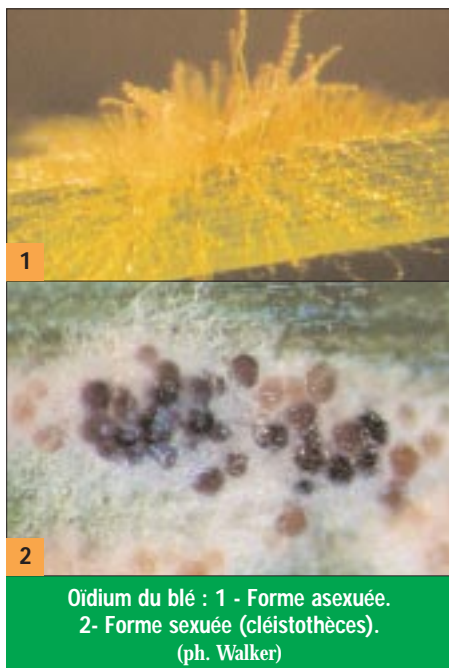


résistances aux fongicides en France ?

A.S. Walker*, P. Leroux*, L. Bill*, E. Wilhelm** et D. Caron***



Oïdium du blé : 1 - Forme asexuée.
2 - Forme sexuée (cléistothèces).
(ph. Walker)

En matière de résistance des maladies des céréales aux fongicides, à côté de la septoriose, il ne faut pas oublier l'oïdium du blé.

En effet cette maladie est nuisible dans les conditions françaises, et son agent *Erysiphe graminis* (syn. *Blumeria graminis*) est lui aussi capable de résister à des fongicides.

De plus, il adopte des comportements bien différents selon les familles de fongicides : des strobilurines gravement touchées au soufre pas concerné du tout... En passant par le cyprodinil (pas de résistance mais une sournoise dérive), le quinoxyfène (d'une part en France une résistance localisée sans perte d'efficacité, d'autre part en Allemagne une résistance qui s'étend géographiquement mais ne s'intensifie pas là où elle est présente depuis 2001) et les IBS⁽¹⁾, lesquels ne sont pas tous à la même enseigne ! Récapitulons.

L'oïdium du blé *Erysiphe graminis* DC f. sp. *tritici* (syn. *Blumeria graminis*) est un champignon pathogène majeur de cette culture en France. Les premières attaques sont visibles dès le stade première feuille sous la forme d'un feutrage blanc-crème, poudreux (forme asexuée du champignon), générant les conidies (ph. 1), responsables de la dispersion de la maladie (par le vent surtout). Les conidies germent en quelques heures à la surface des organes et conduisent après 24 heures à la formation d'un appressorium traversant la membrane épidermique puis d'un haustorium ou suçoir. À la surface des feuilles, le mycélium contamine les tissus et génère les conidiophores (Viennot-Bourgin, 1949).

Les contaminations peuvent avoir lieu entre 3 °C et 31 °C (optimum 17 °C). Si l'oïdium peut germer par temps sec, les contaminations sont cependant largement favorisées par des humidités relatives élevées, à condition toutefois d'éviter l'eau libre.

La forme sexuée de la maladie est visible en fin de saison : il y a apparition de ponctuations noires à la surface des feuilles, les cléistothèces (ph. 2), générant les spores sexuées ou ascospores.

La maladie se conserve en hiver sous la forme de

conidies, d'ascospores ou de mycélium, infectant les résidus de culture, les repousses de blé ou les graminées sauvages (Jarvis *et al.*, 2002).

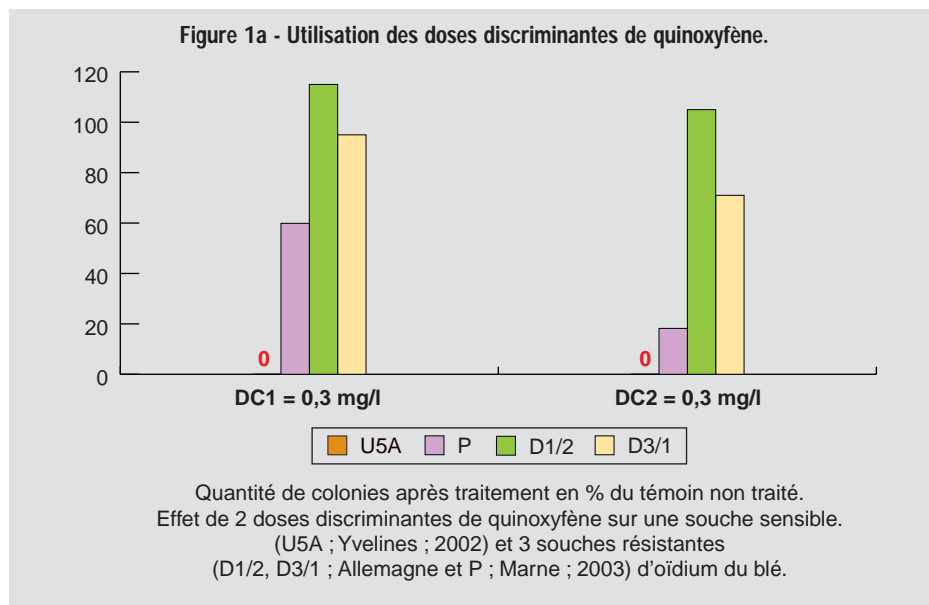
En situation à risque, l'oïdium fait l'objet, conjointement à d'autres champignons pathogènes du blé, d'un à deux traitements phytosanitaires par saison. Le premier, au stade 1-2 nœuds, cible plus particulièrement ce parasite. Cependant, comme beaucoup de maladies des plantes soumises à ce type de pression sélective, les populations françaises d'oïdium du blé montrent une grande variabilité de sensibilité aux différents fongicides homologués.

Cet article vise donc à faire un état des lieux des résistances rencontrées en France à partir des données disponibles au moment de la rédaction : résultats des monitorings 2001, 2002, 2003 et 2004.

Le soufre, non concerné par la résistance

Le soufre est le plus ancien fongicide d'origine chimique (premières applications pendant les grandes épidémies d'oïdium de la première moitié du XIX^e siècle).

Utilisé de manière traditionnelle pour lutter pré-



* INRA, Unité de Phytopharmacie et Médiateurs Chimiques, 78026 Versailles. Contact : walker@versailles.inra.fr

** DRAF-SRPV, Champagne-Ardennes, 51100 Reims

*** ARVALIS-Institut du Végétal, Station Inter Instituts, 31450 Bazège.

(1) Inhibiteurs de la biosynthèse des stéroïdes.

ventivement contre les oïdiums de nombreuses cultures, il possède un mode d'action multi-sites, c'est-à-dire qu'il affecte plusieurs cibles biochimiques des cellules fongiques (en particulier la respiration) et réduit ainsi la germination des conidies, même si la persistance d'action reste limitée. Cette multiplicité de sites d'action explique l'efficacité constante de ce produit et l'absence de développement de résistance à ce jour. Ce produit garde cependant une efficacité intrinsèque limitée et reste peu ou pas utilisé en culture de céréales.

Vers une dérive d'efficacité du cyprodinil ?

Le cyprodinil appartient à la famille des anilino-pyrimidines et affecte la biosynthèse de la méthionine, un acide aminé sulfuré. La cible exacte n'est pas connue à ce jour. Aucune résistance à cette matière active n'a pour le moment été décrite, même si une dérive de sensibilité a été signalée (Rougerie, 2000). Cette érosion semble confirmée par les notations effectuées au champ ces dernières années (Figure 3b, page 53) mais ceci n'a pas été depuis vérifié *in vitro* au laboratoire.

Il est à noter que, en pratique, le cyprodinil montre une efficacité intrinsèque limitée sur cette maladie, notamment dans les régions du Nord de la France où il ne constitue pas un anti-oïdium suffisant en cas de forte infestation (Figures 2a et 2b).

Les IBS⁽¹⁾, premiers fongicides historiquement concernés par la résistance

Les triazoles d'abord...

Les triazoles (bromuconazole, cyproconazole, époxiconazole, fenbuconazole, fluquinconazole, flusilazole, flutriafol, hexaconazole, propiconazole, tébuconazole, tétraconazole, triadiménol, triticonazole...) ont été homologués sur oïdium en France depuis le début des années 80 et leur utilisation a rapidement été généralisée.

Les triazoles appartiennent au groupe des IDM ou inhibiteurs de la 14 α -déméthylation, étape de la biosynthèse 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, a été détectée en Europe quelques années après le début de leur utilisation (Buchenauer et Hellwald, 1985).

La résistance à un triazole induit en général la résistance aux autres matières actives de la famille (résistance croisée positive). Des croisements entre souches résistantes et sensibles au triadiménol ont pu être réalisés (Brown, 2002) : la descendance présentait une sensibilité à ce fongicide variable et intermédiaire à celle des parents, indiquant qu'au moins deux gènes, voire plus, étaient impliqués dans la résistance.

Chez l'oïdium de la vigne *Uncinula necator*, la résistance a été corrélée à une mutation majeure du gène CYP51 codant pour l'enzyme à cytochrome P450 éburicol 14 α -déméthylase (Délye *et al.*, 1997). Cette mutation, notée Y136F (l'acide aminé tyrosine est remplacé par la phénylalanine en position 136 du gène) a été retrouvée par la suite chez des souches résistantes d'oïdium de l'orge *Erysiphe graminis* f. sp. *hordei* (Délye *et al.*, 1998). Chez l'oïdium du blé, la même mutation a pu être identifiée dans des populations résistantes (Walker et Leroux, 2003) et peut servir de marqueur moléculaire pour distinguer les isolats résistants des isolats sensibles.

Sur le modèle de l'oïdium de l'orge, un test par PCR allèle spécifique a pu être mis au point : des amorces allèle-spécifiques, portant en leur extrémité 3' soit le nucléotide correspondant au type sauvage, soit le nucléotide muté, permettent d'amplifier spécifiquement un fragment du gène CYP51 selon qu'il est porteur de l'un ou l'autre allèle. Cette méthode a été appliquée en 2001, 2002 et 2004 sur des échantillons prélevés par le groupe de travail AFPP « Résistance des maladies des Céréales ». Les ADN extraits à partir des populations de terrain présentaient tous les deux allèles R et S. Quelques isolements monoconidies réalisés sur des échantillons de 2002 montraient la présence unique de l'allèle résistant. Ces résultats, non quantitatifs, indiquent toutefois une forte présence de l'allèle résistant dans les populations françaises d'oïdium, dans les régions Nord et Sud.

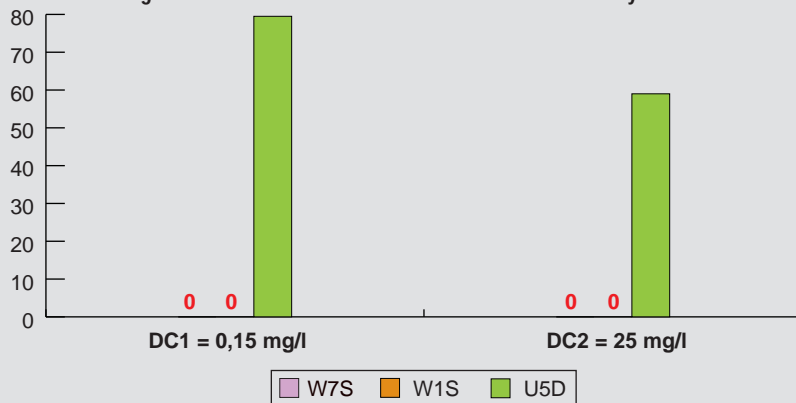
Cette situation explique les échecs de traitement et les baisses d'efficacité régulièrement rapportées en pratique. Il subsiste toutefois une efficacité résiduelle de cette classe de fongicides qui permet encore d'utiliser les meilleurs d'entre eux (cyproconazole, fluquinconazole et tétraconazole notamment) (Figures 2a et 2b).

... les amines ensuite

D'autres IBS, comportant une fonction amine, inhibent une autre enzyme de la biosynthèse des stérols : la Δ 14-réductase. Il s'agit des morpholines (fenpropimorphe), pipéridines (fenpropidine) et spirocétalamines (spiroxamine).

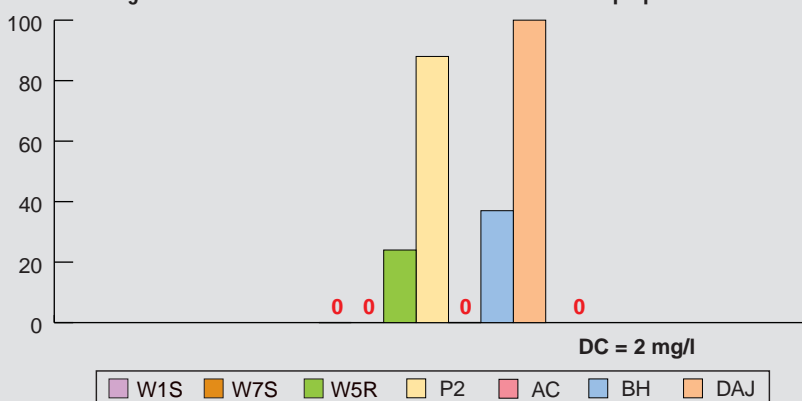
La résistance à ces produits fut détectée dans les années 90 (Felsenstein *et al.*, 1994) en Europe. En France, elle est présente essentiellement dans la moitié Nord. Des échantillons sensibles à la fenpropidine ont été détectés en 2004 en région Midi-Pyrénées. Des analyses montrent qu'il existe une résistance croisée positive entre toutes ces amines. De plus, certains isolats français cumulent la résistance au triadiménol (triazoles) et au

Figure 1b - Utilisation des doses discriminantes d'azoxystrobine.



Quantité de colonies après traitement en % du témoin non traité.
Effet de 2 doses discriminantes d'azoxystrobine sur deux souches sensibles de référence (W1S, W7S) et 1 souche résistante (U5D ; Yvelines ; 2002) d'oïdium du blé.

Figure 1c - Utilisation des doses discriminantes de fenpropidine.



Quantité de colonies après traitement en % du témoin non traité.
Effet d'une dose discriminante de fenpropidine sur deux souches sensibles de référence (W1S, W7S) et 1 souche résistante de référence (W5R), trois populations résistantes (P2, prélevée en 2003 dans la Marne ; BH prélevée en 2004 dans le Nord ; DAJ prélevée en 2004 en Champagne) et d'une population sensible (AC, prélevée en 2004 en Midi-Pyrénées).

fenpropimorphe (résistance double) (Godet et Limpert, 1998), alors que ce n'est pas le cas en Europe centrale ni en Grande-Bretagne (Brown, 2002).

Le déterminisme moléculaire de la résistance à ces trois amines n'a pas été élucidé et tant que le polymorphisme génétique entre isolats sensibles et résistants ne sera pas connu, il sera impossible d'effectuer un monitoring basé sur des méthodes de biologie moléculaire.

Les méthodes biologiques restent cependant tout à fait adaptées et ont été utilisées pour évaluer la sensibilité de différentes populations européennes (Readshaw et Heaney, 1994). En France, ce test a été mis en place en 2004 pour une dose discriminante (Figure 1c).

En pratique, la résistance croisée entre morpholines, pipéridines et spirocétalamines affecte plus ou moins leurs performances. Ces produits restent donc utilisables même s'il est possible d'observer un gradient d'efficacité croissant au champ : fenpropimorphe spiroxamine fenpropidine.

Du fait de leur action curative, ces produits sont à privilégier pour les traitements tardifs (stade 2 nœuds).

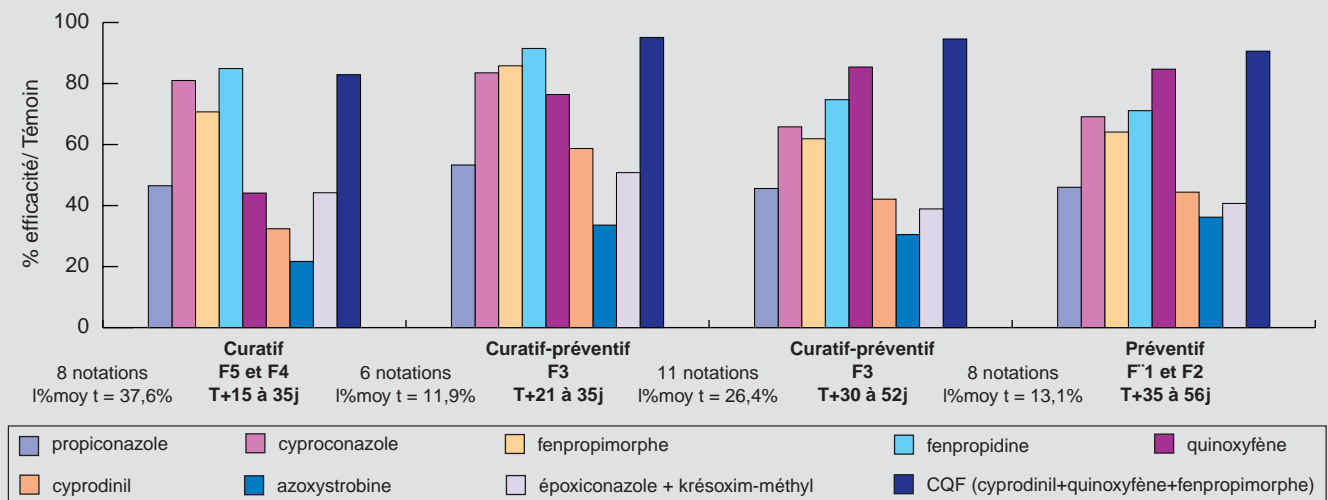
Les strobilurines : une résistance bien installée

Les strobilurines (krésoxim-méthyl, azoxystrobine, trifloxystrobine...), introduites pour lutter contre les maladies des céréales depuis la fin des années 90, ont rapidement été touchées par la résistance : 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 (Anonyme, 2004). 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 (ils affectent le fonctionnement du cytochrome b, un des composants du complexe mitochondrial III). Chez de nombreuses espèces, la résistance est corrélée à au moins une mutation (G143A, la glycine remplacée par l'alanine) affectant le gène du cytochrome b : chez l'oïdium du blé d'abord (Sierotzki *et al.*, 2000), l'oïdium de l'orge, le mildiou de la vigne *Plasmopara viticola*, la tavelure du pommier *Venturia inaequalis*, la cercosporiose du bananier *Mycosphaerella fijiensis*, la septoriose du blé *Septoria*

tritici et, plus largement, pour divers autres champignons phytopathogènes. Sur oïdium du blé, cette mutation peut être utilisée pour détecter les individus résistants dans les populations, selon le même test PCR déjà évoqué et adapté de Fraaije *et al.* (2000).

Les échantillons analysés par cette méthode en 2001 (32) et 2002 (34) ont montré la présence soit des 2 allèles, résistant R et sensible S, pour la très grande majorité des cas, soit de l'allèle R uniquement (1 échantillon en 2001), soit de l'allèle S (2 échantillons en 2001), confirmant la forte implantation de cette résistance en particulier dans une large moitié nord de la France. En 2003, une douzaine de populations prélevées dans ces régions ont été analysées avec un test biologique utilisant 2 doses discriminantes d'azoxystrobine respectivement de 0,5 et 25 mg/l. Toutes les populations testées survivaient à la dose la plus élevée de strobilurines, indiquant que leur niveau de résistance (rapport de la CI50, concentration de fongicide inhibant la survie de 50 % des individus, des populations à tester et des populations sensibles de référence) était au moins supérieur à 125 (résistance confirmée par test PCR) (Figure 1 b). En 2004, un échantillonnage exploratoire en Midi-Pyrénées a

Figure 2a - Efficacité des fongicides anti-oïdium - Moyenne des essais AFPP Nord de la France - 2004.



Synthèse des résultats d'efficacité des essais réalisés en 2004 par le réseau AFPP dans les régions Nord de la France (moyenne sur 7 essais exploitables).

Dispositif en 4 blocs de Fisher, avec parcelles de 20 à 30 m² ; stratégie à un traitement au stade BBCH 31 : propiconazole : 125 g m.a./ha ; cyproconazole : 80 g m.a./ha ; Fenpropimorphe : 750 g m.a./ha ; Fenpropidine : 562,50 g MA/ha ; quinoxyfène : 150 g m.a./ha ; cyprodinil : 750 g m.a./ha ; azoxystrobine : 250 g m.a./ha ; époixiconazole + krésoxim-méthyl : 125 + 125 g m.a./ha ; CQF (mélange 3 voies cyprodinil, quinoxyfène, fenpropimorphe) : 750 + 150 + 750 g m.a./ha.

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

Notation en curatif : notation effectuée sur organes formés au moment du traitement (F5-F4, 25 à 30 jours après le traitement).

Notation en curatif - préventif : notations tardives sur feuilles sorties lors du traitement ou précoces sur feuille pointante lors du traitement (F3, 21 jours après le traitement).

Notation en préventif-curatif : notations tardives effectuées sur feuille pointante au moment du traitement (F3, 30 à 52 jours après le traitement).

Notation en préventif : notation sur organes non formés au moment du traitement (F2-F1, 35 à 56 jours après le traitement)

En moyenne sur 2004, les meilleures efficacités ont été obtenues dans le réseau d'essais AFPP pour la référence 3 voies, le quinoxyfène (sur les positionnements en préventif et en terme de persistance d'action) et la fenpropidine (pour un positionnement en curatif, l'efficacité étant nettement en dessous de celle du quinoxyfène sur les étages foliaires supérieurs).

Pour les deux essais placés en Champagne en présence de souches résistantes au quinoxyfène, la hié-

rarchie en faveur du quinoxyfène sur les étages supérieurs (60-70 % d'efficacité 7 semaines après traitement) est conservée en cas de souches également résistantes à la fenpropidine (40 % d'efficacité sur l'essai de Pomacle), mais gommée sur l'essai de Reims (64 % d'efficacité pour la fenpropidine dont la résistance n'a pas été testée).

Le cyproconazole confirme son rang de bon triazole sur oïdium en se plaçant à un niveau comparable avec celui des morpholines (pas de différences sta-

tistiques établies), voire légèrement meilleur que le fenpropimorphe. Le propiconazole et le cyprodinil restent quant à eux bien en deçà des meilleures références.

Enfin, probablement en raison des résistances largement répandues dans les régions Nord, l'azoxystrobine en solo et le mélange krésoxim-méthyl + époixiconazole présentent des efficacités nettement insuffisantes dans ces situations de pression moyenne à forte de la maladie.

révéla la présence de souches sensibles. En pratique, l'efficacité au champ est régulièrement réduite dans le Nord de la France (Figures 2a et 2b) où les strobilurines ne doivent plus être considérées comme des anti-oïdium efficaces (Anonyme, 2004).

Le quinoxyfène : à surveiller...

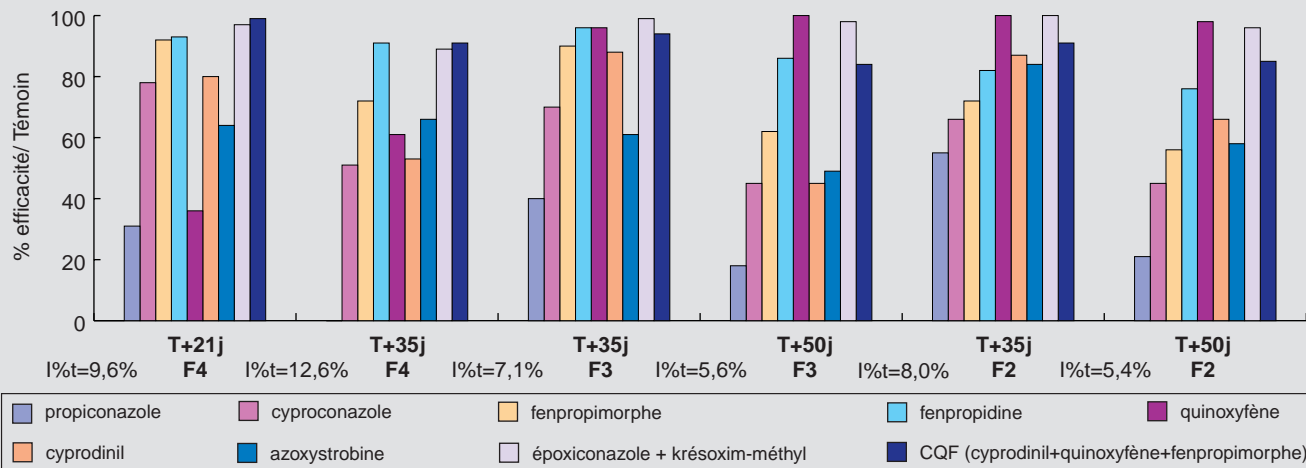
Le quinoxyfène (famille des phénoxyquinoléi-

nes) est la dernière molécule anti-oïdium spécifique introduite sur le marché des fongicides céréales (1997 en Allemagne ; 1998 en France).

Ce fongicide 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). Ce produit présente un effet vapeur intéressant et une per-

sistance d'action de l'ordre de 8 semaines. Les monitorings européens effectués par capture de spores dans l'air et analyse des colonies ainsi isolées ont permis d'établir les lignes de sensibilité de base avant même l'introduction de cette molécule (Bernhard *et al.*, 2002). Les CI50 mesurées étaient homogènes dans l'espace et le temps et aucune résistance croisée avec d'autres familles chimiques n'avaient pu être mise en évidence (Rougerie *et al.*, 2000).

Figure 2b - Essai SRPV LR (Carcassonne-11) - 2004.



Résultats d'efficacité de l'essai réalisé en 2004 par le réseau AFPP dans le Sud de la France (Carcassonne). Le dispositif expérimental est le même que pour la figure 2a. On retrouve dans cet essai les efficacités relevées lors des essais d'homologation des différents produits, en absence de résistance. Le krésoxim-méthyl (meilleure strobilurine sur oïdium) conserve toute son efficacité, ainsi que le quinoxyfène en ce qui concerne les produits à mode d'action préventif. L'azoxystrobine montre une efficacité assez moyenne, mais qui n'est pas en désaccord avec les résultats obtenus sur oïdium lors de l'homologation de cette strobilurine. En ce qui concerne les produits plus curatifs, la fenpropidine conserve une excellente efficacité, mais une persistance d'action moindre que les deux produits précédents. Suivent le fenpropimorphe, le cyprodinil, le cyproconazole et le propiconazole. Il est intéressant de noter que ces deux derniers triazoles semblent avoir une efficacité plus faible dans cet essai du Sud que dans les essais du Nord de la France, ce qui peut corroborer les observations réalisées depuis le milieu des années 1990 et qui semblent montrer une légère augmentation de l'efficacité des triazoles sur oïdium dans les régions septentrionales.

Tableau 1 - Comparaison des efficacités d'un traitement anti-oïdium par le quinoxyfène dans deux essais menés par Arvalis en 2004.

		T0		T0 + 20 jours			T0+ 31 jours		T0 + 45 jours		
		F4	F5	F3	F4	F2	F3	F4	F2	F3	
Bignan (population sensible) Bretagne	Efficacité (%)			50	38	74	53	39	67	75	
	Intensité témoin (%)	5,4	37,6	25	34	8	26	45	12	25	
Prosnes (population résistante) Champagne	Efficacité (%)	T0		T0 + 24 jours			T0 + 35 jours		T0 + 59 jours		T0 + 66 j
							F4-F5-bas de tige		F3		F2-F3
							23		29		12
	Intensité témoin (%)	Oïdium très peu présent ; sur tige uniquement		Oïdium très présent sur tige ; 3 dernières feuilles saines			49		70		53

T0 = jour du traitement.
 L'intensité de l'oïdium dans le témoin est mesurée par le pourcentage de surface foliaire couverte par les colonies. Les deux essais ont reçu le même traitement fongicide : pleine dose de quinoxyfène (Fortress 0,3 l/ha) les 9 ou 13 avril.
 Dans l'essai de Bignan (56), le test biologique de laboratoire montre que la population d'oïdium est sensible au quinoxyfène. La maladie a été plus précoce que dans l'essai champenois ; le quinoxyfène n'a donc été positionné en préventif que sur les plus jeunes feuilles : F3 et F2. Sur la F3, la maladie a rapidement atteint 25 % de surface couverte et s'est stabilisée à ce niveau.
 Dans l'essai de Prosnes (51), le test biologique a révélé la présence de souches résistantes au quinoxyfène, à la fenpropidine et à l'azoxystrobine dans la population d'oïdium présente sur le site (pas d'analyse pour les triazoles). La maladie s'y est développée plus tardivement, avec une intensité globalement plus importante. Le quinoxyfène y a donc été positionné en préventif.
 Lorsque l'on examine ces deux essais, les comparaisons des notations sur F3 à 31-35 jours et à 45-59 jours après le traitement est particulièrement intéressante. Les différences observées dans le développement épidémique de la maladie et le positionnement du traitement ne suffisent pas à expliquer les importantes différences d'efficacité du quinoxyfène. Il faut sans doute y voir une conséquence pratique de la résistance sélectionnée à Prosnes (Champagne). Sans qu'il soit possible de la quantifier finement avec les données présentées, étant donné les interactions possibles avec les composantes « importance de la maladie (25-70 %) » et « positionnement du traitement », elle peut grossièrement être établie, dans les conditions spécifiques de ces essais, à un maximum proche de 30 % de points d'efficacité. Ceci n'est nullement généralisable et cette comparaison doit être poursuivie lors des prochaines campagnes.

Les premières populations résistantes au quinoxyfène ont été détectées en 2001 dans le nord de l'Allemagne (monitoring aérien effectué par Dow Agrosciences), dans une région à forte pression de maladie et où trois traitements à base de quinoxyfène par saison avaient régulièrement été appliqués. La fréquence de ces souches résistantes reste limitée et stable (24 % au maximum en 2003, dans les zones du nord de l'Allemagne concernées, même si la résistance s'est étendue depuis dans le centre et le sud du pays. Il est à noter, en 2004, une régression significative des fréquences des souches résistantes dans les régions du Nord initialement concernées par la résistance (données Dow AgroSciences).

En France, le monitoring de la sensibilité de l'oïdium du blé au quinoxyfène a débuté en 2003 grâce à la mise au point d'un test biologique, particulièrement bien adapté à l'analyse des fongicides dont le mode d'action reste inconnu. Il s'inspire des nombreuses méthodes déjà publiées (FRAC⁽²⁾, 1991) et consiste à inoculer les souches à tester sur des fragments de feuille de blé en survie sur un milieu gélosé, préalablement traités avec des doses choisies de fongicides (Walker et Leroux, 2003). Ce test permet d'estimer les CI50 des populations testées et peut être simplifié par l'usage de doses discriminantes (2 doses pour le quinoxyfène : 0,3 et 3 mg/l) pour analyser rapidement les populations.

En 2003, 55 échantillons ont ainsi été testés, en provenance de Bretagne, Eure-et-Loire, région parisienne et Champagne. 12 populations résistantes, provenant de 5 sites d'essais (groupe de travail AFPP « Résistance des maladies des céréales »), ont ainsi été mises en évidence, et ce, généralement indifféremment du programme fongicide appliqué (témoin, krésoxim-méthyl + époxiconazole ou quinoxyfène), indiquant ainsi que lorsque des souches résistantes ont été sélectionnées sur un site, elles se dispersent facilement, ce qui est cohérent avec l'épidémiologie (dispersion aérienne) de cette maladie. Ces échantillons résistants provenaient tous du département de la Marne (51). Les CI50 mesurées étaient comprises entre 1 et 6,8 mg/l, ce qui est comparable à celles des souches allemandes, et implique des niveaux de résistance compris entre 40 et 280.

Cette résistance peut également être détectée plus rapidement à l'aide de doses discriminantes (Figure 1a). Certaines de ces souches cumulent également la résistance aux strobilurines et à la fenpropidine (confirmation par test biologique en 2004) et aux triazoles (confirmation par test moléculaire en 2004).

Enfin, les monitorings aériens (capture des spores présentes dans l'air) effectués en Champagne en 2004 détectent ces souches résistantes, à des fréquences de 2 à 14 % (monitoring Dow Agrosciences), ce qui est globalement équivalent à la saison 2003. Pour cette même saison, une cinquantaine d'échantillons prélevés par le réseau AFPP ont pu être analysés par la même méthode des doses discriminantes.

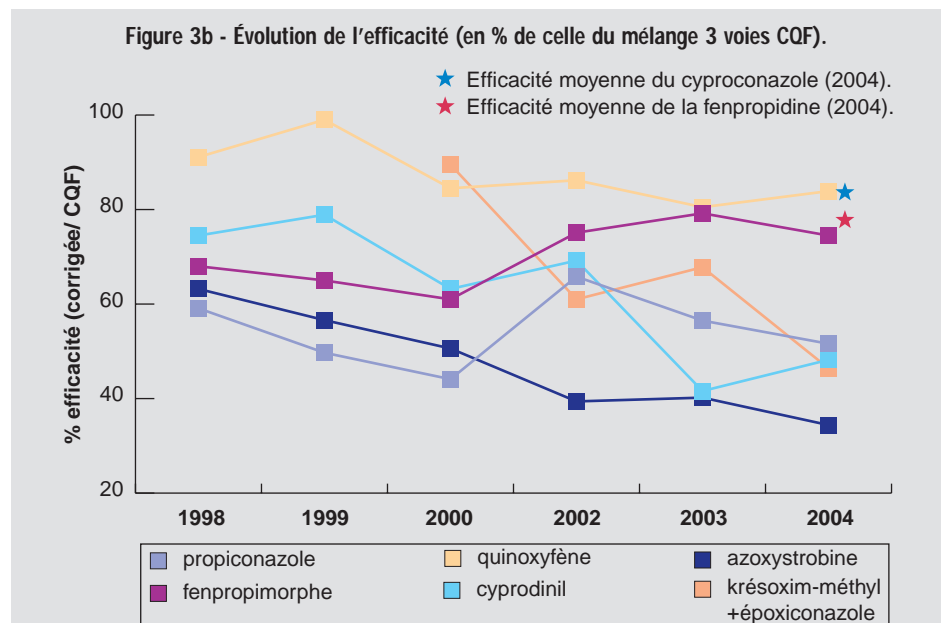
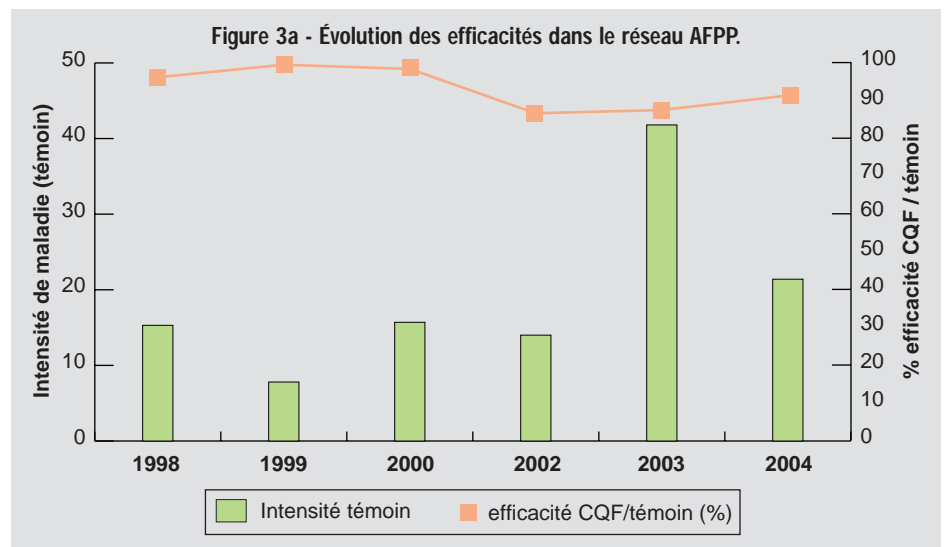
La cartographie (Fig. 4, p.54) confirme la bonne implantation de la résistance dans les plaines céréalières champenoises (avant traitement sur certains sites ; après traitement sur les modalités traitées et/ou témoins sur tous les sites prélevés), même si certains sites sont encore sensibles. Des populations résistantes ont également été détectées en Picardie.

En pratique, l'efficacité du quinoxyfène ne semble pas compromise sur l'ensemble des essais du réseau AFPP : il reste la meilleure référence (Figures 2a et 3b), lorsqu'il est positionné à son optimum, en application préventive. Cependant, la comparaison de résultats d'efficacité en situation de sensibilité normale et de résistance au quinoxyfène encore rare peut montrer des différences, difficiles à quantifier avec précision dans le contexte de ces expérimentations (Tableau 1).

Dans l'attente de résultats complémentaires quant à la fitness et la dispersion des souches résistantes, pour le moment encore localisées, il convient de prendre des précautions pour limiter le développement de la résistance au quinoxyfène, en particulier dans les régions où la pression de maladie est importante et où les conditions climatiques et environnementales sont favorables.

Le quinoxyfène est préconisé précocement, avec un seul traitement par saison.

En Champagne, compte tenu de la présence des souches résistantes, les traitements avec le quinoxyfène sont à appliquer précocement et obligatoirement en association avec une autre classe de fongicide efficace contre l'oïdium (triazole, morpholine...) (Anonyme, 2004).

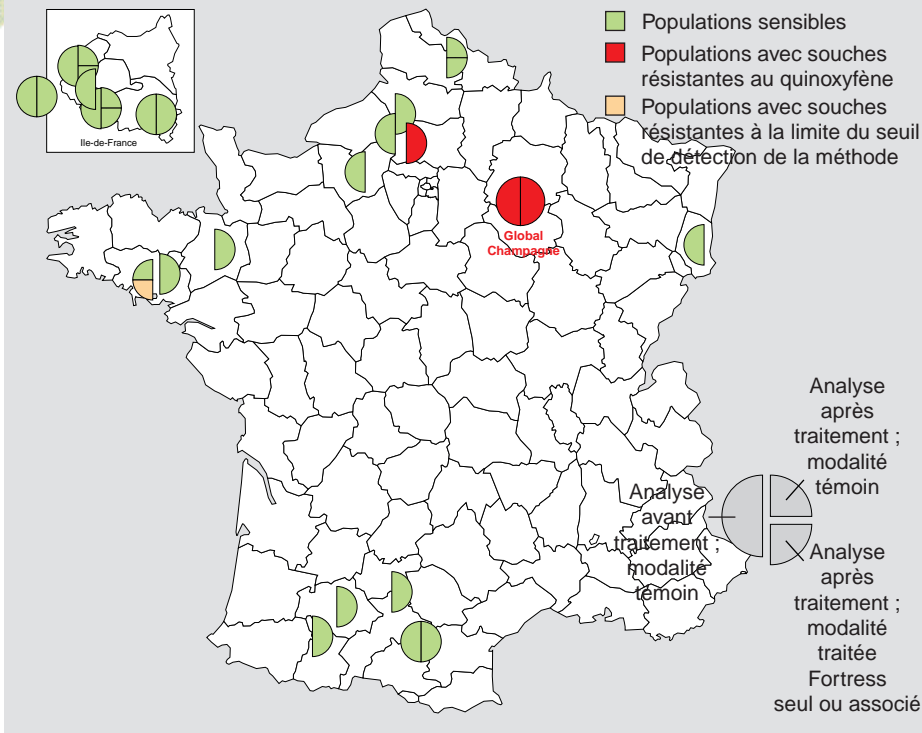


Pour diminuer le biais lié à l'année, les efficacités sont rapportées à celle du mélange 3 voies cyprodinil/quinoxyfène/fenpropimorphe.

Dans ce réseau d'essai, le quinoxyfène reste la meilleure référence anti-oïdium, suivi par le fenpropimorphe. 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 le fenpropimorphe. Le propiconazole vient ensuite mais ne semble pas être le triazole le plus efficace pour lutter contre cette maladie. Le cyprodinil, l'azoxystrobine et l'association krésoxim-méthyl + époxiconazole voient leur efficacité globalement diminuer au cours du temps.

(2) Fungicide Resistance Action Committee.

Figure 4 - Cartographie de la sensibilité des souches françaises d'oïdium du blé au quinoxyfène (monitoring AFPP 2004).



Conclusion

La saison 2003, bien que peu marquée par la maladie, avait rappelé 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. Ces résultats ont été largement confirmés en 2004. 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.

Remerciements : Les auteurs tiennent à remercier les membres de la commission « Résistance des Maladies des Céréales » de l'AFPP pour le prélèvement des différents échantillons et les sociétés Syngenta, Dow Agrosiences et Epilogic pour la fourniture de souches de référence.

Summary

WHEAT POWDERY MILDEW

What about fungicide resistance in France ?

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 phenoxyquinolines. 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 (choice of the suitable strategies, positioning of the sprays, mixtures, alternation...) 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, fungicide, SBIs, strobilurines, quinoxyfen, wheat.

Résumé

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 : inhibiteurs de la biosynthèse des stérols (IBS) — triazoles et amines — 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 (raisonnement des interventions, positionnement des produits, mélanges ou alternance...) pour conserver une efficacité correcte des traitements et limiter le développement des résistances émergentes.

Mots-clés : blé, *Erysiphe graminis f. sp. tritici*, résistance, fongicides, IBS, strobilurines, quinoxyfène.

Bibliographie

- ANONYME, 2004 - Résistance aux fongicides : maladies des céréales à paille. État des lieux et recommandations pour 2004. D'après la note commune INRA, SRPV, ARVALIS-Institut du Végétal. Phytoma-LDV 571, 16-18.
- BERNHARD U., LEADER A., LONGHURST C., FELSENSTEIN F.G., 2002 - Quinoxyfen - Resistance management and sensitivity monitoring in wheat : 1995-2000. Pesticide Management Science., 58, 972-974.
- BUCHENHAUER H., HELLWALD K.H., 1985 - Resistance of *Erysiphe graminis* on barley and wheat to sterol C-14-demethylation inhibitors. Bulletin OEPP/EPPO, 15, 459-466.
- BROWN JKM, 2002 - Comparative Genetics of avirulence and fungicide resistance in the powdery mildew fungi. In "The powdery mildews. A comprehensive treatise", 56-65.
- DÉLYE C., LAIGRET F., CORIO-COSTET M.-F., 1997 - A mutation in the 14 α -demethylase gene of *Uromyces necator* that correlates with resistance to a sterol biosynthesis inhibitor. Applied and environmental microbiology. 63 : 8, 2966-2970.
- DÉLYE 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.
- 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.
- 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.
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee), 1991 - FRAC methods for monitoring fungicide resistance. Bulletin OEPP/EPPO, 21, 291-354.
- GODET F., LIMPET 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.
- JARVIS W.R., GUBLER W.D., GROVE G.G., 2002 - Epidemiology of powdery mildews in agricultural pathosystems. In "The powdery mildews. A comprehensive treatise". 169-199.
- READSHAW A.E., HEANEY S.P., 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 F.G., 2000 - Quinoxyfen. Sensibilité des populations d'oïdium du blé et étude de résistance croisée (1995-1999). AFPP, 6^e 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.
- VIENNOT-BOURGIN G., 1949 - Les champignons parasites des plantes cultivées. 264-268.
- WALKER A.-S., LEROUX P., 2003 - Sensibilité des populations françaises d'oïdium du blé à différents fongicides : méthodologies et premiers résultats. AFPP, 7^e Conférence int. sur les mal. des pl., Tours, 3-4-5 décembre 2003.
- WHEELER I.E., HOLLOMON D.W., GUSTAFSON G., MITCHELL J.C., LONGHURST C., ZHANG Z., GURR S.J., 2003 - Quinoxyfen perturbs signal transduction in barley powdery mildew (*Blumeria graminis f. sp. hordei*). Molecular Plant Pathology, 4(3), 177-186.