LE PLAN ECOPHYTO ET LA PLACE DES RESISTANCES GENETIQUES AVEC COMME EXEMPLE LE BLE

Philippe GATE[1], Philippe DU CHEYRON[2], Josiane LORGEOU[3], Nathalie VERJUX[4]

ARVALIS - Institut du végétal
[1] *3 rue Joseph et Marie Hackin - 75116 – Paris*
[2] *Route de Châteaufort ZA des graviers – 91190 – Villiers le Bâcle*
[3] *91170 Boigneville*
[4] *21 chemin de Pau – 64121 – Montardon*
Contact : *p.gate@arvalis.fr*

RESUME

Cette présentation décrit le plan national Ecophyto qui fixe le cadre politique de la protection des cultures dans son ensemble. Certains aspects et certaines options sont discutés, notamment des axiomes de départ qu'il conviendrait de confirmer ou de vérifier, certains manques de connaissance, de méthodes, de solutions alternatives suffisamment efficaces, se traduisant par des difficultés de mise en œuvre du plan. La place faite aux résistances génétiques (en particulier les fiches action CEPP) et plus largement dans le plan « Semences et Plants et Agriculture Durable » (notamment dans la nouvelle feuille de route du CTPS), est révélatrice de leur intérêt pour réduire l'usage des produits phytopharmarceutiques.

En prenant comme exemple les céréales, on démontre que pour l'ensemble des maladies majeures, les notes de résistance des variétés se sont améliorées au cours du temps. Aussi, depuis environ 10 ans, des variétés multi-résistantes sont proposées par les sélectionneurs : cette offre nouvelle et récente constitue un atout indéniable pour réduire les traitements fongicides en culture. L'analyse de courbes de réponse aux fongicides intégrant la diversité des résistances évalue l'enjeu génétique en termes de réduction des usages aux alentours d'un IFT, voire plus si l'on intègre l'ensemble des maladies susceptibles d'être présentes.

Pour valoriser au mieux les résistances, une étude a permis de classifier des zones géographiques correspondant à des profils de résistance aux maladies adaptés. Face à une variabilité interannuelle de plus en plus forte, préconiser certains triplets de variétés à l'échelle de 3 parcelles de l'exploitation, pour assurer meilleures performances moyennes et stabilité interannuelle, est démontré. En revanche, une méta-analyse de plus de 150 essais démontre le très faible bénéfice des mélanges de variétés au niveau intra-parcellaire pour réduire la nuisibilité des maladies.

Les outils de prévision des risques et d'aide à l'intervention de l'agriculteur sont d'un intérêt croissant, compte tenu de la plus forte variabilité interannuelle (ajustement de la lutte aux maladies présentes en fonction de leur pression et optimisation économique des décisions). En outre, gérer les résistances génétiques dans le cadre d'une protection intégrée conduit à des effets de synergie permettant de réduire davantage l'usage des produits phytopharmaceutiques ou de cultiver des variétés plus sensibles avec un risque sanitaire acceptable.

Face au retrait progressif de l'utilisation des produits phytosanitaires, les résistances génétiques aux maladies constituent plus que jamais un levier très efficace.

Mots-clés : Ecophyto, protection intégrée, tolérance génétique, résistance génétique, progrès génétique, nuisibilité, variabilité, conseil variétal.

1 - DE ECOPHYTO PHASE 1 A ECOPHYTO PHASE 2

Initié en 2008, le plan avait pour objectif de réduire de 50 % l'utilisation des produits phytopharmaceutiques dans un délai de 10 ans, si possible. Il s'inscrit dans le cadre de la directive européenne 2009/128 d'utilisation des produits phytopharmaceutiques compatibles avec le développement durable, qui demande à ce que « les Etats membres aient recours à des plans d'action nationaux visant à fixer des objectifs quantitatifs, des cibles, des mesures, des calendriers et des indicateurs en vue de réduire les risques et les effets de l'utilisation des pesticides sur la santé humaine et l'environnement et à encourager le développement de la lutte intégrée contre les ennemis des cultures et de méthodes ou de techniques de substitution en vue de réduire la dépendance à l'égard de l'utilisation des pesticides ». La protection intégrée, basée sur la combinaison de méthodes prophylactiques, d'analyses de risques, de lutte directe, sans exclure une utilisation raisonnée des produits phytopharmaceutiques, constitue le cadre commun à tous les pays pour la conception des itinéraires de protection pour l'avenir. En revanche, l'interprétation française de la directive en termes d'objectifs quantitatifs et de calendrier (réduction de 50 % sur 10 ans) est parmi les plus ambitieuses des pays européens, avec une position très restrictive quant à l'utilisation des produits phytopharmaceutiques.

1.1 - Plan Ecophyto phase 1 : mise en place d'actions structurantes

Doté initialement d'un budget annuel de 41 millions d'euros (issu de la redevance pour pollution diffuse, sur la base des quantités de produits achetés par les producteurs), le Plan Ecophyto a permis la mise en place de nombreuses actions structurantes entre 2009 et 2014.

- Le Bulletin de Santé du Végétal (BSV) décrit chaque semaine dans tous les départements français l'état sanitaire des cultures, les bio-agresseurs présents avec des recommandations pour les producteurs. Ce bulletin a permis de développer un réseau d'observations avec plus de 3500 observateurs appartenant à différentes structures (Chambres d'Agriculture, Coopératives, Instituts Techniques…) sur plus de 15000 parcelles.
- Constitué progressivement depuis 5 ans, le dispositif du réseau DEPHY, dont l'objectif est d'identifier et d'évaluer des systèmes de culture économes en produits phytopharmaceutiques, regroupe actuellement plus de 1900 exploitations dont 103 sites d'établissements d'enseignement agricole. Ces exploitations sont, réparties en 187 groupes, chacun animé par un ingénieur de réseau. Ce dispositif promeut également l'expérimentation visant à réduire l'utilisation de la lutte chimique.
- Le portail de la protection intégrée EcophytoEPIC rassemble et met à disposition les informations et les outils d'aide à la mise en œuvre de la protection intégrée. Ce référentiel de la protection intégrée, élaboré grâce à un large partenariat appuyé par les instituts techniques, est structuré par culture, et s'élabore progressivement en fonction des nouvelles connaissances.
- Le Certiphyto est une formation obligatoire pour tous les professionnels de l'application, de la vente et du conseil. La formation vise à réduire le recours aux produits phytosanitaires et à sécuriser leurs usages afin de protéger les personnes et de préserver l'environnement par l'utilisation de méthodes alternatives à la lutte chimique, issues de la recherche et du développement.

En dépit de la mise en place de ces actions et de ces investissements, le bilan mitigé du plan en 2014 (augmentation de 5,8 % de l'utilisation des produits pharmaceutiques entre 2011-2012-2013 et 2012-2013-2014) a conduit à la rédaction du rapport du député Dominique Pottier en 2014 « Pesticides et agro-écologie, les champs du possible », dont les 63 recommandations constituent la base d'inspiration du plan Ecophyto phase 2.

1.2 - Plan Ecophyto phase 2 : des objectifs confirmés ou renforcés

L'objectif de réduction de 50 % est maintenu mais selon une trajectoire en 2 temps :

- Tout d'abord, une première réduction de 25 % en 2020 par la généralisation des techniques existantes, disponibles dans le cadre du référentiel de la protection intégrée mais aussi via les solutions alternatives identifiées dans le cadre des réseaux d'agriculteurs.
- Puis une deuxième réduction de 25 % pour aboutir à moins 50 % en 2025 suite à la mutation des systèmes de culture (diversification des espèces dans la rotation, mise en œuvre de pratiques agro-écologiques…) , aux nouveaux acquis de la recherche et à la disponibilité plus grande de produits de substitution.

Pour suivre le plan, l'indicateur retenu reste le NODU (Nombre de Doses Unités) qui est un indicateur quantificatif des usages des produits. Calculé à partir des données de vente des distributeurs de produits phytopharmaceutiques, le NODU correspond à un nombre de traitements « moyen » appliqué annuellement sur l'ensemble des cultures, à l'échelle nationale. Il s'affranchit des substitutions de substances actives par de nouvelles substances efficaces à plus faible dose puisque, pour chaque substance, la quantité appliquée est rapportée à une dose unité de référence (DU) qui lui est propre. Ainsi, rapporté à la surface agricole utile (SAU), le NODU permet de déterminer le nombre moyen de traitements par hectare (ou le nombre total d'hectares traités avec une dose de référence).

La formation Certiphyto est réformée : formation diplômante obligatoire pour les producteurs, les conseillers, les distributeurs. Elle est à renouveler tous les 5 ans et non tous les 10 ans pour la catégorie producteurs comme c'était le cas auparavant. Lors d'un premier certificat, un QCM permet de vérifier les acquis en fin de formation. Les moyens du plan sont également renforcés de manière très significative : aux 41 millions € initiaux s'ajoutent 30 millions supplémentaires destinés en priorité à l'animation du plan, notamment dans les régions.

Le réseau des fermes DEPHY est largement mis en avant avec l'ambition de faire rayonner 3000 fermes pour favoriser les dynamiques d'apprentissage et de changement vers l'agro-écologie, l'objectif étant de toucher 30 000 exploitations avant la fin du plan. Le plan fournit un accompagnement pour encourager l'innovation et poursuivre le développement de systèmes économes en pesticides et performants. Le réseau est dorénavant articulé avec les groupements d'intérêt économique et environnemental (GIEE). Les GIEE correspondent à des projets portés soit par des agriculteurs qui s'engagent collectivement dans une transition agro-écologique, soit par des groupements de producteurs favorisant l'émergence de dynamiques collectives prenant en compte des objectifs à la fois économiques et environnementaux. De ce fait le plan Ecophyto s'inscrit davantage dans le cadre du plan national Agro-écologie.

La recherche est promotionnée sur 5 axes :

- Le biocontrôle, avec la volonté de développer les solutions existantes, d'identifier les obstacles à leur utilisation, d'accompagner la mise en marché de solutions innovantes et de favoriser l'émergence d'entreprises françaises dans ce domaine.
- Les agro-équipements (y compris la robotique) visant à améliorer la performance à la fois économique, environnementale (matériel économe en produits phytopharmaceutiques répondant aussi aux enjeux environnementaux et de protection des opérateurs et des riverains) et sociale.
- Les équipements de protection individuelle (EPI).
- La gestion durable de la flore adventice par l'intégration de l'ensemble des leviers (dont la diversification des systèmes de culture) permettant de réduire l'usage des produits chimiques et la résistance aux herbicides.
- L'innovation variétale en promotionnant la création et l'utilisation de variétés tolérantes ou résistantes aux bio-agresseurs.

1.3 - Plan Ecophyto phase 2 : des inflexions « nouvelles »

Le plan devient co-piloté par le Ministère de l'Agriculture (de l'Agroalimentaire et de la Forêt) et le Ministère de l'Ecologie avec une régionalisation et une déclinaison territoriale renforcées. La déclinaison du plan dans les régions est assurée par le financement de projets territoriaux.

Surtout, le plan se dote, pour parvenir aux objectifs de réduction, d'outils d'incitation pour l'adoption de pratiques alternatives dont en particulier les Certificats d'Economie de Produits Phytopharmaceutiques (CEPP), inspirés du dispositif mis en œuvre dans le domaine de l'énergie. Ce dispositif expérimental sur 5 ans repose sur l'adoption de mesures permettant de réduire les usages : ces mesures sont décrites sous forme de fiches actions, avec une équivalence de réduction de produits phytosanitaires quand ces actions sont mises en œuvre. Ces actions qui peuvent être proposées par des « obligés » (les distributeurs de produits phytosanitaires auprès des producteurs) ou des « éligibles » (autres personnes morales que les « obligés », notamment des structures de conseil) sont retenues ou non par une commission d'évaluation avec parution au Journal Officiel. Le champ d'application concerne tous les distributeurs (nommés les « obligés »), tous les produits phytopharmaceutiques à l'exception des produits de biocontrôle, de traitement de semences et de lutte obligatoire. L'objectif est d'atteindre une réduction de 20 % en équivalent CEPP pour chaque obligé. Cette mesure se fera sur l'année civile 2021. L'objectif pour chaque distributeur est déterminé à partir de la moyenne olympique[1] des ventes déclarées, constituées par les données disponibles des 5 années les plus récentes. En 2021, il faudra apporter les preuves nécessaires (mise en œuvre des actions) avec impossibilité de rachat entre « obligés », et obligation de pénalité par CEPP manquant par rapport à l'engagement déclaré (un montant de 5€ par CEPP manquant est annoncé). Actuellement, une vingtaine de fiches actions ont été publiées et couvrent un large éventail de solutions : lutte biologique (trichogrammes), utilisation de système de défense naturelle, soufre, défanant, biocontrôle, adjuvants, outils d'aide à la décision, GPS (pour éviter les recouvrements d'épandage des produits), association d'espèces, association de variétés, et variétés résistantes.

L'ambition est aussi de valoriser le plus possible les nombreuses données acquises dans le cadre du plan depuis sa création. A ce titre, la plateforme de stockage et de valorisation AGROSYST, développée sous l'égide de l'INRA, a pour vocation de traiter les données issues des différents réseaux, dont celui de fermes DEPHY, et de parvenir jusqu'à des évaluations multi-critères des performances des exploitations.

Egalement, le dispositif du Bulletin de Santé du Végétal s'oriente vers des capacités prédictives clairement affichées. Financé par les metteurs en marché des produits (0.2 % des ventes) et animé par l'ANSES, un nouveau dispositif de pharmacovigilance est lancé.

S'agissant de la promotion de l'innovation, l'axe recherche sur le biocontrôle est renforcé par la création du consortium biocontrôle piloté par l'INRA : ce dispositif, qui rassemble les acteurs de la recherche publique et privée, a comme objectifs de prioriser les recherches, d'établir des preuves de concept et des prototypes précompétitifs dans le cadre de partenariats public-privé. La recherche collaborative, avec des réseaux d'agriculteurs est très largement mise en avant (DEPHY, GIEE). L'agriculteur, considéré comme acteur de la recherche (détecteur d'innovations) et vecteur de diffusion (dissémination, acceptabilité, déclinaison des innovations) a un rôle prépondérant (effet multiplicateur) pour la transition agro-écologique : l'objectif de 30 000 fermes agro-écologiques est affiché.

Des actions de lobbying sont également présentes avec le but de porter une culture positive et moderne du plan en le reliant en particulier avec l'agro-écologie et en communiquant de manière transparente et plus fréquente vers les citoyens. Egalement, les leviers des activités « aval » des agro-industries, plus proches des besoins des consommateurs et jugés comme étant plus à même de faire évoluer les débouchés (et donc les filières et les systèmes de culture) seront actionnés. Et la France aura un rôle de lobbying renforcé à l'échelle de l'Europe afin d'accélérer le processus de retrait des substances jugées dangereuses.

[1] c'est-à-dire la moyenne après avoir éliminé les deux valeurs extrêmes.

1.4 - Discussion

Certains « axiomes » mis en avant par le plan restent à vérifier ou à préciser.

- La diversification des espèces est trop souvent affichée comme un objectif et non comme un moyen, avec des effets qualifiés de strictement positifs qui sont à confirmer/infirmer et à préciser en fonction des espèces et des milieux. Par ailleurs, leurs incidences sur les critères de performance des systèmes de culture, notamment économiques sont aussi à évaluer : l'évaluation multicritères doit être une obligation méthodologique si l'objectif du plan est bien de « combiner la réduction de la dépendance aux produits phytopharmaceutiques et la performance économique des exploitations » (plan Ecophyto II, 2015).
- Dans le même état d'esprit, les outils d'aide à la décision faisant appel à des leviers liés au système de culture sont jugés plus efficaces que ceux construits à l'échelle de la parcelle.
- Dans le plan, l'utilisation par l'agriculteur des outils d'aide à la décision se traduit systématiquement par une réduction des usages des produits phytopharmaceutiques. Cette assertion est en désaccord avec l'existence d'une forte variabilité interannuelle des pressions parasitaires et des nuisibilités engendrées par les aléas climatiques.
- Garantir que la réduction des usages permet à elle seule, la réduction des impacts n'est pas toujours vrai et peut être mis en défaut. Au-delà de la dose, les conditions d'utilisation sont importantes et les méthodes capables d'éviter tous types d'excès dans le milieu ou dans la plante sont également à considérer.

Certains manques de connaissances, de méthodes, de solutions se traduisent par des difficultés de mise en œuvre du plan.

Dans le plan, combiner réduction de l'utilisation des produits et multiperformance des systèmes de culture est possible dès à présent. Le frein principal résulterait en premier lieu de la lenteur de la généralisation des techniques existantes et disponibles. Cependant une analyse des leviers déjà diffusés permet de constater que nous sommes loin de disposer d'une gamme suffisante d'outils opérationnels capables de maîtriser les bio-agresseurs les plus préjudiciables à certaines cultures comme le blé, le maïs et la pomme de terre (Verjux *et al.*, 2017, à paraître). Par ailleurs les méthodes d'assemblage des différents leviers, pour mettre au point la lutte intégrée en fonction des objectifs et des contraintes de l'exploitation, restent à construire pour un grand nombre de bio-agresseurs. La boîte à outils de la protection intégrée ne propose pas d'itinéraires clés en main, mais des briques élémentaires par type de bio-agresseur à apparier à chaque situation (Ricci *et al.,* 2011), mais encore faut-il que cette boîte soit bien remplie pour répondre au maximum de situations.

Des besoins de recherche prioritaires sont donc à combler rapidement pour disposer de solutions alternatives efficaces aux produits phytopharmaceutiques. Aussi, des méthodologies pour mettre en synergie les leviers utiles, et décliner les solutions intégrées d'une situation agronomique à une autre, sont à développer.

La promotion de la diversification des espèces, qui inclut les plantes de service, est aussi mise en avant dans le plan. Or, la recherche s'est concentrée depuis de nombreuses années sur quelques espèces élites et les fonctions écosystémiques des couverts restent très peu étudiées. Par ailleurs, les effets antagonistes sont peu appréhendés car les études sont le plus souvent centrées sur un seul bio-agresseur.

On peut en outre souligner des inflexions positives entre les deux phases du plan : le slogan « moins c'est mieux » de 2009, devenu « réduire et améliorer l'utilisation » de 2012, fournit un cadre plus constructif et mieux perçu par les agriculteurs. « Améliorer l'utilisation » confirme que l'on peut optimiser les usages des produits phytosanitaires et sous-entend que la réduction concerne les usages et les impacts.

La mobilisation du réseau DEPHY, pour proposer et évaluer des mécanismes de couverture des risques, constitue également une avancée favorable pour les producteurs. Face à certaines solutions alternatives parfois plus coûteuses, plus difficiles à mettre en œuvre (faisabilité agronomique) et dont les

effets sont souvent partiels et quelquefois plus variables, une aide financière pour compenser la prise de risque sera un atout pour activer la transition des pratiques.

En revanche, il est demandé dans le cadre des réseaux d'établir un bilan régional de la nuisibilité, alors que le suivi du plan pour évaluer l'évolution des usages est basé sur un indicateur indépendant de l'année (NODU de référence). Effectivement, on comprendrait mieux que l'indicateur de suivi prenne en compte le niveau de nuisibilité annuel, car fortement dépendant d'un effet année. D'ailleurs, dans le cadre de la gestion de la fertilisation azotée, la dose totale d'engrais azotée estimée *a priori* pour un objectif de rendement moyen avec la méthode du bilan, peut être revue à la hausse ou à la baisse en fonction des conditions de l'année.

2 - PLACE ET BENEFICES DU LEVIER GENETIQUE DANS LE PLAN ECOPHYTO

2.1 – Place du levier génétique dans le plan Ecophyto I et II

La variété est déjà affichée comme un levier important dans le plan Ecophyto phase 1 avec l'objectif de mettre à disposition des « variétés moins dépendantes des pesticides, engrais, et eau » (décembre 2009). Cette finalité est confirmée en 2011, dans le cadre du plan Semences et Agriculture Durable (SAD). Ainsi, les études VATE pour l'inscription au catalogue officiel des variétés, visent à orienter le progrès génétique vers des variétés adaptées à des itinéraires techniques diversifiés permettant de répondre à la réduction des intrants.

Cet objectif est renforcé dans le plan Semences et Plants et Agriculture Durable en 2016 (SPAD, version 2 du SAD), notamment dans la nouvelle feuille de route du CTPS :

- dans le cadre de l'axe 2 qui oriente les recherches : « favoriser une innovation au service de l'agro-écologie dans le secteur des semences et plants » ;

- dans le cadre de l'axe 3 qui favorise l'inscription et la diffusion de variétés résistantes : « adapter les critères d'inscription des variétés pour une agriculture multi-performante ». A souligner, trois actions en lien direct avec les objectifs du plan Ecophyto :

. Action 3.3, « quelle VATE pour promouvoir l'agro-écologie ? ».

. Action 3.4, « favoriser l'inscription de variétés adaptées à l'agriculture biologique ».

. Action 3.5, « favoriser la diffusion de variétés résistantes ou tolérantes aux bio-agresseurs ».

Dans le cadre du plan Ecophyto phase 2, l'innovation technique variétale est mise en avant parmi les 5 axes prioritaires dans la définition d'une stratégie nationale de recherche et d'innovation. Elle y est en revanche très peu détaillée et très peu instruite en comparaison de la thématique du biocontrôle, des agro-équipements et de l'intérêt du réseau DEPHY. En revanche, la variété y est identifiée comme un levier éligible dans la proposition de fiche CEPP.

Actuellement, deux fiches actions mettant en avant la variété ont été validées : une fiche avec des associations de variétés de colza et une autre avec des variétés résistantes au mildiou de la pomme de terre. Un travail sur le blé tendre est en cours de construction avec ARVALIS (travaux de « Josiane Lorgeou ») et les sélectionneurs. Un projet de méthode calcul est en cours d'élaboration. La méthodologie envisagée propose un regroupement par période de traitement (T1 pour la verse, le piétin-verse, la rouille jaune ; T2 pour la septoriose, la rouille brune ; T3 pour la fusariose) avec la prise en compte de l'occurrence, de l'intensité et des surfaces concernées pour les maladies inféodées à des régions géographiques (rouille jaune, piétin-verse et fusariose). Le regroupement par période de traitement, afin d'éviter une intervention, oblige à un classement nouveau des variétés (variétés simultanément résistantes à plusieurs maladies). La mise en œuvre opérationnelle de cette fiche exigera la capacité de caractériser en routine ces résistances variétales et leurs évolutions.

2.2 – Intérêts des résistances génétiques

Des notes de résistance qui s'améliorent

L'évaluation du progrès génétique en matière de résistance des variétés aux différentes maladies a été effectuée à l'aide de comparaisons des notes moyennes annuelles, et leurs variabilités inter-variétés, obtenues par les variétés inscrites au cours des 25 dernières années. Les notes proviennent des caractérisations effectuées lors des deux années d'épreuves du CTPS et réalisées par ARVALIS en expérimentations de post-inscription.

Des améliorations des niveaux de résistance des variétés de blé tendre à toutes les maladies sont constatées tant en valeurs moyennes qu'en valeurs minimales et maximales (du Cheyron et Lorgeou, 2015). Les progrès des résistances aux différentes maladies ne sont pas simultanés et ont évolué différemment au cours du temps : progrès plus rapides sur la rouille jaune, plus récents sur fusariose, plus lents mais en progression régulière sur le piétin verse, et très marqués jusqu'aux années 2000 sur la rouille brune et la septoriose. La recherche de résistances partielles et les pressions de sélection simultanées sur toutes les maladies sont des éléments explicatifs de ces évolutions.

Ces améliorations globales sont cohérentes avec les évolutions comparées des progrès génétiques des parcelles traitées contre les maladies (0,9 q/ha/an) et non traitées (1,3 q/ha/an) démontrant que les variétés récentes sont plus résistantes (Oury *et al.*, 2012). Ainsi l'augmentation du potentiel de rendement des variétés a été accompagnée par une amélioration conjointe de la résistance aux maladies, prouvant que potentiel de rendement et rusticité sont des objectifs compatibles.

Une nuisibilité qui se réduit

La nuisibilité des maladies foliaires estimée par les écarts de rendements au sein des essais entre les parcelles traitées et non-traitées reflète le niveau de sensibilité globale des variétés aux principales maladies observées dans les essais, c'est-à-dire essentiellement la septoriose et la rouille brune. La tendance à la baisse du niveau moyen de la nuisibilité sur les variétés inscrites au cours des 12 dernières années est significative (du Cheyron et Lorgeou, 2015).

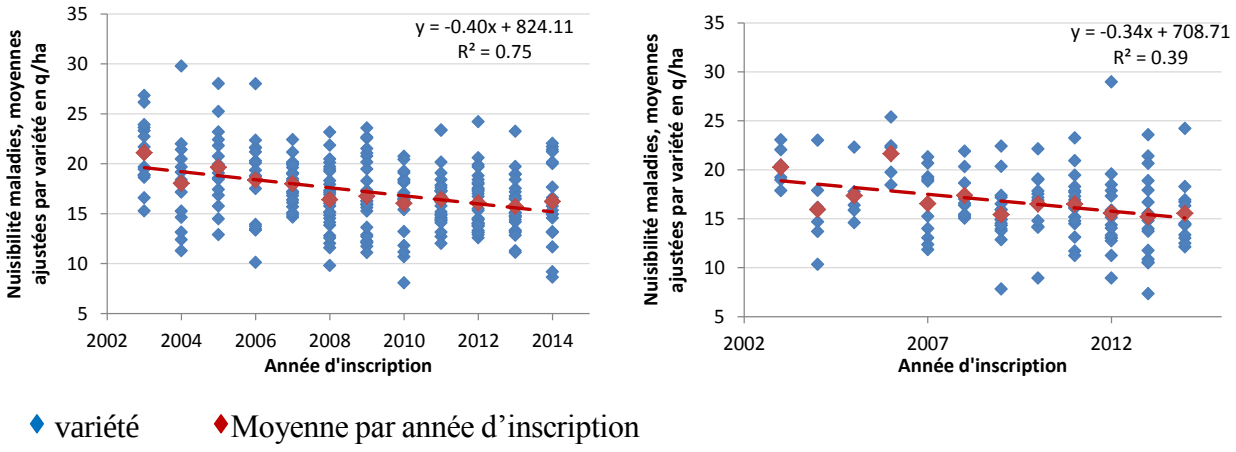

Figure 1. Evolution de la nuisibilité des maladies sur les variétés en fonction de leurs années d'inscription (Source : Essais Variétés de Post-Inscription). Dans un contexte de la moitié nord de la France dominé par la septoriose à gauche, dans un contexte sud France dominé par la septoriose et la rouille brune à droite (hors effet rouille jaune) (d'après du Cheyron et Lorgeou, 2015).

Cette tendance traduit l'amélioration du niveau de résistance globale aux maladies des variétés (Figure 1). Les pentes des droites de régression entre les écarts de rendement des parcelles traitées et les

parcelles non traitées, et les années d'inscription sont respectivement de -0,4 q/ha/an dans les essais de la zone nord et de -0,3q/ha/an dans ceux de la zone sud. Avec un peu d'optimisme, le prolongement de la tendance de -0.4 q/ha/an prédirait une égalité de performance de rendement entre les parcelles traitées et non traitées…en 2053.

Il existe néanmoins une variabilité annuelle importante liée à la diversité des profils inscrits chaque année.

Disponibilité récente de variétés multi-résistantes

Le travail initié pour la mise au point de la méthode de calcul pour la fiche action CEPP sur les variétés de blé tendre (travaux de Josiane Lorgeou) a permis de montrer que la fréquence des variétés multi-résistantes a fortement évolué. Inexistantes de 1988 à 2003, elles ont très significativement progressé de 2004 à nos jours, pour passer de 2 à 10 % en à peine 10 ans.

Combiner les résistances aux maladies majeures du blé au sein d'une même plante semblait être un objectif inatteignable. Les progrès récents de la sélection infirment aujourd'hui cette assertion.

Des réductions significatives de fongicides

Les références acquises sur les niveaux de résistance des variétés (du Cheyron *et al*., 2015) et les travaux menés sur les courbes de réponse du rendement aux fongicides ont permis à ARVALIS d'évaluer les enjeux de la résistance génétique (Couleaud *et al.*, 2015). Menée de 2005 à 2014, la synthèse effectuée sur 150 courbes de réponse montre qu'entre une variété sensible et une variété tolérante, les écarts de nuisibilité équivalent à 10 q/ha, ce qui correspond à une économie de fongicide à l'optimum de protection de 40 €/ha en moyenne.

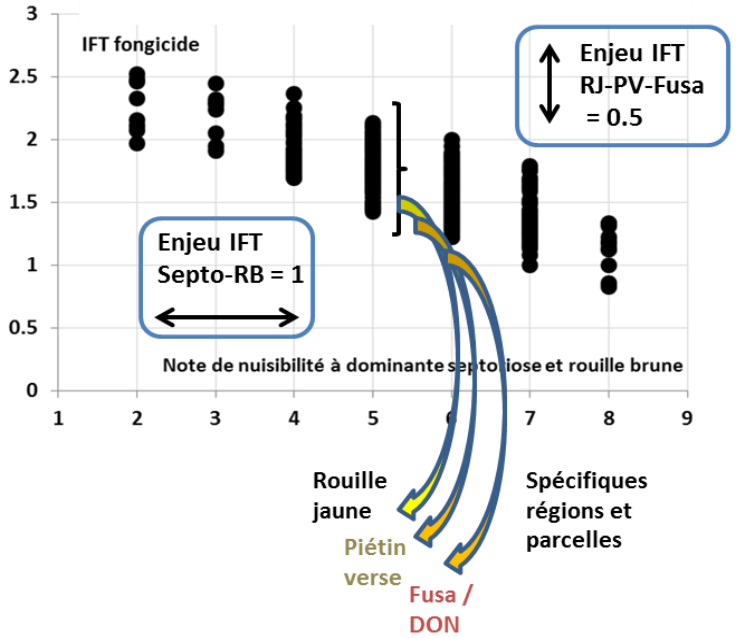

Figure 2. Evolution de l'IFT en fonction des notes de sensibilité à dominante septoriose et rouille brune (axe des x) et des sensibilités aux autres maladies (variation de l'IFT à mêmes niveaux de sensibilité à la septoriose et à la rouille brune) (*d'après les travaux ARVALIS en cours sur la fiche action CEPP).*

En complément, les travaux en cours sur la fiche action CEPP fournissent une évaluation de la réduction des produits phytosanitaires en fonction des notes de résistance aux maladies. Les doses de fongicides sont ici exprimées en IFT (Indice de Fréquence de Traitement) proche du NODU détaillé plus haut. Le principe de calcul est simple : si un produit est utilisé une fois à la dose homologuée, l'IFT est de 1, s'il est utilisé 2 fois l'IFT est de 2. Et donc logiquement, si le produit est utilisé à mi-dose, l'IFT est de 0,5.

La Figure 2 montre que les résistances à la rouille brune et à la septoriose permettent de réduire l'IFT d'une valeur de 1 environ. Elle montre également que des gains d'IFT supplémentaires maximaux de l'ordre de 0,5 sont aussi possibles avec des variétés également résistantes aux autres maladies moins fréquentes et plus dépendantes de la géographie (rouille jaune, piétin verse, fusariose).

2.3 – Mieux valoriser les résistances génétiques

Vers une préconisation adaptée aux risques géographiques des maladies

La prise en compte des résistances des variétés aux maladies intervient dans les préconisations de variétés dont les choix reposent sur l'ensemble des caractéristiques de valeurs agronomiques, technologiques et de résistances aux bio-agresseurs.

Pour un milieu agro-climatique, une conduite de culture prévisionnelle et des débouchés donnés, peuvent être proposées les variétés les plus appropriées à répondre aux cahiers des charges. L'estimation des risques de maladies pour une parcelle dans une région donnée peut être appréciée à l'aide de grilles de risques ou de modèles issus de la bibliographie ou mis au point par ARVALIS. Un projet de recherche mené de 2009 à 2012 dans le cadre du CTPS a permis d'établir un zonage géographique de 13 classes à l'échelle de la France reposant sur des indicateurs de pression (septoriose, rouille brune et rouille jaune). Cette classification offre donc la possibilité de préconiser des profils de résistance variétaux mieux adaptés aux risques biotiques présents.

Pas de bénéfice supplémentaire en mélangeant les variétés

Face à la présence simultanée, et variable d'une année à l'autre, des maladies présentes, les mélanges de variétés dans une même parcelle sont potentiellement une voie intéressante à envisager.

Les très nombreux essais menés en France (ARVALIS, depuis 1997, INRA, coopérative Vivescia) montrent que les gains apportés par cette pratique ne sont pas suffisants et probants pour justifier de telles préconisations (Tableau 1). Dans la très grande majorité des situations, les écarts de rendement en parcelles traitées, mais également les écarts de rendement entre les parcelles traitées et non traitées, ne sont pas significatifs au seuil de 5 %. Les synthèses successives, qui au final couvrent plus de 150 essais, vont dans le même sens même en présence de nuisibilités plus significatives (> 5q/ha).

Les conclusions de cette synthèse sont très cohérentes avec celles issues de la méta-analyse du projet Wheatamix (2015) reposant sur 94 essais : l'écart moyen de rendement entre variétés seules et en mélange reste faible et avec une distribution symétrique de plus ou moins 5 q/ha, et les enjeux en itinéraires techniques allégés ou en bas intrants restent faibles : de 1 à 1,5 q/ha.

Tableau 1. Comparaison du rendement en parcelle traitée, des écarts de rendement entre parcelles traitées et non traitées, entre la moyenne des variétés cultivées seules ou en association.

			Rendement Traité*			Ecart Traité-non Traité		
Année	Nombre d'essais	Lieu	Mono	Asso	S/NS	Mono	Asso	S/NS
1997	7	France				16,8	17,8	NS
2010	7	Sud	87,9	89,5	NS	11,5	10,3	NS
2010	27	Centre - PC	89,5	89,1	NS	8,9	7,6	NS
2010	13	Nord	106,3	108,0	NS	11,3	9,4	NS
2010 / 2011	17	Sud (synthèse tous les essais)	82,1	83,3	S	6,8	6,7	NS
2010 / 2011		Sud >= 5q/ha				10,7	9,1	S
2010 / 2011 / 2012	64	Centre - PC (synthèse tous les essais)	87,8	87,5	NS	3,7	3,5	NS
2010 / 2011 / 2012		Centre - PC >= 5q/ha				10,3	8,9	NS
2010 / 2011	36	Nord (synthèse tous les essais)	98,2	99,8	S	7,2	7,0	NS
2010 / 2011		Nord >= 5q/ha				12,0	10,7	NS
			Bilan synthèse 103 exp			**5,3**	**5,02**	**NS**
2006	5	Champagne - Autres mélanges	90,6	90,3	NS	5,1	5,2	NS
2009	5	Marne - Hte Marne - Autres mélanges	94,8	95,6	NS			
2010	4	Marne - Hte Marne - Autres mélanges	93,3	95,8	NS			
2012	4	Bretagne	104,7	103,7	NS	17,9	14,7	S
2009 / 2010 / 2011		Champagne Crayeuse - Mélange 1	88,3	86,8		15,6	15,5	
2009 / 2010 / 2011		Champagne Crayeuse - Mélange 2	99,9	98,4		27,8	24,5	

ARVALIS : mélanges définis par Bioger en 2010 et 2012, 151 essais au total, variétés post-inscription

VIVESCIA

S/SN : Significatif / Non significatif

* q/ha - Traité/ Non traité

Combiner résistances et agronomie pour davantage de synergie

Intégrer les résistances génétiques dans le cadre de la protection intégrée conduit à des effets de synergie.

La grille, mise au point pour lutter contre la fusariose des épis et utilisée par les producteurs, en est un bon exemple. Les nombreuses données d'enquête d'occurrence de la maladie ont permis de bâtir une grille de risque agronomique prenant en compte les facteurs les plus significatifs comme le précédent cultural et le mode de gestion des résidus de culture. En fonction de la note de risque agronomique issue de cette grille (qui définit un risque parcellaire), des stratégies de protection adaptées sont proposées en rapport avec le niveau de sensibilité de la variété à la fusariose. Cette approche intégrée permet d'économiser un IFT c'est-à-dire, dans certains cas, de ne pas traiter. Par ailleurs, les leviers agronomiques apportent des degrés de liberté dans le sens où ils élargissent le choix des variétés.

Dans le cadre du désherbage mixte des cultures, associant la lutte chimique à d'autres leviers comme le choix des espèces dans la rotation, les cultures intermédiaires, le binage, la date de semis, etc, le recours à des variétés de blé appropriées est très rarement mis en avant en agriculture conventionnelle. Or la variabilité du pouvoir couvrant entre les variétés constitue un levier intéressant à actionner : les pertes de rendement dues à la présence d'adventices, en pourcentage des situations bien désherbées, sont effectivement très différentes entre variétés : de moins 15 % à moins 40 % (Bernicot et *al.*, 2011, colloque de restitution des projets FSOV).

Atténuer les effets des aléas interannuels

- *En combinant les variétés : notion de bouquets variétaux à l'échelle de l'exploitation.*

En classant chaque année les variétés selon leur niveau de rendement et en calculant le coefficient de corrélation de ce classement de l'année *n* à l'année suivante (*n* + 1) (corrélation de Spearman entre les rangs), on constate que ce coefficient est plutôt élevé et relativement stable sur la période 1982-1998 : compris entre 0,6 et 0,7 en tendance (données du réseau Champagne).

Après 1998, ce coefficient prend des valeurs nettement plus aléatoires, en relation avec une plus forte variabilité climatique interannuelle et de moins en moins prévisible (Gate et *al.,* 2013). Ceci signifie qu'il devient de plus en plus difficile de prédire le classement d'une variété pour l'année qui suit ; cet accroissement significatif de l'interaction génotype x environnement devient une « nouvelle donne » et doit orienter les recherches pour minimiser cette variabilité interannuelle.

Le fait que l'agriculteur cultive 3 ou 4 variétés par espèce à l'échelle de son exploitation constitue une opportunité à valoriser. Effectivement, comme les variétés multirésistantes à tous les stress abiotiques et biotiques n'existent pas, la recherche d'une complémentarité fonctionnelle apportée par des combinaisons de variétés à l'échelle de l'exploitation constitue une voie à tester.

Les premiers résultats de travaux en cours (Orchimond et *al.,* 2016, Figure 3) sont très prometteurs. On part de l'hypothèse que l'agriculteur dispose de 3 parcelles sur lesquelles il cultive 3 variétés différentes (1 variété par parcelle) au lieu de cultiver la même variété sur les 3 parcelles. On recherche si certains triplets (combinaisons de 3 variétés) apportent des performances supérieures en termes de rendement moyen et de stabilité interannuelle par rapport aux autres triplets et aux cultures monovariétales.

Sur cette base, 22 variétés dans 19 environnements différents en zone nord ont été testés, soit 1540 triplets dont on a comparé les moyennes du rendement et leur stabilité (écovalence de type 2). On a ainsi identifié certains triplets présentant une moyenne et une stabilité élevées (soit une valeur faible de l'écovalence, points bleus de la Figure 3). Mais si on observe les variétés individuellement, on constate que leur rendement moyen est le plus souvent inférieur et toujours moins stables que celui des triplets ; seules quelques variétés des meilleurs triplets affichent un rendement légèrement supérieur (points rouges, Figure 3).

- *En utilisant des outils d'aide à la décision*

L'augmentation de la variabilité climatique interannuelle induit une variabilité plus importante dans l'apparition des maladies :

. Elles ne sont pas toujours inféodées à une zone géographique (en 2007, la rouille brune remplace la septoriose dans le nord-ouest de la France).

. Elles apparaissent là où on ne s'y attend pas (en 2014, la rouille jaune occupe une grande partie de la France et certains céréaliers, installés depuis de nombreuses années, la découvrent et sont pris au dépourvu).

. Leur nuisibilité varie fortement d'une année à l'autre (l'impact moyen varie de 8 à 27 q/ha à l'échelle de la France).

Face à ces campagnes qui se suivent et ne se ressemblent pas, les outils tactiques d'aide à la décision, prenant en charge localement les effets de l'année sont d'un intérêt indéniable et grandissant. Aujourd'hui, quasiment toutes les maladies du blé sont modélisées avec une offre de service opérationnelle, disponible.

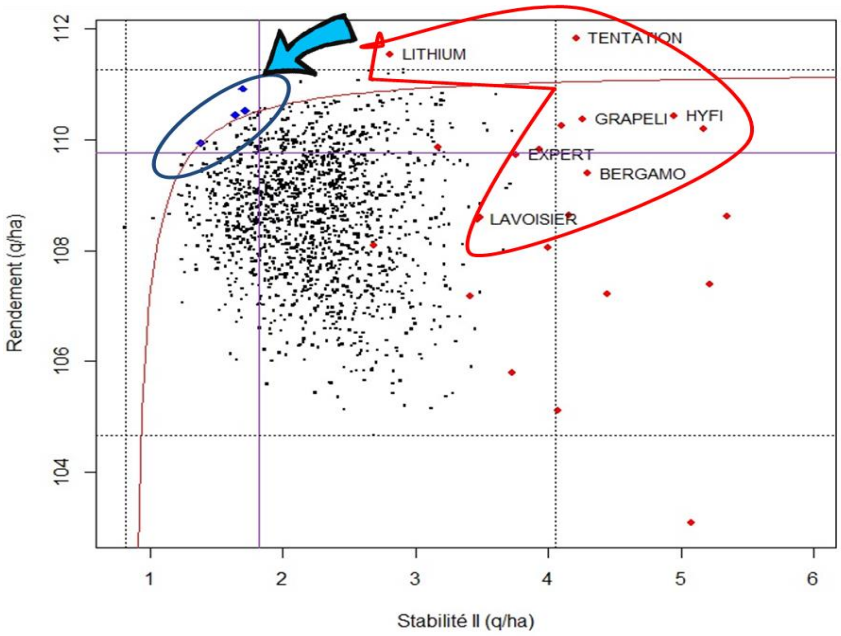

Figure 3. Relation entre la moyenne des rendements et sa stabilité dans 19 environnements en zone nord pour des variétés cultivées individuellement (une variété par exploitation) et en triplets (trois variétés différentes par exploitation). Légende des points : en noir les différents triplets, en bleu les meilleurs triplets et en rouge les variétés seules, avec le nom de celles qui composent les meilleurs bouquets.

3 - CONCLUSION, DISCUSSION ET PERSPECTIVES

Un levier de plus en plus crucial

Les efforts des sélectionneurs depuis les années 1980 ont permis la mise à disposition de variétés de plus en plus résistantes à l'ensemble des maladies du blé. Cette amélioration de la résistance aux différentes maladies n'a pas freiné le progrès génétique vis-à-vis du potentiel de rendement puisque ce dernier a maintenu un accroissement constant. Plus récemment, depuis 10 ans environ, on note qu'un plus grand nombre de variétés multirésistantes aux maladies est disponible, ce qui constitue une étape nouvelle importante pour réduire la consommation de produits phytosanitaires. Il est probable que cette tendance nouvelle ne soit qu'un début, compte tenu du travail en profondeur mené par les sélectionneurs depuis de nombreuses années.

Ce constat est extrêmement positif face aux restrictions ou aux retraits d'utilisation de certaines matières actives, à la réduction de l'offre en innovations fongicides et au temps nécessaire pour disposer de solutions alternatives au chimique suffisamment efficaces. Il est donc crucial que les sélectionneurs ne relâchent pas leurs efforts dans cette période de transition agro-écologique. Les fiches CEPP sont une réelle opportunité pour valoriser les résistances génétiques et sont aussi une reconnaissance du métier de sélectionneur.

Offre potentielle et disponibilité réelle

La diversité à la fois des cibles de sélection et des critères de choix des variétés tend à réduire le nombre de variétés adaptées à chaque situation. De plus, certaines résistances sont fragiles du fait de l'évolution des souches de maladies ou de l'apparition de maladies émergentes, qui peuvent être rapides ; il en découle de réelles difficultés pour actualiser les notes de résistance, les caractéristiques des variétés et les préconisations qui en découlent. Par ailleurs, compte tenu du dérèglement climatique, les maladies

deviennent de moins en moins inféodées à une aire géographique. Ceci peut limiter le succès, certaines années, des stratégies qui font correspondre *a priori* des profils de résistances variétales à une zone géographique.

Les priorités pour valoriser au mieux les résistances génétiques

Face aux freins mentionnés plus haut, les sélectionneurs ainsi que les acteurs de la recherche et du développement doivent mutualiser leurs efforts dans le cadre de dispositifs capables d'anticiper les maladies émergentes, et de suivre l'évolution des souches. Il est aussi nécessaire d'améliorer les connaissances des gènes de résistance et d'introduire de nouvelles sources de résistances dans le but d'augmenter leur efficacité et leur durabilité. Un travail spécifique sur des traits importants, aujourd'hui sans ou avec trop peu de solutions, doit être fourni (cas en particulier des maladies virales comme la jaunisse nanisante de l'orge et les mosaïques).

Perspectives de recherche

Les variétés multirésistantes à l'ensemble des stress abiotiques et biotiques n'existent pas. Dans le cadre des bouquets de variétés identifiés assurant production et stabilité interannuelle, comprendre aujourd'hui les traits variétaux à l'origine des complémentarités fonctionnelles par milieu, devient une priorité afin de pouvoir passer du constat statistique *a posteriori* à la prédiction, afin de conseiller les agriculteurs.

La transition écologique se traduit dès à présent par la conception et par l'évaluation de systèmes de culture innovants. Un travail de recherche de traits spécifiques à sélectionner, dans le cadre de tels systèmes, constitue une piste intéressante pour valoriser les fonctions écosystémiques de ces nouveaux modes de production.

Dans les prochaines années, pour poursuivre les objectifs de réduction des consommations de produits phytosanitaires, les outils et les cibles du sélectionneur devraient s'enrichir.

Le phénotypage à haut débit, permis par les différents types de capteurs, pourrait être davantage mobilisé, notamment sur les maladies foliaires (avec le suivi dynamique de variables clés intégratrices de résistance comme le suivi de l'indice foliaire vert) et le pouvoir couvrant (concurrence vis-à-vis des adventices).

Les solutions alternatives stimulant le système de défense des plantes présentent des efficacités largement fonction du fond génétique. Les puces d'expression des mécanismes biochimiques disponibles, capables de savoir si la plante déclenche de telles voies métaboliques, sont des outils à intégrer à l'avenir.

Egalement, la modification des équilibres des micro-organismes du sol, induite par des changements de système et de pratiques de culture, sont aussi des éléments à analyser. Le concept d'hologénome, considérant globalement les interactions entre le génome de la plante et ceux des micro-organismes de son environnement tellurique, constitue une voie à explorer pour réduire le stress biotique.

Vis-à-vis des maladies, et surtout contre les ravageurs, le concept de plantes pièges (répulsives, attractives) qui mobilise l'écologie chimique (identification de composés olfactifs volatils émis par les plantes et modifiant le comportement des insectes) constitue aussi un champ disciplinaire nouveau et prometteur.

"Journée ASF du 2 février 2017"
"Durabilité des résistances aux maladies et amélioration des plantes"

BIBLIOGRAPHIE

du Cheyron P., Lorgeou J. - 2015 - Résistances des variétés de blé tendre aux maladies : des progrès indéniables à valoriser- *AFPP – Cinquième conférence internationale sur les méthodes alternatives de protection des plantes, Lille.*

Gate P., Escriou H., Maupas F., Lorgeou J., Piraux F., Gouache D., Chaillet I., Gallais A., Biarnes V. - 2013 - Du rôle de la création variétale, des pratiques culturales et du climat, aux solutions adaptatives et axes de recherche prioritaires - *Journée Scientifique de l'ASF « Cinquante ans d'Amélioration des plantes au service de l'Agriculture : Bilan, défis et enjeux pour demain ».*

Ricci P., Bui S., Lamine C. - 2011 - Repenser la protection des cultures, innovations et transitions. *Editions Quae et Educagri,2011, 250 p.*

Verjux N., Bonin L., Doucet R., Gaucher D., Maumené C., Perriot B., Simoneau D. - 2017 - Protection intégrée en grandes cultures : Réalités et perspectives - *AFPP – 6e Conférence sur les moyens alternatifs de protection, Lille.*