

Les mosaïques du blé dur

Deux maladies virales transmises par un micro-organisme du sol appelé *Polymyxa graminis* peuvent infecter le blé dur et le blé tendre. Ces maladies sont provoquées par 2 types de virus :

- le virus de la mosaïque des stries en fuseaux du blé (VSFB) qui infecte particulièrement le blé dur.
- le virus de la mosaïque des céréales (VMC) qui peut aussi infecter le triticale.

Il n'y a aucun moyen de lutte direct contre les virus ni contre le vecteur et les parcelles sont infestées de manière quasi définitive. Le seul moyen d'éviter la maladie est l'utilisation de variétés résistantes.

Il existe de nombreuses variétés de blé tendre résistantes aux mosaïques, par contre aucune variété de blé dur cultivée n'est résistante à ces deux virus.

Le blé dur est particulièrement sensible au virus de la mosaïque des stries en fuseaux, il n'y a pas de variété résistante cultivée et depuis quelques années les surfaces contaminées augmentent fortement dans les quatre bassins de production. Certains agriculteurs sont contraints d'abandonner le blé dur dans certaines parcelles contaminées (en particulier au sud de la Beauce). Il existe une forte interaction entre le froid et le développement du virus qui se traduit par des dégâts plus régulièrement importants en région Centre et une interaction entre la résistance des variétés au virus et leur résistance au froid dans les essais de la région Centre.

Tableau 1 - Virus des mosaïques sur céréales à paille

Céréales	Virus	français	anglais	genre
Orge	<i>Virus de la mosaïque jaune de l'orge</i>	VMJO	BaYMV	bymovirus
	<i>Virus de la mosaïque modérée de l'orge</i>	VMMO	BaMMV	bymovirus
Blé tendre Blé dur Triticale Seigle	Soil Borne Cereal Mosaic Virus Virus de la mosaïque des céréales	VMC	SBCMV	furovirus
Blé tendre Blé dur	Wheat Spindle Streak Mosaic Virus Virus de la mosaïque des stries en fuseaux du blé	VSFB	WSSMV	bymovirus
Blé tendre	<i>Virus de la mosaïque de l'Aube</i>	VMA	AWMV	?
Avoine	<i>Virus de la mosaïque de l'avoine</i>	VMA	OMV	bymovirus
	<i>Virus de la strie dorée de l'avoine</i>	VSDA	OGSV	furovirus

1 *Polymyxa graminis*, un vecteur contaminant le sol pour des décennies

Polymyxa graminis est un parasite obligatoire considéré comme étant le vecteur d'une douzaine de virus causant des réductions de rendement sur différentes espèces.

Polymyxa graminis est un eucaryote unicellulaire de la famille des plasmodiophorides, de l'ordre des plasmodiophorales. Il est caractérisé par une phase végétative de développement sous forme de plasmode, c'est-à-dire d'une masse cytoplasmique nue. Les souches non virulifères n'ont en général que peu d'incidence sur la croissance des plantes parasitées. Il existe de nombreuses souches se distinguant par leur gamme d'hôtes et les virus qu'ils véhiculent. Une très faible proportion d'individus virulifères suffit pour transmettre la maladie.

1.1 Cycle de vie de *Polymyxa graminis*

En absence de plante hôte, *P. graminis* survit dans le sol sous forme de spores, agglomérées en sporosores par dizaines, voire par centaines. Les sporosores sont libérées dans le sol lors de la décomposition des cellules radiculaires à l'intérieur desquelles elles ont été formées. Elles constituent le potentiel infectieux du sol en *P. graminis* et en virus, si elles sont virulifères (issues de plantes contaminées). Les spores en dormance peuvent survivre pendant des dizaines d'années dans certains sols. Les bases physiologiques de cette dormance et les conditions précises permettant de la lever sont encore peu connues.

Une étude montre qu'une température du sol à l'automne supérieure à 5°C favorise l'infection du VMC et du VSFB (Cadle-Davidson et Bergstrom, 2004). La présence d'exsudats radiculaires est également un facteur important dans la stimulation de la germination. Cette stimulation n'apparaît cependant pas être spécifiquement due à la plante hôte. La germination des spores libèrent des zoospores biflagellées qui se déplacent dans l'eau du sol et se dirigent vers la surface de poils absorbants et de cellules épidermiques et s'y enkystent, introduisant par la même occasion le ou les virus qu'ils contiennent.

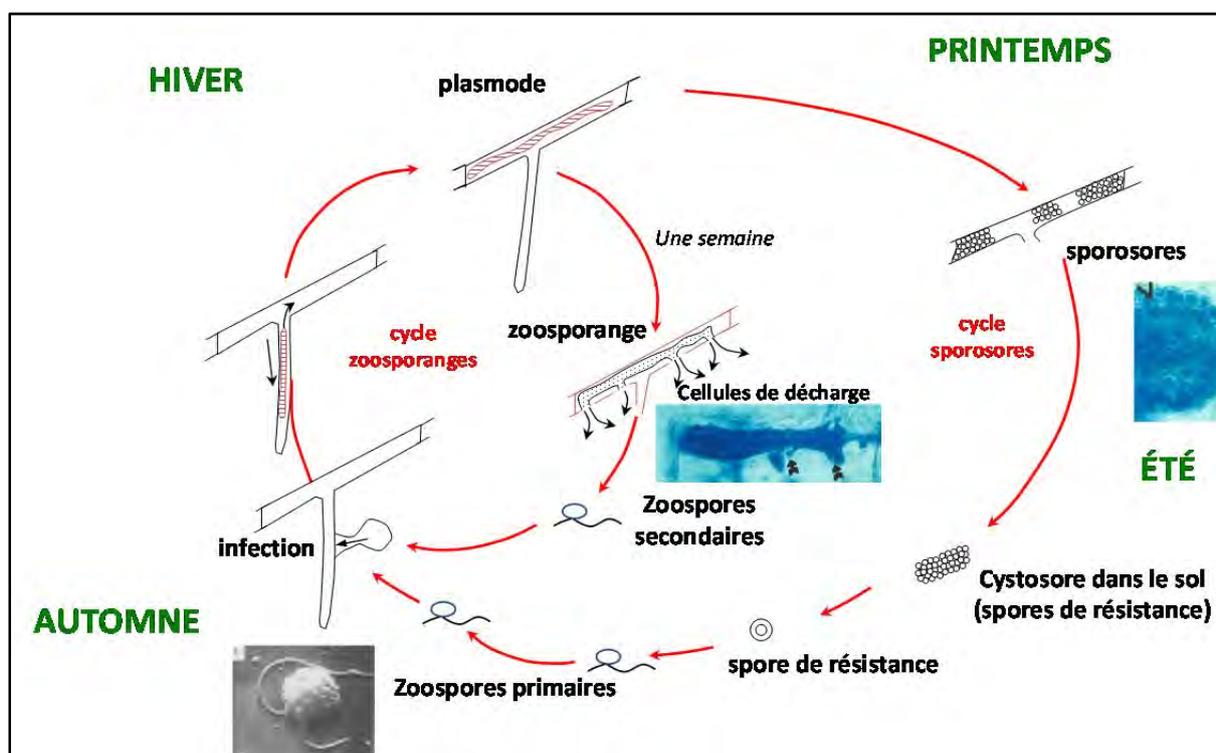


Figure 1 : Cycle de *Polymyxa graminis*, d'après H. Maraite, UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique.

Après l'enkystement à la surface d'une cellule hôte, le contenu de la zoospore enkystée donne naissance à un plasmode dans le cytoplasme de la cellule végétale. Après environ une semaine, les plasmodes évoluent en zoosporanges lobés, entourés d'une fine paroi. Des zoospores se différencient à l'intérieur de ces sporanges puis sont « déchargées » à l'extérieur des racines par des petites cellules plasmodiales. Ces zoospores secondaires nagent dans l'eau entourant les racines et infectent apparemment rapidement d'autres cellules épidermiques. Les plasmodes issus d'infections secondaires évoluent, soit en nouveaux plasmodes zoosporogènes, et plusieurs cycles de zoospores secondaires peuvent ainsi se succéder durant la saison de culture augmentant ainsi le degré d'infection du système racinaire, soit en plasmodes sporosorogènes (forme de survie). Les premiers sporosores sont généralement observés 2 semaines après l'infection primaire.

La rapidité de déroulement du cycle de multiplication, et de là, le nombre de cycles par période favorable à l'infection, sont fortement influencés par la température (optimum entre 15 et 20°C pour les vecteurs des mosaïques du blé).

1.2 Conditions favorables et évitement possible

Les conditions favorables à une levée rapide du blé dur, sol humide et température douce, semblent être aussi celles qui favorisent la contamination par *Polymyxa graminis*. Après la contamination primaire, c'est le nombre de cycles secondaires possibles qui déterminent le niveau d'infection des racines par le vecteur, et le virus s'il y est présent. De ce fait, plus la levée du blé dur est précoce et l'automne doux, plus le vecteur contaminera ses racines. Le seul levier connu pour limiter le niveau d'infection est de retarder la date de semis. Une semaine de décalage peut parfois réduire de manière très importante une attaque. Un fois les racines contaminées par le vecteur et les virus, ce sont les conditions d'hiver et printemps qui favoriseront ou non l'expression des symptômes.

Aucune technique culturale particulière réduisant le niveau de contamination autre que la date de semis n'a été mise en évidence actuellement.

Polymyxa graminis en résumé :

- La conservation dans le sol des cystosores : plus de 20 ans
- Une très faible proportion des cystosores est virulifère mais elle conditionne le niveau d'infection.
- La présence de *Polymyxa* sans virus est courante
- C'est un parasite obligatoire : le *Polymyxa* de l'orge est différent de celui du blé, et il se pourrait que la souche qui transmet le VSFB soit différente de celle qui transmet le VMC.
- Le virus doit être obligatoirement transmis par le vecteur.
- La transmission du vecteur (et du virus) ne peut se faire que par transport de terre ou de racines (aucune transmission par les graines).

2 Deux virus différents : le virus de la mosaïque des stries en fuseau (VSFB) et le virus de la mosaïque des céréales (VMC)

Le Virus de la Mosaïque des stries en fuseau du blé (VSFB) s'est développé ces dernières années de manière très importante dans toutes les zones de production du blé dur en commençant par la Beauce au début des années 2000. Le blé dur est très sensible à ce virus qui se développe dans tous les types de sol. Le retour fréquent du blé dur semble le principal facteur explicatif de l'apparition de cette maladie en progression chaque année dans les quatre bassins de production du blé dur. L'avancée des dates de semis a certainement joué aussi un rôle.

Le virus de la mosaïque des céréales (VMC) est moins présent. Il est plus inféodé à certaines situations comme les limons battants ou les parcelles à tendance hydromorphe. Ce virus est plus connu est depuis plus longtemps sur blé tendre.

Les deux virus peuvent être présents dans la même parcelle et infecter concomitamment les mêmes plantes. Selon les conditions climatiques, c'est un virus ou l'autre qui s'exprimera le plus.

2.1 Symptômes et nuisibilité

Les symptômes typiques des mosaïques sont des tirets chlorotiques répartis irrégulièrement (en mosaïques) qui apparaissent sur les feuilles émergentes lorsque les plantes commencent à pousser

après une période de temps froid. Très différent des symptômes de certaines carences. Ces symptômes permettent en général de faire un diagnostic assez certain. Mais ils sont souvent précédés au cours de l'hiver de jaunissements et de rougissements, qui révèlent la défaillance du système racinaire.

La répartition des symptômes dans les parcelles peut prendre toutes sortes de formes :

- des ronds plus ou moins importants, de différentes formes possibles, répartis sans explication systématique,
- des bandes correspondant à un ancien chemin, une ancienne parcelle, un changement de texture,
- une tournière,
- la parcelle presque entière.

D'une année à l'autre, l'évolution dans la parcelle dépend de nombreux facteurs mal connus. Les zones contaminées peuvent s'étendre plus ou moins ou bien stagner, mais il est rare qu'elles régressent. Dans certaines situations, la parcelle peut être presque entièrement atteinte dès la première année.

Ce qu'on observe à partir de mi-tallage :

- les plantes sont chétives, la croissance et le tallage sont réduits. Des plantes peuvent disparaître.
- Plusieurs étages foliaires présentent des symptômes de jaunissement et parfois de rougissement.
- les vieilles feuilles jaunissent puis dessèchent.

Ce qu'on observe à partir de début montaison :

- Les symptômes observés précocement persistent, puis évoluent.
- Des tirets chlorotiques répartis irrégulièrement et parallèles aux nervures apparaissent sur les feuilles.
- Le système racinaire est souvent réduit.
- La montaison est retardée (dans le cas du VMC, les plantes sont nanifiées).

Il est impossible de distinguer visuellement les symptômes entre les deux virus.

Des dégâts parfois importants

Concernant la mosaïque des stries en fuseau, de fortes attaques sur des variétés très sensibles peuvent entraîner des pertes de pieds jusqu'à 100 % dans les zones contaminées avant que les symptômes typiques de la maladie apparaissent. Ce qui complique alors le diagnostic. Les pertes de rendement sont très variables mais peuvent être proches de 100% dans certaines zones fortement contaminées.

Les conditions climatiques exactes qui favorisent l'expression de ces maladies virales ne sont pas précisément connues mais les années avec de fortes attaques sont celles qui présentent des conditions douces à l'automne (ce qui favorise le vecteur) et un hiver froid qui semble favoriser la multiplication du virus et sa migration dans les feuilles. Cela explique l'expression plus forte de la maladie dans le Centre que dans le Sud de la France.

Photo : plantes chétives, rougissement et jaunissement à la fin de l'hiver.



Photo ; tirets chlorotiques sur feuilles à la montaison



3 Une analyse virologique peut confirmer le diagnostic

Le diagnostic n'est pas toujours simple, notamment quand les plantes atteintes meurent avant que n'apparaissent les symptômes typiques de ces virus. De plus il est important de connaître quel virus est présent lorsqu'on observe des symptômes sur blé dur car cela détermine les variétés de blé tendre susceptibles d'être également infectées dans cette parcelle.

Il existe deux méthodes d'analyse capables de détecter la présence de virus dans une plante et de déterminer lequel :

- l'analyse ELISA qui utilise la réponse d'un anticorps réagissant à la présence du virus,
- l'analyse RT-PCR qui détecte la présence d'ARN du virus recherché.

L'analyse ELISA est utilisée depuis longtemps et est privilégiée pour le phénotypage des variétés et pour la sélection.

Voici deux laboratoires qui réalisent des analyses ELISA en routine sur mosaïques du blé dur :

- laboratoire GALYS : 14, rue André Boulle, 41 000 BLOIS - 02.54.55.88.88 (Marc Bezet).
- laboratoire AUREA : 39, rue Michel Montaigne, B.P. 122, 33294 BLANQUEFORT cedex - 05.56.35.69.71 (François POULT).

4 Le seul moyen de lutte serait la culture de variétés résistantes !

Contrairement au blé tendre, il n'y a pas de variété de blé dur cultivable résistante aux deux virus des mosaïques. Quelques-unes sont résistantes au VMC mais aucune au VSFB, virus le plus répandu.

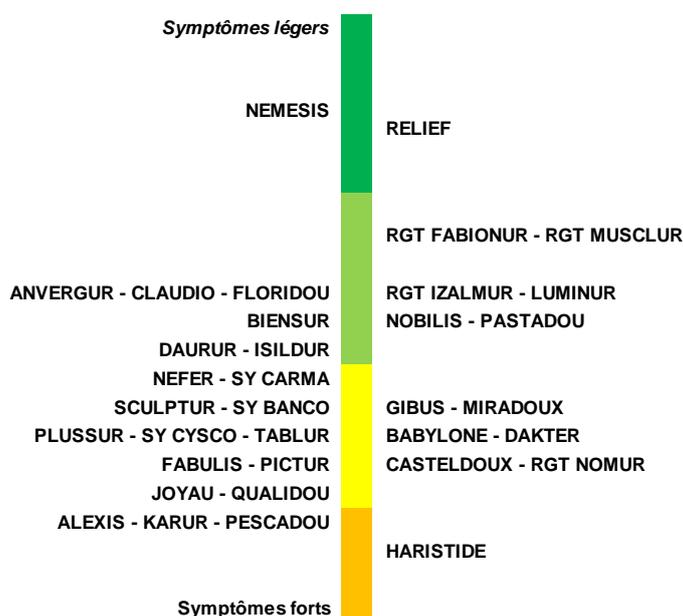
Les mécanismes de résistances du blé tendre s'apparentent plus à une tolérance ou résistance partielle selon les auteurs.

Et l'on peut penser que les mécanismes de résistances de variétés de blé dur seraient similaires à ceux du blé tendre. Ce n'est pas comme pour l'orge une immunité. Si l'on inocule manuellement (par piqûres) du virus à une variété résistante, elle présente des symptômes. Au champ, le virus est inoculé par le vecteur dans les racines mais s'y multiplie moins et ne passe pas dans les feuilles (sauf dans des conditions climatiques particulières).

4.1 Comportement des variétés face au virus de la mosaïque des stries en fuseau (VSFB)

Si aucune variété de blé dur n'est résistante au VSFB, on observe des comportements suffisamment différents et répétables pour établir un classement variétal. Chaque année, ARVALIS Institut du végétal met en place des expérimentations permettant de connaître le comportement des nouvelles variétés et de valider le classement des anciennes. Il faut plusieurs années pour stabiliser la position d'une variété dans le classement. Attention, la moindre sensibilité d'une variété n'est pas une résistance et elle pourrait présenter des dégâts relativement importants dans des situations à très forte pression.

Symptômes de mosaïques des stries en fuseau
Synthèse 1997-2016



Le classement proposé est strictement VSFB et ne peut en aucun cas prédire le comportement dans les parcelles contaminées avec du VMC (virus de la mosaïque des céréales).

4.2 Comportement des variétés face au virus de la mosaïque des céréales (VMC)

Il existe des variétés de blé dur résistantes au VMC mais elles sont peu nombreuses. On peut citer parmi celles dont la résistance a été validée dans les conditions françaises : Levante, Aronde, Artimon, Salsa, Tom Clair.

Un QTL de résistance été identifié sur le chromosome 2BS par l'équipe de Maccaferri de l'Université de Bologne en Italie. Il semble que ce gène de résistance corresponde à celui détecté aussi sur blé tendre et qui ne procure qu'une résistance partielle, dépendante des conditions climatiques. Certaines variétés données comme résistantes au VMC en Italie se sont montrées sensibles en France.

4.3 Recherche de variétés multi-résistances : perspectives

Depuis plusieurs années des travaux sont réalisés pour trouver des variétés de blé dur résistantes. Deux ressources génétiques ont été identifiées comme résistantes aux deux virus :

- **Dic2** : un blé primitif, amidonnier (T. dicoccum), très résistant aux deux virus mais avec beaucoup de défauts agronomiques (grain vétu).
- **Soldur** : variété de blé dur peu productive et de mauvaise qualité, présente parfois de légers symptômes (VMC).

Les derniers travaux ont permis d'identifier des QTLs de résistance au VSFB sur les Chromosomes 7A et 7B. Ces résultats devraient pouvoir aider les sélectionneurs.

Photo : essai de comportement des variétés de blé dur dans une parcelle contaminée avec les deux virus - Chambon sur Cisse (41) - avril 2010.

