

**AFPP – ONZIÈME CONFÉRENCE INTERNATIONALE SUR LES MALADIES DES PLANTES
TOURS – 7 AU 9 DÉCEMBRE 2015**

MILDIU DU TOURNESOL : DE L'IMPORTANCE DE LA GESTION DU CHOIX VARIÉTAL

E. MESTRIES et A. PENAUD ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Terres Inovia, Campus de Grignon, Avenue Lucien Brétignières, 78550 Thiverval-Grignon, France
e.mestries@terresinovia.fr ; a.penaud@terresinovia.fr

RÉSUMÉ

Le mildiou du tournesol, en tant qu'organisme réglementé de quarantaine, fait l'objet annuellement d'un plan de surveillance, permettant ainsi de suivre l'évolution de l'agent pathogène *Plasmopara halstedii* et de ses races. Depuis sa première détection en 2002, la race 714 est actuellement la plus fréquemment rencontrée, étendant année après année son aire de distribution. Trois facteurs expliquent cette progression : l'effet du climat, notamment les précipitations pendant la période des semis et levée du tournesol, le retour fréquent du tournesol dans la rotation et la nature des résistances génétiques des variétés. Prenant en compte ces deux derniers facteurs, un indicateur de risque basé sur l'historique à la parcelle des variétés cultivées au cours des 10 dernières années est défini par le calcul d'un indice de répétition des gènes de résistance spécifique et constitue un levier pour une gestion durable des résistances variétales.

Mots-clés : tournesol - *Plasmopara halstedii* – choix variétal – durabilité des résistances.

ABSTRACT

SUNFLOWER DOWNY MILDEW : THE IMPORTANCE OF THE VARIETAL MANAGEMENT

Sunflower downy mildew, as regulated quarantine agent, is annually monitoring, so allowing to follow the evolution of the pathogen *Plasmopara halstedii* and its races. Since its first detection in 2002, the race 714 is currently the most frequent, spreading year after year. Three factors explain this progress: the effect of climate, including rainfall during the season of sowing and emergence of the sunflower crop, the frequent return of the sunflower in the rotation and the genetic resistance of the varieties. Taking into account these last two factors, a risk indicator based on the history of the varieties grown in the last 10 years in a field is defined by the calculation of an index of specific resistance genes repetition and could be useful for a sustainable management of varietal resistance.

Keywords: sunflower - *Plasmopara halstedii* –varietal choice – sustainable management.

INTRODUCTION

Après plusieurs années de discrétion, le mildiou du tournesol a fait une réapparition significative en France depuis 2012. Le pourcentage de parcelles touchées observées lors de l'enquête sur les maladies du tournesol conduite en régions Midi-Pyrénées et Aquitaine par Terres Inovia et le SRAL Midi-Pyrénées s'élève ainsi à 30% en 2012, 41% en 2013 et 37% en 2014 (CRAMP, 2014). La région du Lauragais est particulièrement touchée. Si en cas de faible attaque, la maladie et sa nuisibilité peuvent passer complètement inaperçues pour les agriculteurs et leurs conseillers, les pertes de rendement peuvent atteindre des niveaux élevés lorsque les conditions sont favorables à l'expression de la maladie : par exemple, pour un rendement potentiel de 25 q/ha, les pertes estimées sont de l'ordre de 1 q/ha pour 5 % d'attaque mais peuvent atteindre près de 18 q/ha pour 70 % d'attaque.

L'objectif de cet article est de faire le point sur les raisons à l'origine de cette recrudescence de la maladie et de proposer un outil pour aider les producteurs au raisonnement de leur choix variétal.

MATERIEL ET MÉTHODE

Pour cette analyse, différentes sources de données ont été exploitées :

- les données issues du dispositif annuel d'épidémiologie-surveillance du mildiou du tournesol en France, réseau interprofessionnel piloté par la DGAL (Direction générale de l'alimentation),
- les données d'enquête sur les pratiques culturales des agriculteurs, conduites par Terres Inovia,
- les données du GEVES (Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences) sur le comportement des variétés inscrites au Catalogue français face aux différentes races de mildiou,
- les données UFS (Union française des semenciers) sur l'utilisation des variétés,
- les données météorologiques CIMEL-Arvalis de la station d'En-Crambade (31) dans le Lauragais et Météo France de la station d'Auch (32).

RESULTATS ET DISCUSSION

UN EFFET DETERMINANT DU CLIMAT PRINTANIER

Les attaques de mildiou se produisent majoritairement au moment de la levée, lorsque de l'eau libre circule dans le sol. Celle-ci permet aux zoospores de mildiou de migrer vers la racine des plantules et favorise les infections primaires. Un cumul de pluviométrie d'au moins 50 mm sur une période de 10 jours encadrant le semis (5 jours avant, 5 jours après) a été identifié comme le seuil à partir duquel le risque d'attaque est élevé (Délors *et al.*, 2000).

Sur deux stations météorologiques du Sud-Ouest, les cumuls de pluviométrie sur la période avril-mai sont en général au-delà des cumuls normaux (sauf à En-Crambade en 2012). Le nombre de périodes de 10 jours consécutifs présentant un cumul de pluies de plus de 50 mm entre le 15 mars et le 15 juin (période qui couvre les dates de semis sur la région ces trois années) s'élève entre 5 et 14 selon les années sur les deux stations. Le climat de l'année 2013 a été particulièrement favorable au mildiou sur les deux régions (Tableau I), le pourcentage de parcelles touchées dans le Sud-Ouest s'élevant à 41%.

Au-delà du « filtre » exercé par les résistances variétales mises en œuvre sur les parcelles et qui ne permet de ne visualiser que les cas où l'interaction hôte-pathogène se révèle compatible (sensibilité de la plante-hôte), la coïncidence entre ces périodes pluvieuses et les périodes de semis agit comme un révélateur du risque maladie. Ces trois dernières années montrent ainsi que le risque est bien présent, malgré plusieurs années (de 2005 à 2011) au cours desquelles le mildiou est resté particulièrement discret avec au maximum 10% de parcelles touchées repérées par le réseau d'épidémiologie-surveillance.

Tableau 1 : Caractéristiques climatiques printanières entre 2012 et 2014 pour deux stations météorologiques du Sud-Ouest (sources : Arvalis et Météo France)

(Spring climate characteristics between 2012 and 2014 for two weather stations from South-West region (sources: Arvalis and Météo France))

	Station d'En-Crambade (31)			Station d'Auch (32)		
Années	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Cumul de pluviométrie sur avril (mm)	17	98	97	91	59	59
Cumul de pluviométrie sur mai (mm)	67	121	47	96	143	95
Cumul total de pluviométrie sur avril et mai (mm)	84	219	144	187	202	154
Nombre de périodes avec cumul > 50 mm entre le 15 mars et le 15 juin	7	8	7	9	14	5

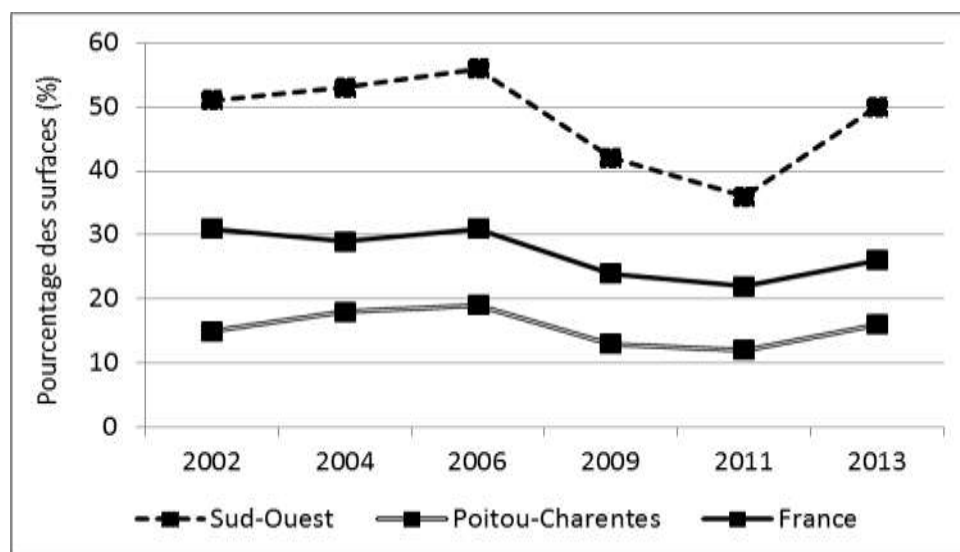
UN RETOUR TROP FREQUENT DU TOURNESOL DANS LA ROTATION DANS LE SUD-OUEST

Le mildiou est capable de survivre 6 à 10 ans dans le sol grâce à ses oospores, forme de conservation particulièrement efficace. Cette capacité de conservation fait que chaque nouvelle attaque sur une parcelle enrichit le potentiel infectieux du sol et que, même en absence de maladie, le risque est toujours présent (Mestries et al., 2012). Ce risque s'avère toutefois maximal au cours des 2 à 3 premières années qui suivent une attaque, ce qui montre tout l'intérêt du délai de retour du tournesol dans la rotation, au-delà de 3 ans (Tourvieille et al., 2008).

Or, l'analyse du délai de retour de la culture du tournesol dans la rotation à partir des enquêtes de Terres Inovia sur les pratiques culturales des producteurs montre que celui-ci est beaucoup plus court dans le Sud-Ouest que dans les autres régions de production. Ainsi, il est de deux ans seulement sur 40 à 60% des surfaces contre 10 à 20 % en région Poitou-Charentes, autre grande région productrice de tournesol et 20 à 30% au niveau national (Figure 1).

Figure 1 : Evolution du pourcentage de surfaces portant trois cultures de tournesol sur les six dernières années en France entre 2002 et 2013 (source : enquêtes « Pratiques culturales » Terres Inovia).

(Evolution of the percentage of cropping areas with three sunflower crops over the last six years in France between 2002 and 2013 (source: survey "Cultural practices" Terres Inovia))



PREVALENCE DE LA RACE 714 : 17 DEPARTEMENTS TOUCHES EN 2014, UNE RACE DOMINANTE DANS LE SUD-OUEST

Le réseau interprofessionnel d'épidémiologie-surveillance a mis en évidence l'existence de la race 714 en 2002 en France. Depuis, 107 isolats de cette race ont été détectés sur 17 départements au niveau national. 65% de ces isolats ont été identifiés en Midi-Pyrénées, 14% en Aquitaine, 10% en Poitou-Charentes, 4% en région Centre et en Languedoc-Roussillon et 3% en région Rhône-Alpes. Cette race se caractérise également par la rapidité de l'expression de sa résistance au seul traitement de semences autorisé sur le territoire (méfénoxam) : celle-ci a été détectée dès 2008, sur 3 isolats de Midi-Pyrénées ; en 2013 et 2014, la résistance affectait respectivement 88% (15 sur 17) et 80% (19 sur 24) des isolats de race 714 détectés au niveau national, confirmant l'importance de ce phénomène pour cette race.

L'évolution de la répartition de cette race depuis son apparition en 2002 sur notre territoire (Figure 2) rappelle celle de la race 703 (Figure 3) entre 1989 (année de sa découverte à Astaffort dans le Lot-et-Garonne) et 2000 : Sud-Ouest puis Ouest, Centre et Sud-Est. L'évolution de la race 703 est très liée à l'évolution de l'utilisation de variétés de tournesol résistantes à cette race, qui est passée de 0% en 1989 (aucune variété résistante n'était disponible à cette époque) à 60% en 2000. Aujourd'hui, la part de variétés résistantes à la race 714 oscille selon les années entre 6 et 35% entre 2002 (année de son apparition) et 2013, pour une moyenne de 19%, ce qui explique probablement pour partie l'extension de cette race sur le territoire.

Figure 2 : Evolution de la prévalence de la race 714 en France entre 2002 et 2014.

(Prevalence of the downy mildew race 714 in France between 2002 and 2014)

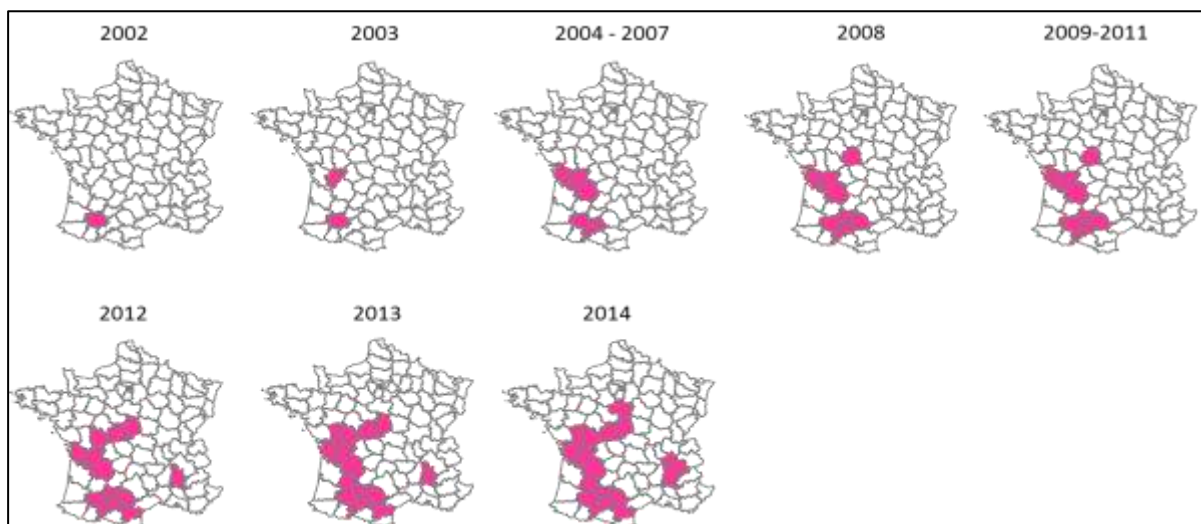
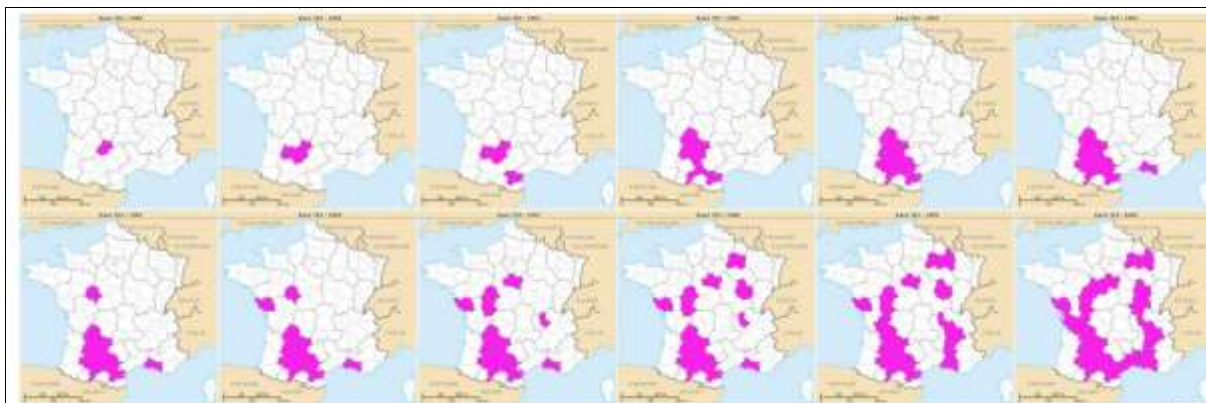


Figure 3 : Evolution de la répartition de la race 703 en France entre 1989 et 2000 (ANSES, 2014).

(Evolution of the distribution of the race 703 in France between 1989 and 2000 (ANSES, 2014).



Au-delà de la seule extension de la race 714, les attaques importantes de mildiou qui se sont manifestées ces trois dernières années contribuent à une augmentation significative du réservoir d'inoculum dans le sol. Ce réservoir représente un risque accru pour les trois à quatre prochaines années, à la fois en terme de risque d'attaque et de risque d'apparition de nouvelles races. En effet, les travaux d'Ahmed *et al.* (2012) suggèrent que des recombinaisons génétiques peuvent être à l'origine de l'émergence de nouvelles races de mildiou et ce risque de recombinaisons est d'autant plus élevé que le réservoir d'inoculum est dense.

UNE CARACTERISATION DES VARIETES INSCRITES AU CATALOGUE FRANÇAIS DE PLUS EN PLUS COMPLETE

La résistance génétique des variétés est un des moyens de lutte majeur contre le mildiou du tournesol. Il a montré toute son efficacité pendant de nombreuses années jusqu'au contournement, à partir de l'année 2000, des résistances spécifiques utilisées majoritairement sur le territoire *PI6* et *PI7*. Le raisonnement de l'utilisation des gènes de résistance spécifique repose sur un choix variétal à la fois adapté aux races présentes localement mais aussi varié au cours du temps pour tenter de limiter au mieux le risque d'apparition de nouvelles races supplémentaires. Pour cela, dans l'idéal, il faudrait pouvoir connaître les gènes de résistance utilisés dans chaque variété par les sélectionneurs ; cette information n'étant pas accessible en partie pour des raisons techniques (l'introgession d'un gène de résistance dans un hybride n'est pas toujours simple), le profil de résistance des variétés reste néanmoins une information précieuse. Disponible auprès des semenciers, elle est aussi accessible à travers les tests réalisés pour le CTPS lors de l'inscription des variétés au Catalogue français. En 2013 et 2014, une plus forte proportion des variétés déposées a ainsi été caractérisée pour leur comportement face aux 9 races de mildiou officiellement reconnues en France, respectivement 24% et 56% contre moins de 20% entre 2008 et 2012 (source : GEVES). Le caractère non obligatoire de cette caractérisation fait que toutes les nouvelles variétés inscrites en France ne sont pas encore caractérisées complètement face à toutes les races et que cette information n'est pas disponible pour les variétés issues du Catalogue communautaire.

Tous les profils des variétés disponibles figurent sur le site du Geves (pour les variétés inscrites au Catalogue français : http://cat.geves.info/document/profil_mildiou/397) et sur l'application MyVar de Terres Inovia (<http://www.myvar.fr/>).

UN INDICATEUR DE RISQUE BASE SUR L'HISTORIQUE DES VARIETES DES 10 DERNIERES CAMPAGNES TOURNESOL :

Des expérimentations menées au champ durant 5 années consécutives en monoculture de tournesol ont permis de montrer l'intérêt de l'alternance des gènes de résistance spécifique sur une même parcelle au cours du temps pour limiter le risque d'attaque et le risque d'apparition de nouvelles races. A l'opposé, la monoculture d'un même gène ou de deux gènes conduit à la fois à une perte d'efficacité de la résistance génétique des variétés et à l'apparition de nouvelles races à l'issue de seulement 3 campagnes (Tourvieille *et al.*, 2010).

Afin d'aider les conseillers et les producteurs dans leur raisonnement du choix variétal, un indicateur de risque correspondant à un « indice de répétition des gènes de résistance spécifique » a été construit. Il permet de prendre en compte l'historique des variétés de tournesol, et donc des gènes de résistance spécifique « cultivés » sur les 10 dernières années sur la parcelle pour le choix variétal de la prochaine campagne. Etant donné que l'information sur les gènes de résistance spécifique portés par les variétés n'est pas disponible, cet indicateur travaille avec des hypothèses, basées sur la connaissance des gènes de résistance utilisés par les sélectionneurs et sur la ou les résistances apportée(s) par chacun de ces gènes. Ces hypothèses sont récapitulées Tableau II.

Tableau II : Hypothèses sur les combinaisons de gènes de résistance spécifique présentes dans les variétés de tournesol.

(Hypothesis about the combinations of the specific resistance genes into sunflower varieties.)

Profils de variétés	Gènes de résistance spécifique
R9 = résistantes aux 9 races reconnues officiellement	<i>PIArg</i> ou <i>PI8</i> ou <i>PI2+PI5</i>
R8 = résistantes aux 9 races reconnues officiellement sauf 334	<i>PI5</i>
R7 = résistantes aux 9 races reconnues officiellement sauf 704 et 714	<i>PI2+PI6</i> ou <i>PI2+PI7</i>
R4 = résistantes aux races 100, 703, 710 et 304	<i>PI21+PI6</i> ou <i>PI21+PI7</i>
R3 = résistantes aux races 100, 703 et 710	<i>PI6</i> ou <i>PI7</i>

D'autres combinaisons de gènes sont probablement mises en œuvre par les sélectionneurs, mais ne peuvent être prises en compte ici. Toutes les variétés de profil R8 et R9 cultivées par le passé sur une parcelle sont considérées par défaut comme portant le même gène de résistance spécifique ; il en est de même pour les variétés de profils R4 et R3 et pour l'alternance des variétés R3 et R4, les gènes *PI6* et *PI7* ayant le même mode d'action.

La vigilance doit être de mise à propos des appellations R3, R4, R7, R8, R9 : elles ne font référence qu'aux 9 races reconnues officiellement en France (100, 304, 307, 314, 334, 703, 704, 710 et 714) et correspondent à une liste de races très précise face auxquelles la variété est résistante ; pour les autres races, soit la variété est sensible, soit son comportement n'est pas connu.

L'indice de répétition des gènes de résistance spécifique utilisés sur une même parcelle est construit de la façon suivante :

- Lorsque les gènes de la variété cultivée l'année *n* sont identiques (ou avec au moins un gène en commun) à ceux du précédent tournesol (année *n-2* ou *n-3* ou *n-4...*), on compte 2 points ; s'ils sont différents, on ne compte pas de point ;
- Lorsque les gènes de la variété cultivée l'année *n* sont identiques à ceux de l'anté-précédent tournesol, on compte 1 point ; s'ils sont différents, on ne compte pas de point ;
- Lorsque le tournesol revient dans la succession 1 année sur 2 ou 1 année sur 3, on considère cette pratique à risque et un malus de 3 points s'applique ; si le tournesol revient moins d'une année sur 3 dans la succession sur les 10 dernières années, on ne compte pas de malus.

L'indice de répétition peut ainsi varier de 0 à 14 points (Tableau III) selon les situations. Plus il est élevé, plus le ou les même(s) gène(s) ont été cultivés sur la parcelle au cours des dix dernières années et plus la pression de sélection sur l'agent pathogène est considérée comme forte.

On considère alors que les risques d'attaque de mildiou et d'apparition d'une nouvelle race seront élevés si l'indice de répétition des gènes de résistance est supérieur ou égal à 5 et ce, quel que soit le profil de la dernière variété cultivée face aux races présentes localement.

Ce raisonnement donne ainsi plus de poids à l'historique du choix variétal sur les 10 dernières années qu'au choix variétal du dernier tournesol implanté sur la parcelle et reflète les résultats obtenus entre 2007 et 2009 à propos de l'effet du choix variétal et de la longueur de la rotation sur le risque mildiou en parcelles agricoles (Moinard *et al.*, 2009). Si moins de 3 tournesols sont cultivés en 10 ans sur une même parcelle, le double risque (risque d'attaque et apparition de nouvelle race) est globalement réduit.

Les « options » prises pour le calcul de cet indice peuvent apparaître comme sévères mais il s'agit ici de prévoir un risque, sans le minimiser, à partir du peu d'informations dont on dispose sur les variétés. Toute évolution dans l'information disponible sur les variétés permettra bien sûr de l'affiner.

Tableau III : Illustration de la gamme de variabilité de l'indice de répétition des gènes de résistance spécifique du tournesol au mildiou sur une même parcelle.

(Illustration of the range of variability of the repetition index of specific sunflower mildew resistance genes on the same field plot.)

Scénario	Profils des 2 à 5 tournesols cultivés sur les 10 dernières années					Indice de répétition
	R3	R4	R3	R4	R3	
Rotation courte, profils à mêmes gènes	R3		R4		R3	14
Rotation longue, profils à mêmes gènes	R3		R4		R3	5
Rotation courte, profils R8-R9	R8	R9	R8	R9	R8	14
Rotation longue, profils R8-R9	R8			R9	R8	2
Rotation courte, même profil	R8	R8	R8	R8	R8	14
Rotation longue, même profil	R8	R8		R8		5
Rotation courte, profils variés	R7	R4	R8	R3	R9	7
Rotation longue, profils variés	R7		R4	R9		2
Rotation longue, profils variés	R7		R8		R9	1
Rotation longue, profils variés	R7		R8		R7	1
Rotation longue, profils à mêmes gènes	R4			R8		0
Rotation courte, profils R7-R8	R7	R8	R7	R8	R7	6

CONCLUSION

L'expression d'une maladie est le résultat des interactions entre la plante-hôte, l'agent pathogène et leur environnement commun. Cette analyse illustre comment ces interactions peuvent brusquement basculer vers un nouveau développement de la maladie à travers un climat favorable à la réussite des infections et un pathotype récent de plus en plus présent en raison d'un choix variétal insuffisamment raisonné face au risque.

La mise en œuvre de l'alternance des variétés dans la rotation est un élément-clé de la lutte contre le mildiou. Le choix variétal doit être raisonné sur le long terme, en fonction des races présentes localement, de l'historique de la parcelle (attaques significatives, variétés cultivées par le passé) et de la fréquence de retour du tournesol sur la parcelle. Aujourd'hui, ce choix ne peut se baser que sur le phénotype des variétés et non leur génotype. L'indicateur de risque proposé, s'il n'est pas parfait, permet déjà d'identifier les situations à risque et de raisonner le choix du profil de résistance pour une parcelle donnée. Pour aller plus loin, un outil de prévision du risque prenant en compte l'ensemble des pratiques culturales et l'environnement de la parcelle (sol, climat, territoire) basé sur la démarche de modélisation qualitative hiérarchique agrégative IPSIM (Injury Profile SIMulator ; Aubertot et Robin, 2013) est en cours de développement au sein de l'UMT Tournesol à Toulouse.

REMERCIEMENTS

Tous nos remerciements à Jacques Moinard du SRAL Midi-Pyrénées, au groupe interprofessionnel d'épidémiologie-surveillance du mildiou du tournesol ainsi qu'à Christophe Vogrincic et aux équipes des stations expérimentales de la zone Sud de Terres Inovia pour les enquêtes maladies.

BIBLIOGRAPHIE

Ahmed S., Tourvieille de Labrouhe D., Delmotte F., 2012 - Emerging virulence arising from hybridisation facilitated by multiple introductions of the sunflower downy mildew pathogen *Plasmopara halstedii*. *Fungal Genet. Biol.*, 49, 10, 847-855.

Aubertot J.N., Robin M.H., 2013 - Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. *PLoS ONE* 8, 9 : e73202. doi:10.1371/journal.pone.0073202.

ANSES, 2014 - Analyse de risque phytosanitaire *Plasmopara halstedii* - agent responsable de la maladie du mildiou tournesol. *Avis de l'ANSES, rapport d'expertise collective*, 107 p.
<https://www.anses.fr/fr/content/avis-et-rapport-de-l%E2%80%99anses-relatif-%C3%A0-la-r%C3%A9alisation-d%E2%80%99une-analyse-de-risque-phytosanitaire>

CRAMP, 2014 - Bulletin de Santé du Végétal Tournesol / Soja : bilan 2014 – édition Aquitaine & Midi-Pyrénées, 14 p. http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/BSV_BILAN_Tournesol_Soja_2014.pdf

Délos M., Eychenne N., Birba I., Fabry C., 2000 - Etude des facteurs expliquant les fluctuations des attaques de *Plasmopara halstedii* en France. *Proceedings 15th International Sunflower Conference*, Toulouse, France, tome II, 143-148.

DGAL/SDQPV, INRA, Terres Inovia, 2015 - Mildiou du tournesol (*Plasmopara halstedii*) : note commune, 4 p.
http://www.terresinovia.fr/fileadmin/cetiom/Cultures/Tournesol/maladies/note_commune_mildiou_tournesol_2015.pdf

Mestries E., Lecomte V., Duroueix F., 2014 - Mildiou du tournesol : Les clés pour mettre en place une lutte durable. *Rencontres Techniques Régionales CETIOM*, Ondes, 11 décembre 2014, 83-92.

Mestries E., Moinard J., Tourvieille D., Walser P., Penaud A., Pinochet X., 2012 - Tournesol. Se prémunir contre le mildiou grâce aux variétés et aux rotations. *Perspectives Agricoles*, 386, 58-61.

Moinard J., Mestries E., Tourvieille D., Penaud A., Walser P., Pinochet X., Thiery C., Dordolo M., Marage G., 2009 - Gestion durable du risque mildiou du tournesol : influences des facteurs agronomiques et des choix variétaux sur le développement quantitatif et qualitatif de l'inoculum. *IX^{ème} Conférence Internationale sur les Maladies des Plantes*, 8-9 décembre, Tours, France, 281-290.

Tourvieille D., Penaud A., Walser P., Mestries E., Moinard J., Serre F., Thiery C., Garric B., Delmotte F., Pinochet X., 2008 - Determining the sunflower downy mildew risk by soil analysis. *Proceedings 17th International Sunflower Conference*, June 8-12, Córdoba, Spain, Vol.1, 169-174.

Wagner D., 2013 - *Enquête sur les conduites du tournesol : synthèse nationale*. Document interne CETIOM, 22 p.