



*Septoria tritici*, l'un des champignons, responsable de la septoriose, peut se présenter sous formes de pycniospores.

Comme n'importe quel être vivant, un champignon ne pourrait survivre sans respirer. Grâce à la machinerie-clé que constitue la chaîne respiratoire, il consomme l'oxygène de l'air et des dérivés carbonés produits par son métabolisme pour fabriquer de l'ATP (Adénosine tri-phosphate), molécule riche en énergie indispensable à la survie de la cellule. Ce mécanisme complexe se déroule dans les mitochondries, organites situés à l'intérieur des cellules du champignon. Il fait intervenir cinq

## Fongicides Les SDHI : une nouvelle famille pour protéger les céréales

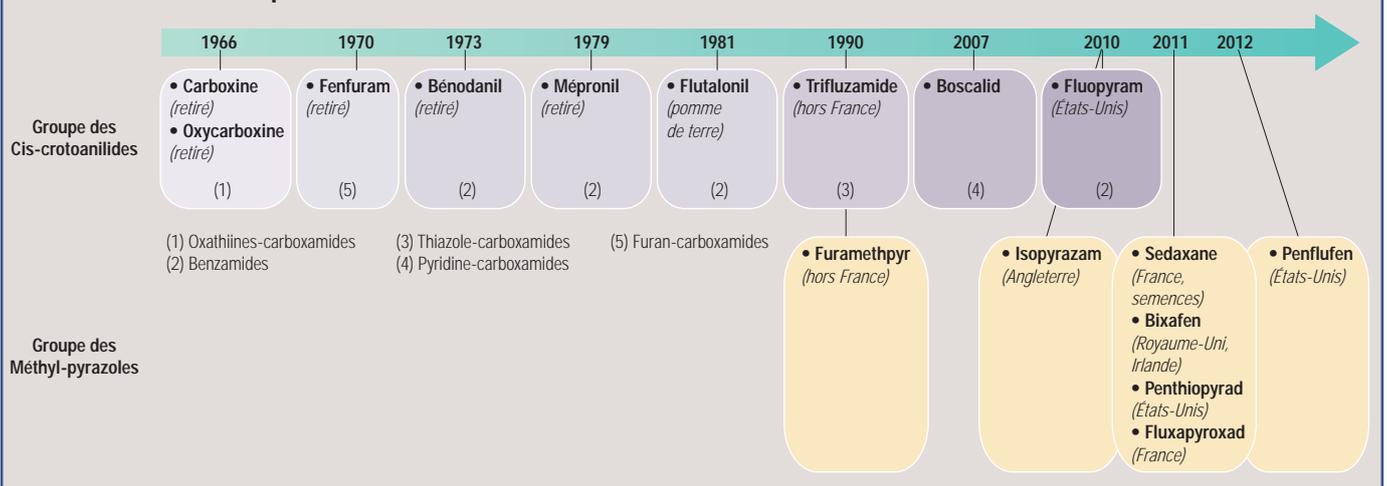
Si elle existe depuis les années 60-70, la famille des inhibiteurs de la succinate déshydrogénase (SDHI) est en train de s'enrichir de nouveaux représentants. Fongicides à large spectre, ils permettent de lutter contre un grand nombre de champignons.

groupes de protéines, appelés complexes respiratoires (numérotés de I à V), qui forment la chaîne respiratoire. Ceux-ci transportent des électrons à l'origine de la formation d'un gradient de protons dans la cellule, qui génère l'ATP. Ces électrons sont véhiculés d'un complexe à l'autre par des intermédiaires comme le co-enzyme Q. Les fongicides de la famille des SDHI (*Succinate DesHydrogénase Inhibitors*) inhibent le fonctionnement du complexe II, la succinate déshydrogénase (SDH). Constituée de quatre sous-unités protéiques, ce complexe enzymatique forme une poche de fixation en trois dimensions pour le co-enzyme Q. Les SDHI se fixent à la place de ce dernier au sein du complexe II. Ils inhibent ainsi le fonctionnement de la SDH, donc celui de la chaîne respiratoire.

### Deux groupes de SDHI

Les fongicides SDHI se caractérisent par des structures chimiques voisines, également auparavant rassemblées sous le vocable « carboxamides ». Il en existe deux groupes, distingués par leur structure chimique : les cis-crotoanilides et les méthyl-pyrazole carboxamides. Développées dans les années 60-70, la plupart des molécules du premier groupe sont anciennes. La carboxine et l'oxycarboxine (oxathiïnes) ainsi que le bénodanil, le flutolanil ou le mépronil furent largement utilisés pour lutter contre des basidiomycètes comme les charbons, rouilles et rhizoctones. Les progrès de la chimie moderne ont récemment permis d'adapter ces structures pour produire des fongicides à plus large spectre,

### Les SDHI utilisés depuis 1966



tels le boscalid (pyridine). Premier représentant de cette nouvelle génération de SDHI, il est actif contre de nombreux ascomycètes responsables des maladies des céréales. Le second groupe est essentiellement représenté par la nouvelle génération de molécules SDHI en cours de développement (bixafen, isopyrazam, fluxapyroxad, penflufen, penthiopyrad, sedaxane...). Ce sont souvent des fongicides à large spectre, utilisables sur semence ou en cours de végétation chez des mono ou dicotylédones. Ils agissent contre des basidiomycètes, adélomycètes et ascomycètes. Certaines molécules ont une activité systémique et/ou parfois curative.

### Des cas de résistances...

Comme tout fongicide, les SDHI exercent une pression de sélection sur les populations de champignons à partir du moment où ils sont utilisés dans les programmes. Le risque de résistance a été classé comme « moyen à fort » par le Frac (*Fungicide Resistance Action Committee*). De fait, après quelques années d'utilisation des SDHI de première génération, les champignons résistants à cette famille ont été sélectionnés. La résistance à la carboxine du charbon nu de l'orge s'est ainsi généralisée dans les années 70. Actuellement, des mutants résistants au boscalid, seul SDHI de nouvelle génération présent sur le marché, ont été détectés chez au moins quatre espèces de champignons dans le monde qui ne concernent pas les céréales. Dans les quatre cas, il s'agit d'un mécanisme affectant spécifiquement la cible des SDHI au niveau de l'une des quatre sous-unités de la SDH. Les niveaux de résistance sont faibles à très forts, suivant la mutation concernée. Ils ont parfois engendré des pertes d'efficacité en pratique importantes.

### ... Qui ne touchent pas encore les céréales

À ce jour, aucun cas de résistance aux SDHI n'a été décrit chez des

**À ce jour, aucun cas de résistance aux SDHI n'a été décrit chez des champignons pathogènes des céréales.**

Les SDHI de seconde génération permettent de lutter efficacement contre la septoriose.



### Plusieurs modes d'action pour stopper la respiration

Il existe une grande diversité de familles de fongicides inhibant la respiration des champignons. Certains sont dits multisites car ils ont la propriété de viser plusieurs cibles biochimiques au sein de la cellule fongique. C'est le cas du folpel, du thirame ou du chlorothalonil. D'autres sont dits unisites, car ils interagissent spécifiquement avec une seule cible du champignon. Parmi ces derniers, certains fongicides réduisent la biodisponibilité de l'ATP, la molécule stockant l'énergie cellulaire. C'est le cas du silthiofam, actif contre le piétin-échaudage. D'autres agissent directement sur la chaîne respiratoire, dont la fonction est justement de produire cet ATP. C'est dans cette catégorie que se placent les SDHI, mais également les strobilurines (Qoos).

champignons pathogènes des céréales. Des mutants de laboratoire sont toutefois faciles à produire, comme dans le cas de l'agent de la septoriose du blé, *Mycosphaerella graminicola*. Il faut cependant noter l'émergence à faible fréquence en France et dans d'autres pays européens de mutants de *M. graminicola* résistants faiblement aux SDHI et fortement aux triazoles. Ces isolats présentent un mécanisme dit de « multidrug resistance » (MDR), basé sur l'efflux accru et non spécifique de fongicides permettant de diminuer leur toxicité cellulaire. L'impact en pratique de tels isolats

pourrait être limité pour les SDHI. Il pourrait néanmoins être plus inquiétant pour d'autres familles de fongicides anti-septoriose. Un tel mécanisme est déjà décrit chez l'agent de la pourriture grise de la vigne *B. cinerea* et du piétin-verse des céréales *O. yallundae*.

### Assurer la durabilité de ce mode d'action

La prudence reste de rigueur dans un contexte où un risque d'acquisition d'une résistance aux SDHI chez les champignons pathogènes des céréales n'est pas exclu, et dans la mesure où la pression de sélection par ces SDHI risque d'être intense. D'une part, de nombreux représentants de ce même groupe vont bientôt être disponibles de la semence à l'épi, d'autre part, la résistance à d'autres modes d'action chez de nombreuses espèces fongiques se généralise. Il convient donc de mettre en place des stratégies anti-résistance préventives pour assurer la durabilité de ce mode d'action nouvellement réintroduit dans le paysage des fongicides céréales. En accompagnement des mesures de prophylaxie, les stratégies de limitation, d'alternance et de mélange trouveront tout leur intérêt. L'objectif est clair : ralentir au maximum la sélection de mutants résistants au champ. ■

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