

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

**RESISTANCE DE *SEPTORIA TRITICI*, L'AGENT DE LA SEPTORIOSE DU BLE, AUX
FONGICIDES : DES GENES AUX CHAMPS**

P. LEROUX*, M. GREDT, C. ALBERTINI, A.-S. WALKER

INRA, Unité de Phytopharmacie et Médiateurs Chimiques, 78 026 Versailles Cedex
**lerouxp@versailles.inra.fr*

RESUME

Chez *Septoria tritici*, l'agent de la septoriose du blé, une résistance monogénique liée à des mutations dans les gènes codant pour les cibles des benzimidazoles, des strobilurines et des inhibiteurs de la 14α-déméthylation des stérols (IDM) est identifié. Pour les benzimidazoles et les strobilurines, la résistance monoallélique confère de très forts niveaux de résistance qui limitent l'intérêt pratique de ces fongicides. Quant aux IDM, plusieurs mutations sont en cause, qui confèrent des niveaux de résistance faibles à moyens et n'impliquent pas systématiquement une résistance croisée entre tous les IDM. L'efficacité de cette classe d'inhibiteurs de la synthèse des stérols demeure intéressante en pratique.

Mots-clé : *Septoria tritici*, résistance, benzimidazole, strobilurine, IDM

SUMMARY

**RESISTANCE TO FUNGICIDES IN *SEPTORIA TRITICI*, THE CAUSAL AGENT OF
WHEAT LEAF BLOTCH : FROM GENES TO FIELDS**

In field strains of *Septoria tritici*, resistance to benzimidazoles, strobilurins (the main class of Qols) and inhibitors of sterol 14α-demethylation (DMIs) is determined by mutations in genes encoding their respective target sites. For benzimidazoles and strobilurins, resistance levels are high and result in a reduced field performance of these fungicides. Regarding DMIs, several mutations have been identified and determined low to medium resistance levels; moreover, cross resistance between DMIs is not always observed. The practical efficacy of most DMIs remains good, even if clear erosion has been recorded over the past five years.

Key-words : *Septoria tritici*, resistance, benzimidazole, strobilurin, DMI

INTRODUCTION

La septoriose, provoquée par *Septoria tritici*, est la maladie foliaire majeure du blé en France et dans de nombreux pays européens. Ce champignon, sous sa forme asexuée, produit des pycnides qui émettent des cirrhes renfermant des pycnidiospores disséminées par la pluie sur de courtes distances. La forme sexuée est un Ascomycète : *Mycosphaerella graminicola*, qui a la capacité de produire des ascospores disséminables sur de longues distances. Depuis plusieurs décennies, les traitements chimiques constituent la principale méthode de lutte contre la septoriose du blé. Pour obtenir une protection efficace des derniers étages foliaires, une à trois applications peuvent être réalisées. La date pivot de traitement se situe entre les stades Z37 et Z45 (dernière feuille pointante à fin gonflement).

Plusieurs familles de fongicides sont ou ont été utilisées contre *S. tritici*). Les produits multi-sites (ex : chlorothalonil, folpel, mancozèbe) et les benzimidazoles antimicrotubules (ex : carbendazime, thiophanate-méthyl) ont été les premiers fongicides développés contre la septoriose dans les années 1970. Mais depuis un peu plus de deux décennies, ce sont des inhibiteurs de la 14α-déméthylation des stérols (IDM) qui sont les plus utilisés ; il s'agit principalement de triazoles (ex : cyproconazole, époxiconazole, fluquinconazole, tébuconazole...). Enfin, les strobilurines (ex : azoxystrobine, pyraclostrobine, trifloxystrobine...), dont les premières utilisations en France remontent à 1997, présentent d'excellentes potentialités.

Le suivi des populations de *S. tritici* a permis de constater des dérives de sensibilité aux benzimidazoles, aux IDM et aux strobilurines et aussi d'analyser l'impact de divers programmes de traitements. En outre, des études au laboratoire ont permis de caractériser divers phénotypes résistants et de déterminer les bases génétiques sous-jacentes. Les travaux ont porté sur :

- les benzimidazoles dont la cible est la β-tubuline, une des protéines constitutives du fuseau achromatique
- les IDM dont la cible, au niveau de la biosynthèse des stérols, est la 14α-déméthylase, une monooxygénase à cytochrome P450 dénommée CYP51
- les strobilurines, la principale famille de Qols qui inhibent le complexe mitochondrial III par fixation sur la face externe d'un de ses composants, le cytochrome b.

MATERIEL ET METHODES

CARACTERISATION PHENOTYPIQUE DES SOUCHES DE *SEPTORIA TRITICI*

Des souches de *S. tritici* ont été isolées à partir de pycnidiospores contenues dans des cirrhes sporifères et cultivées sur un milieu gélosé à base de malt et d'extrait de levure. Dans ces conditions, le champignon produit des sporidies levuriformes qui sont ensuite testées *in vitro* vis-à-vis des fongicides. Pour chaque matière active, une gamme de concentrations est étudiée et les effets sur l'élongation des filaments germinatifs sont examinés après une incubation pendant 48h à 19°C. Ces observations, réalisées au microscope optique, permettent de déterminer les concentrations inhibant de 50% le développement du champignon (CI50). Des niveaux de résistance (NR) sont établis en réalisant le rapport CI50 « souche résistante » / CI50 « souche sensible ».

ANALYSE BIOLOGIQUE DES POPULATIONS DE *S. TRITICI*

Chaque échantillon parcellaire est constitué d'une vingtaine de fragments de limbes foliaires porteurs de pycnides. Une suspension de pycnidiospores est produite à partir de fragments végétaux puis analysée en présence de doses discriminantes de fongicides. Pour chaque condition expérimentale, les notations microscopiques permettent de déterminer les proportions respectives de spores sensibles (absence de germination ou filaments courts) et résistantes (filaments longs).

CARACTERISATION MOLECULAIRE DE *S. tritici*

A partir des séquences publiées des gènes codant pour la β -tubuline, le CYP51 et le cytochrome b, des amorces ont été dessinées afin d'isoler (PCR) puis séquencer des fragments d'ADN susceptibles de comporter du polymorphisme déterminant la résistance. Ces travaux ont été conduits à partir de sporidies de souches de *S. tritici* cultivées sur milieu gélosé.

Par ailleurs, dans le cas du cytochrome b, en collaboration avec Syngenta, des analyses par PCR quantitative ont été conduites sur des populations de *S. tritici*, afin d'évaluer la fréquence d'allèles résistants aux Qols (A143).

RESULTATS

RESISTANCE AUX BENZIMIDAZOLES

Vis-à-vis du carbendazime, les souches de *S. tritici* sont soit sensibles Ben S (CI50 autour de 0,05 mg/l), soit très résistantes Ben R (CI50 supérieure à 10 mg/l). Il y a résistance croisée positive avec les autres benzimidazoles (ex : bénomyl, thiabendazole, thiophanate-méthyl). Par contre, toutes les souches Ben R sont très sensibles au diéthofencarbe (CI50 autour de 0,2 mg/l) alors que les souches Ben S sont naturellement résistantes à ce phénylcarbamate (CI50 supérieure à 10 mg/l) (Leroux *et al*, 2004). La résistance aux benzimidazoles et la sensibilité accrue simultanée aux phénylcarbamates est déterminée par une mutation dans le gène chromosomique codant pour la β -tubuline et entraînant le remplacement du glutamate par une alanine en position 198 (E198A).

Les analyses conduites en France entre 1997 et 2006 montrent que la résistance aux benzimidazoles est fortement implantée, puisque plus de 90% des parcelles prospectées présentent des fréquences de Ben R supérieures à 50% (tableau I). Ces résultats, similaires à ceux obtenus avec le piétin-verse, indiquent que les souches Ben R possèdent une fitness élevée et que, par ailleurs, une stratégie anti-résistance basée sur une association carbendazime+diéthofencarbe n'est pas envisageable car ce type d'association n'est pas autorisée sur céréales (Leroux *et al*, 2004).

RESISTANCE AUX STROBILURINES

La situation avec les strobilurines est assez semblable à celle observée pour les benzimidazoles puisque les souches de *S. tritici* peuvent être clairement séparées en 2 catégories : sensibles (Str S) et fortement résistantes (Str R). Ainsi, pour l'azoxystrobine et la pyraclostrobine, les CI50 des souches Str S sont respectivement de 0,008 et 0,0002 mg/l alors que pour les Str R, les valeurs sont de 2 mg/l (NR 250) et 0,3 mg/l (NR 1500) (Leroux *et al*, 2005 ; tableau II). Cette résistance est déterminée par une mutation dans le gène mitochondrial codant pour le cytochrome b et entraînant le remplacement de la glycine par une alanine en position 143 (G143A). L'absence d'effet du SHAM tant sur les souches sensibles que résistantes aux strobilurines suggère que l'oxydase alternative ne semble pas intervenir (P. Leroux, résultats non publiés).

A partir d'échantillons collectés au champ, nous avons pu montrer en collaboration avec Syngenta qu'il existait une très bonne corrélation entre les pourcentages (ou fréquences) de résistance aux strobilurines estimées par des tests biologiques ou moléculaires (PCR quantitative). Il y a donc une bonne concordance pour une population donnée entre les fréquences des individus résistants et celles des allèles déterminant ce phénomène (figure 1). Depuis 1997, année d'introduction des strobilurines en France, des échantillons de blé atteints de septoriose ont été analysés. Jusqu'en 2002, nous n'avons pas détecté de souches de *S. tritici* résistantes aux strobilurines. Mais en 2003, malgré des conditions climatiques peu favorables à la maladie, cette résistance a été décelée dans plus de la moitié des populations analysées et elle était fortement implantée au sein de 14% d'entre elles (>50% Str R). La progression du phénomène a été rapide avec en 2004 et 2005 respectivement 38% et 66% d'échantillons analysés comportant plus de 50% de Str R (tableau I).

En terme de pression sélective, il s'avère que les strobilurines seules ou associées sélectionnent les souches Str R alors que les autres familles de fongicides (IDM, multisites) sont neutres. Quant aux analyses portant sur des essais comparant l'azoxystrobine seule à 250 g/ha avec une combinaison azoxystrobine à 125 g/ha et époxiconazole à 62,5 g/ha, elles montrent que la pression sélective est plus forte avec la strobilurine solo (tableau III). Ces résultats observés dans des essais dont les parcelles ont une surface de quelques dizaines mètres carrés suggèrent qu'en cours de saison les pycnidiospores ont une migration limitée. Par contre, dans un essai pluriannuel conduit à l'INRA de Versailles visant à comparer plusieurs systèmes de culture dont notamment un « Productif » traité par des strobilurines et un « Biologique » non traité (tableau IV), nous avons montré que la résistance peut se disséminer entre parcelles. Dans ce dispositif, les parcelles élémentaires mesurent 5000 m²; il est basé sur une rotation avec un blé tous les 2 ans mais il est doublé, de manière à avoir du blé chaque année dans chaque système. Cette évolution pluriannuelle est probablement liée à une redistribution des allèles de résistance par l'intermédiaire des ascospores qui ont la capacité d'être véhiculées sur de plus longues distances que les pycnidiospores. Par ailleurs, la forte implantation des souches résistantes aux strobilurines dans les parcelles « Agriculture biologique » suggère un faible coût biologique de la mutation du cytochrome b en 143 chez *S. tritici* (Leroux *et al.*, 2005 ; tableau IV).

RESISTANCE AUX INHIBITEURS DE LA 14 α -DEMETHYLATION DES STEROLS (IDM)

Pour les IDM, malgré une généralisation de la résistance depuis plus d'une décennie, ce phénomène n'a pas généré de réductions d'efficacité aussi importantes que celles rapportées pour les strobilurines. Ceci est probablement lié au fait que les niveaux de résistance sont généralement plus faibles pour les IDM comparativement aux strobilurines. De plus, il est possible de distinguer plusieurs catégories de souches résistantes à ces IDM, et à ce jour, nous avons identifié 7 phénotypes résistants répartis en deux sous-classes « faiblement » (Tri LR) et « moyennement » (Tri MR) résistants. Parmi les souches faiblement résistantes aux IDM, les phénotypes Tri R1 et tri R3 se caractérisent par une absence de résistance croisée pour le triflumizole et le fluquinconazole et un niveau de résistance relativement important pour le triadiménol. Chez les autres Tri LR, certains phénotypes comme Tri R2 et Tri R4 présentent une résistance à tous les IDM, alors que pour Tri R5, le tébuconazole fait exception. Quant aux souches « moyennement » résistantes, elles se subdivisent en deux catégories Tri R6 et Tri R7, avec, pour ce dernier phénotype, absence de résistance croisée avec le prochloraze (tableau V). Les analyses effectuées ces deux dernières années montrent une forte implantation des deux types de souches Tri MR et parmi les Tri LR, Tri R4 et Tri R5 dominent.

Les analyses moléculaires conduites sur l'ADN génomique des divers phénotypes décrits précédemment suggèrent que la résistance aux IDM résulte d'une ou plusieurs modifications dans le gène chromosomique codant pour la cible des IDM (CYP51). Tout d'abord, si toutes les souches sensibles (Tri S) comportent une séquence codant pour 544 acides aminés, par contre, certaines souches résistantes portent une double délétion ($\Delta Y459/G460$). Parmi ces souches délétées, il y a toutes celles de types Tri R4 et Tri R7, ainsi qu'une partie des Tri R5 (Tri R5b). Les souches résistantes non délétées correspondent donc aux phénotypes Tri R1, Tri R2, Tri R3, Tri R6 et à une partie des Tri R5 (Tri R5a). Il convient de noter que Tri R2, Tri R5a et Tri R6 présentent une mutation ponctuelle en position 459, 460 ou 461. Enfin, un autre élément est important : la présence en position 381 d'une valine chez les souches Tri MR à la place d'une isoleucine chez les souches Tri S et Tri LR. Cette mutation n'a jamais été trouvée seule car elle induit probablement un dysfonctionnement de la stérol 14 α -déméthylase. Par ailleurs, chez Tri R7, la combinaison de la valine en 381 et la délétion $\Delta Y459/G460$ détermine une sensibilité au prochloraze, suggérant que l'échange d'une isoleucine par une valine augmente l'interaction de cet imidazole avec l'enzyme cible des IDM (Cools *et al.*, 2005a et b ; Leroux *et al.*, 2006 ; tableau VI).

En terme de pression sélective, les suivis réalisés en 2005 et 2006 sur un nombre limité de sites comportant des souches Tri LR montrent que généralement, l'application d'un triazole comme l'époxiconazole sélectionne les souches Tri MR (tableau VII). Quant aux

expérimentations conduites en 2006, avec des programmes comportant du prochloraze, elles montrent que cet imidazole peut contre sélectionner des souches Tri LR. Ceci résulte probablement du fait que globalement, les souches Tri MR sont plus sensibles au prochloraze que les souches Tri LR (en particulier Tri R5) (tableau VIII).

CONCLUSION

Chez *S. tritici*, deux scénarios de développement de la résistance aux fongicides sont observés. Pour tous les benzimidazoles, comme pour toutes les strobilurines, ce phénomène est un processus monoallélique (déterminé par une mutation ponctuelle du gène codant pour leurs cibles respectives : la β -tubuline et le cytochrome b) entraînant des niveaux de résistance élevés. Dans ces conditions, les performances de ces deux classes de fongicides sont fortement affectées (Leroux *et al.*, 2004, 2005). Pour les IDM, bien que la résistance soit également monogénique, il existe plusieurs mutations dans le gène codant pour la stérol 14 α -déméthylase (*CYP51*) qui confèrent des niveaux de résistance variables, généralement faibles à moyens et qui ne déterminent pas systématiquement une résistance croisée entre tous les IDM. De plus, les niveaux de résistance les plus élevés impliquent au moins deux mutations simultanées. Chez les champignons phytopathogènes, ce phénomène combinant multiallélisme et polyallélisme semble spécifique à *S. tritici*. Une autre particularité tient au fait que les souches comportant une double délétion dans le gène *CYP51* pourraient constituer une espèce sympatrique naturellement résistante aux IDM. Des travaux à la fois biologiques et moléculaires doivent être poursuivis afin de valider ou non cette hypothèse. Enfin, sur un plan pratique, il convient de rappeler que la généralisation des souches résistantes aux IDM a des incidences beaucoup plus réduites que ce qui s'observe pour les strobilurines (Leroux *et al.*, 2004, 2005). Il convient toutefois de poursuivre la surveillance des populations de *S. tritici* afin de « pister » d'éventuelles souches fortement résistantes aux IDM.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tous les expérimentateurs et particulièrement ceux du « Réseau Performance » piloté par Arvalis, qui ont collecté les échantillons de blé septorié. Par ailleurs, dans le cadre d'une action européenne pilotée par Syngenta, il a été possible, avec l'appui de H. Sierotzki, de mener une étude de monitoring de la résistance aux Qols comparant les tests biologique et moléculaire.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cools HJ., Fraaije B., Lucas JA, 2005a – Molecular examination of *Septoria tritici* isolated with reduced sensitivity to triazoles. In Dehne HW *et al* *Modern fungicides and antifungal compounds IV*. BCPC, Alton UK, 1003-1014.
- Cools HJ., Fraaije B., Lucas JA, 2005b – Molecular mechanisms correlated with changes in triazole sensitivity in isolates of *Mycosphaerella graminicola*. BCPC International Congress. *Crop Science and Technology*, 267-274.
- Leroux P., Gredt M., Walker AS., Caron D., Moinard J., 2004 – La septoriose du blé : caractéristiques et distribution des souches de *Septoria tritici* résistantes aux fongicides. *Phytoma – La défense des végétaux*, 574, 8-13.
- Leroux P., Gredt M., Walker AS., Couleaud G., Moinard J., Le Henaff G, 2005 – La septoriose du blé en France en 2004 : les strobilurines en péril ? *Phytoma – La défense des végétaux*, 579, 7-12.
- Leroux P., Walker AS., Albertini C., Gredt M., 2006 – Resistance to fungicides in French populations of *Septoria tritici*, the causal agent of wheat leaf blotch. In Fungicide Resistance: are we winning the battle but losing the war?, *Aspects of Applied Biology* 78 UK pp. 153-162.

Tableau I : Répartition, en pourcentage, des échantillons de blé septorié collectés en France, en fonction des fréquences de souches résistantes aux fongicides chez *Septoria tritici*

Distribution (percentage) of wheat sample collected in France, according to the frequency of fungicide resistant strains in *Septoria tritici*

Années	Nombre d'échantillons	Résistance aux benzimidazoles (Ben R)		Résistance aux IDM (Tri R)		Résistance aux strobilurines (Str R)		
		≤ 50%	> 50%	≤ 50%	> 50%	ND	≤ 50%	> 50%
1997	70	1	99	1	99	100	0	0
1998	154	5	95	0	100	100	0	0
1999	161	9	91	0	100	100	0	0
2000	146	10	90	0	100	100	0	0
2001	89	2	98	2	98	100	0	0
2002	111	9	91	0	100	100	0	0
2003	118	5	95	1	99	44	42	14
2004	467	8	92	0	100	18	44	38
2005	740	2	98	0	100	6	28	66

Tableau II : Effets *in-vitro* de fongicides sur des souches de *Septoria tritici* sensibles et résistantes aux strobilurines

In-vitro effect of fungicides towards field strains of *Septoria tritici* sensitive or resistant to strobilurines

Fongicides	CI50 en mg/l		Niveaux de résistance ^a
	Str S	Str R	
Azoxystrobine	0,008		250
Krésoxim-méthyl	0,008		>1250
Picoxystrobine	0,002		1000
Pyraclostrobine	0,0002		1500
Trifloxystrobine	0,0002		2000
Boscalid	0,15		1,0
Chlorothalonil	0,08		1,0

^a niveaux de résistance : CI50 Str R / CI50 Str S

Tableau III : Comparaison de la pression sélective exercée par une strobilurine seule ou associée à un triazole vis-à-vis de *Septoria tritici*^a

Selection pressure exerted by a strobilurin alone or in mixture with a triazole towards *Septoria tritici*

Localisation des essais	Témoin	% Str R dans les parcelles	
		Azoxystrobine (250 g/ha)	Azoxystrobine + époxiconazole (125 + 62,5 g/ha)
35	1	66	48
53	5	60	25
59	5	85	25
22	6	60	17
91	13	52	18
18	25	90	68
27	26	85	50

^a Essais conduits en 2004 dans le cadre du « Réseau Performance » piloté par Arvalis ; application unique

Tableau IV : Evolution de la résistance de *Septoria tritici* aux strobilurines dans un essai pluriannuel implanté à l'INRA de Versailles

Evolution of strobilurin resistance in *Septoria tritici* within a long term trial conducted by INRA at Versailles

Années	% souches résistantes aux strobilurines (Str R)			
	Système productif avec strobilurines		Agriculture biologique sans fongicides	
	Avril-Mai	Juin	Avril-Mai	Juin
1998-2002	ND	ND	ND	ND
2003	3	55	ND	0,5
2004	32	85	15	30
2005	50	95	30	45
2006	72	80	50	60

Tableau V : Effets *in-vitro* de fongicides sur des souches de *Septoria tritici* sensibles ou résistantes aux IDM

In-vitro effects of fungicide towards field strains of *Septoria tritici* sensitive or resistant to DMIs

Fongicides	CI50 en mg/l	Niveaux de résistance ^a						
		Tri S	Tri R1	Tri R2	Tri R3	Tri R4	Tri R5	Tri R6
Pyrifénox	0,001	3	8	10	27	28	36	37
Triflumizole	0,004	0,3	10	0,8	28	31	333	500
Prochloraze	0,002	3	4	9	7	15	7	1,0
Triadiménol	0,6	17	2	25	7	3	27	24
Tébuconazole	0,01	4	8	14	21	1,8	75	83
Fluquinconazole	0,003	0,5	3	1,3	6	14	20	19
Flusilazole	0,006	4	5	21	13	19	32	42
Epoxiconazole	0,002	4	3	14	6	9	26	19
Prothioconazole	0,04	-	3	4	4	5	8	7

^a niveaux de résistance : CI50 Tri R / CI50 Tri S

Tableau VI : Polymorphisme dans la séquence du gène (entre les codons 340 et 513) codant pour la stérol 14α-déméthylase (Cyp51) chez *Septoria tritici*

Amino-acid polymorphism in the CYP51 gene sequence of *Septoria tritici* (between codons 340 and 513)

Souches ^a	délétion mutations					
	ΔY459/G460	381	459	460	461	513
Tri S	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Tri R2	Non	Non	Non	Oui	Non	Non
Tri R3	Non	Non	Non	Non	Non	Non
Tri R4	Oui	Non	-	-	Non	Oui
Tri R5a	Non	Non	Non	Non	Oui	Non
Tri R5b	Oui	Non	-	-	Non	Oui
Tri R6a	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
Tri R6b	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non
Tri R7	Oui	Oui	-	-	Non	Oui

^a Tri R2, Tri R3, Tri R4 et Tri R5 sont faiblement résistantes aux IDM (Tri LR) ; Tri R6 et Tri R7 sont moyennement résistantes (Tri MR) (tableau V)

Tableau VII : Comparaison de la pression sélective exercée par un triazole seul ou associé à une strobilurine vis-à-vis de *Septoria tritici*^a

Selection pressure exerted by a triazole alone or in mixture with a strobilurine towards *Septoria tritici*

Localisation des essais	Traitements	% Str R	% Tri MR	% phenotypes			
				Tri R4	Tri R5	Tri R6	Tri R7
78	témoin	95	60	40	ND	45	15
	époxi	90	90	ND	10	90	ND
	époxi+strob	100	70	30	ND	70	ND
36	témoin	40	30	20	50	10	20
	époxi	55	50	20	ND	60	20
	époxi+strob	100	75 ^b	10	ND	65	10
57	témoin	27	20	70	10	20	ND
	époxi	32	75	25	ND	55	20
	époxi+strob	95	70	25	54	60	10
89	témoin	45	50	50	ND	40	10
	époxi	55	80	5	15	70	10
	époxi+strob	95	75	25	ND	65	10
22	témoin	40	40	60	ND	30	10
	époxi	35	90	10	ND	75	15
	époxi+strob	90	85	15	ND	50	35
88	témoin	15	15	85	ND	10	5
	époxi	ND	90	10	ND	80	10
	époxi+strob	75	85	15	ND	45	40

^a Essais conduits en 2005 dans le cadre du "Réseau performance" piloté par Arvalis ; double application Epoxiconazole (75 g/ha) – Epoxiconazole + Pyraclostrobine (50 + 50 g/ha)

^b sur les 25% de Tri LR, il y avait 15% de Tri R3

Tableau VIII : Comparaison de la pression sélective exercée par un triazole seul ou associé avec du prochloraze ou une strobilurine vis-à-vis de *Septoria tritici*^a

Selection exerted by either a triazole alone or in mixture with prochloraz or a strobilurin towards *Septoria tritici*

Localisation des essais	Traitements	% Str R	% Tri MR	% phenotypes			
				Tri R4	Tri R5	Tri R6	Tri R7
32	Témoin	2	75	12	13	35	40
	Epoxi	2	95	5	ND	25	70
	Epoxi + Proz	ND	30	40	30	ND	30
	Epoxi + Strob	35	90	10	ND	20	70
17	Témoin	20	40	20	40	25	15
	Epoxi	5	87	ND	13	12	75
	Epoxi + Proz	ND	ND	20	80	ND	ND
	Epoxi + Strob	30	80	5	15	5	75
28	Témoin	95	70	ND	30	60	10
	Epoxi	95	60	ND	40	60	ND
	Epoxi + Proz	100	15	20	65	15	ND
	Epoxi + Strob	100	80	ND	20	60	20
41	Témoin	60	70 ^b	5	15	50	20
	Epoxi	75	80	10	10	60	20
	Epoxi + Proz	90	20	ND	80	10	10
	Epoxi + Strob	100	80	10	10	50	30
95	Témoin	100	80	ND	20	80	ND
	Epoxi	90	80	ND	20	80	ND
	Epoxi + Proz	100	45	ND	55	45	ND
	Epoxi + Strob	95	100	ND	ND	100	ND

^a Essais conduits en 2006 dans le cadre du "Réseau Performance" piloté par Arvalis ; double application Epoxiconazole (75 g/ha) , Epoxiconazole + Prochloraze (50 + 315 g/ha) , Epoxiconazole + Pyraclostrobine (50 + 50 g/ha)

^b sur 30% de Tri LR, il y avait 10% de Tri R3

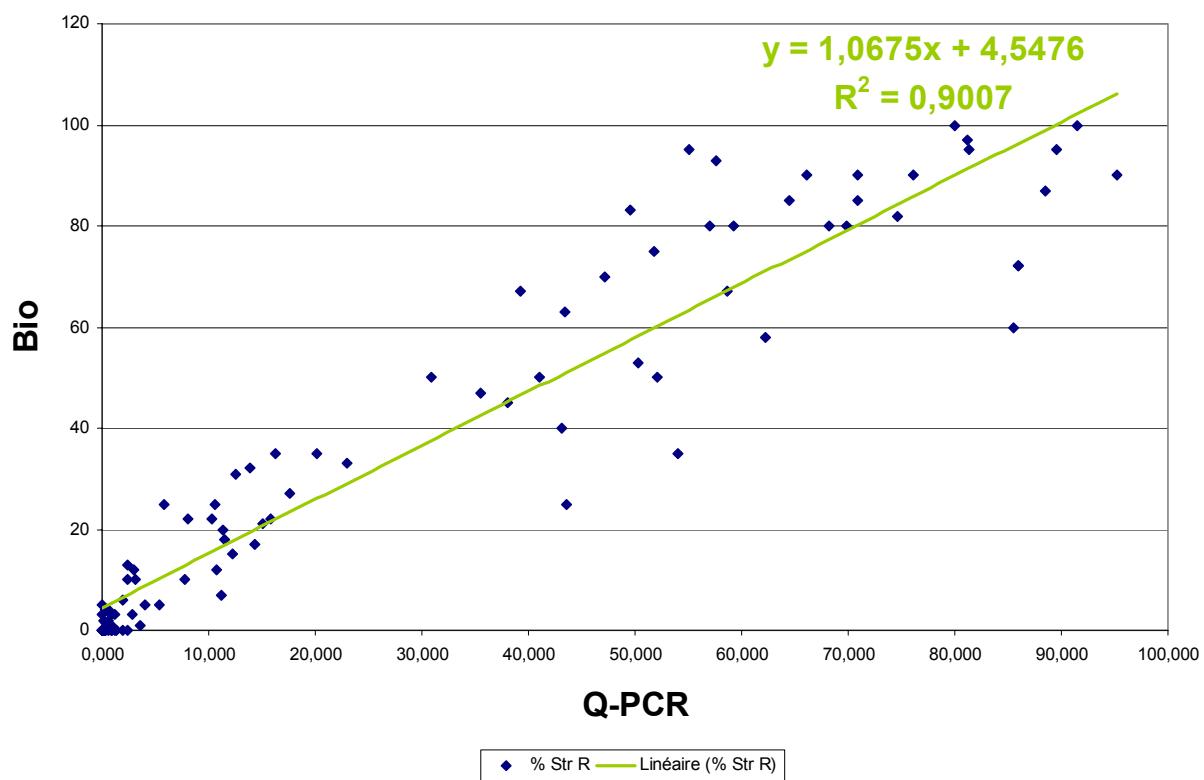


Figure 1 : Comparaison des méthodes biologique (Bio) et moléculaire (Q-PCR) de quantification de la résistance aux strobilurines chez des populations de *Septoria tritici*
 Comparison of biological (Bio) and molecular (Q-PCR) methods to quantify strobilurin resistance within *Septoria tritici* populations