MeNS_62 FR.qxp_Opmaak 1 22/09/14 16:52 Pagina 1

MILIEU EDUCATION NATURE SOCIÉTÉ

REVUE SCIENTIFIQUE POPULAIRE 62
Trimestrielle | JUIL-AOÛT-SEPT 2014

MeNS

DOSSIER

Bricoler avec des gènes de plantes

2e partie : De la technologie à une vision mondiale

Loterie Nationale
Universiteit Antwerpen

Ce même citoyen ne pense déjà pas grand-chose de bien au départ à propos des OGM et est plutôt frileux concernant l'utilisation de ces plantes. Ce n'est pas tellement étrange. Les premières cultures transgéniques commerciales sont en effet arrivées sur le marché européen dans les années 1990, à un moment où nous devions déjà faire face à de nombreux scandales alimentaires : contaminations par salmonelles, maladie de la vache folle (ESB), et dans le pays, c'était la crise de la dioxine. Ces scandales allaient en outre de pair avec une mauvaise communication entre les autorités et le citoyen, et ce dernier a perdu sa confiance en ces mêmes pouvoirs publics. Simultanément, la politique agricole de l'UE s'est avérée tout à fait inefficace : nous produisions des montagnes de beurre, des excédents de lait et des mers de vin et nous gaspillions dès lors des tonnes d'aliments. Au niveau mondial, les premières grandes protestations surgissent contre la globalisation de l'économie mondiale. Les multinationales ont pris part à cette extension, elles ont déménagé leur production vers des ateliers où la main-d'œuvre est exploitée dans des pays où les salaires sont très bas, elles ont recherché des manières de fusionner avec d'autres multinationales et elles ont essayé de se soustraire aux législations nationales via des quasi-monopoles. Les noms de nombreuses multinationales se sont vus attribuer à raison ou pas une connotation particulièrement mauvaise et alors qu'elles voulaient promouvoir justement des OGM, cette réputation est aussi restée collée à ces plantes. Dans pareil contexte, la science indépendante a aussi complètement manqué son coup : les scientifiques pensaient qu'ils faisaient encore autorité et ont essayé de calmer les esprits, mais ils ne sont pas parvenus à convaincre le public qu'on écoutait ses gémissements. Ce n'était pas vraiment nos meilleures heures.

Mais la recherche a continué à aller de l'avant. Différentes questions pertinentes se posaient : les OGM sont-ils vraiment sains ? Les OGM sont-ils vraiment sûrs pour l'environnement ? Quelle est la plus-value des OGM ? Et sur la base des réponses scientifiques à ces questions, après une période d'étude de 25 ans et sur la base des résultats des recherches de 130 projets réalisés par 500 groupes indépendants, la Commission européenne se prononce également aujourd'hui :

MeNS_62 FR.qxp_Opmaak 1 22/09/14 16:52 Pagina 3

Une batterie de termes

allèle	variante d'un gène, par ex. le gène pour la couleur de fleur blanche et celui pour la couleur de fleur rouge sont deux allèles pour le gène déterminant la couleur de fleur.
Bt	Protéine originaire de la bactérie *Bacillus thuringiensis*. Elle est nocive pour des types d'insectes spécifiques. Les plantes Bt sont des plantes qui portent le gène pour cette protéine.
cisgénèse	technique permettant d'introduire de nouveaux allèles dans une plante. Ces allèles étaient déjà présents dans d'autres individus de la même sorte de plantes.
gène	fragment d'ADN qui correspond au code d'une propriété héréditaire spécifique, par ex. la couleur de fleur. Attention - certaines propriétés sont causées par plusieurs gènes conjoints (par ex. la couleur de peau ou la couleur de l'iris).
génome	ensemble de tous les gènes et de l'ADN intermédiaire d'un organisme (voir aussi M*e*NS 50, Biologie systémique)
construction de gène	gène créé artificiellement pour s'exprimer dans un organisme transgénique
CGM	culture génétiquement modifiée
OGM	organisme génétiquement modifié (aussi parfois appelé anciennement organisme génétiquement manipulé)
ploïdie	nombre de copies de chaque génome présentes dans un tissu déterminé (indiqué par un chiffre suivi de la lettre n)
polyploïdie	la présence de plus d'une copie d'un génome dans une cellule ou un tissu
transgène	construction de gène pour la transgénèse ou la cisgénèse ; gène étranger, qui se retrouve dans le génome d'un OGM via le génie génétique
transgénique	pourvu d'un transgène
transgénèse	technique permettant d'introduire de nouveaux allèles dans une plante. Ceux-ci peuvent provenir de l'un ou l'autre organisme.

"Jusqu'à ce jour, il n'existe aucune preuve scientifique que les OGM impliquent de plus grands risques pour l'environnement ou pour les aliments et la sécurité des aliments que les cultures et les organismes classiques."

Plus encore, une étude italienne de 2013 a analysé pas moins de 1783 études publiées, toutes évaluées via le système scientifique typique de *peer review* (voir aussi M*e*NS 59) et celles-ci sont parues dans des revues spécialisées de haut niveau. Ici encore s'en est suivie la même conclusion : toutes ces études scientifiques n'ont révélé aucun risque qui soit spécifiquement lié à l'utilisation d'OGM.

Ça ne veut pas dire que les questions posées étaient injustifiées, comme le lecteur attentif va rapidement le constater, ou qu'il ne faut pas examiner les réponses avancées de manière critique. Il est toujours bon que le citoyen plus vigilant pose les bonnes questions et requiert une sécurité suffisante quant à ce qui atterrit dans son assiette. Mais nous en savons beaucoup plus qu'il y a dix, quinze ans. Dans ce dossier de M*e*NS, nous analysons dès lors la situation du débat sur les OGM. Avec des pour et des contre.

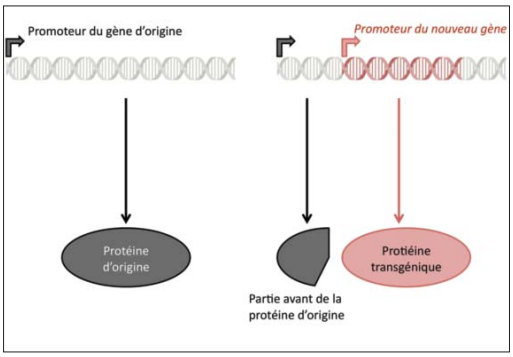
Attention - un débat doit rester un débat. La destruction d'un champ d'expérimentation contenant des pommes de terre génétiquement modifiées à Wetteren en mai 2011 est un exemple choquant de ce qu'il ne faut pas faire. Que vous soyez pour ou contre l'utilisation d'OGM, la destruction n'est pas une option dans un débat démocratique - et c'est d'ailleurs l'avis du tribunal qui a dû juger des faits. Et si vous estimez que ça doit être possible, vous pouvez vous imaginer qu'un partisan des OGM vienne déverser des pommes de terre dans votre bureau, car votre vision est simplement différente.

MeNS_62 FR.qxp_Opmaak 1 22/09/14 16:52 Pagina 4

Manger sans risque

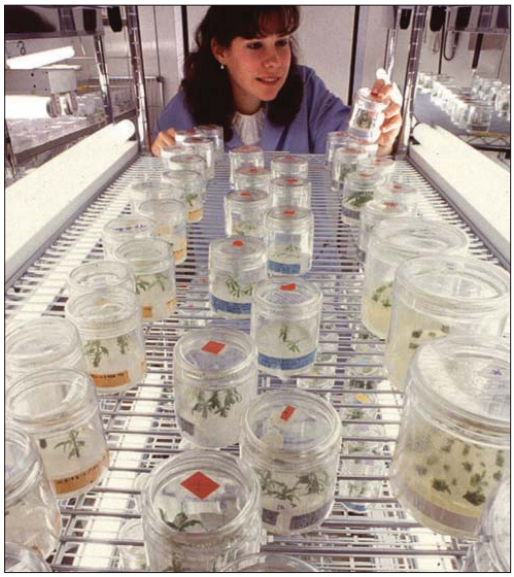
OGM et allergies

Une première inquiétude concernant la consommation des OGM a trait à la présence d'allergènes supplémentaires dans les plantes. Ceux-ci peuvent apparaître de deux manières différentes. Pour commencer, lorsque nous faisons produire de nouvelles protéines à une plante, celles-ci peuvent déclencher des réactions allergiques éventuelles, même chez des personnes qui n'avaient démontré aucune autre allergie auparavant. Par ailleurs, il est vrai que lors d'une transformation d'une plante, on ne peut prévoir où cette nouvelle construction va se retrouver exactement dans le génome de cette plante. Ainsi, la construction peut se loger au milieu de la protéine existante et y faire des ravages au niveau de la structure. Cette situation peut aussi mener à l'apparition de structures inconnues et parfois allergéniques. (voir la figure ci-dessous)



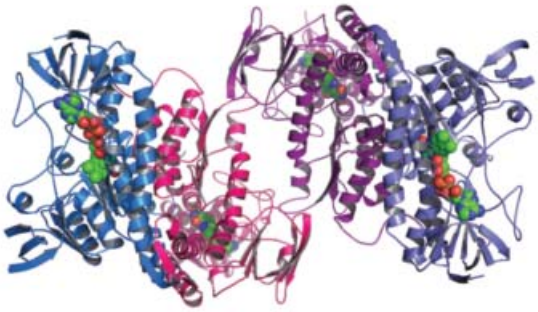
D'un point de vue théorique, de nouvelles protéines allergéniques peuvent donc apparaître dans les plantes transgéniques.

Tout d'abord, c'est en effet un risque d'un point de vue théorique. Lorsque nous introduisons un nouveau gène dans un génome existant, il y a deux protéines qui sont modifiées par le nouveau gène : la protéine qui est déterminée par le nouveau gène et la protéine qui correspond au gène où ce nouveau gène s'est logé. Les méthodes habituelles pour transformer une plante ne sont en effet pas en mesure de déterminer où le nouveau gène va se retrouver dans le génome. Plus encore, nous ne sommes jusqu'à présent pas en mesure de prévoir ce qui se passe lorsqu'un nouveau gène se retrouve soudain dans un environnement aussi complexe qu'un génome, qui est en équilibre grâce à des millions d'années d'évolution. Le chercheur David Suzuki a un jour utilisé cette métaphore : introduire un gène dans un génome existant, c'est comme placer Mick Jagger dans un orchestre symphonique puis demander de la musique. On ne sait pas dans quoi on s'engage.



Les règles pour une évaluation de la sécurité des OGM établies par l'Union européenne figurent ici : http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2150.htm. Ce faisant, nous ne devons pas uniquement démontrer que l'OGM ne contient aucune protéine allergénique, mais aussi que la plante transgénique ne crée aucune substance

Papaye – ananas – kiwi : pour certaines personnes, c'est un trio dangereux. Tous les trois contiennent en effet la protéine actinidine. Pour les fins becs parmi vous : cette enzyme affecte les protéines de lait de sorte que le lait prend un goût plus amer, et que la gélatine se décompose (de sorte que vous ne pouvez pas faire un bavarois au kiwi sans cuire les fruits).



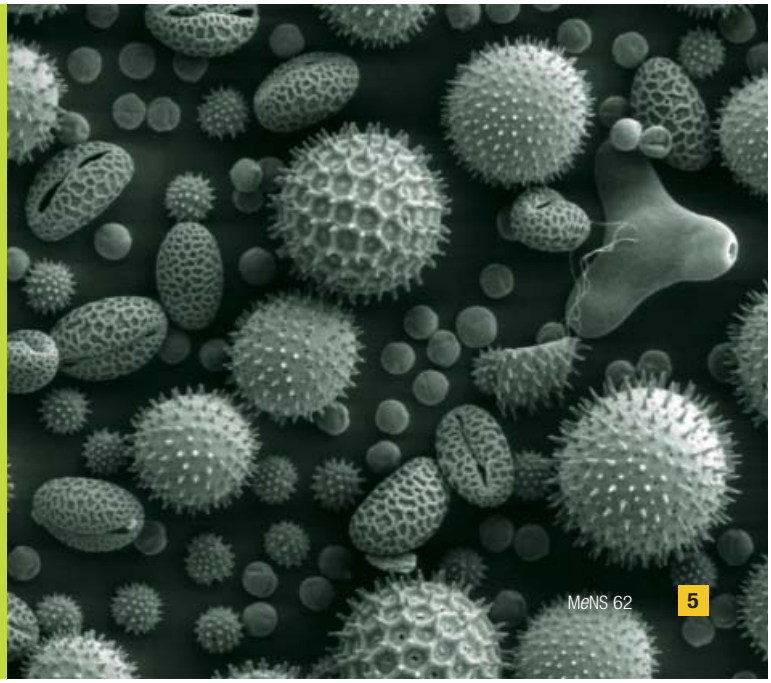
La puissance de la (bio-)informatique est également mise en œuvre pour éviter les protéines allergéniques et nuisibles. Les nouvelles protéines sont comparées via des programmes informatiques avec des allergènes connus et des substances toxiques.

D'autre part, nous avons également la technologie pour contrôler où un nouveau gène a été se loger dans le génome de la plante (voir encadré et figure). Nous pouvons donc assez rapidement vérifier quel autre gène (et protéine correspondante) pourrait potentiellement entraîner des problèmes. En outre, la production de protéines supplémentaires n'a encore jamais été constatée, ni sur des plantes, ni sur d'autres applications de génie génétique. Des bactéries qui sont modifiées par la voie transgénique et produisent depuis 1982 de l'insuline humaine fabriquent précisément uniquement cette protéine. Sur les plantes également, nous ne retrouvons aucune autre protéine que celle que nous attendons. Ces mesures font du reste partie intégrante de l'évaluation obligatoire qu'une plante modifiée génétiquement doit subir avant de pouvoir être introduite sur le marché.

Par ailleurs, le risque est plus grand d'être exposé à une protéine allergène en mangeant des plantes non transgéniques qu'en mangeant des OGM. Pensez notamment aux nombreuses personnes qui présentent une réaction allergique aux cacahuètes ou aux fraises ! D'autre part, nous trouvons également des allergènes dans le lait, les crustacés, le gluten, le poisson… Un exemple intéressant est le kiwi. Ce fruit délicieux est originaire de Chine et a été cultivé pour la première fois au début du siècle passé en Nouvelle-Zélande. Le kiwi a été lancé pour la première fois sur le marché des États-Unis dans les années 1960, et peu de temps après en Europe également. Personne ne se posait alors la question de savoir dans quelle mesure ce nouveau fruit pouvait également avoir des effets secondaires néfastes, mais de nos jours, il nous faut toutefois constater que les kiwis peuvent en effet entraîner des réactions allergiques ennuyeuses.

Que sont les allergènes ?

Un allergène est une substance qui stimule si fort notre système immunitaire qu'il s'ensuit une réaction anormalement importante : éternuements, crise d'asthme, éruption cutanée... et même un choc anaphylactique (une forte chute de la pression sanguine). Cela se passe dès que nos globules blancs, les gardiens de notre corps, remarquent des protéines étrangères. Pour plus d'informations, veuillez consulter le dossier M*e*NS 17, La montée en puissance de l'allergie, à télécharger sur www.biomens.eu.

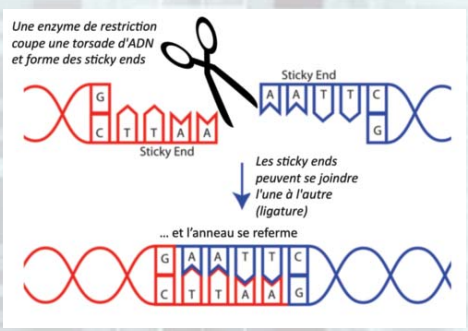


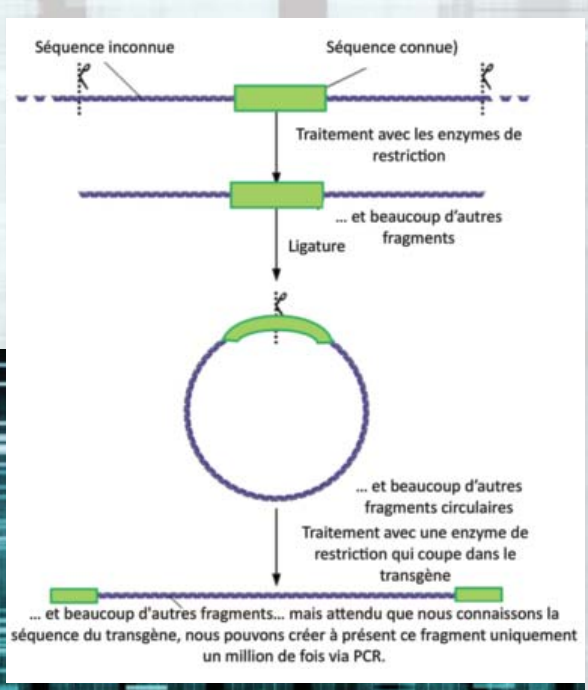
Pour vérifier où un gène se trouve, une réaction PCR inverse est utilisée. La PCR (*polymerase chain reaction* ou réaction en chaîne par polymérase) est une technique où l'on peut très spécifiquement dupliquer une séquence d'ADN si l'on connaît la séquence de base sur les bords de ce fragment d'ADN.

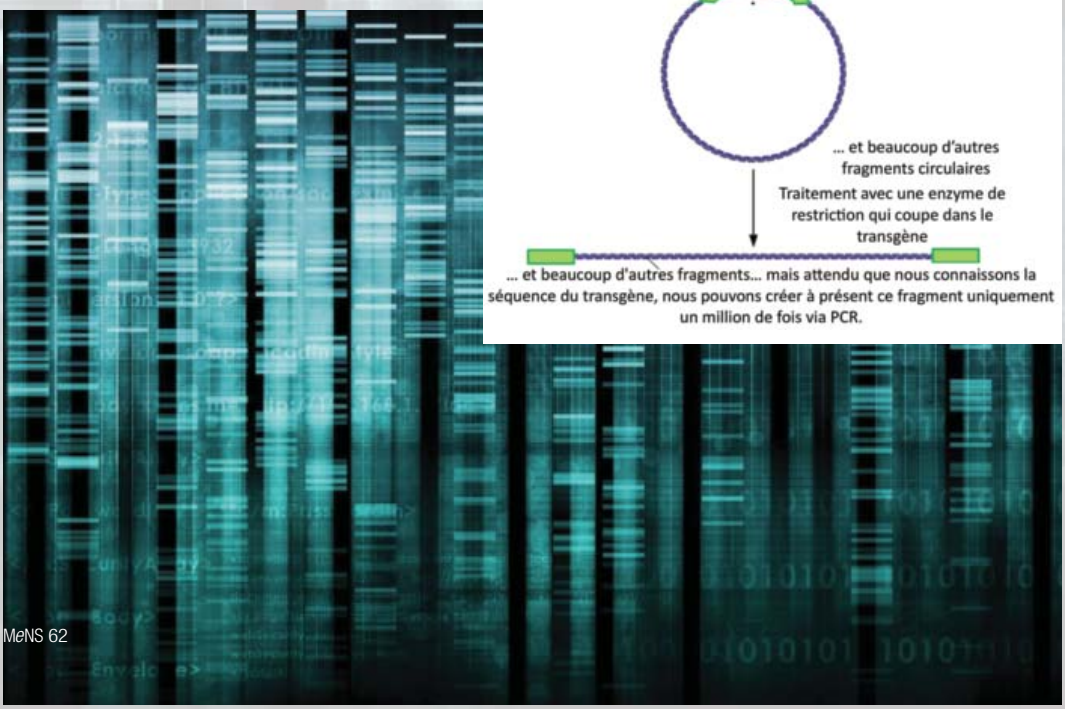
Lors de la PCR inverse, le génome est tout d'abord coupé en séquences à l'aide des enzymes de restriction. Elles coupent l'ADN à un endroit présentant une séquence très spécifique de quatre à huit paires de bases. Une seconde propriété de beaucoup d'enzymes de restriction est qu'elles ne coupent pas directement l'ADN, mais laissent derrière elles des extrémités dites cohésives : *"sticky ends"* en anglais.

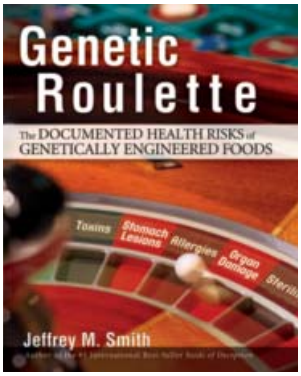
Attendu que chaque génome contient des dizaines de fois une séquence courte de ce type, les enzymes coupent le génome en de nombreux segments. Dans un de ces fragments se logera également le transgène (indiqué sur la seconde figure en vert). Grâce à ces *sticky ends*, tous ces fragments peuvent se replier sur eux-mêmes et former des torsades d'ADN de forme circulaire.

Si nous libérons à présent le bon enzyme de restriction sur ces torsades circulaires, nous coupons ces cercles à nouveau, mais alors juste en travers la séquence transgénique. Ce faisant, nous obtenons à nouveau un fragment d'ADN linéaire, mais le transgène qui se trouvait tout d'abord à l'intérieur est maintenant le long à l'extérieur. Avec une PCR simple, nous pouvons maintenant dupliquer la partie entre les fragments du transgène. Ensuite, nous déterminons la bonne séquence et à l'aide des bases de données librement disponibles pleines de séquences d'ADN, nous arrivons à savoir à quel endroit le nouveau gène se trouve.









L'autoproclamé expert Jeffrey M. Smith énumère toute une série d'arguments connus dans ses travaux 'Genetic Roulette' *et* 'The Seeds of Deception'. *Un groupe de scientifiques en fait tout simplement du bois à brûler sur le site Web http://academicsreview.org/reviewed-content/genetic-roulette/. Mais lisez cela calmement après. Le film de Monsieur Smith se retrouve facilement en ligne et ses affirmations sont répétées sur Internet sans critique, par ex. sur http://responsibletechnology.*

Mais il y a aussi des études qui démontrent que les OGM ont toutes sortes d'effets atroces sur notre santé ?

Oui, il y en a, même si nous pouvons y ajouter d'importantes observations. Ainsi, il y a une étude où des souris ont été nourries avec des pommes de terre contenant le gène Bt (et donc aussi la protéine). Ces animaux ont présenté une croissance de cellules anormale dans leur appareil intestinal. Mais... cette même constatation était également valable pour des souris qui avaient reçu des pommes de terre normales à manger, auxquelles la toxine Bt avait été ajoutée. En outre, lors d'un examen plus détaillé, il s'est avéré que cette toxine était originaire d'une autre sorte de bactéries (donc pas le *Bacillus thuringiensis*), et dont pas représentative pour l'insecticide Bt. Et il y avait encore d'autres erreurs - mais cela nous mène trop loin.

Une autre histoire raconte que des ouvriers originaires d'Inde, qui devaient travailler avec du coton Bt, ont présenté des symptômes allergiques. Il s'avère toutefois après avoir pris des renseignements qu'il s'agit d'une rumeur publique qu'aucune organisation non gouvernementale n'est disposée à confirmer. Le compte rendu de cette fausse rumeur publique figure dans *Nature Biotechnology* de 2009. Encore d'autres études ont démontré à plusieurs reprises ne présenter aucun effet. Elles étaient juste mises en œuvre et il manquait alors les bons contrôles, ou étaient contredites par un tas d'autres études qui étaient quant à elles bien exécutées. Le récit d'une variété de soja transgénique contenant un gène de noix du Brésil est toutefois exact. Ces plantes de soja créaient ainsi la protéine à laquelle beaucoup de personnes réagissent de manière allergique (en mangeant ces noix). Mais cette gamme de plantes a en effet été remarquée à temps, bien avant que les plantes de soja n'arrivent sur le marché et leur développement ait été interrompu. Apparemment, les règles qui doivent protéger le consommateur ne fonctionnent pas si mal.

Bref, nous ne pouvons en effet exclure à 100 % que les OGM contiennent des allergènes, tout comme nous ne pouvons le faire pour les cultures tradition-

nelles. Sans autorisation, les OGM n'arrivent toutefois pas sur le marché. En outre, les gens mangent entre-temps depuis vingt ans déjà de la nourriture dans laquelle sont traités des OGM, et jamais encore des problèmes n'ont été constatés. Toutefois, avec le kiwi ou la cacahuète, c'est différent.

Les OGM ont-ils la même valeur nutritive que les cultures classiques ?

Penchons-nous un instant en bons scientifiques sur quelques études afin de pouvoir répondre à cette question. Tout d'abord, une vaste étude de 1996 porte sur la valeur nutritive du soja Roundup Ready® (des fèves de soja qui s'avèrent résistantes contre l'herbicide Roundup - voir plus loin). Les chercheurs ont examiné pratiquement chaque aspect possible : les composantes nutritives (comme les fibres, l'huile, les protéines, les hydrates de carbone, les minéraux et la composition en acides aminés et acides gras dans les graines), mais aussi un certain nombre de substances nocives (inhibiteurs de la trypsine et lectines). Pour les non-spécialistes : les inhibiteurs de la trypsine sont des protéines qui bloquent la dégradation des protéines pendant la digestion. Les lectines sont des protéines extraites de haricots, céréales, pommes de terre, noix, ... qui peuvent perturber notre système intestinal et ont un effet indésirable toxique (parfois même mortel). La seule différence entre la variété transgénique et la fève de soja classique s'est avérée être une légère augmentation de la quantité d'inhibiteur de la trypsine, mais elle semblait imputable à la manière avec laquelle un certain nombre de graines étaient traitées. De même une étude de 1999 qui s'est penchée sur les isoflavones dans ces fèves de soja n'a pu démontrer aucune différence nette. Il n'y a donc aucune différence dans la valeur nutritive entre ces sojas tolérants aux herbicides et le soja classique.

Ce n'est bien sûr pas toute l'histoire. Il y a en effet des plantes qui sont spécialement conçues pour offrir une plus haute valeur nutritive. Ainsi, nous avons déjà parlé dans la partie précédente du Golden Rice,

Tomate et ...

...tomate ancestrale ! De nombreuses différences avec la photo à gauche, à cause des croisements classiques.

Feu bactérien sur des pommes

Cultiver sans risque

Dans le dossier précédent, nous avons déjà parlé des nombreuses plantes modifiées génétiquement ou encore rendues plus tolérantes contre les herbicides, ou contre les insecticides. Dans ce volet, nous répondons à la question de savoir si l'utilisation de ces plantes menace notre environnement.

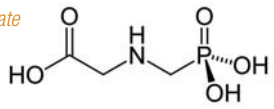
Fini les mauvaises herbes !

Bien que notre agriculture devienne aujourd'hui des plus sophistiquées, les mauvaises herbes restent omniprésentes. Heureusement toutefois, car ce qu'une personne appelle mauvaise herbe peut correspondre à la croissance de plantes naturelles pour une autre, ce qui témoigne d'une vie diversifiée sur et le long des champs, avec une valeur écologique importante. Cependant, les agriculteurs préfèrent garder ces mauvaises herbes loin des champs. Beaucoup de ces plantes pourraient envahir les cultures (pensez notamment aux mûres ou au grateron) et dès lors réduire la production alimentaire. Différentes solutions existent en ce sens. Un désherbage lent à la main et la binette est possible, l'utilisation de machines agricoles lourdes est également possible (qui endommagent le sol et érodent la couche supérieure fertile), et il y a la méthode chimique : l'utilisation d'herbicides. Celle-ci est très efficace, mais il en résulte la présence d'énormément de substances étrangères et toxiques dans l'environnement.

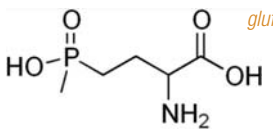
Dans ce qui suit, nous abordons essentiellement deux herbicides connus présentant un large spectre d'action (autrement dit, ils peuvent tuer un groupe de plantes très diversifié) : les substances glyphosate (connue sous le nom de Roundup, produite par Monsanto®) et glufosinate (par ex. Basta, Challenge et Liberty de Bayer®). Ces deux substances bloquent la production d'acides aminés dans les cellules de la plante, et donc aussi la production de protéines. Le glufosinate inhibe la synthèse de l'acide aminé glutamine et le glyphosate fait de même avec la tyrosine, le tryptophane et la phénylalanine. Le glyphosate menace uniquement la plante de l'intérieur, via les feuilles et est uniquement actif dans les extrémités supérieures de la tige en croissance (méristèmes). Autrement dit, un agriculteur doit attendre jusqu'à ce que la mauvaise herbe commence à germer, et pas pulvériser tous ses champs à l'avance.

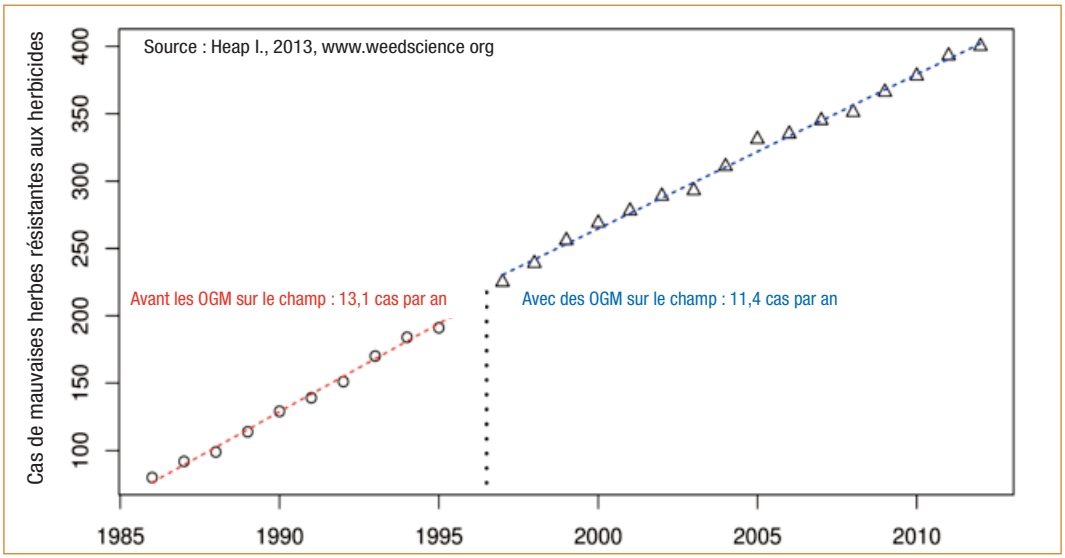
Dans les deux cas, certaines plantes issues du génie génétique peuvent aisément survivre à un traitement avec cette substance : les cultures tolérantes aux

glyphosate



glufosinate





Ce graphique indique la quantité de mauvaises herbes résistantes aux herbicides découvertes aux États-Unis au cours de ces 30 dernières années. L'inclinaison de la droite qui passe par les différents points donnés est une évaluation du nombre de nouveaux cas qui sont établis chaque année. Durant la période de onze ans précédant le moment où les OGM ont été cultivés à grande échelle, des chercheurs ont trouvé environ 13 nouveaux cas par an. À partir du moment où les OGM sont apparus dans les champs américains, ce chiffre a baissé à 11,4 cas par an. Il ne s'agit pas d'une différence très significative, mais il n'est certainement pas exact de dire que l'utilisation des OGM en soi a conduit à plus de mauvaises herbes super-résistantes.

Avantages et inconvénients

Le gros avantage pour un agriculteur qui cultive des plantes résistantes aux herbicides est qu'il doit dépenser moins en herbicide. Une seule vaporisation avec une dose importante suffit en effet à tuer les mauvaises herbes, alors que la culture continue calmement de se développer. Dans l'agriculture conventionnelle, l'agriculteur doit vaporiser à plusieurs reprises une dose plus faible, car autrement, ses cultures souffrent aussi du traitement aux herbicides. En 1996, 80 % des agriculteurs nord-américains qui cultivaient du colza tolérant au glyphosate n'avaient eu besoin que d'un seul traitement de vaporisation pour le contrôle des mauvaises herbes. Le rendement était alors 9 % plus élevé que pour les variétés conventionnelles. La quantité totale d'herbicides sur les champs a baissé jusqu'à 1 kg par hectare.

Plus encore, dans le cas d'une culture de plantes résistantes aux herbicides, le traitement aux herbicides peut être reporté jusqu'à ce que les types de mauvaises herbes à combattre commencent à se montrer. Jusque-là, toutes les plantes peuvent rester et sont encore à la disposition des insectes et des brouteurs. Les cultures tolérantes aux herbicides offrent dès lors des avantages non seulement pour l'agriculteur, mais également pour l'environnement.

Par ailleurs, la vaporisation d'un mauvais herbicide peut faire échouer une récolte. Une confusion chez les agriculteurs peut entraîner une utilisation erronée d'herbicides. En effet, en cas de vaporisation sur des cultures sensibles, celle-ci entraîne la destruction des plantes. En outre, la nature a sa propre méthode pour survivre : évolution, dirigée par une sélection naturelle (voir l'annexe didactique).

En vaporisant continuellement avec un seul herbicide, l'agriculteur favorise l'apparition de plantes résistantes à cet herbicide. Et nous voyons que ça arrive. En 2012, plus de vingt variétés de mauvaises herbes avaient développé une tolérance au glyphosate (voir le tableau et les figures p.11 pour quelques exemples).