il s'agit des morpholines (fenpropimorphe), pipéridines (fenpropidine) et spirocétalamines (spiroxamine). La résistance, croisée entre ces produits, est présente essentiellement dans la moitié Nord de la France (64 à 76 % de populations résistantes, respectivement en 2004 et 2005) ; le déterminisme moléculaire est inconnu.

En pratique, la résistance croisée entre morpholines, pipéridines et spirocétalamines affecte plus ou moins leurs performances (Godet et Limpert, 1998) (figures 3 à 5). A la fin des années 1990, il était possible d'observer un gradient d'efficacité croissant au champ : fenpropimorphe < spiroxamine < fenpropidine, mais avec l'arrêt de commercialisation du fenpropimorphe seul, l'efficacité de ce dernier dans les essais est remontée, notamment en terme de persistance d'action (efficacité sur feuilles hautes lors des notations tardives : figure 1).

Figure 1 : Evolution de l'efficacité du fenpropimorphe sur différents étages foliaires (essais AFPP)

Evolution of fenpropimorph efficacy on several foliar stages (AFPP trials)



En 2005, les essais menés par Arvalis et les Services de la Protection des Végétaux ont montré une efficacité équivalente des 3 substances actives de la famille chimique (avec une petite supériorité, régulière mais non significative dans les essais, du fenpropimorphe et de la fenpropidine sur la spiroxamine).

Du fait de leur action curative et de leur efficacité moyenne sur les organes non formés lors du traitement, ces produits sont à privilégier pour les traitements tardifs (stade 2 nœuds).

3. LES STROBILURINES

Les strobilurines, introduites pour lutter contre les maladies des céréales depuis la fin des années 90 ont rapidement été contournées par la résistance puisque les premières souches d'oïdium résistantes ont été détectées dès 1998 en Allemagne. En France, cette résistance est très largement implantée en particulier au Nord de la Loire (84 à 100 % de populations résistantes, selon les années ; tableau I) (Anonyme, 2004), même si des souches résistantes sont détectées dans le Sud-Ouest depuis 2005. Les niveaux de résistance sont particulièrement élevés (de l'ordre de 200) et les souches résistantes souvent largement majoritaires par rapport aux souches sensibles. Les strobilurines sont des inhibiteurs de la respiration cellulaire puisqu'ils affectent le fonctionnement du cytochrome b, un des composants du complexe mitochondrial III. La résistance est associée à la mutation G143A sur le gène du cytochrome b (Sierotzki *et al*, 2000 ; Fraaije *et al*, 2000), mutation également rencontrée chez de nombreux champignons phytopathogènes résistants aux QoI.

En pratique, l'efficacité au champ est devenue très faible dans les régions Nord de la France, même pour la meilleure d'entre elles, le krésoxim-méthyl (figure 3). Les strobilurines ne doivent plus y être considérées comme des anti-oïdium efficaces. En revanche, leur efficacité semble conservée dans le Sud de la France (figure 4).

4. LES PHENOXYQUINOLEINES

Le quinoxifène (famille des phénoxyquinoléines) est l'avant dernière molécule anti-oïdium spécifique introduite sur le marché français des fongicides céréales (1998 ; Bernhard *et al*, 2002). Il présente un mode d'action original car il perturbe la signalisation cellulaire (notamment la reconnaissance hôte-parasite), limitant ainsi la germination et/ou la formation des appressoria (Wheeler *et al*, 2003). C'est un produit présentant un effet vapeur intéressant et une persistance d'action de l'ordre de 8 semaines.

Les premières populations résistantes au quinoxifène ont été détectées en 2001 dans le Nord de l'Allemagne (monitoring aérien effectué par Dow Agrosiences), dans une région à forte pression de maladie et où 3 traitements à base de quinoxifène par saison avaient

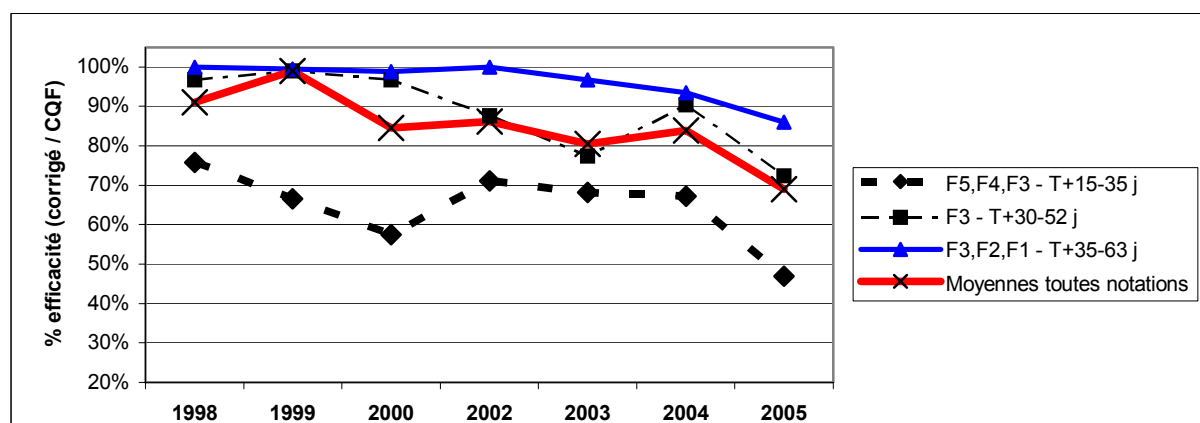
régulièrement été appliqués. En France, la résistance est principalement rencontrée en Champagne, depuis 2003. En 2004 et 2005, des populations résistantes ont également été détectées ponctuellement en Picardie, Ile de France et Haute-Normandie. La fréquence des populations résistantes varie de 22 à 36 % selon les années pour l'échantillonnage national (tableau 1); en 2005, pour les populations de Champagne, les populations résistantes au quinoxyfène représentaient 66 % des cas.

En pratique, l'efficacité du quinoxyfène ne semble pas compromise sur l'ensemble des essais du réseau AFPP puisqu'il reste la meilleure référence (figures 3 à 5), lorsqu'il est positionné à son optimum, en application préventive. En Picardie, Ile de France et Haute-Normandie, aucune incidence pratique sur l'efficacité au champ du produit n'a encore été observée. En Champagne en revanche, la comparaison de résultats d'efficacité en situation de sensibilité normale et de résistance au quinoxyfène montre régulièrement des différences, mais celles-ci sont hétérogènes selon les sites (entre 30% et 60% d'efficacité sur les sites où la résistance est implantée depuis plus d'un an) et difficiles à quantifier avec précision dans le contexte de ces expérimentations (figure 5).

En raison de l'action strictement préventive de cette molécule et de sa bonne persistance d'action (faible efficacité sur feuilles touchées, mais bonne protection des feuilles non sorties lors du traitement : figure 2) elle est à privilégier pour les traitements précoces, à l'apparition des premiers symptômes, dans les situations à fort risque oïdium.

Figure 2 : Evolution de l'efficacité du quinoxyfène sur différents étages foliaires (essais AFPP)

Evolution of quinoxyfen efficacy on several foliar stages (AFPP trials)



5. BILAN : EVOLUTION COMPAREE DE L'EFFICACITE DES ANTI-OÏDIUM ACTUELS ET DISPARITES REGIONALES (figures 3 à 5)

L'efficacité des différents anti-oïdium en France est très différente selon que l'on se trouve dans les régions Nord, où les populations résistantes sont très présentes et semblent en constante évolution, ou dans les régions Sud où les souches résistantes sont peu fréquentes et sans impact sur l'efficacité des fongicides.

Globalement, en moyenne dans le réseau d'essais AFPP du Nord de la France, le quinoxyfène et les amines sont les meilleures références anti-oïdium, suivies d'assez près par certains triazoles, comme le cyproconazole. Cependant, l'examen détaillé des différentes dates de notation montre que la moyenne d'efficacité du quinoxyfène est nettement tirée vers le bas par les notations précoces effectuées sur les étages foliaires inférieurs, et vers le haut par les notations tardives sur les étages foliaires supérieurs (préventivité et persistance d'action) ; la situation est inversée pour les IBS. Le cyprodinil, l'azoxystrobine et l'association krésoxim-méthyl + époxiconazole voient quant à eux leur efficacité globalement diminuer au cours du temps, pour atteindre un niveau très bas en 2005.

Dans les 2 essais situés dans les régions Sud, on retrouve en revanche pour l'ensemble des produits les efficacités relevées lors des essais de mise sur le marché, en absence de résistance. Le krésoxim-méthyl (meilleure strobilurine sur oïdium) conserve toute son efficacité, ainsi que le quinoxifène. L'azoxystrobine montre une efficacité plus moyenne, mais normale compte-tenu des résultats obtenus sur oïdium lors de l'homologation de cette strobilurine, tout comme d'ailleurs le cyprodinil dont l'efficacité, certes intrinsèquement réduite, est nettement supérieure à ce qu'elle est dans les régions Nord de la France. Concernant les produits plus curatifs, la fenpropidine conserve une excellente efficacité sur les feuilles sorties lors du traitement, mais inférieure à celle des produits précédents sur les feuilles hautes. Le constat est similaire pour le cyproconazole, mais avec une efficacité moindre et surtout la moins bonne persistance d'action de la série d'essais.

6. LES NOUVELLES MOLECULES

Dans ce contexte de résistance multiple aux différents fongicides anti-oïdium sur blé, la mise sur le marché prochaine de nouvelles matières actives (métrafénone, homologuée en février 2006 en France ; cyflufénamid ; proquinazid) peut apporter des outils intéressants pour lutter contre cette maladie et établir des stratégies anti-résistance plus efficaces.

La métrafénone appartient à la nouvelle famille des benzophénones. C'est un fongicide systémique à activité préventive (réduction de la sporulation et de la pénétration des appressoria) et curative (déformations des hyphes mycéliens, réduction de la sporulation) (Opalski *et al*, 2006), efficace sur l'oïdium et le piétin-verse des céréales. La métrafénone interfère avec la morphogénèse des hyphes et le maintien de la polarité cellulaire et en particulier de l'organisation du réseau d'actine. Elle est supposée perturber la voie métabolique régulant l'organisation du cytosquelette (actine principalement).

Le proquinazid est un nouveau fongicide appartenant à la famille des quinazolinones. Cet anti-oïdium spécifique se positionne en traitement préventif et présente une forte persistance d'action, en particulier grâce à un effet vapeur intéressant. Il agit en perturbant la germination des conidies d'oïdium (élongation du filament mais absence de formation des appressoria). Toutes ces caractéristiques biologiques présentent des similitudes avec celles évoquées pour le quinoxifène. Les mécanismes biochimiques précis, à l'origine de cette inhibition ne sont pas encore connus (Bertin *et al*, 2004).

Le cyflufénamid appartient à la nouvelle famille des amidoximes. Ce produit est efficace contre différents oïdiums *et Monilia fructicola* sur fruits à noyaux. Le cyflufénamid présente une action préventive et curative ; il possède un effet translaminaire et une bonne persistance d'action grâce à un effet vapeur non négligeable (Haramoto *et al*, 2006b). Ce produit inhibe significativement la formation des haustoria, des colonies et des spores. Il inhibe l'élongation des filaments de *M. fructicola* ; les hyphes sont raccourcis, renflés et montrent des anomalies de vacuolisation. Le mode d'action biochimique reste encore inconnu ; ce produit n'affecte ni la respiration mitochondriale, ni la biosynthèse des stérols et de la chitine, ni l'intégrité des membranes (Haramoto *et al*, 2006a).

Ces nouvelles molécules, appartenant à des familles différentes de celles actuellement utilisées contre l'oïdium, vont permettre de nouvelles associations et alternances dans les programmes. Leur utilisation doit s'accompagner d'une vérification de l'absence de résistance croisée avec les familles actuelles et d'un monitoring efficace dès le début de leur mise sur le marché.

CONCLUSION

Après plusieurs saisons avec une faible pression d'oïdium, les campagnes 2004 et surtout 2005 ont rappelé l'intérêt de la protection contre cette maladie dans les secteurs à risque et sur les variétés sensibles. Des dérives d'efficacité sont observées en 2005 sur l'ensemble des fongicides anti-oïdium homologués sur blé en France, et les populations multirésistantes à 3 voire 4 familles chimiques ne sont pas rares. Ce contexte montre tout l'intérêt de surveiller les sensibilités des populations d'oïdium du blé aux fongicides par le biais d'essais

d'efficacité et de tests de laboratoire, notamment pour les résistances émergentes (quinoxifène) ou les nouvelles familles chimiques en attente d'homologation (métrafénone, cyflufenamid et proquinazid). Plusieurs méthodes sont disponibles et permettent d'apporter des informations utiles à la préconisation des programmes de traitement. Les stratégies de traitement sont à optimiser localement, en fonction des résistances identifiées et des matières actives présentant une efficacité résiduelle. Mais quelle que soit la situation, la gestion de l'oïdium passe aujourd'hui avant tout par le choix d'une variété résistante dans les parcelles à risque. En cas de besoin, les interventions chimiques associant plusieurs modes d'action ralentiront l'apparition ou le développement des populations résistantes, et montrent régulièrement une efficacité optimisée dans les essais.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier les membres de la commission « Résistance des Maladies des Céréales » de l'AFPP et tous les anonymes qui ont collecté les échantillons sur le terrain et suivi les différents essais. Ils remercient également la société Dow Agrosciences qui a collecté un grand nombre d'échantillons de blé oïdié en dehors du réseau AFPP et dont les résultats ont été intégrés dans ce travail.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Anonyme, 2004 - Résistance aux fongicides : maladies des céréales à paille. Etat des lieux et recommandations pour 2004. D'après la note commune INRA, SPV, ARVALIS-Institut du Végétal. *Phytoma-La défense des Végétaux*, **571**, 16-18.
- Bernhard U., Leader A., Longhurst C., Felsenstein F.G., 2002 – Quinoxifène – resistance management and sensitivity monitoring in wheat : 1995-2000. *Pesticide Management Science*, **58**, 972-974.
- Bertin G, Cagnieul P, Genet JL, Gasnier I, 2004 – Proquinazid : un nouvel anti-oïdium pour les céréales et la vigne. AFPP – 19^{ème} conférence du Columa – Dijon – 8, 9 et 10 décembre 2004.
- Delye C, Bousset L, Corio-Costet M.-F, 1998 – PCR cloning and detection of point mutations in the eburicol 14 α -demethylase (CYP51) gene from *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei*, a "recalcitrant" fungus. *Current Genetics*, **34**, 399-403.
- Fraaije B.A., Butters J.A., Hollomon D.W., 2000 – *In planta* genotyping of *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* isolates for strobilurin-resistance using fluorometric allele-specific PCR assay. *AFPP – Sixième conférence internationale sur les maladies des plantes, Tours, 6-7-8 décembre 2000*, 779-786.
- Jarvis WR., Gubler WD., Grove GG., 2002. Epidemiology of powdery mildews in agricultural pathosystems. In "The powdery mildews. A comprehensive treatise". 169-199.
- Haramoto M., Yamanaka H., Sano H., Sano S., Hotani H., 2006a – Fungicidal activities of cyflufenamid against various plant-pathogenic fungi. *Journal of Pesticide Science*, **31(2)**, 95-101.
- Haramoto M., Yamanaka H., Hosokawa H., Sano H., Sano S., Hotani H., 2006b – Control efficacy of cyflufenamid in the fields and its fungicidal properties. *Journal of Pesticide Science*, **31(2)**, 116-122.
- Godet F., Limpert E., 1998 - Recent evolution of multiple resistance of *Blumeria (Erysiphe) graminis* f. sp. *tritici* to selected DMI and morpholine fungicides in France. *Pesticide Science*, **54**, 244-252.
- Opalski K., Tresch S., Kogel KH., Grossman K., Köhle H., Hüchelhoven R., 2006 – Metrafenone : studies on the mode of action of a novel cereal powdery mildew fungicide. *Pest Management Science*, **62**, 393-401.
- Readshaw AE., Heaney SP., 1994. Fenpropimorph sensitivity in *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* ; survey of Northern France 1991-1993. *BCPC Monograph*, **60**, 297-302.

Rougerie I., Bernhard U., Longhurst C., Felsenstein FG., 2000 – Quinoxyfen – Sensibilité des populations d'oïdium du blé et étude de résistance croisée (1995-1999). *AFPP – Sixième conférence internationale sur les maladies des plantes, Tours, 6-7-8 décembre 2000*, 827-834.

Sierotzki H., Wullschleger, Gisi U., 2000 – Point mutation in Cytochrome *b* gene conferring resistance to strobilurin fungicides in *Erysiphe graminis* f. sp. *tritici* field isolates. *Pesticide Biochemistry and physiology*, 68 (2), 107-112.

Walker AS., Leroux P., 2003. Sensibilité des populations françaises d'oïdium du blé à différents fongicides : méthodologies et premier résultats. *AFPP – Septième conférence internationale sur les maladies des plantes, Tours, 3-4-5 décembre 2003*.

Walker AS., Leroux P., Bill L., Wilhelm L., Caron D., 2004 - Oïdium du blé : quelles résistances aux fongicides en France? *Phytoma – La Défense des Végétaux*, 577. 49-54.

Wheeler IE., Hollomon DW., Gustafson G., Mitchell JC., Longhurst C., Zhang Z., Gurr SJ., 2003. Quinoxyfen perturbs signal transduction in barley powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). *Molecular Plant Pathology*, 4(3), 177-186.

Tableau I : Evolution de la résistance de l'oïdium du blé à différents fongicides, mesurés par le monitoring (AFPP + Dow AS) entre 2002 et 2005^d.

Evolution of wheat powdery mildew resistance to several fungicides, after the monitoring (AFPP + Dow AS) undertaken between 2002 and 2005^d.

% ^c	Quinoxyfène ^a		Azoxystrobine ^a		Fenpropidine ^a		IDM ^b		
	S	R	S	R	S	R	S	R	RS
2002							0	33	67
									N = 30
2003	88	22	0	100			11,2	22,2	66,6
	N = 55		N = 15						N = 18
2004	65,1	34,9	18	82	35,8	64,2	6,2	25	68,8
	N = 86		N = 28		N = 28				N = 16
2005	64	36	16	84	24	76	0	41	59
	N = 77		N = 31		N = 34				N = 27

^a test biologique utilisant 1 à 2 doses discriminantes ; phénotype résistant (R) ou sensible (S)

^b test moléculaire allèle spécifique sur la mutation Y136F ; présence unique de l'allèle sensible (S), de l'allèle résistant (R) ou des 2 allèles (RS) dans les populations testées

^c résultats exprimés en % de chaque phénotype ou génotype par rapport à l'effectif indiqué (N)

^d ces résultats d'évolution de fréquence des résistances dans l'échantillonnage d'une année donnée ne tiennent pas compte des disparités régionales, en particulier pour le quinoxyfène et l'azoxystrobine

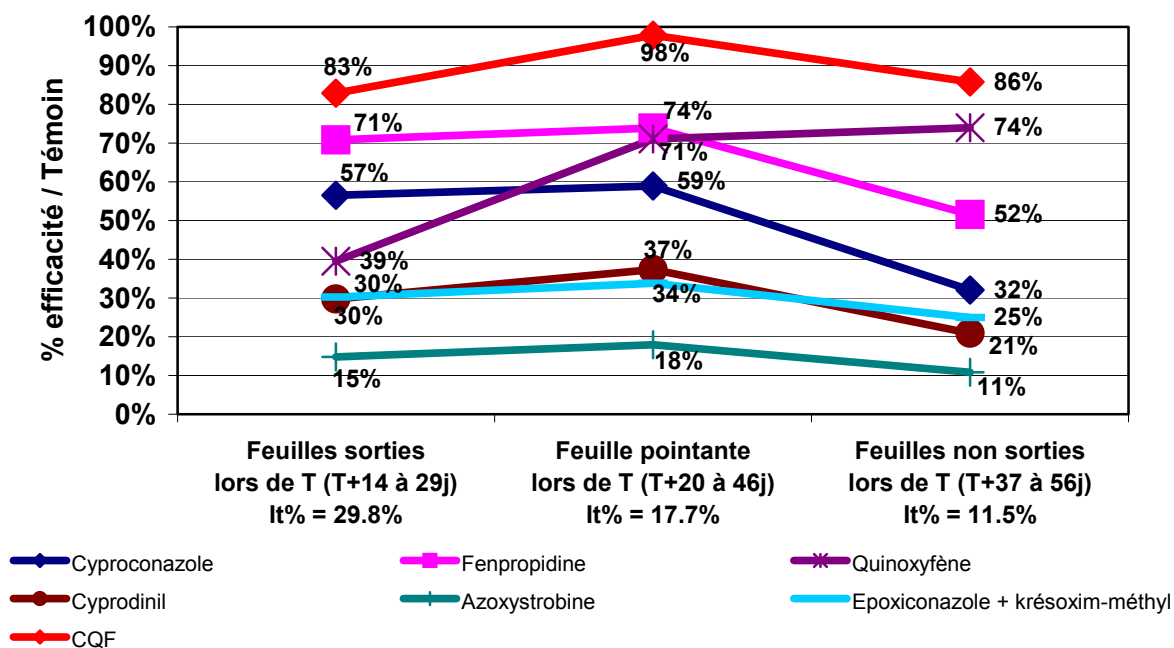
Tableau II : Principaux fongicides utilisés contre l'oïdium du blé, mode d'action et mécanismes de résistance

Main fungicides used against wheat powdery mildew, mode of action and mechanisms of resistance

Familles chimiques		Matières actives	Mode d'action	Statut de la résistance (France)	Mécanisme de résistance
Multisites		Soufre	Multiple, dont respiration	ND	-
IBS (Inhibiteurs de la Biosynthèse des Stéroïdes)	IDM	Triazoles	Cyproconazole Fluquinconazole Tébuconazole Tétraconazole ...	Généralisée NR faible à moyen	Mutation de la cible Y136F
		Amines	Morpholines		Fenpropimorphe
	Pipéridines		Fenpropidine		
	Spirocétalamines		Spiroxamine		
Strobilurines (Qol)		Krésoxim-méthyl Trifloxystrobine ...	Respiration : Inhibition cytochrome b	Généralisée moitié Nord NR fort	Mutation de la cible G143A
Anilinopyrimidines		Cyprodinil	Métabolisme des acides aminés : Inhibition de la cystathionine β -lyase ?	Dérive d'efficacité ?	?
Phénoxyquinoléines		Quinoxyfène	Perturbation de la signalisation cellulaire (protéine G ?)	Champagne principalement + ponctuellement Picardie et Ile-de-France NR fort	Inconnu
Quinazolinones		Proquinazid	Inconnu	ND	-
Amidoximes		Cyflufénamid	Inconnu	ND	-
Benzophénones		Métrafénone	Régulation de l'organisation du réseau d'actine ?	ND	-

ND : Non Détecté en France ; NR : Niveau de Résistance

Figure 3 : Synthèse des résultats d'efficacité des essais réalisés en 2005 par le réseau AFPP dans les régions du Nord de la France (moyenne sur 10 essais exploitables)
 Results of efficacy field trials undertaken by the AFPP network in Northern France (mean out of 10 reliable trials)



It% : pourcentage moyen de surface foliaire touchée par l'oïdium dans le témoin, sur le ou les étages considérés.

Les résultats sont donnés en fonction de la date de notation (écart en jours par rapport au jour du traitement = T) et des étages foliaires, en séparant les étages foliaires sortis lors du traitement (généralement F5 et F4) de l'étage foliaire pointant (généralement F3) ou sortis après le traitement (F2 et F1).

Figure 4 : Résultats d'efficacité des 2 essais réalisés en 2005 par le réseau AFPP dans le Sud de la France (Haute-Garonne et Aude).

Results of 2 efficacy field trials undertaken by the AFPP network in Southern France (Haute-Garonne and Aude)

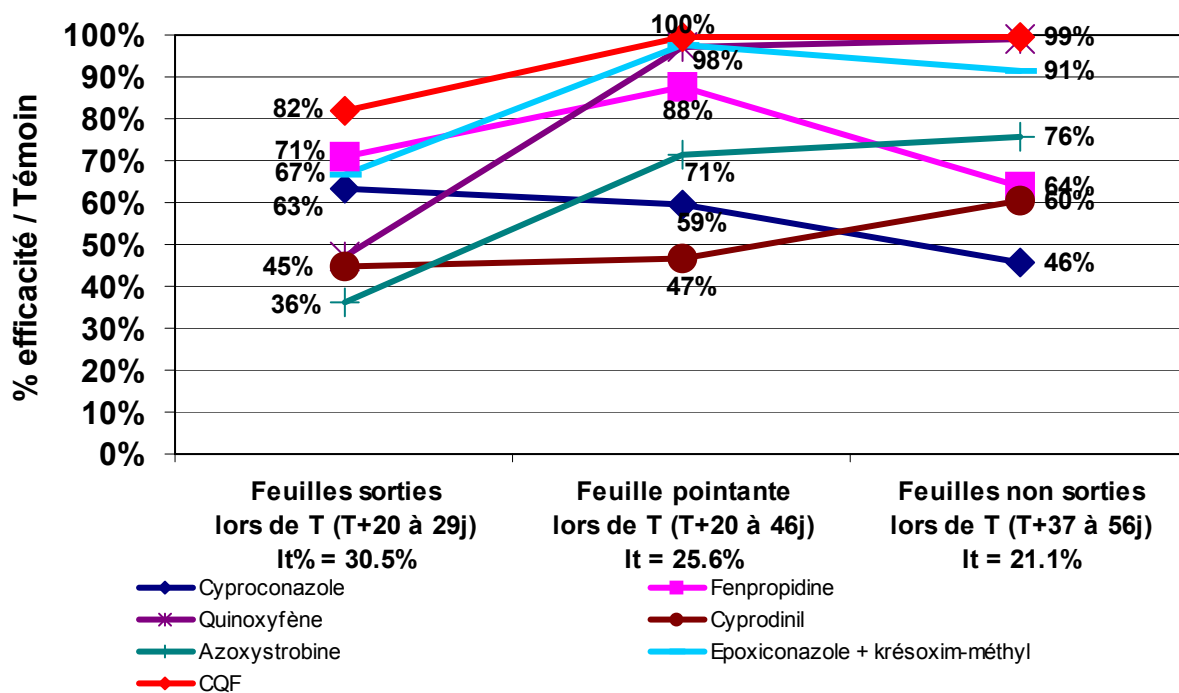
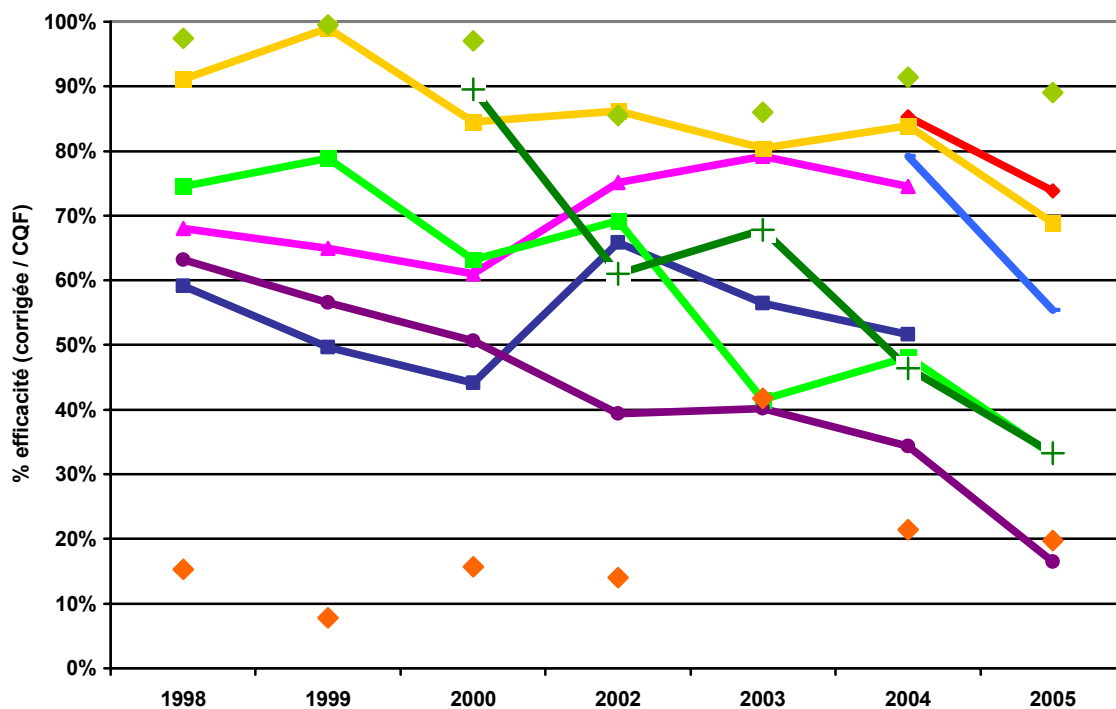


Figure 5 : Evolution de l'efficacité^a dans les régions Nord de la France (moyenne sur toutes les notations) des différentes familles fongicides testées par le réseau AFPP.

Evolution of efficacy in Northern France (mean out of all notations) for several fungicides classes tested by the AFPP network.



^a Pour diminuer le biais lié à l'année et ne prendre en compte que les évolutions d'efficacité dues aux résistances, les efficacités sont rapportées à celle du mélange 3 voies (cyprodinil/quinoxyfène/fenpropimorphe jusqu'en 2004 et cyproconazole/quinoxyfène/fenpropidine en 2005).