

# Résistance variétale

## Comment retrouver des triticales résistants à l'oïdium ?

Le nombre de variétés de triticales résistantes à l'oïdium est désormais limité et l'itinéraire cultural se complique. Quelles sont les raisons de cette récente sensibilité ? Comment y remédier ? Quelles sont les voies d'évolution ? Les réponses laissent entrevoir des perspectives prometteuses.



Depuis le début des années 2000, de nombreuses variétés de triticales sont devenues sensibles à l'oïdium

**B**lumeria graminis est un champignon phytopathogène qui provoque l'oïdium de plusieurs espèces de Graminées (ou Poacées) et en particulier d'au moins quatre céréales cultivées : le blé, le seigle, l'orge et l'avoine. Ainsi, c'est la même espèce qui colonise ces différentes plantes, mais ce champignon s'est adapté à ses hôtes et a différencié des « formes spéciales », spécifiques d'un hôte considéré. Par exemple, la forme spéciale « *avenae* » ne pourra infec-

ter que les variétés sensibles d'avoine, alors que les formes spéciales « *tritici* », « *hordei* » et « *secalis* » n'infecteront que le blé, l'orge et le seigle, respectivement. Les symptômes, similaires pour les quatre formes spéciales de *B. graminis*, se manifestent par l'apparition d'un feutrage blanc-poudreux, qui se ponctue au

cours du temps de points noirs ou cléistothèces, organes de la reproduction sexuée. Si l'oïdium est relativement discret dans beaucoup de situations, il peut localement causer des dégâts importants (15 à 20 q/ha pour les années à forte pression), en particulier sur les variétés sensibles ou les sols froids et humides.

**Des variétés comme Ampiac, Tricolor, Trimaran et plus récemment Bienvenu et Trimour sont désormais très sensibles à l'oïdium du triticales.**

## Des attaques fortes et rapides

Le blé et le seigle sont depuis longtemps des cultures majeures dans les régions tempérées. Ces deux espèces appartiennent à la même famille des Poacées et de nombreux marqueurs génétiques confirment leur proximité. Celle-ci a depuis plus d'un siècle incité les agronomes et les généticiens à croiser ces deux plantes pour créer une nouvelle espèce, le triticale, alliant à la fois la rusticité du seigle (tolérance au froid, tolérance aux maladies, pouvoir adaptatif à de nombreux types de sols et climats) aux qualités du blé (productivité, qualités nutritionnelles). Cette plante hybride connaît depuis lors un succès croissant, s'adaptant facilement aux milieux même dif-

Tableau 1: Exemples de programmes sur triticale

	2 nœuds	DF point	DF étalée	Epi	Floraison	Prix (€/ha)
Cas le plus fréquent			Ogam 3 D 0,75 à 1 l/ha Opus 0,75 à 1 l/ha Opus Team 1,2 à 1,5 l/ha			35 à 60
Risque fusariose			Ogam 3 D 0,5 à 0,75 l/ha Opus 0,5 à 0,75 l/ha Opus Team 1 à 1,2 l/ha		Joao 0,4 à 0,5 l/ha Caramba star 0,8 à 1 l/ha	50 à 85
Présence d'oidium précoce	Ogam 3 D 0,5 à 0,75 l/ha Opus 0,6 + Flexity 0,3 l/ha		Ogam 3 D 0,5 à 0,75 l/ha Opus 0,6 + Flexity 0,3 l/ha			60 à 70
Présence d'oidium précoce et risque fusariose	Ogam 3 D 0,5 à 0,75 l/ha Opus 0,6 + Flexity 0,3 l/ha		Ogam 3 D 0,5 à 0,75 l/ha Opus 0,6 + Flexity 0,3 l/ha		Joao 0,4 à 0,5 l/ha Caramba star 0,8 à 1 l/ha	85 à 100

→ Une présence précoce d'oidium peut être contrée par deux applications, aux stades 2 nœuds puis dernière feuille étalée.

**Si l'oidium est relativement discret dans beaucoup de situations, il peut localement causer des dégâts, jusqu'à 15 à 20 q/ha pour les années à forte pression.**

ficiles avec une productivité équivalente au blé et des qualités intéressantes, notamment pour l'alimentation animale, ce qui explique sa présence régulière dans des régions d'élevage comme la Bretagne ou l'Auvergne.

**Les variétés les plus sensibles à l'oïdium ou implantées dans des sols froids et humides sont particulièrement exposées à des dégâts importants.**

Or, depuis les années 2000, les cultures de triticale, auparavant exemptes de la plupart des maladies infectant habituellement les céréales, font régulièrement l'objet d'attaques importantes d'oïdium... au point que les variétés les plus sensibles nécessitent souvent l'application d'un traitement fongicide. En Bretagne, l'investissement fongicide oscille dans la majorité des situations entre 30 et 50 €/ha, soit sensiblement inférieur aux autres céréales. Dans le cas d'attaques d'oïdium, le coût augmente très significativement (tableau 1). Pour limiter le développement de l'oïdium, d'autres leviers doivent être actionnés : choix d'une variété résistante (figure 1), maîtrise de la densité



Certaines pratiques culturales, comme la maîtrise de la densité et le fractionnement de l'azote, permettent de limiter le développement de l'oïdium.

Figure 1 : Bien que largement cultivées depuis plusieurs années, certaines variétés conservent une bonne résistance à l'oïdium : Bellac, Matinal, Kortego.

**Sensibilité des variétés de triticale à l'oïdium**

Indemnes	MATINAL	KORTEGO	INTEGRAL	DINARO
	BELLAC	BORODINE	AGRILAC	
Quelques traces	TRIBECA	ROTEGO	SW TALENTO	AMARILLO 105
Moyennement touchés	RAGTAC	COLLEGIAL	GRANDVAL	CONSTANT
	TRISKELL	TRIMMER		
Touchés	FLOIRAC			
	BIENVENU	TREPLIN	SECONZAC	
Fortement touchés	TRIMOUR	MAXIMAL		

Source : données 2007/2008 toute France



© B. Tardif, ARVALIS - Institut du végétal



© E. Masson, ARVALIS - Institut du végétal

de semis et fractionnement des apports d'azote (dans les situations à risque). Avec le développement de l'oidium sur triticale, plusieurs questions se posent : premièrement, quelle espèce de champignon, et surtout quelle forme spéciale infecte le triticale, puisque les deux céréales parents de l'hybride possèdent chacune leur forme spéciale spécifique ? Deuxièmement, quels mécanismes peuvent expliquer cette brutale infestation d'une

**Le triticale a séduit les agriculteurs des zones d'élevage pour sa hauteur de paille et sa résistance aux maladies.**

plante auparavant résistante à cette maladie ? Pour répondre à ces questions, l'INRA, le GIE Triticale<sup>1</sup> et ARVALIS - Institut du végétal ont réuni leurs efforts et savoir-faire dans le cadre d'un projet commun.

Tableau 2 : Profils de résistance observés pour les 41 échantillons étudiés

Variété Profil	AA1	AA2	AA3	AC	AD	AE	BA	BB	BC	BE	BF	BG	BH
Triticale	Maximal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	FDT04015	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Bienvenu	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Aprim	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Ragtac	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Bellac	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	RATR 02-70	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Rotego	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Tricolor	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Blé	Audace	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Koreli	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Ephoros	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Raspail	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Toreador	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Apache	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Lancelot	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Périclès	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Clément	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Seigle	Rasant	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Pollino	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Orge	Champie	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
Avoine	Oursi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

Légende : ■ : croissance nulle ou très faible ; ■ : croissance importante.

Les isolats ne se sont développés que sur leurs hôtes. Les profils BA à BH, collectés dans les parcelles de triticale, ont une forte croissance sur blé et triticale.

## Plusieurs gènes probablement impliqués

Des échantillons des quatre formes spéciales d'oïdium et d'oïdium du triticales ont été collectés en 2006 et 2007 dans différentes régions, puis analysés par l'INRA de Versailles pour leur capacité à infecter des fragments de feuilles maintenues en survie *in vitro*. Différentes céréales et variétés ont été choisies pour représenter la diversité des génétiques végétales disponibles et ainsi dresser un profil de résistance variétale le plus large possible (tableau 2). Les résultats montrent une très bonne spécificité pour les formes spéciales d'oïdium de l'avoine, du seigle et de l'orge puisque les isolats ne se sont développés que sur leur hôte (profils AA1 à AA3). Les isolats collectés dans des parcelles de blé (forme spéciale *tritici*) présentent un peu plus de diversité sur les neuf variétés de blé testées (trois profils variétaux) et montrent une croissance nulle ou faible sur triticale. Enfin, les isolats collectés dans des parcelles de triticale (profils BA à BH) présentent la plus large variabilité avec sept profils variétaux se distinguant par leur croissance à la fois sur blé et sur



La nuisibilité de l'oïdium sur triticale est plus forte que sur blé.

## Origine des isolats étudiés, selon leur céréale d'origine et leur profil de résistance variétale

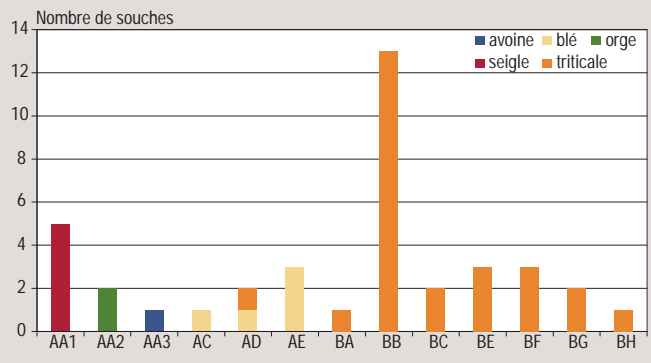


Figure 2 : Parmi les différents profils de résistances, le profil BB se démarque par son abondance.

triticale. Un profil en particulier, infectant huit variétés de triticale et six variétés de blé, semble particulièrement abondant (figure 2). Cette situation met en évidence un contournement variétal, impliquant probablement plusieurs gènes de résistance à l'oïdium, avec différentes combinaisons de gènes contournés selon les profils de résistance variétale. Le fait que l'oïdium attaque très peu le seigle laisse supposer que ce sont principalement les gènes de résistance apportés par le blé qui ont été contournés et que le seigle constitue une source possible de résistance à l'oïdium pour les futures variétés à sélectionner. Ainsi, en attendant la mise sur le marché de variétés tolérantes à l'oïdium, cette maladie doit être contrôlée, par exemple par l'application de fongicides.

### Proximité génétique des formes d'oïdium

Nous avons donc voulu vérifier l'état des résistances aux fongicides de ces souches infectant le triticale. Si les prin-

cipales résistances aux fongicides déjà connues (strobilurines, triazoles, amines, phénoxyquinoléines) ont bien été identifiées pour plusieurs souches collectées sur blé ou sur orge, aucune d'entre elles n'a été mise en évidence chez les échantillons issus du triticale. Ces résultats sont rassurants puisqu'ils laissent augurer d'une efficacité optimale des principales familles d'anti-oïdium homologuées pour lutter contre cette maladie, dans le cadre de stratégies raisonnées.

### Les attaques d'oïdium sur triticale se caractérisent par des progressions particulièrement rapides, témoignant de leur forte agressivité.

Enfin, nous avons utilisé plusieurs marqueurs moléculaires pour caractériser la proximité génétique des formes spéciales d'oïdium et en rapprocher la nouvelle entité constituée par l'oïdium du triticale. Ces travaux confirment que l'oïdium du triticale appartient bien à l'espèce *Blumeria graminis* et excluent l'appartenance aux formes spéciales infectant l'orge et l'avoine. En revanche, les formes spéciales « *tritici* » et « *secalis* » sont tellement proches génétiquement qu'il est impossible de les différencier avec six marqueurs différents. Avec l'oïdium du triticale, ces trois entités sont placées sur la

Figure 3: Plus les branches sont éloignées, plus les isolats sont différents. L'oïdium du blé, du seigle et du triticale font partie du même groupe frère, d'après leur séquence pour le marqueur considéré. La parenté avec l'oïdium de l'orge et de l'avoine est plus éloignée.

même branche de l'arbre phylogénétique de *Blumeria graminis* (figure 3). Par contre, le fait que l'oïdium du triticale infecte facilement le blé et très peu le seigle laisse à penser que cette nouvelle forme spéciale « triticale » dérive probablement de celle infectant le blé.

## Travaux de sélection

Afin de conserver l'avantage de rusticité et les faibles besoins en intrants du triticale, l'espèce doit retrouver un niveau de résistance élevé - et surtout durable - à l'oïdium.

Les travaux de sélection destinés à intégrer de nouvelles sources de résistances ont démarré. La première étape de ces travaux consiste à identifier les sources de résistance utilisables.

### • Dans les variétés actuelles

Dans le paysage variétal actuel de triticale, quelques variétés font preuve d'une bonne robustesse vis-à-vis de l'oïdium, comme Matinal, Bellac ou SW Talentro.

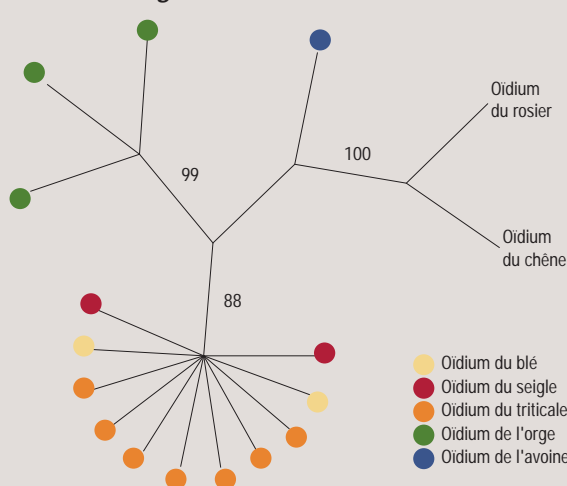
### • Dans les espèces blé et seigle

Le triticale étant un croisement intergénérique entre le seigle (*Secale*) et le blé (*Triticum*), afin d'accroître la diversité génétique de cette espèce, il convient de réaliser de nouveaux croisements entre blé et seigle (donnant des triticales primaires), ou entre triticale et l'un de ses parents. Le GIE Triticale en collaboration avec l'INRA, évaluera des lignées de triticale issues de nouveaux triticales primaires qui proviennent de croisement entre blés européens et seigles plus ou moins récents. Ils apportent une diversité génétique originale et sont de ce fait intéressants à exploiter.

### • Dans du matériel original

Des lignées originales de triticale

Arbre phylogénétique montrant la proximité génétique entre les différentes formes spéciales de *Blumeria graminis*



Arbre établi après alignement des séquences du marqueur ITS pour une sélection d'isolats. Méthode de parcimonie. Bootstraps = 1000 répétitions.)

décrites dans la bibliographie pour leur bon comportement vis-à-vis de l'oïdium et donc susceptibles d'apporter de nouvelles sources de résistances seront évaluées.

Afin d'assister le travail de sélection sur ce critère, des travaux destinés à identifier et à positionner par marquage moléculaire les zones du génome du triticale procurant un bon niveau de résistance à l'oïdium vont être entrepris.

Quelle qu'en soit l'origine, les sélectionneurs favoriseront, si possible, des résistances dites partielles sans doute plus complexes et plus durables qu'une résistance complète due à un seul gène majeur comme c'était peut-être le cas dans les variétés contournées. ■

<sup>1</sup> Groupement d'intérêt Economique Triticale: groupement qui réunit les cinq sélectionneurs français (Florimond Desprez, Lemaire Delfontaines, R2n (RagI), Serasem et AgriObtections) afin de développer la sélection du triticale.

Anne-Sophie Walker, INRA,  
walker@versailles.inra.fr

Annaïg Bouguennec, INRA,

Eric Masson,

ARVALIS – Institut du végétal,

e.masson@arvalisinstitutduvegetal.fr

Philippe du Cheyron,

ARVALIS – Institut du végétal

p.ducheyron@arvalisinstitutduvegetal.fr

L'oïdium est une maladie qui aime bien l'azote (nitrophile). Un fractionnement des apports est donc recommandé pour les situations à risque.

Dans les cas les plus sévères, notamment lorsque les épis sont atteints, les pertes de rendement causées par l'oïdium peuvent atteindre 50 % du rendement traité.

*Remerciements* : les auteurs remercient chaleureusement les sélectionneurs, techniciens et agriculteurs qui ont pris le temps de fournir les échantillons indispensables à cette étude.

