



Les variétés végétales tolérantes aux herbicides

Effets agronomiques, environnementaux et, socio-économiques de leurs usages

Le désherbage des cultures constitue un facteur déterminant des rendements agricoles. Cela explique l'importance prise par l'usage des herbicides de synthèse dans les pratiques agricoles depuis leur apparition après-guerre. Le principe du désherbage chimique est d'appliquer un produit qui détruit sélectivement les mauvaises herbes sans affecter la culture elle-même. Depuis une quinzaine d'années, en parallèle de la recherche de nouvelles molécules herbicides sélectives s'est développée une démarche complémentaire : la sélection de variétés végétales tolérantes aux substances herbicides existantes. Cette tolérance à l'herbicide permet l'utilisation couplée de la variété et de l'herbicide (ou de la famille d'herbicides) associé, qui est alors appliqué en "post-levée", c'est-à-dire sur une culture, et des adventives, déjà développées.

Ces variétés dites tolérantes à un herbicide (VTH) visent d'abord à proposer aux agriculteurs une réponse technique à des difficultés de désherbage. Leur culture est également présentée comme permettant une réduction des quantités d'herbicides utilisées. Les VTH les plus répandues dans le monde sont issues de la transgénèse, d'autres sont obtenues par des techniques de sélection de la variabilité naturelle, ou par des techniques de mutagenèse.

En France, pour différentes espèces végétales, des VTH non-transgéniques commencent à être cultivées, ou font l'objet d'une demande d'inscription au Catalogue officiel des espèces et variétés. Dans ce contexte, les pouvoirs publics et instances d'évaluation français s'interrogent sur les perspectives de développement des VTH. Les ministères chargés de l'Agriculture et de l'Ecologie souhaitent disposer d'éléments d'analyse sur les effets réels à moyen et long terme de leur culture, et sur la compatibilité de leur usage avec les politiques à visée environnementale, notamment le plan de réduction d'utilisation des pesticides (Ecophyto 2018). Ces questionnements ont motivé la demande, faite au CNRS et à l'INRA, d'une expertise scientifique collective (ESCo) pluridisciplinaire portant sur les impacts directs et indirects de l'utilisation de variétés possédant un caractère de tolérance aux herbicides aux plans agronomique, environnemental, socio-économique et juridique – les impacts éventuels sur la santé humaine étant exclus du champ de cette ESCo.

. Enjeux d'une évaluation des effets de la culture de VTH

L'ESCO porte sur le **caractère agronomique de tolérance à un herbicide** (TH), auquel l'espèce est normalement sensible, quelle que soit la technique d'amélioration génétique employée pour en doter une variété. La question centrale est celle de l'efficacité agronomique de la stratégie d'usage couplé d'une VTH et de son herbicide associé, à court, moyen et long termes. Les effets de la culture de VTH vont dépendre du type d'herbicide auquel la variété est rendue tolérante, de l'espèce cultivée concernée et des systèmes de culture en jeu, mais aussi de l'ampleur de l'adoption de la VTH, qui est aussi fonction des conditions socio-économiques et juridiques.

L'expertise vise à éclairer les possibles effets de la culture de VTH dans un contexte européen, pour des variétés actuellement non transgéniques, des systèmes de culture et un cadre socio-économique particuliers. Mais l'ESCO, exercice fondé sur l'analyse des publications scientifiques certifiées, est tributaire de l'existence de travaux académiques consacrés au sujet. Or les VTH les plus étudiées et documentées sont des variétés transgéniques cultivées en Amérique du Nord, où les recherches bénéficient d'un recul de 15 ans de culture sur des surfaces très importantes. Certaines questions de recherche sur les variétés transgéniques ont été aussi motivées par les débats que suscite le développement des OGM.

Ainsi, si la transposition des résultats obtenus outre-Atlantique avec des variétés GM peut être immédiate pour certaines thématiques (par exemple l'étude des mécanismes biologiques), elle peut en revanche être discutée pour d'autres du fait des différences de contextes agronomique, écologique ou encore juridique.

. Méthode et portée de l'ESCO

L'ESCO est une activité d'expertise institutionnelle, régie par la charte nationale de l'expertise à laquelle le CNRS et l'INRA ont adhéré en 2011. Elle se définit comme une activité d'analyse et d'assemblage de connaissances produites dans des champs très divers du savoir, et pertinentes pour éclairer l'action publique. Cet état des connaissances le plus complet possible, et son analyse, ne fournit ni avis, ni recommandations, ni réponses pratiques aux questions qui se posent aux gestionnaires.

L'analyse est conduite par un collectif pluridisciplinaire d'experts chercheurs d'origines institutionnelles diverses. Pour l'ESCO VTH, une quinzaine d'experts français issus de différents organismes (INRA, CNRS, universités) ont été mobilisés, leurs compétences relevant de l'écologie, de l'agronomie, de la chimie des herbicides, de la génétique, de l'économie, du droit ... Le travail des experts s'est appuyé sur un corpus bibliographique d'environ 1400 références, composées essentiellement d'articles scientifiques auxquels se sont ajoutés données statistiques, analyse de brevets, ouvrages et rapports techniques. Cet exercice se conclut par la production d'un rapport qui rassemble les contributions des experts, et d'une synthèse à l'usage notamment des décideurs.

Les principales VTH actuellement commercialisées

L'ESCO porte sur le **caractère TH**, introduit intentionnellement dans une lignée végétale dans une démarche d'amélioration variétale et revendiqué comme tel ; cette notion se distingue donc de la capacité propre d'une espèce à tolérer l'application de certains herbicides, propriété sur laquelle se fonde classiquement le désherbage chimique des espèces cultivées.

. Modes d'obtention, espèces et herbicides concernés

Les VTH commercialisées actuellement à travers le monde ont été obtenues par diverses méthodes :

- la sélection dite "traditionnelle" qui exploite la variabilité génétique naturelle (repérage de mutations spontanées puis intégration au génome de la plante cultivée par croisement sexué) ;
- la mutagenèse qui augmente la variabilité (induction de mutations par traitement physique ou chimique) ;
- la transgénèse qui permet l'insertion dans le génome de la plante cultivée d'un gène d'intérêt prélevé dans un autre organisme.

Des VTH sont disponibles pour les principales espèces de grande culture : maïs, soja, coton, colza, tournesol, betterave, blé, riz, chicorée/endive.

Les herbicides associés aux VTH appartiennent à diverses classes d'herbicides, c'est-à-dire possèdent des modes d'action différents : l'enzyme-cible qu'ils inhibent dans la plante est en effet caractéristique de la classe. Leur spectre d'activité est aussi plus ou moins large : certains herbicides sont sélectifs, c'est-à-dire efficaces sur certains groupes botaniques seulement (cas des classes A, B et C, par exemple) ; d'autres, dits totaux, sont au contraire efficaces sur l'ensemble des espèces végétales, adventices et cultivées (classes G et H).

. Mode d'obtention de la VTH et type d'herbicide

Le tour d'horizon des principales variétés porteuses de ce caractère, actuellement commercialisées et cultivées dans le monde, pour les plantes de grande culture, fait apparaître deux grands groupes de VTH selon la sélectivité des herbicides qui leurs sont associés :

- la **tolérance à un herbicide total** introduite chez la majorité des VTH actuellement cultivées, notamment sur le continent américain (maïs, soja, colza, betterave). Développées au milieu des années 1990, les variétés actuellement commercialisées rentrant dans ce premier groupe sont exclusivement **transgéniques**. Il s'agit des variétés commercialisées sous les marques RoundUp Ready® (RR®) tolérantes au glyphosate (classe G), et Liberty Link® (LL®) tolérantes au glufosinate (classe H) plus récentes et moins développées ;
- la **tolérance à un herbicide sélectif néanmoins à large spectre**. La plupart des variétés porteuses de ce caractère sont aujourd'hui obtenues par **sélection de la variabilité**

naturelle ou par mutagenèse. Il s'agit principalement d'une large gamme de cultures tolérantes à des herbicides de la classe B (offre commerciale Clearfield® notamment) et de variétés de maïs tolérantes à des herbicides de classe A. Peu représentées à l'échelle mondiale, certaines de ces variétés sont cultivées en France (maïs et tournesol) ; d'autres font l'objet de demandes d'inscription au Catalogue officiel français (tournesol et colza).

Cette superposition actuellement observée entre mode d'obtention du caractère TH et sélectivité des herbicides associés résulte du lien existant entre disponibilité des ressources génétiques exploitables et techniques d'obtention utilisables. En effet, s'il existe chez les végétaux des mutations spontanées qui confèrent des résistances, pour toutes les classes d'herbicides, ces mutations apparaissent avec des fréquences et des "coûts physiologiques" associés (pénalisant la plante) très variables selon les classes. Seules les résistances repérées chez les espèces cultivées ou des apparentées inter-fertiles peuvent être exploitées en amélioration variétale par le biais de méthodes de sélection traditionnelle ou par mutagenèse (cas des résistances aux classes A, B et C). Tel n'avait pas été le cas pour les résistances au glyphosate ou au glufosinate, que les obtenteurs avaient identifiées chez des microorganismes, et qui ont donc été introduites dans les plantes à l'aide de techniques de transgenèse.

. Mode d'obtention des VTH et statut réglementaire des variétés

En Europe, une nouvelle variété doit être inscrite à l'un des Catalogues officiels nationaux des Etats-membres pour prétendre à la mise sur le marché sur le territoire de l'Union européenne. Pour obtenir cette inscription, elle doit satisfaire un certain nombre de critères, notamment en termes de qualités agronomiques et technologiques. La directive 2001/18/CE relative à la dissémination volontaire d'OGM dans l'environnement prévoit en outre des dispositions supplémentaires pour les variétés obtenues par transgenèse, les soumettant à une évaluation environnementale et sanitaire spécifique préalable et à l'obligation d'étiquetage des produits.

Le développement de nouvelles technologies pouvant être utilisées en amélioration génétique des plantes, à des stades plus ou moins proches de l'application industrielle, suscite une réflexion au niveau communautaire quant au statut réglementaire des variétés qui en seront issues. Deux d'entre elles ont permis l'obtention de VTH en laboratoire : ce sont des techniques fondées sur la recombinaison homologue qui permettent l'insertion d'un nouveau gène ou la modification ponctuelle ciblée du génome. Les plantes qui en sont issues, de même que les plantes obtenues par mutagenèse ou issues de mutation spontanée, ne portent aucune trace moléculaire de la modification, autre que la séquence modifiée elle-même, et ne peuvent donc être distinguées sur cette base de plantes obtenues par sélection traditionnelle.

La dynamique de développement des VTH

. Une adoption rapide à l'échelle mondiale

La dynamique d'adoption des VTH n'est bien documentée que pour les variétés transgéniques RoundUp Ready RR®, dont l'expansion a fait l'objet de suivis, aux Etats-Unis notamment. La diffusion y a été particulièrement rapide et massive : en moins de 10 ans, ces VTH ont conquis 80% des surfaces pour le coton et le soja ; pour la betterave sucrière, c'est en 2 années que ces VTH ont atteint 98% des surfaces de production.

Les données quantitatives et qualitatives concernant l'adoption des variétés tolérantes à un herbicide sélectif sont en revanche très peu nombreuses et proviennent principalement des firmes obtentrices. Dans le seul cas documenté où ces variétés ont été autorisées en même temps que des variétés tolérantes à un herbicide total (cas par exemple, du colza de printemps au Canada), leur diffusion semble avoir été limitée, les variétés transgéniques tolérantes à un herbicide total (RR® et LL®) ayant rapidement conquis la majorité des parts de marché.

. Les facteurs d'adoption des VTH par les agriculteurs

La bibliographie permet d'identifier d'une part les intérêts attendus des VTH, et d'autre part les motifs invoqués par les agriculteurs dans leur choix d'adopter une VTH.

Divers intérêts techniques des VTH sont mis en avant par les firmes obtentrices et les semenciers, et diffusés par les structures de conseil agricole. Il est possible d'identifier 4 principaux bénéfices attendus des VTH, mais non de mesurer leurs poids respectifs dans la décision d'adoption :

- un **élargissement du spectre des adventices contrôlées** par rapport aux herbicides sélectifs classiquement utilisés en système non-TH, et notamment une efficacité sur les espèces apparentées aux cultures, les espèces envahissantes, les espèces parasites ;
- une **facilitation du travail** de l'agriculteur, par la réduction du nombre de traitements herbicides et la souplesse d'emploi du traitement en post-levée, et par l'abandon du labour, voire de tout travail du sol, que facilite la stratégie TH ;
- la **réduction des quantités d'herbicides utilisées** permise par la substitution de programmes herbicides par une unique molécule, et l'adaptation des quantités épan-dues en fonction des adventices effectivement présentes ;
- la **sécurisation du désherbage** et la diminution des risques de pertes de rendement induites par la concurrence des adventices.

Sur le terrain, les enquêtes auprès des agriculteurs ayant adopté des VTH constituent un moyen d'identifier *a posteriori* les motifs de ce choix. Les seules enquêtes disponibles ont été réalisées auprès de **cultivateurs nord-américains de VTH transgéniques RR®**. Les premières études révèlent que les gains de rendement escomptés, qui pouvaient *a priori* expliquer le choix d'une VTH, n'ont été confirmés que lorsque les difficultés de désherbage antérieures affectaient le

rendement. Les travaux ultérieurs sur les raisons de l'adoption des VTH permettent de conclure sur 2 points principaux :

- si le prix des semences TH, sensiblement supérieur à celui des semences non-TH, peut être un frein à l'adoption, les **économies de coût dans la gestion des adventices** (tant directs – prix des herbicides –, qu'indirects – flexibilité et économie de temps de travail), au moins à court terme, constituent un motif majeur d'adoption ;

- un **couplage** fort est observé entre **adoption d'une VTH et simplification du travail du sol**. La mise en œuvre conjointe des deux techniques est d'ailleurs favorisée dans les régions sensibles à l'érosion, où l'abandon du labour bénéficie d'incitations financières (Etats-Unis). Le succès commercial du soja transgénique TH RR® en Argentine s'explique par la possibilité offerte par les VTH de mettre en œuvre efficacement le semis direct.

. Les stratégies des firmes sur le marché des VTH

Du côté de l'offre commerciale de VTH, les stratégies des firmes obtentrices ont fait l'objet d'études économiques théoriques, et ce dans le contexte du marché nord-américain. Contrairement au cadre législatif européen qui prévoit la protection industrielle d'une variété par Certificat d'Obtention Végétale (COV), assorti éventuellement d'un brevet sur un caractère génétique particulier s'il est considéré comme une invention, le cadre américain permet de breveter les variétés elles-mêmes ; le brevet a été largement adopté par les firmes obtentrices car il leur accorde une protection plus étendue que les protections de type COV, tant auprès des autres sélectionneurs que des agriculteurs.

L'utilisation couplée de la VTH et de l'herbicide associé crée sur le marché un lien entre la demande de semences et la demande d'herbicides. Les firmes qui ont développé des VTH sont le plus souvent des entreprises du secteur phytosanitaire, qui possédaient déjà ou ont acquis une filiale semencière. Toutefois, pour espérer accroître leurs ventes de l'herbicide, elles ont généralement intérêt à aussi accorder des licences non exclusives d'exploitation du caractère TH à d'autres semenciers.

Lorsque la firme perd le monopole sur la molécule herbicide (cas du glyphosate dont le brevet a expiré en 2000), elle conserve la possibilité de réaliser des profits sur la vente de la semence TH. Des pratiques de ventes dites "liées" (achat de la semence conditionné à celui de l'herbicide) pourraient lui permettre de "préserver" sa place sur le marché de l'herbicide, mais elles enfreindraient les lois de la concurrence. La firme tend donc plutôt, pour limiter la concurrence des herbicides génériques, à différencier ses formulations commerciales et/ou à offrir aux utilisateurs du caractère TH des garanties plus fortes s'ils emploient "son" herbicide.

Effets sur la flore adventice, pérennité de l'innovation TH et évolution des consommations d'herbicides

L'adaptation, dans le temps, de la flore adventice à la pression de sélection exercée par l'herbicide conduit à l'apparition et l'expansion d'adventices qui ne sont pas ou plus détruites par l'herbicide, rendant ainsi la stratégie TH moins efficace, voire inopérante. L'évaluation des phénomènes en jeu, mis en évidence par des études de terrain, constitue donc une question majeure dans l'ESCo. Leurs effets se manifestent dans l'évolution de la consommation d'herbicides associés aux VTH transgéniques aux Etats-Unis. L'ampleur et la rapidité de ces phénomènes diffèrent notamment selon les espèces cultivées et les classes d'herbicides considérées

. Phénomènes d'adaptation de la flore adventice et conséquences sur la pérennité de la stratégie TH

Trois phénomènes contribuent à l'apparition progressive, dans les parcelles cultivées, d'adventices peu sensibles ou résistantes à l'herbicide associé à la VTH.

Dès la première année de culture, l'espace libéré par la destruction des adventices sensibles à l'herbicide est susceptible d'être occupé par d'autres espèces. Si ce phénomène de "**dérive de flore**" est évident avec un herbicide sélectif, qui par définition n'est pas actif contre toutes les familles botaniques, il existe également avec un herbicide "total", dont l'application sélectionne les espèces naturellement moins sensibles ou qui se développent après la période d'efficacité de l'herbicide.

Par ailleurs, l'**apparition spontanée de résistances chez les adventices** (par mutation) est un phénomène connu pour toutes les classes d'herbicides et repéré à ce jour chez 200 espèces végétales à l'échelle mondiale. L'apparition et l'expansion de telles résistances ne sont pas une conséquence spécifique de la culture des VTH, mais peuvent être amplifiées par les conditions d'utilisation de l'herbicide en système TH.

Cet effet est net en Amérique dans le cas du glyphosate, où l'adoption rapide et massive des variétés transgéniques RR® dès les années 1990 (sur lesquels l'herbicide est utilisé à des doses plus faibles que pour ses autres usages) a marqué le début du développement des adventices résistantes par l'effet de la pression de sélection exercée. En revanche, pour certaines classes d'herbicides sélectifs, une utilisation antérieure à large échelle a induit le développement de nombreux mutants résistants avant l'introduction de VTH. Le phénomène est particulièrement marqué pour les classes A, B et C, qui ont pu donner lieu à la création de VTH à partir de la variabilité spontanée.

Le non-labour, souvent associé aux VTH, contribue par ailleurs à la sélection de résistances spontanées en favorisant le développement de certaines adventices. Une étude théorique appliquée au désherbage du blé en Australie a montré que le recours au désherbage mécanique ou le rallongement des rotations permettraient de repousser la date à laquelle la culture doit être abandonnée, parce que plus

assez rentable du fait de l'expansion d'adventices résistantes.

Enfin, une **diffusion du caractère TH** peut s'opérer par le biais de la dissémination des graines produites par la VTH et ses descendants, et de leur pollen susceptible de féconder des plantes cultivées non-TH ou sauvages apparentées interfertiles. Les risques de diffusion du caractère TH sont donc surtout fonction de l'espèce cultivée et de son aire géographique de culture, qui conditionnent la survie des repousses, l'installation de populations dites férales (hors des champs) et l'existence de mauvaises herbes inter-fertiles. Le maïs, sans adventices apparentées en Europe et dont les repousses ne survivent pas à l'hiver, est ainsi beaucoup moins concerné que le colza.

La question des flux de gènes entre la culture et des adventices apparentées apparaît cruciale pour la pérennité de la stratégie TH. De tels flux – qui existent pour tous les gènes – ont été démontrés dans les cas de la betterave, du riz, du tournesol, du colza, du blé. Les adventices botaniquement très proches de la culture et inter-fertiles, sources de difficultés de désherbage qui rendent particulièrement attractive l'utilisation de VTH, sont donc aussi celles qui présentent la plus forte probabilité d'acquisition du caractère TH par l'adventice ciblée.

Diverses options biologiques (ex. décalage dans le temps des périodes de floraison) ou biotechnologiques (ex. insertion du transgène dans l'ADN des chloroplastes, qui ne sont pas transmis par le pollen...) ont été proposées pour réduire la probabilité de transfert du gène de tolérance par reproduction sexuée ; aucune ne permet cependant d'éliminer totalement ce risque de transfert vers les adventices apparentées.

. Le bilan sur l'évolution des consommations d'herbicides

A court terme, la substitution d'un programme de désherbage comportant plusieurs produits sélectifs par un seul herbicide à large spectre induit potentiellement une réduction des doses pour une même efficacité. Dans le cas de la tolérance à un herbicide total (glyphosate), les évaluations *a priori* comme les données statistiques confirment cette réduction de la quantité d'herbicides utilisée durant les premières années de culture. Cependant, les enquêtes récentes réalisées aux Etats-Unis montrent que le différentiel de consommation d'herbicides entre cultures transgéniques RR®, et non-TH, initialement en faveur des VTH, régresse en quelques années et devient défavorable pour le soja et le coton. Cet accroissement au fil du temps des quantités d'herbicides utilisées sur ces VTH s'explique d'une part par le **recours curatif à des traitements herbicides supplémentaires** : augmentation des doses et/ou du nombre de traitements au glyphosate, en réponse au phénomène de dérive de flore, puis recours à des herbicides complémentaires, notamment contre les espèces devenues résistantes au glyphosate.

Les pratiques phytosanitaires associées à l'adoption de variétés tolérantes à un herbicide sélectif sont peu documentées au niveau mondial. Avec ces variétés, la réduction d'utilisation d'herbicides n'est d'ailleurs pas systématiquement l'objectif visé : la VTH peut permettre de

compléter un désherbage classique de pré-levée pour remédier à une difficulté de désherbage particulière.

A noter que la possibilité de traiter en post-levée permet, en théorie du moins, d'adapter le désherbage à la flore réellement présente et d'éviter ainsi le traitement ou de le limiter aux zones infestées – ce qui permet de réduire les doses utilisées à l'hectare. Le souci d'éliminer dès leur apparition les éventuels individus résistants peut conduire toutefois à des préconisations techniques d'une application des herbicides à dose pleine sur l'intégralité de la parcelle et sur ses bordures.

D'autre part, la prise en compte du risque de développement de résistances conduit aujourd'hui les obtenteurs et conseillers agricoles à recommander d'emblée un **emploi préventif**, en mélange ou successivement, **de plusieurs substances herbicides** – stratégie dont l'intérêt a été établi par des études théoriques. Pour faciliter cet emploi combiné de plusieurs herbicides, les firmes développent des variétés cumulant plusieurs tolérances au glyphosate et à un, voire deux, autre(s) mode(s) d'action herbicide. Cette stratégie de traitement avec un mélange d'herbicides appartenant à 2 classes n'est cependant appropriée que lorsqu'aucune résistance à l'une des classes ne préexiste dans les flores cibles présentes.

Telles qu'elles ont été mises en œuvre jusqu'à présent aux Etats-Unis notamment, les VTH s'inscrivent dans une logique de gestion des adventices fondée sur l'emploi d'herbicide associé à une réduction de la lutte mécanique (simplification du travail du sol) et agronomique (simplification des successions culturales) contre les adventices, et peuvent en outre renforcer la tendance au recours, préventif et curatif, au cumul d'herbicides.

Effets sur l'environnement

. Impacts sur les organismes non-cibles et sur la biodiversité

Les effets éventuels de l'utilisation des VTH sur l'environnement peuvent *a priori* être dus aux variétés elles-mêmes et/ou aux herbicides qui leur sont associés. Les VTH s'insérant dans des systèmes de culture conventionnels, leurs avantages ou inconvénients sont évalués en référence à un système conventionnel sans VTH. Dans la mesure où l'adoption des VTH est couplée à d'autres évolutions du système de culture – voire du système de production –, c'est à ces échelles que l'évaluation de leurs impacts est pertinente.

Aucun impact des plantes cultivées TH en elles-mêmes n'a été mis en évidence, mais peu de recherches ont été conduites en ce sens ; les quelques études réalisées sur abeilles, en culture de colza TH, n'ont ainsi pris en compte qu'une partie des effets envisageables.

Un seul programme de recherches, mené en Angleterre, a cherché à comparer les cultures conventionnelles et TH en conditions agricoles réelles. Il montre que les effets sur la biodiversité semblent surtout être liés au désherbage, c'est-à-

dire la réduction de la flore adventice, ses conséquences directes sur la faune associée, et les répercussions sur l'ensemble de la chaîne alimentaire. Si le non-labour, qui peut être associé aux VTH, a tendance à favoriser le développement de la flore adventice en début de saison, les effets des herbicides à large spectre semblent dominants. Les effets sur la biodiversité de l'adoption des VTH dépendent donc de l'efficacité du désherbage associé, comparée à celle des méthodes antérieures de désherbage – qui sont en général moins performantes, excepté pour le maïs (avant interdiction de l'atrazine).

. Contamination chimique des ressources en eaux et des sols

Là encore, des difficultés méthodologiques, non spécifiques aux VTH, sont rencontrées dans toute tentative de prévision de la contamination des masses d'eau : incertitudes sur le devenir de la molécule dans le sol et les eaux dues à la variabilité des phénomènes de transfert et de transformation en fonction des caractéristiques des milieux (pH, taux de matière organique...) et des conditions climatiques ; manque et difficultés d'accès aux données analytiques produites par les firmes dans les dossiers de demande d'homologation.

Les réactions de dégradation et de transfert des molécules herbicides dans l'environnement sont spécifiques à chaque molécule car elles dépendent de leurs propriétés physico-chimiques ; les données acquises pour une molécule ne peuvent donc être extrapolées à la classe à laquelle elle appartient. Les deux cas les plus documentés et pour lesquels existent des suivis de terrain en plus des données de laboratoire sont ceux de l'atrazine et du glyphosate. Bien qu'il soit présenté comme peu persistant dans l'environnement, le glyphosate et surtout son principal produit de dégradation (l'AMPA), font partie des herbicides les plus détectés dans les eaux françaises.

Le premier argument environnemental en faveur des VTH est une réduction des quantités d'herbicides épanchues : l'analyse (*cf. supra*) des pratiques de désherbage effectives (aux Etats-Unis) a montré sa réalité et ses limites à moyen terme. Le second argument est le remplacement de substances anciennes par des molécules ayant des profils écotoxicologiques plus favorables. Si les résultats des tests d'écotoxicité, réalisés en laboratoire, sont difficilement extrapolables à la diversité des conditions réelles, les données sur la persistance du glyphosate relativisent ce diagnostic lorsque les produits de dégradation sont pris en compte.

Le principal effet lié à l'adoption de VTH paraît être l'emploi des mêmes molécules sur des surfaces plus importantes, conduisant mécaniquement à des teneurs plus élevées de ces molécules dans les eaux et augmentant le risque d'atteindre les taux limites réglementaires pour la potabilité.

De plus, l'évaluation des impacts environnementaux de l'utilisation des VTH est confrontée à des questions et difficultés méthodologiques classiques mentionnées par exemple dans les ESCo "Pesticides" et "Biodiversité", que l'ESCo VTH ne pouvait traiter de façon exhaustive : impacts des herbicides sur les organismes non-cibles et plus

largement sur la biodiversité, devenir et transfert des pesticides dans l'environnement physique, évaluations comparées des impacts de différents systèmes et pertinence des indicateurs utilisés... Ces questions ne sont pas spécifiques au cas des VTH mais valables pour l'emploi de tout pesticide.

Culture des VTH en France

Si l'analyse du cas nord-américain a mis en évidence des risques associés à une culture massive de certaines VTH, ces résultats ne sont pas directement transposables à la situation française. Les implications d'une éventuelle diffusion significative de VTH en France sont à raisonner en fonction des caractéristiques actuelles des systèmes de culture, mais aussi en fonction des évolutions en cours, susceptibles de favoriser l'adoption des VTH ou d'influer sur ses conséquences. Ces effets dépendront également du type de VTH concernées.

Le contexte social (perception par la société des OGM en agriculture) et le cadre réglementaire distinguent aussi les cas américain et européen. En Amérique, les OGM n'ont pas rencontré d'opposition significative, et les VTH transgéniques se sont développées depuis une quinzaine d'années. En Europe au contraire, comme en France, le contexte social n'est pas favorable aux plantes génétiquement modifiées, et le conflit qui s'est développé à leur propos a conduit à encadrer leur évaluation préalable et leur éventuelle mise en culture, et à limiter à ce jour le nombre de variétés transgéniques inscrites dans les catalogues communautaire et français. En effet, 2 variétés de maïs transgéniques TH sont inscrites au Catalogue européen ; en France, leur culture n'est pas interdite par un moratoire mais l'herbicide auquel elles sont tolérantes n'est pas homologué pour cet usage. Les seules VTH cultivées et en cours d'inscription sont donc non transgéniques. Elles font cependant l'objet, à leur tour, de contestations qui se sont traduites par quelques arrachages, médiatisés, de parcelles portant des VTH obtenues par mutagenèse.

Le statut des variétés issues de mutagenèse est en effet contesté par certains acteurs qui perçoivent la mise en culture de telles VTH comme une façon de ne pas entrer dans le champ d'application de la réglementation qui encadre la culture des OGM en Europe.

. Contexte agronomique français

A l'exception des enquêtes "Pratiques culturales" réalisées par le service statistique du ministère en charge de l'agriculture, l'important déficit de données concernant les pratiques des agriculteurs ne permet qu'une vision très globale et imparfaite de la situation actuelle et de son évolution. De grandes tendances peuvent néanmoins être décrites sur la base de ces enquêtes, d'analyses plus qualitatives et de l'application des raisonnements agronomiques (avec une réserve sur la poursuite de ces tendances, dans l'attente des résultats de l'enquête 2011).

Les cas d'école nord et sud-américains ont mis en évidence le couplage fort entre adoption des VTH et abandon du labour. Ces agricultures américaines sont de plus fondées sur des rotations très courtes ou des monocultures, qui sont susceptibles d'amplifier les difficultés de désherbage. Ce contexte contribue à une adoption massive, voire généralisée, des VTH. En France, le **non-labour** est encore minoritaire mais **en expansion** (en 2006, il concernait déjà 34% des parcelles de grandes cultures, plus de 50% dans les exploitations de plus de 300 ha). Les assolements et successions culturales restent aussi plus diversifiés, cependant la tendance est à la **simplification des rotations**, insérant de moins en moins des cultures de printemps dans des assolements de cultures d'hiver.

. Utilisation de VTH et points de vigilance

Les premières cultures de tournesols tolérants à des herbicides de la classe B (Clearfield® tolérant à une imidazolinone, et Express Sun® tolérant à une sulfonyle-urée) sont apparues en France, en 2010, et ont couvert une surface estimée à 80 000 ha en 2011 (soit plus de 10% de la surface de tournesol française).

La principale spécificité de la situation française/ européenne réside dans le fait que, pour l'instant du moins, seules des variétés obtenues par sélection de la variabilité spontanée ou par mutagenèse sont cultivées. Elles sont tolérantes à un **herbicide sélectif** (classe B), et peuvent apporter une solution à des difficultés de désherbage effectivement rencontrées dans les principales espèces cultivées en France. Ainsi, les plantes adventices apparentées interfertiles, voire de même espèce, que la culture (betterave, tournesol, colza), aux espèces envahissantes telles que l'ambrosie, et les plantes parasites comme l'orobanche (tournesol) sont difficiles à éliminer. Cependant, le risque de transfert du caractère TH aux adventices appartenant aux espèces interfertiles est élevé. Il existe par ailleurs une forte probabilité de développement de résistance chez l'ambrosie, espèce à forte dissémination, déjà très abondante en France et devenue résistante à des herbicides de la classe B dans d'autres régions du monde.

Par ailleurs, les herbicides de la classe B sont déjà très employés sur les céréales. L'introduction dans des rotations céréales-oléagineux de colza TH ou de tournesol TH augmentera donc la fréquence d'utilisation de ce mode d'action herbicide dans les parcelles concernées, et par conséquent la pression de sélection exercée sur les adventices.

Pour prévenir ce risque de développement de résistance et celui de diffusion du caractère TH, les conseils techniques diffusés actuellement pour la mise en culture du tournesol TH préconisent de réserver l'usage de ces variétés aux situations de flores difficiles, et dans ce cas en combinant plusieurs modes d'action sur la culture TH elle-même ou/et à l'échelle de la rotation. Cependant, dans le cas du tournesol, le respect d'un tel programme de désherbage pourrait conduire, dans certaines situations agronomiques, à des consommations

d'herbicides supérieures à celles enregistrées en cultures non-TH.

En France, les phénomènes de transfert du caractère TH et de développement de résistances, ainsi que leurs répercussions sur la consommation d'herbicides, dépendront des conditions d'utilisation des VTH. Une utilisation de ces VTH limitée dans le temps et dans l'espace, dans le cadre de "bonnes pratiques agronomiques", intégrant des moyens mécaniques de gestion des adventices et des rotations diversifiées, serait à même de limiter ces risques et de préserver l'efficacité de la technologie TH dans le temps. Aux Etats-Unis, des résultats d'enquête ont toutefois montré que les agriculteurs apparaissent peu enclins à adopter préventivement les mesures susceptibles de réduire les risques de développement des résistances lorsque celles-ci vont à l'encontre des simplifications (du travail du sol et des traitements herbicides) qui ont motivé le choix des VTH. La question se pose alors de l'instauration de mesures d'accompagnement de la culture de VTH, incitant à ces bonnes pratiques.

Les surfaces françaises en tournesol TH sont suffisamment importantes pour déjà apparaître dans l'enquête nationale "Pratiques culturales" 2011. Elles pourraient faire l'objet d'enquêtes spécifiques, enregistrant les motifs et les situations agronomiques d'adoption, les pratiques phytosanitaires effectivement appliquées et les évolutions conjointes de la flore adventice.

Les variétés tolérantes à des herbicides sélectifs telles que celles utilisées en France et en Europe, peuvent apparaître comme des outils complémentaires intéressants face à certaines situations de désherbage difficile ou dans le cadre d'une diversification des itinéraires de désherbage. Cependant, leur utilisation répétée, et/ou ne prenant pas en compte l'évolution concomitante de la flore adventice, peut rapidement les rendre inefficace et faire ressurgir les mêmes difficultés éventuellement plus complexes encore à gérer. Cette problématique n'est pas spécifique aux VTH et concerne plus généralement l'utilisation des produits phytosanitaires ou des résistances variétales à des bioagresseurs. Le caractère pérenne de l'innovation dépend de l'efficacité de l'accompagnement de leur mise en œuvre sur la parcelle et au niveau régional. La connaissance et la compréhension plus fines de la biologie et de l'écologie des adventices difficiles à éliminer, et des effets des rotations culturales sur leur développement, contribueraient à la mise au point de tels outils de gestion.

Enfin, la mise en œuvre de ces innovations pose la question des objectifs pertinents de maîtrise de la flore adventice, compatibles avec les politiques actuelles de préservation de la biodiversité des espaces agricoles et de réduction de l'utilisation des pesticides.

Expertise scientifique collective réalisée par le CNRS et l'INRA
à la demande des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Ecologie



Pour en savoir plus :

M. Beckert, Y. Dessaux, C. Charlier, H. Darmency, C. Richard, I. Savini, A. Tibi (éditeurs), 2011. Les variétés végétales tolérantes aux herbicides. Effets agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Expertise scientifique collective, CNRS-INRA (France).

Le rapport d'expertise et la synthèse de ce rapport (84 pages) sont disponibles sur les sites internet du CNRS et de l'INRA.

Une vidéo du colloque de restitution de l'ESCo est également en ligne.

Contacts :

Michel Beckert – INRA, co-responsable scientifique de l'ESCo VTH : michel.beckert@clermont.inra.fr

Yves Dessaux – CNRS, co-responsable scientifique de l'ESCo VTH : yves.dessaux@isv.cnrs-gif.fr

Claire Sabbagh – INRA, responsable de l'activité d'expertise à la Délégation à l'Expertise scientifique, à la Prospective et aux Etudes : claire.sabbagh@paris.inra.fr

Anais Tibi – INRA, chef de projet de l'ESCo VTH : anais.tibi@paris.inra.fr