

Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées

Saisir les opportunités, prévenir les risques,
sauvegarder les compétences

Edited Volume

Publication date:

2013

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-007623338>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)



Comité de direction du Programme national de recherche PNR 59 (éditeur)

SYNTHÈSE DU PROGRAMME PNR 59

Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées

SAISIR LES OPPORTUNITÉS, PRÉVENIR LES RISQUES, SAUVEGARDER LES COMPÉTENCES

Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées

SYNTHÈSE DU PROGRAMME PNR 59

Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées

SAISIR LES OPPORTUNITÉS, PRÉVENIR LES RISQUES, SAUVEGARDER LES COMPÉTENCES

Comité de direction du Programme national de recherche PNR 59 (éditeur)



vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

IMPRESSUM 1

Publié avec l'appui du Fonds national suisse de la recherche scientifique.

Référence recommandée

Editeur: Comité de direction du PNR 59

Titre: **Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées**

Synthèse du Programme national de recherche 59

Lieu: Berne

Année: 2013

Informations bibliographiques de la Deutsche Nationalbibliothek

La Deutsche Nationalbibliothek a répertorié cette publication dans la Deutsche Nationalbibliographie. Données bibliographiques détaillées disponibles sur <http://dnb.d-nb.de>

ISBN: 978-3-7281-3485-1 (version imprimée)

ISBN: 978-3-7281-3486-8 / DOI 10.3218/3486-8 (open access)

www.vdf.ethz.ch

© 2013, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Cet ouvrage ainsi que toutes ses parties sont protégés par le droit d'auteur. Toute utilisation faite sans autorisation de la maison d'édition et dépassant le cadre étroit du droit d'auteur est interdite et punissable. Cela vaut en particulier pour les reproductions, les traductions, les microcopies ainsi que l'enregistrement et le traitement de l'œuvre par des systèmes électroniques.

Table des matières du PNR 59

Générique	Prévenir les risques, saisir les opportunités et sauvegarder les compétences (résumé de la synthèse du PNR 59)	12
	Agriculture durable	36
1	Recherche sur les risques et écologie	46
1.1	Recherche sur la biosécurité en Europe	48
1.2	Objectifs de protection et évaluation des risques	62
1.3	Propriétés de plantes génétiquement modifiées	74
1.4	Les interactions des plantes génétiquement modifiées avec leur environnement	96
	Opinion: Génie génétique: origine, concept, évaluation des risques et potentiel pour l'avenir	118
2	Economie agricole et législation	122
2.1	Plantes génétiquement modifiées en Suisse – une analyse agro-économique	124
2.2	L'acquis des expériences réalisées au sein de l'Union européenne en matière de coexistence	138
2.3	Conditions-cadres légales pour l'utilisation du génie génétique vert	154
	Opinion: Plantes biogènes: des plantes génétiquement modifiées pour l'agriculture biologique	176
	Opinion: Le développement durable: pierre de touche du génie génétique	180
3	Santé et société	184
3.1	Aspects sanitaires de plantes génétiquement modifiées ayant un intérêt pour la Suisse	186
3.2	Opinion, consommation, communication et acceptation	198
	Opinion: Errements et tourments – la formation universitaire dans les sciences moléculaires du végétal	220
4	Avenir	224
4.1	Expériences tirées d'essais en champ dans le cadre du PNR 59	226
4.2	Perspectives de la législation suisse en matière de génie génétique	238
4.3	Nouvelles techniques génétiques pour la sélection de plantes	260
	Opinion: Signification du génie génétique vert pour la sécurité alimentaire dans les pays du tiers monde	274
Annexes	Liste des projets	278
	Glossaire	286
	Liste des illustrations	298
	Liste des tableaux	302

IMPRESSUM 2**Auteurs de la synthèse du programme**

- **Prof. Dr Detlef Bartsch**
Membre du Comité de direction du PNR 59,
Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Berlin, Allemagne
- **Prof. Dr Herbert Burkert**
Institut für Medien- und Kommunikationsmanagement MCM, Université de Saint-Gall
- **Prof. Dr Thomas Bernauer**
Délégué du Conseil national de la recherche, EPF Zurich
- **Prof. Dr Dirk Dobbelaere**
Président du Comité de direction du PNR 59, Université de Berne
- **Dr Karoline Dorsch-Häsler**
Membre du Comité de direction du PNR 59,
ancien membre de la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique, Ittigen
- **PD Dr Christoph Errass**
Université de Saint-Gall, greffier au Tribunal fédéral, Lausanne
- **Dr Robert Finger**
Université de Wageningen, Pays-Bas
- **Prof. Dr Joachim Frey**
Université de Berne
- **Prof. Dr Urs Gasser**
Forschungsstelle für Informationsrecht, Université de Saint-Gall
- **Prof. Dr Karin Hoffmann-Sommergruber**
Ancien membre du Comité de direction du PNR 59,
Université de médecine de Vienne, Autriche
- **Prof. Dr Beat Keller**
Université de Zurich
- **Dr Stefan Kohler**
Vischer Rechtsanwälte, Zurich
- **Prof. Dr Michael Siegrist**
EPF Zurich
- **Prof. Dr Joachim Scholderer**
Membre du Comité de direction du PNR 59, Aarhus School of Business, Danemark
- **Prof. Dr Daniel Schümperli**
Membre du Comité de direction du PNR 59, Université de Berne
- **Prof. Dr Rainer J. Schweizer**
Université de Saint-Gall

- **Dr Jeremy B. Sweet**
Cambridge, Grande-Bretagne
- **Prof. Dr Wim Verbeke**
Membre du Comité de direction du PNR 59, Université de Gand, Belgique
- **Prof. Dr Dr h. c. Wilfried Wackernagel**
Université d'Oldenbourg, Allemagne
- **Dr Michael Weber**
EPF Zurich
- **Prof. Dr Josef Zeyer**
Membre du Comité de direction du PNR 59, EPF Zurich

Auteurs invités (essais et contributions courtes)

- **Prof. émérite Dr Werner Arber**
Université de Bâle
- **Prof. Dr Astrid Epiney**
Université de Fribourg
- **Prof. Dr Christian Hardtke**
Université de Lausanne
- **Prof. Dr Bernard Lehmann**
Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne
- **Prof. Dr Urs Niggli**
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Frick
- **Prof. émérite Dr Dr h. c. Ingo Potrykus**
EPF Zurich
- **Dr Eva Reinhard**
Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne
- **Prof. émérite Gerhart U. Ryffel**
Université de Duisbourg-Essen, Allemagne
- **Dr Olivier Sanvido**
Secrétariat d'Etat à l'économie (SECO), Berne
- **Dr Lucius Tamm**
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Frick

Groupe d'accompagnement de la synthèse du programme

- **Prof. Dr Bernard Baertschi**
Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie
dans le domaine non humain (CENH)
- **Nadine Degen**
Union suisse des paysans (USP), Berne
- **Dr Markus Hardegger**
Office fédéral de l'agriculture (OFAG), Berne
- **Herbert Karch**
Groupe de travail suisse sur le génie génétique (SAG), Berne
- **Dr Jan Lucht**
scienceindustries, Zurich
- **Prof. Dr Jean-Pierre Métraux**
Université de Fribourg
- **Prof. Dr Urs Niggli**
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL), Frick
- **Sara Stalder**
Fondation pour la protection des consommateurs (FPC), Berne
- **Dr Paul Steffen**
Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Zurich

Comité de direction du PNR 59

- **Prof. Dr Dirk Dobbelaere (président)**
Université de Berne
- **Prof. Dr Detlef Bartsch**
Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Berlin, Allemagne
- **Dr Karoline Dorsch**
ancien membre de la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique, Ittigen
- **Prof. Dr Karin Hoffmann-Sommergruber**
Université de médecine de Vienne, Autriche (jusqu'en août 2007)
- **Dr Pia Malnoë**
Agroscope Changins-Wädenswil ACW
- **Prof. Dr Jules Pretty**
Université d'Essex, Grande-Bretagne
- **Prof. Dr Joachim Scholderer**
Aarhus School of Business, Aarhus, Danemark
- **Prof. Dr Daniel Schümperli**
Université de Berne
- **Dr Jeremy B. Sweet**
Cambridge, Grande-Bretagne
- **Prof. Dr Wim Verbeke**
Université de Gand, Belgique (depuis août 2007)
- **Prof. Dr Josef Zeyer**
EPF Zurich

Observateur de l'administration fédérale

- **Dr Hans Hosbach**
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

Délégué du Conseil national de la recherche

- **Prof. Dr Thomas Bernauer**
EPF Zurich

Coordinateurs du programme

- **Dr Pascal Walther**
(depuis décembre 2011)
Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Berne
- **Dr Stefan Husi**
(jusqu'en décembre 2011)
Fonds national suisse de la recherche scientifique (FNS), Berne

Concept, rédaction, réalisation

- **Dr h. c. Beat Glogger**
Chargé de valorisation du PNR 59, scitec-media GmbH, Winterthour
- **Simone Nägeli**
scitec-media GmbH, Winterthour

Correctorat

- **Jean-Pierre Grenon**
La plume et les mots Traductions Sàrl, Bex

Layout et graphisme

- **Andreas Keller**
SPLASH | Visual Communications GmbH, Zoug

Traduction

- **Barbara Brunner**
SCITRANS, Rheinfelden
- **Cristina Jensen**
Jensen Fachübersetzen GmbH, Berne
- **Geneviève Grenon**
La plume et les mots Traductions Sàrl, Bex
- **Semantis Translation SA**
Lausanne

Les groupes de recherche respectifs sont responsables des résultats cités. La synthèse et les recommandations relèvent de la responsabilité du Comité de direction du PNR 59, dont l'opinion ne concorde pas nécessairement avec celle du Fonds national suisse ou du groupe d'accompagnement. Les essais (imprimés sur fond de couleur) sont des textes exprimant l'opinion de leurs auteurs. Ils reflètent par conséquent les appréciations de ces derniers et ne correspondent pas forcément à l'opinion de l'éditeur.

Afin de faciliter la lecture, il a été renoncé dans ces textes à l'utilisation systématique des formes masculine et féminine (p.ex. agricultrices et agriculteurs, consommatrices et consommateurs). Il importe cependant de signaler que le recours au masculin générique dans la présente synthèse prend évidemment en compte tous les représentantes et représentants des groupes considérés.

RÉSUMÉ DE LA SYNTHÈSE DU PROGRAMME PNR 59

Prévenir les risques, saisir les opportunités et sauvegarder les compétences

Cette synthèse de programme se base sur trente projets de recherche menés à bien dans le cadre du Programme national de recherche «Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées» (PNR 59) et sur trois analyses détaillées d'un grand nombre d'études pertinentes publiées à l'étranger. En guise d'introduction, le directeur et la sous-directrice de l'Office fédéral de l'agriculture formulent quelques réflexions concernant la manière d'atteindre les objectifs de durabilité dans l'agriculture suisse. Outre les chapitres résumant la recherche au sein du PNR 59, la synthèse du programme offre à cinq experts l'occasion d'exprimer leur avis personnel sur différents aspects du génie génétique vert. Cette synthèse vise à mettre à disposition les fondements scientifiques en vue d'une discussion politique adéquate et la prise de décisions dans le domaine du génie génétique vert.

GÉNIE GÉNÉTIQUE CONTROVERSÉ

Depuis des milliers d'années, l'homme cultive les plantes et les adapte continuellement à ses besoins. La méthode classique d'amélioration consiste à encourager des modifications génétiques dans une plante donnée moyennant une sélection ciblée de propriétés utiles. Aujourd'hui, la technologie dite «génie génétique vert» offre des possibilités qui vont bien au-delà de l'amélioration végétale classique: il est possible d'introduire de manière très précise des modifications génétiques dans les plantes, et la sélection des caractéristiques désirées peut être plus efficacement dirigée.

Cela fait plus de quinze ans que des plantes génétiquement modifiées (PGM) sont cultivées commercialement dans un grand nombre de pays. Entretemps, plus de quarante PGM différentes sont autorisées dans l'UE en tant que denrées alimentaires et fourrages.

La culture de PGM est toutefois controversée, de sorte que seulement deux plantes utiles génétiquement modifiées ont été commercialisées de facto en Europe: le maïs et la pomme de terre féculière.

En Suisse aussi, le génie génétique vert suscite le débat depuis relativement longtemps (cf. chapitre 1.1). Le 27 novembre 2005, le peuple suisse avait approuvé un moratoire de cinq ans sur l'utilisation commerciale de PGM. Celui-ci a entretemps été prolongé de trois ans par le Parlement, jusqu'en novembre 2013. La recherche n'en est pas touchée. Cette dérogation a, entre

DIRK DOBBELAERE

Président du Comité de direction du PNR 59

THOMAS BERNAUER

Délégué du Conseil national de la recherche

autres, pour but de permettre une analyse plus détaillée des avantages et inconvénients du génie génétique vert. Ainsi, en décembre 2005, le Conseil fédéral a chargé le Fonds national suisse de mener à bien le PNR 59. L'objectif central du programme était d'étudier dans quelle mesure le génie génétique vert est à même de contribuer à une agriculture durable en Suisse; donc de déterminer si l'usage de plantes génétiquement modifiées est de nature à profiter aux agriculteurs et à la société du point de vue de la protection de l'environnement. De plus, le programme de recherche avait pour mission de faire la lumière sur le point de savoir si cette technologie engendrerait des problèmes spécifiques pour notre agriculture nationale caractérisée par des structures de petite taille ou, au contraire, lui assurerait des bénéfices. Il devait également déterminer si la coexistence de méthodes de production agricole avec et sans génie génétique serait possible.

UTILISATION DURABLE DE LA NATURE PAR L'HOMME

Dans l'agriculture autant conventionnelle que biologique, on utilise aujourd'hui des plantes qui, en raison d'adaptations

obtenues par sélection, ne ressemblent plus guère aux plantes sauvages dont elles sont issues. De telles adaptations visent en premier lieu à obtenir un rendement plus élevé et à réduire les pertes causées par les ravageurs et les maladies. Ce faisant et au cours de milliers d'années, l'homme est fortement intervenu dans l'évolution de nombreuses plantes.

La sélection ciblée de plantes consiste en la création de variations génétiques

et la sélection subséquente de caractéristiques utiles. Ces variations ne sont pas toujours d'origine naturelle. Dans le cas de nombreuses plantes utiles, elles ont été générées moyennant des rayonnements ionisants ou des substances chimiques mutagènes. La plupart du temps, les modifications génétiques survenues lors

de ces interventions ne sont pas connues, car le produit et ses nouvelles propriétés, et non pas la méthode employée, se trouvaient au centre de l'intérêt. Rares sont notamment les consommateurs conscients du fait que le blé cultivé aujourd'hui descend avant tout du petit épeautre, dans lequel a été intégré la totalité du matériel génétique de deux graminées sauvages. Cette modification massive de la composition génétique d'une plante a pu être effectuée grâce à l'application de

L'homme est un élément de la nature. Les adaptations mutuelles constituent fondamentalement des interactions entre l'homme et son environnement. Ainsi considérées, les adaptations de plantes aux besoins de l'agriculture sont naturelles, dans la mesure où elles correspondent à l'objectif de durabilité.

LE TRAJET DE LA SYNTHÈSE

Mandat et budget

En décembre 2005, le Conseil fédéral avait chargé le Fonds national suisse de réaliser le PNR 59 et d'examiner l'utilité et les risques de plantes génétiquement modifiées en rapport avec la situation écologique, sociale, économique, légale et politique en Suisse.

Pour sa réalisation, le programme disposait de 12 millions de francs, répartis sur cinq ans.

Le PNR 59 comprend quatre thèmes principaux de recherche:

1. Biotechnologie végétale et environnement: 19 projets, 6,7 millions de francs;
2. Aspects politiques, sociaux et économiques: 9 projets, 2,2 millions de francs;
3. Evaluation du risque, gestion du risque et procédures de prise de décisions: 2 projets, 0,6 million de francs;
4. Etudes de revues se basant sur la littérature spécialisée disponible à l'échelle mondiale: 0,2 million de francs.

Une partie du champ d'essai de Zurich-Reckenholz ayant été endommagé par des vandales en juin 2008, le budget a été majoré de 3 millions de francs pour la protection des essais de dissémination effectués à Pully et à Zurich-Reckenholz.

Sélection et durée des projets de recherche

Au total, trente projets de recherche ont été menés à bien. Ils avaient été choisis parmi un grand nombre de propositions satisfaisant à des critères de qualité scientifique et de pertinence pour le contexte suisse. Faute de temps, et pour des raisons financières, le PNR 59 n'a pas inclus de projets consacrés aux répercussions à long terme des PGM sur la santé de l'être humain et de l'animal. Néanmoins, tous les résultats scientifiques disponibles à l'échelle mondiale et pertinents à ce sujet ont été évalués dans le cadre d'une vaste étude de littérature. Ainsi, il est également possible de faire des déclarations sérieuses concernant les questions de santé (cf. chapitre 3.1). Deux autres études de littérature résument les publications internationales sur les thèmes «Écologie et risques» et «Société, économie agricole et coexistence en Europe».

Les projets de recherche du PNR 59 ont débuté au cours de la deuxième moitié de 2007 et se sont achevés entre début 2009 et fin 2011.

Rapport intermédiaire à l'intention du Conseil fédéral

Comme requis par le Conseil fédéral, le Comité de direction du PNR 59 a rédigé un rapport intermédiaire. Celui-ci a été approuvé par le Conseil national de la recherche le 13 octobre 2009 et par la présidence du même conseil le 14 octobre 2009. Il a été transmis au Conseil fédéral le 16 novembre 2009.

En 2010, les Chambres fédérales ont décrété une prolongation du moratoire afin d'attendre les résultats finals du PNR 59 avant de prendre de nouvelles décisions.

Communication continue

Le PNR 59 a attaché une grande importance à une communication ouverte et transparente au sein du programme, ainsi qu'envers les représentants d'intérêts et la population. Dans ce but, son site Internet était continuellement mis à jour en donnant des nouvelles du programme. En complément, six newsletters ont été publiées et envoyées à 1000 destinataires sous forme électronique ou imprimée. Les chercheurs ont publié environ 70 travaux scientifiques et se sont rencontrés pour des échanges interdisciplinaires lors de deux conférences internes au programme. Les chercheurs ainsi que les membres du Comité de direction ont également participé régulièrement à des colloques et tables rondes publics. De plus, une série de conférences publiques accompagnées de débats ont été organisées.

Dès le début, le programme de recherche a suscité un grand intérêt: ainsi, plus de 1000 articles consacrés au PNR 59 sont parus dans les journaux en Suisse et à l'étranger.

Processus d'accompagnement soutenu par de larges milieux

Au cours d'un processus comptant plusieurs étapes, les résultats du PNR 59 ont été discutés avec des représentants des groupes d'intérêt d'importance pour le programme. Dans ce but, plusieurs ateliers ont été organisés à l'intention des parties concernées. Des représentants des institutions de recherche, des offices fédéraux et cantonaux, des académies scientifiques, des producteurs de semences et de plantes, de la Commission fédérale d'éthique, de la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique, des associations professionnelles, des ONG, des unions paysannes, de l'industrie, du Centre d'évaluation des choix technologiques, des associations de branches professionnelles et des associations de consommateurs y ont participé. Les trois rondes de discussion ont été consacrées aux thèmes suivants: 1. Conditions-cadres légales et coexistence; 2. Les risques: identification, évaluation et monitoring; 3. Consommation, communication et acceptation.

Au sortir du programme, pendant la phase de synthèse, un groupe d'accompagnement a été impliqué dans le processus. Celui-ci comprenait des représentants des parties intéressées les plus significatives, tant des partisans du génie génétique que des personnes s'y opposant. Ils ont fourni par trois fois des idées et des réactions importantes dans la conception et la création du présent rapport de synthèse.

Dans l'ensemble, le PNR 59 est parvenu à intégrer les représentants d'intérêts dans le programme et à discuter ouvertement et objectivement cette thématique complexe.

Illustration A: De la forme primitive à la plante cultivée

La sélection classique résulte de modifications génétiques et de la sélection de propriétés utiles. Ainsi ont été créées, sous l'influence de l'homme, les variétés actuelles de riz, de blé et de maïs à partir de formes primitives sauvages.

Source: cf. liste des illustrations



Riz sauvage classique

Plante de riz

colchicine, molécule extraite du colchique et ayant la propriété de modifier le matériel génétique.

Au cours du temps, des interventions importantes ont eu lieu dans le matériel génétique de centaines de plantes utiles, plantes qui, aujourd'hui, sont considérées comme sûres et saines.

Le génie génétique vert devrait être apprécié au regard des mêmes critères, car il représente un perfectionnement de la sélection classique. De plus, les améliorations générées par des méthodes de génie génétique sont plus précises et plus efficaces que les techniques conventionnelles. Elles permettent aussi de

transférer, au-delà de la barrière de l'espèce, de nouvelles propriétés intéressantes à des plantes utiles.

PROCESSUS MOLÉCULAIRES ET RYTHME DE L'ADAPTATION

Les variations génétiques apparaissent spontanément dans la nature et sont plutôt rares. Elles ne s'effectuent pas de manière ciblée, et leurs répercussions sont plus ou moins fortuites. La sélection de plantes, cependant, vise à obtenir plus rapidement des variations et des adaptations. Et le génie génétique moderne accélère encore une fois nettement le rythme de ces



Petit épeautre

Plante de blé

Téosinte

Plante de maïs

événements. Pourtant, lorsqu'on compare les processus moléculaires engendrant des variantes génétiques, qu'ils soient spontanés dans la nature ou ciblés moyennant le génie génétique, aucune différence fondamentale n'est perceptible.

Une longue expérience a montré que ni l'évolution naturelle ni la sélection classique ne comportent des risques graves pour l'homme et la nature. En raison de la grande similitude entre les processus génétiques naturels et les méthodes du génie génétique, on peut admettre que les risques que ce dernier recèle sont du même ordre que ceux liés à la sélection conventionnelle de plantes.

PLANTES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉES ET ENVIRONNEMENT

Le PNR 59 s'est penché intensément sur le thème de la «biosécurité». Sur les trente projets menés à bien, onze ont été consacrés aux risques éventuels de plantes génétiquement modifiées pour l'environnement, moyennant un budget total de 3,2 millions de francs. Ces projets ont porté sur l'écologie des sols, la biodiversité, le flux de gènes et les répercussions sur les organismes non cibles. Neuf de ces projets, impliquant des groupes de recherche de l'EPFZ, des Universités de Zurich, Berne, Bâle, Lausanne et Neuchâtel, et des stations de recherche

Agroscope Reckenholz-Tänikon et Changins-Wädenswil ainsi que de l'Office fédéral de l'agriculture, se sont regroupés en un consortium interdisciplinaire. Moyennant des essais de dissémination, celui-ci a examiné dans deux sites les répercussions de blé génétiquement modifié sur les champignons mycorhiziens symbiotiques, sur les graminées sauvages, les insectes, les micro-organismes du sol et les plantes avoisinantes.

Les variétés de blé génétiquement modifiées utilisées lors de ces essais avaient déjà été développées en Suisse avant le lancement du PNR 59, grâce à des fonds publics, et ont servi dans ces expériences de plantes modèles sans aucun objectif commercial.

Un projet de l'Université de Neuchâtel visait à examiner les répercussions du maïs génétiquement modifié sur les organismes utiles vivant dans le sol. Et l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL) a analysé les effets de la culture du blé génétiquement modifié sur la fertilité des sols. Ces essais ont été effectués en laboratoire, en serre et en plein champ.

Aucun de ces projets de recherche n'a identifié de risques pour l'environnement – y compris des risques spécifiques à la Suisse, liés au génie génétique vert en tant que tel (cf. chapitre 1.2). Un résultat qui concorde avec plus de mille études effectuées dans le

monde entier et qui ont été évaluées dans le cadre du PNR 59. Au cours de plus de vingt ans d'essais de dissémination de PGM réalisés à l'échelle mondiale, quatre effets négatifs ont toutefois pu être identifiés, à savoir

- des résistances au niveau des organismes cibles;
- des atteintes à des organismes non cibles;
- une limitation de la biodiversité;
- l'apparition de plantes adventices indésirables due à l'emploi excessif d'herbicides.

Il ne s'agit toutefois pas de conséquences spécifiques au génie génétique. Celles-ci peuvent aussi bien apparaître lors de la culture de plantes conventionnellement sélectionnées que dans le contexte d'une exploitation agricole inappropriée.

Dans la littérature spécialisée, on trouve des informations éparses concernant des essais en laboratoire qui mentionnent des effets délétères de PGM sur des organismes non cibles (par exemple, sur la coccinelle, cf. chapitre 1.1). De tels effets n'ont toutefois pas pu être prouvés à l'occasion d'essais en plein champ dans des conditions réalistes et sont, pour cette raison, qualifiés de négligeables par la plupart des experts.

Plusieurs projets du PNR 59 ont développé de nouvelles méthodes scientifiques pouvant être mises en pratique pour le

Aucun des effets négatifs identifiés n'est une conséquence spécifique du génie génétique. Tous apparaissent également dans la culture conventionnelle ou dans le cadre d'une exploitation agricole inappropriée.

monitorage de l'environnement en rapport avec la culture de PGM, que ce soit lors d'essais de dissémination ou de la culture commerciale (cf. chapitres 1.3 et 1.4).

SANTÉ HUMAINE ET ANIMALE

A l'étranger, un grand nombre d'études ont été effectuées concernant les répercussions des PGM sur la santé humaine et animale. Dans le cadre du PNR 59, aucune étude supplémentaire n'a été réalisée en la matière, car il n'y a pas de raison de supposer qu'en Suisse l'organisme humain ou animal réagisse différemment aux PGM qu'à l'étranger. De plus, il n'était pas possible de mener à bien des études à long terme dans le contexte d'un Programme national de recherche. Le PNR 59 a donc entrepris une vaste analyse de la littérature spécialisée disponible à ce sujet à l'échelle mondiale, laquelle réfute les craintes souvent exprimées que les PGM pourraient présenter un risque pour la santé de l'homme et de l'animal.

A l'étranger, des plantes génétiquement modifiées de la première génération sont commercialement cultivées sur de grandes surfaces depuis plus de quinze ans. Des gènes d'origine végétale ou bactérienne conférant une tolérance à un herbicide ou une résistance à des ravageurs ont été introduits dans

ces plantes. L'ensemble de ces propriétés reposent sur des mécanismes d'action présents dans la nature. Une résistance aux ravageurs, notamment, est souvent rendue possible grâce à des protéines dites Bt. Dans un milieu naturel, ces protéines sont produites par la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis*. Elles agissent spécifiquement sur diverses espèces d'insectes. Dans l'agriculture conventionnelle et biologique, elles sont également souvent

employées sous forme cristalline et sont considérées sans risques pour l'homme, les animaux de rente et les animaux domestiques.

Les plantes génétiquement modifiées cultivées commercialement

à l'étranger ont été soumises à tous les contrôles serrés de sécurité. Jusqu'à présent, des observations à long terme et un grand nombre d'études scientifiques n'ont pas révélé d'effets négatifs de PGM commercialisées sur la santé de l'homme et des animaux (cf. chapitre 3.1).

Dans des cas donnés, le recours à des plantes génétiquement modifiées pourrait même contribuer à prévenir certains risques pour la santé. Ainsi, l'utilisation de plantes tolérantes à un herbicide permet l'emploi de pesticides moins toxiques. Particulièrement dans les pays en voie de développement, cette possibilité est à même de favoriser un recul des intoxications chez les agriculteurs. L'utilisation de maïs

Bt aussi est susceptible d'avoir des effets positifs sur la santé, car elle conduit à une diminution de la concentration de mycotoxines neurotoxiques ou cancérigènes dans les denrées alimentaires et les fourrages. Ces substances sont produites par certains champignons qui attaquent avant tout les plantes malades ou blessées.

Des plantes utiles génétiquement modifiées de la deuxième génération en sont au stade du développement. Elles sont modifiées, quant à leurs composantes, de manière à offrir une alternative plus saine que la variété conventionnelle ou à satisfaire aux besoins particuliers des consommateurs. Moyennant des procédés de génie génétique, il est notamment envisageable d'améliorer les valeurs nutritives d'une plante ou de supprimer certaines composantes indésirables. Des exemples concrets de cette application sont le «Golden Rice» à teneur augmentée en provitamine A, permettant de prévenir la cécité chez

des êtres humains mal nourris, ou plusieurs variétés de pommes, cacahuètes, riz, tomates et soja dans lesquelles la concentration de l'allergène principal a été réduite, rendant ainsi la plante plus

digeste pour les personnes allergiques. La diminution ciblée des protéines du gluten dans les céréales est à même de profiter aux patients souffrant de coeliaquie.

On s'attend également à des effets positifs sur la santé de plantes génétiquement modifiées de la troisième génération, servant à la fabrication de substances pharmaceutiques. Et les PGM créées dans

le but de produire des matières premières pour l'industrie ne sont pas destinées à la consommation.

ACCEPTATION DU GÉNIE GÉNÉTIQUE VERT

Le génie génétique vert est déjà mis en œuvre dans l'agriculture de divers pays depuis environ quinze ans. Dans de larges couches de la population, il continue néanmoins à avoir la réputation d'être «une nouvelle technologie à risques». Son acceptation en Europe, y compris en Suisse, est encore et toujours faible (cf. chapitre 3.2). A l'inverse,

il est frappant de constater que l'application du génie génétique dans le domaine médical, dit génie génétique rouge, est aujourd'hui largement admise (par exemple, pour la production d'insuline ou de vaccins).

Le recours à du maïs Bt peut avoir des effets positifs sur la santé. Il est de nature à conduire à une diminution de la concentration de mycotoxines neurotoxiques ou cancérigènes dans les denrées alimentaires et les fourrages.

Bien que le génie génétique vert soit déjà appliqué depuis environ quinze ans, il continue à passer pour une nouvelle technologie à risques.

Les réserves que suscite le génie génétique vert dans maints milieux contrastent avec le fait que, jusqu'à présent, aucune des répercussions redoutées sur l'environnement et la santé n'a pu être scientifiquement prouvée. On constate par ailleurs que la plupart des consommateurs ne perçoivent pas de bénéfice direct dans les aliments génétiquement modifiés. Des résultats de recherches effectuées dans le cadre du PNR 59 révèlent toutefois que des applications du génie génétique débouchant sur un avantage immédiatement perceptible, tel un prix plus bas ou une durée de conservation plus longue, sont jugées plus favorablement. Les consommateurs sont plus disposés à acheter de tels produits. On peut donc partir du principe que des PGM moins néfastes à l'environnement, contribuant à une agriculture durable ou présentant des avantages pour la santé bénéficieraient d'une acceptation plus grande.

ÉVALUATION DU PRODUIT OU DU PROCESSUS?

Les premiers processus appliqués dans le génie génétique vert consistaient avant tout en une intégration d'ADN étranger à l'espèce, issus d'organismes ne pouvant

être croisés, tels que d'autres plantes ou des micro-organismes. Les nouvelles méthodes du génie génétique autorisent le développement d'une nouvelle génération de PGM (cf. chapitre 4.3). Il est notamment possible de produire des plantes ne contenant plus d'ADN étranger; ou alors des plantes dont la création nécessite des méthodes de génie génétique, mais dont le produit final ne contient aucune ou que de faibles traces de l'intervention. Une autre méthode permet de réaliser les modifications génétiques dans des sites non pas fortuits mais minutieusement prédéterminés. L'intervention génétique peut ainsi être plus précisément contrôlée et suivie, ce qui facilite l'évaluation des risques. Et finalement, il est également possible de produire des plantes dont certaines parties, telles les feuilles ou les tiges, mais non leurs fruits, sont génétiquement modifiées.

D'autres procédés développés récemment permettent de contrôler l'activité de gènes sans modifier le génome de la plante.

Ces nouvelles techniques font usage du génie génétique. Cependant, dans la plante finale destinée à la culture, la modification génétique n'est presque pas, voire pas du tout décelable. Par conséquent,

Les réserves émises envers le génie génétique dans l'agriculture contrastent avec le fait que, jusqu'à présent, aucune des répercussions redoutées sur l'environnement et la santé n'est survenue.

De nouvelles méthodes dans le génie génétique vert sont en mesure de contribuer à l'amélioration de la biosécurité.

qualifier ces plantes de génétiquement modifiées n'est correct que sous certaines réserves. Les effets imprévisibles liés à ces «PGM de la nouvelle génération» sont moins nombreux que pour les plantes sélectionnées par des méthodes conventionnelles. Du point de vue des sciences végétales, en ce qui concerne la biosécurité, ces plantes sont donc supérieures aux plantes conventionnellement sélectionnées, processus qui génère un grand nombre de modifications génétiques inconnues.

Quant à leurs risques potentiels, il convient donc d'évaluer les PGM de la nouvelle génération de manière analogue aux plantes ayant été sélectionnées par des méthodes conventionnelles. L'évaluation des risques doit se faire au niveau du produit, donc de la plante, et non au niveau du processus de sélection.

Cette façon de procéder correspond d'ailleurs à l'approche adoptée dans l'industrie alimentaire où, lorsqu'une denrée alimentaire nouvellement développée présente la même composition qu'un produit déjà existant, elle est considérée tout aussi sûre que cette dernière. La manière dont est fabriqué un aliment n'est pas déterminante dans l'évaluation des risques de celui-ci.

ÉCONOMIE AGRICOLE ET COEXISTENCE

En règle générale, les PGM développées jusqu'ici ne visent pas à augmenter le rendement, mais plutôt à réduire les pertes de récoltes ou à parvenir à cette diminution moyennant des frais aussi bas que possible. Une analyse du potentiel économique des PGM dans l'agriculture suisse montre que ces plantes permettraient d'abaisser les frais de production, en particulier lorsque des bénéfices indirects sont pris en compte, telle la possibilité du semis direct. Ce dernier présente un intérêt non seulement économique, mais aussi écologique: le travail fortement réduit du sol contribuerait à une diminution des phénomènes d'érosion, ce qui est positif sous les angles de l'écologie et de la durabilité (cf. chapitre 2.1).

Si l'on considère la tendance générale à remplacer les PGM recevant des propriétés spécifiques isolées par des plantes offrant une combinaison de caractéristiques, force est de constater que le bilan agro-économique penche en faveur des plantes génétiquement modifiées. Ainsi, une résistance combinée à des herbicides et à des maladies pourrait notamment conduire à

Grâce aux nouvelles techniques, la modification génétique n'est plus décelable dans les plantes destinées à la culture. Par conséquent, qualifier ces plantes de génétiquement modifiées n'est correct que sous certaines réserves.

Les PGM sont propres à réduire les frais de production dans l'agriculture suisse, particulièrement si le semis direct est introduit concurrentiellement.

une meilleure rentabilité des PGM dans les conditions propres à la Suisse.

Les coûts des mesures de coexistence jouent également un rôle important au niveau de la rentabilité. La coexistence signifie que des systèmes de culture agricole avec et sans génie génétique sont possibles côte à côte, sans qu'une forme soit d'emblée exclue ou qu'elle subisse des préjudices. Dans ces conditions, la sauvegarde de la production exempte de génie génétique et la liberté de choix des consommateurs doivent être garanties.

Les mesures de coexistence peuvent occasionner des frais supplémentaires, particulièrement en raison de la petite taille des structures agricoles suisses. Des calculs montrent toutefois aussi que pour toutes les cultures agricoles, les dépenses entraînées par les mesures de coexistence sont faibles comparées aux coûts totaux de production. Les frais de coexistence pourraient de plus être réduits en créant des zones de production pour des formes agricoles se servant de PGM (cf. chapitre 2.2). De telles zones existent, par exemple, dans certaines régions du Portugal pour la culture de maïs génétiquement modifié.

En ce qui concerne la Suisse, la comparaison avec le Portugal est pertinente puisque la grandeur moyenne des exploitations helvétiques est semblable à celle de ce pays.

Que les économies réalisées grâce à l'utilisation de PGM compensent ou non les frais occasionnés par la sécurisation de la coexistence est une question qui varie d'un cas à l'autre. Il est important d'examiner les coûts et bénéfices des PGM dans le

contexte global d'une exploitation agricole. Les calculs indiquent toutefois que le bénéfice additionnel des PGM, par rapport au revenu total d'une exploitation, est relativement faible

et qu'il ne dépasse jamais la somme versée aux agriculteurs dans le cadre des paiements directs. Ainsi, les preuves de performance écologique auxquelles sont

liés les paiements directs revêtent une importance particulière pour les agriculteurs, aussi lorsque ceux-ci cultivent des PGM. Si une décision venait à être prise par l'agriculture suisse en faveur de la coexistence, les conditions imposées

pour les paiements directs ne devraient en principe pénaliser aucune forme de culture durable.

Les dépenses occasionnées par les mesures de coexistence sont faibles, comparées aux coûts totaux de production. Et elles pourraient encore être réduites en créant des zones de production de PGM.

Le bénéfice additionnel des PGM, considéré par rapport au revenu total d'une exploitation, est relativement faible et ne dépasse jamais la somme versée aux agriculteurs dans le cadre des paiements directs.

Tendances opposées et une chance pour la durabilité

Développement à l'échelle mondiale

Au niveau mondial, la mise en œuvre du génie génétique vert dans l'agriculture est en augmentation. Elle se concentre toutefois fortement sur quelques pays (entre autres, les Etats-Unis, le Brésil, l'Argentine, l'Inde et le Canada). En 2011, la surface globale de culture des plantes génétiquement modifiées a augmenté de 8 pour cent, soit un total de 160 millions d'hectares. Les PGM sont cultivées dans 29 pays, dont 19 sont des nations émergentes ou en développement. Celles-ci accusent une augmentation de la surface de culture de PGM deux fois plus élevée que les pays industrialisés et comptent 15 des 16,7 millions d'agriculteurs employant des PGM.

L'ISAAA (International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications) estime que, d'ici 2015, dix pays supplémentaires feront usage de PGM à des fins agricoles.

L'utilisation croissante de plantes génétiquement modifiées est avant tout observée pour les plantes établies sur le marché depuis relativement longtemps, à savoir le soja, le maïs, le colza et le coton. La betterave à sucre, la pomme de terre, la luzerne, la courgette, la tomate, la papaye, le poivron et le peuplier viennent s'y ajouter dans une moindre mesure. Certaines de ces plantes pourraient également présenter un intérêt pour l'agriculture suisse.

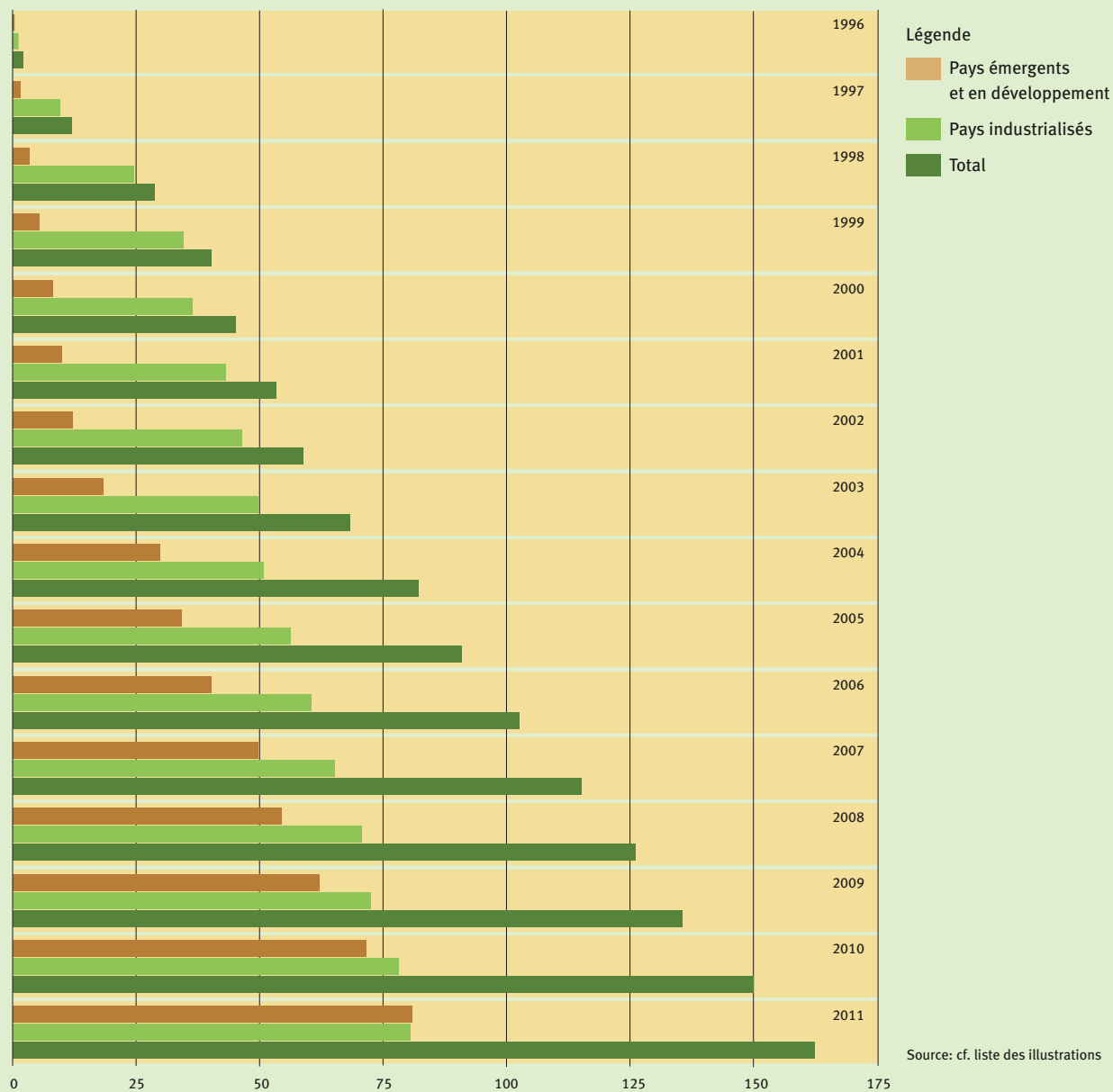
Des PGM portant plusieurs traits introduits par génie génétique (stacked traits) sont cultivées sur environ un quart de la surface mondiale de culture (40 mio ha).

Actuellement, des recherches sont menées sur plus de 90 autres plantes de culture afin de leur conférer des propriétés améliorées grâce au génie génétique et de les introduire dans l'agriculture.

Tendance contraire en Europe

Contrairement à cette tendance, le développement et la mise à l'épreuve de nouvelles PGM en Europe ont fortement ralenti au cours des dix dernières années. En 2004, l'entreprise suisse Syngenta a transféré aux Etats-Unis sa recherche dans le domaine de la biotechnologie végétale.

Illustration B: Surface mondiale de culture de plantes génétiquement modifiées
(en mio d'hectares)



L'entreprise allemande BASF, aussi, a annoncé en 2012 qu'elle relocalisait aux Etats-Unis le développement et la commercialisation de toutes les PGM destinées au marché européen ainsi que le siège de la société BASF Plant Science du groupe. Les centres de recherche de BASF à Gatersleben (Allemagne) et Svalöv (Suède) seront fermés.

Seuls les produits déjà existants, tels la pomme de terre de la variété Amflora à teneur augmentée en amidon, continuent à être disponibles.

Cet exode de la recherche et du développement n'est pas seulement dû à une attitude critique envers le génie génétique. Les frais de développement sont également particulièrement élevés en Europe, notamment en raison des exigences élevées liées à la sécurité. En même temps, ces frais considérables pour le développement et la sécurité ont pour conséquence que seul un petit nombre d'entreprises sont en état de développer des PGM. Ainsi, ce sont précisément les vastes exigences en matière d'autorisation et de sécurité qui favorisent la concentration (également critiquée) du développement de PGM dans quelques entreprises seulement.

Une contribution à la durabilité

La demande et la production croissantes en matière de denrées alimentaires nuisent globalement à l'environnement. L'agriculture suisse, elle aussi, atteint ses limites lors de la mise en œuvre des exigences économiques, écologiques et sociales auxquelles elle est soumise. Dans ce contexte, le génie génétique vert serait en mesure de contribuer à diminuer les frais de production, la charge écologique et les risques de pertes de rendement, par exemple grâce à l'utilisation de betteraves à sucre ou de pommes de terre génétiquement modifiées. Par ailleurs, il serait possible de réduire l'emploi de fongicides et de streptomycine dans le traitement des pommiers contre la tavelure et le feu bactérien en recourant à des méthodes de génie génétique.

De plus, les tendances observées en matière de recherche et de développement indiquent une disponibilité dans un proche avenir de nouvelles variétés de plantes mieux adaptées aux changements climatiques et permettant de réduire l'utilisation encore et toujours élevée d'azote et de phosphore dans l'agriculture suisse.

SIGNIFICATION DES ESSAIS EN CHAMP

Au cours de la sélection des plantes, les essais en champ sont indispensables à l'identification d'interactions entre les plantes et leur environnement. Cette observation s'applique aussi bien aux méthodes conventionnelles qu'à celles recourant au génie génétique. Alors qu'en serre les conditions climatiques sont contrôlables, les plantes poussant dans la nature sont exposées à des conditions météorologiques changeantes. Le nombre et la diversité des ravageurs également différent fortement entre un champ et une serre. Tous ces facteurs influencent considérablement la croissance et le rendement des plantes. Il est donc important d'examiner, non seulement en laboratoire et en serre, mais aussi en plein champ, les plantes génétiquement modifiées, qu'elles aient été développées à des fins de recherche ou en vue d'une application concrète. Lorsqu'une lignée présente des effets secondaires non désirables, elle est exclue des étapes suivantes de l'amélioration, tout comme cela est le cas pour d'autres méthodes de sélection.

Les essais en champ sont indispensables à l'identification d'interactions entre les plantes et leur environnement. Cette observation s'applique autant aux méthodes conventionnelles qu'à celles faisant usage du génie génétique.

La création de terrains d'essai protégés (protected sites) faciliterait considérablement la réalisation d'essais de dissémination.

En plein champ, il peut cependant se produire non seulement des effets indésirables mais aussi des effets positifs inattendus. La résistance à certains pathogènes y sera, par exemple, plus prononcée qu'en serre.

La diversité des expériences réalisées dans le cadre des essais en champ à Zurich-Reckenholz et à Pully offre une vue d'ensemble détaillée des interactions entre le blé transgénique et son environnement (cf. chapitres 1.3 et 1.4). Certaines différences entre des variétés de blé transgéniques et des variétés conventionnelles ont ainsi été révélées. Cependant, pour un grand nombre de traits, celles-ci étaient moins importantes que les variations entre plusieurs lignées conventionnelles. Des différences liées au site ont également été observées et celles-ci étaient plus grandes que celles entre les plantes génétiquement modifiées et les plantes conventionnelles. De tels résultats ne peuvent être obtenus que grâce à des essais en plein champ, lesquels représentent le fondement pour une conception raisonnable d'expériences ultérieures en laboratoire et en serre.

Au cours des essais de dissémination effectués dans le cadre du PNR 59, la

procédure d'autorisation, la communication, la logistique et l'exécution, ainsi que la protection des champs ont également posé des exigences élevées. Et non seulement les exigences techniques mais aussi les frais ont été énormes. Particulièrement la protection des terrains d'essai contre des actes ciblés de destruction a occasionné des frais importants. Par franc déboursé pour la recherche, les mesures de sécurité adoptées dans le cadre du PNR 59 ont coûté 0,78 franc supplémentaire (cf. chapitre 4.1). Il est donc recommandé d'améliorer les conditions-cadres pour de futurs essais en plein champ avec des PGM, notamment grâce à la création de «protected sites», des terrains d'essai protégés contre les actes de malveillance. Dans le message du Conseil fédéral sur l'encouragement de la formation, de la recherche et de l'innovation pour les années 2013 à 2016, il a déjà été tenu compte de cette demande. Des fonds seront alloués pour la création d'un terrain d'essai protégé à la station de recherche ART Reckenholz.

Afin d'être en mesure de poursuivre la recherche dans le domaine des sciences végétales, il est de plus recommandé de

simplifier la procédure d'autorisation pour la dissémination de plantes génétiquement modifiées.

CONDITIONS-CADRES LÉGALES

Une étude des aspects juridiques effectuée dans le contexte du PNR 59 a examiné dans quelle mesure le droit suisse régissant le génie génétique constitue un cadre juridique adéquat pour la coexistence de méthodes de production agricole avec et sans plantes génétiquement modifiées. L'analyse conclut que l'article 7 de la loi sur le génie génétique (LGG) devrait continuer à servir, comme jusqu'ici, de norme fixant les conditions d'une telle coexistence. Elle réclame toutefois une adaptation des conditions-cadres légales. Il est en particulier proposé que l'article 7 LGG contienne également une délégation détaillée de compétence en faveur du Conseil fédéral, lequel serait chargé de garantir la coexistence de différentes formes de production (cf. chapitre 4.2).

De plus, les adaptations des conditions-cadres légales avant l'expiration du moratoire devraient également inclure des critères et procédures pour la mise en place

Un moratoire à long terme sur la culture commerciale de PGM en Suisse nécessiterait une modification de la Constitution fédérale.

Avant l'expiration du moratoire, il convient de créer les conditions-cadres légales nécessaires à la mise en place éventuelle de zones de production de PGM ou, alors, exemptes de génie génétique.

éventuelle de zones exemptes de génie génétique ou de zones de production de PGM.

La création de terrains d'essai protégés faciliterait considérablement la réalisation d'essais de dissémination. Des procédures d'information et d'autorisation simplifiées sont envisageables dans le cadre de l'article 14 de la LGG.

Un moratoire à long terme sur la culture commerciale de plantes génétiquement modifiées, tel qu'il est réclamé par certains groupes d'intérêt, nécessiterait une modification de la Constitution fédérale, car celle-ci autorise des mesures de protection et d'encouragement données en faveur de l'agriculture se servant de plantes conventionnelles, mais prévoit, dans l'ensemble, une coexistence bien ordonnée et sur pied d'égalité de différentes formes agricoles.

ESPACE DE FORMATION ET MONITORAGE

L'opposition de la société ainsi que les restrictions régulatrices auxquelles est soumis le génie génétique vert en Suisse exercent inévitablement une influence sur la recherche universitaire et la formation des

étudiants et doctorants. Il se pourrait qu'en fin de compte les compétences professionnelles encore existantes dans le domaine du génie génétique vert passent à l'étranger.

Pourtant, l'entretien du savoir spécialisé est important. Car même si la Suisse se décide en faveur d'une interdiction permanente du génie génétique vert dans l'agriculture, à l'échelle mondiale le nombre de produits commercialisés dont la fabrication implique le génie génétique ou à contenu génétiquement modifié croît continuellement. Et ces produits ne s'arrêtent pas à la frontière helvétique. En Suisse, une perte des compétences spécialisées conduirait

à une déperdition de la capacité au monitoring dans le domaine de la biosécurité. La recherche scientifique dépend également de compétences professionnelles, afin d'être en mesure de continuer à développer la technologie propre à garantir la durabilité de notre agriculture.

«Je sais qu'il est difficile de toujours baser les décisions politiques sur un fondement scientifique. Je reconnais qu'il existe bien plus de facteurs influençant la politique, par exemple d'ordre éthique, social et économique. Mais si les connaissances scientifiques ne sont pas prises en compte, les politiciens sont appelés à expliquer la raison. Je pense que tant qu'une explication est fournie, générant ainsi la transparence, la situation est, pour moi, satisfaisante.»

Anne Glover

Conseillère scientifique en chef,
Commission européenne

Conclusions centrales et recommandations

1. Mettre le génie génétique au service d'une agriculture durable

Les méthodes de production actuellement utilisées dans l'agriculture suisse ne permettent pas d'atteindre les objectifs de protection de l'environnement qui lui ont été assignés. Parallèlement, l'agriculture est tenue d'augmenter sa compétitivité en abaissant les coûts de production. Elle ne peut affronter ce double défi avec succès que si de nouvelles technologies, y compris le génie génétique vert, ne sont pas exclues d'emblée.

La recherche et le développement dans le domaine des plantes génétiquement modifiées (PGM) doivent donner à ces deux objectifs la priorité absolue. Dans ce contexte, le soutien par le secteur public de la recherche ne poursuivant pas de but commercial, s'intéressant au bien commun et tenant également compte des intérêts des petites exploitations agricoles et de production de semences, est très important.

2. L'évaluation des risques doit être effectuée au niveau du produit final et non pas à celui de la procédure de sélection des plantes

De manière générale, les PGM ne sont pas plus entachées de risques que les plantes utiles conventionnelles. En principe, toute méthode de sélection peut engendrer des plantes ayant des répercussions négatives sur l'environnement ou la santé de l'homme et des animaux. Les plantes présentant de telles propriétés sont déjà éliminées durant la phase de développement.

Il n'existe pas non plus de différences significatives entre les plantes conventionnelles et les PGM en ce qui concerne les conséquences liées à des pratiques agricoles déficientes (par exemple, formation de résistances).

Ni le PNR 59 ni les nombreux projets de recherche similaires entrepris à l'étranger ne font apparaître des risques pour l'environnement ou la santé spécifiques aux plantes génétiquement modifiées. Pour cette raison, il convient de concentrer les évaluations des risques sur la plante et sa forme concrète d'application dans l'agriculture, indépendamment de la méthode de sélection choisie. Avant leur autorisation de mise sur le marché, de nouvelles plantes destinées à la culture doivent être analysées quant à leur tolérance par l'homme, l'animal et l'environnement, dans le contexte des conditions d'application prévues et indépendamment de la méthode de

sélection utilisée. Cette approche est également recommandable du fait que le développement technologique tend à ne plus permettre de reconnaître les différences entre plantes conventionnelles et PGM.

3. Les essais de dissémination sont importants et doivent être facilités

Les propriétés positives ou négatives de plantes pouvant être plus ou moins fortement prononcées en laboratoire, en serre et en plein champ, les essais de dissémination sont importants pour l'évaluation de la biosécurité et également pour l'amélioration de PGM et de plantes conventionnellement sélectionnées. En fin de compte, c'est sur le terrain que les plantes doivent être développées et examinées quant à d'éventuels avantages et inconvénients, car leur culture commerciale se fera plus tard en plein champ.

En comparaison internationale, les frais liés aux essais de dissémination de PGM en Suisse sont très élevés. Pour cette raison, les chercheurs et les entreprises helvétiques effectuent aujourd'hui la plupart de leurs essais à l'étranger. Les coûts importants pour les dispositifs de sécurité pourraient toutefois être fortement abaissés grâce à la mise en place de terrains d'essai protégés (protected sites). De tels sites permettraient également de simplifier les procédures d'autorisation pour les essais de dissémination. Les frais supplémentaires ainsi réduits offriraient aux chercheurs suisses la possibilité d'effectuer plus souvent leurs expériences dans notre pays et de renforcer ainsi l'espace scientifique helvétique.

4. Une observation à long terme des effets sur la santé souhaitable

Les études scientifiques effectuées en grand nombre à l'étranger depuis près de vingt ans n'ont pas constaté de répercussions négatives des PGM sur la santé de l'homme et des animaux. Aucune étude de ce genre n'a été réalisée dans le cadre du PNR 59 puisqu'il n'y a pas de raison de supposer qu'en Suisse le corps humain ou animal réagisse différemment aux PGM qu'à l'étranger. Dans le sens d'un contrôle de post-commercialisation, une telle observation à long terme est toutefois recommandée. Elle pourrait être organisée de manière similaire au centre d'enregistrement des effets indésirables de médicaments.

Les observations à long terme devraient en principe enregistrer toutes les nouvelles plantes cultivées, indépendamment de la méthode de sélection choisie, et tenir compte de l'ensemble des effets, qu'ils soient positifs ou négatifs.

5. **En Suisse, l'utilité économique des PGM actuellement disponibles à des fins commerciales serait plutôt faible, mais est susceptible d'augmenter**

L'utilisation de PGM présentant une résistance combinée à des herbicides et à des pathogènes et déjà cultivées commercialement à l'étranger pourrait contribuer à réduire les coûts de production dans l'agriculture suisse, cela en particulier parce que ces plantes permettent le semis direct, lequel a un effet écologique positif.

L'augmentation du rendement réalisable grâce à la prévention contre les ravageurs et les maladies par l'utilisation de PGM varie selon la plante. Pour les PGM actuellement disponibles à but commercial à l'étranger, cette augmentation du rendement est plutôt maigre. Parmi les quelque 90 PGM développées hors de nos frontières, il se trouve toutefois aussi quelques plantes (par exemple, des betteraves à sucre et des pommes de terre) pouvant présenter pour la Suisse un net bénéfice, tant du point de vue des coûts de production que du rendement.

Il convient donc que notre pays ne base pas ses conditions-cadres légales sur les bénéfices potentiels des PGM actuellement cultivées à l'étranger, mais de les définir en fonction de la capacité de futures plantes à favoriser l'avènement d'une agriculture durable.

La recherche est appelée à mettre nettement plus l'accent sur les caractéristiques combinées de plantes et sur d'éventuels potentiels ultérieurs de PGM.

6. **La coexistence de plantes utiles conventionnellement sélectionnées et de PGM est possible dans l'agriculture suisse**

En principe, la coexistence de systèmes de culture avec et sans utilisation de plantes génétiquement modifiées est possible en Suisse. Les coûts varient selon la plante utilisée et la structure de la région de culture, et ne représenteraient en moyenne qu'un faible pourcentage des frais de production. De plus, ces coûts diminueraient fortement en cas d'accords à grande échelle entre exploitations agricoles avoisinantes, ou grâce à la culture de plantes à très faible risque de dissémination fortuite (par exemple, les pommes de terre).

Le problème principal est toutefois que le total des économies réalisées au niveau des coûts de production et que les bénéfices dus à la suppression des ravageurs et des maladies grâce à l'utilisation de PGM sont du même ordre de grandeur que les suppléments de frais engendrés pour l'achat des

semences génétiquement modifiées et la coexistence des deux modes de culture. D'un point de vue économique, la culture de PGM serait donc surtout avantageuse dans les régions où les frais liés à la coexistence sont bas grâce à des accords entre exploitations agricoles, ainsi que lorsque sont employées des PGM ne nécessitant que de très faibles, voire aucunes distances d'isolation par rapport aux exploitations voisines.

Lors de l'élaboration de la réglementation sur la coexistence, il sera donc recommandé aux législateurs de se baser sur des critères scientifiquement fondés (par exemple, dans le cas des distances d'isolation) et d'encourager les accords entre agriculteurs ou, dans la mesure du possible, la mise en place de zones de culture pour les PGM.

7. **Les conditions d'octroi des paiements directs et des prestations écologiques requises (PER) ne doivent pas discriminer la culture de PGM**

Les primes distribuées dans le cadre des PER dépassent de loin les éventuels gains de productivité liés à la culture de PGM. Un refus fondamental des PER pour la culture de PGM équivaldrait donc, de fait, à une poursuite du moratoire. Ce refus ne serait toutefois pas justifiable d'un point de vue scientifique puisque les PGM et les plantes conventionnellement sélectionnées ne se distinguent pas a priori les unes des autres quant à leurs répercussions écologiques. Pour cette raison, les conditions d'octroi des PER et des paiements directs qui leur sont liés ne doivent pas être déterminées par la méthode de sélection des plantes, mais par les effets écologiques scientifiquement identifiables de plantes spécifiques et des méthodes de culture correspondantes.

8. **Les consommateurs et les votants sont critiques envers le génie génétique, mais souhaitent toutefois majoritairement la liberté de choix**

Seuls de 20 à 30 pour cent des consommateurs en Suisse achèteraient des denrées alimentaires génétiquement modifiées. Environ 70 à 80 pour cent d'entre eux sont cependant favorables à la liberté de choix entre des produits génétiquement modifiés et conventionnels. Les recherches menées dans le cadre du PNR 59 ainsi que des études similaires à l'étranger montrent que l'acceptation de produits génétiquement modifiés a tendance à augmenter lorsque les produits proposés offrent aux consommateurs et à l'environnement des avantages substantiels pouvant être clairement communiqués. Les PGM actuellement cultivées commercialement ne remplissent toutefois pas encore ces conditions.

Les directives actuellement en place en Suisse concernant l'étiquetage de produits génétiquement modifiés suffit à garantir la liberté de choix des consommateurs. Mais une offre en produits génétiquement modifiés serait, de plus, nécessaire afin que la liberté de choix existe réellement et que le marché puisse en fin de compte décider de la compétitivité des PGM.

9. **Les conditions-cadres légales devraient faciliter la coexistence**

La Constitution fédérale, la loi sur le génie génétique (LGG) et la loi sur l'agriculture exigent – à tout le moins implicitement et même si elles visent avant tout à limiter les éventuels risques du génie génétique – une coexistence ordonnée et égale en droits de l'utilisation agricole de plantes ayant été développées par des méthodes de sélection différentes. Une prolongation à court terme du moratoire dans le but de définir les conditions-cadres légales pour la période suivant l'expiration de celui-ci est possible. L'établissement d'un moratoire ou l'interdiction des PGM à long terme nécessiterait en revanche une modification de la Constitution fédérale.

Lors de la révision de la LGG, l'article 7 devrait à nouveau définir les conditions d'une coexistence. Cela supposerait toutefois que la LGG soit complétée de manière à ouvrir la porte, sans consentir de sacrifices, à la coexistence de différentes formes de production agricole.

De plus, il conviendrait d'habiliter le Conseil fédéral à promulguer des réglementations détaillées servant à garantir la coexistence.

La LGG requiert également des dispositions de principe complémentaires concernant la traçabilité, la documentation et l'étiquetage, la mise en œuvre de mesures garantissant la coexistence ainsi que la réglementation en matière de responsabilité civile.

Et finalement, les législateurs seraient appelés à définir des critères et des procédures visant la mise en place de zones exemptes de génie génétique. De tels critères devraient se référer à des besoins spécifiques de protection et d'encouragement.

Agriculture durable

L'agriculture – tant nationale qu'internationale – n'a toujours pas maîtrisé le défi de satisfaire aux exigences du développement durable, entre autres parce que de nouveaux facteurs pertinents et influençant le système viennent continuellement s'ajouter à ceux déjà connus. Au vu de cette situation et en quête de solutions, il ne serait pas judicieux d'exclure d'emblée une technologie. S'il s'avère que l'application du génie génétique présente des avantages pour l'agriculture suisse, des consignes scientifiquement évaluées doivent garantir que la culture de plantes génétiquement modifiées contribue au développement durable des points de vue écologique, économique et social.

Nos assiettes ne seraient pas, jour après jour, pleines en l'absence des agriculteurs. Ceux-ci produisent des denrées alimentaires de haute qualité et contribuent à un approvisionnement sûr de la population. Toutefois, un approvisionnement ne peut être garanti que tant que les ressources naturelles de la vie, telles que l'eau, le sol, l'air et la biodiversité, sont disponibles en quantités et qualité suffisantes. La production agricole doit donc veiller à ne pas surexploiter les sols, à ne pas polluer l'eau, à ne pas contaminer excessivement l'air avec des agents polluants et à ne pas compromettre la biodiversité naturelle.

Mais aux niveaux tant local que global, on constate une dégradation des sols, une diminution de la biodiversité et un changement climatique grandissant. Parallèlement, la demande en denrées alimentaires croît continuellement. Par conséquent, les ressources, dans l'écosystème, se raréfient.

L'AGRICULTURE SUISSE PEUT DEVENIR PLUS DURABLE

Pour l'agriculture suisse, satisfaire à toutes les exigences du développement durable constitue un authentique défi. Notre production agricole couvre aujourd'hui environ 55 pour cent des besoins de la population exprimés en calories. Les 45 pour cent restants sont importés de pays dont nous ne connaissons, dans le meilleur des cas, que vaguement les conditions de production et sur lesquelles nous sommes sans influence. Et la surface des meilleurs sols

BERNARD LEHMANN

Directeur, Office fédéral de l'agriculture

EVA REINHARD

Sous-directrice, Office fédéral de l'agriculture

agricoles rétrécit continuellement en raison des activités intensives de construction.^[1] Qu'il soit malgré tout possible de produire toujours davantage sur une surface de plus en plus restreinte est le grand mérite de la révolution verte. Celle-ci ne prend toutefois pas suffisamment soin de la qualité des fondements naturels de la vie: malgré les efforts considérables consentis et les multiples améliorations évidentes obtenues grâce aux mesures visant le développement durable lancées au début des années 1990, l'agriculture a encore des répercussions sur les ressources écologiques.

La qualité des sols est réduite par l'érosion, le compactage des sous-sols et l'apport de polluants. Il en va de même pour l'eau, l'air et la biodiversité: la Suisse ne réussit pas à atteindre les buts définis dans les «Objectifs environnementaux pour l'agriculture».^[2] Ainsi, force est d'admettre qu'avec la gamme de production agricole actuelle, les taux d'émissions agricoles d'ammoniac, pour prendre cet exemple, ne pourront guère respecter la valeur maximale de 25'000 tonnes d'azote fixé dans l'ammoniac par an. La situation est identique s'agissant des émissions totales de nitrates pour lesquelles on ne connaît à ce jour aucune technique durable permettant de les diminuer.

Le seul moyen d'atteindre l'objectif fixé consisterait à renoncer aux surfaces de culture et aux prairies artificielles au profit de prairies naturelles.^[3] Cela aurait toute-

fois pour conséquence une réduction importante de la surface de culture ou une baisse du degré d'auto-provisionnement au niveau des cultures arables.

La durabilité économique présente également des lacunes. L'agriculture suisse ne suit pas l'allure du développement économique global du pays et doit augmenter sa compétitivité; ce qui n'est possible que grâce à une diminution des coûts de production et à une amélioration de la compatibilité des instruments agropolitiques avec les développements et les prescriptions internationaux.

LES PRONOSTICS SONT MAUVAIS

Les pronostics ne dissipent pas non plus les préoccupations croissantes concernant l'approvisionnement alimentaire à long terme. L'Office fédéral de la statistique prédit une augmentation de la population suisse de 1,5 million, laquelle atteindrait 9 millions d'habitants au cours des cinquante prochaines années. Selon l'extrapolation des Nations Unies, 9 milliards d'êtres

Malgré les grands efforts réalisés, l'agriculture a encore un impact négatif sur les ressources naturelles.

L'agriculture suisse ne suit pas le rythme du développement économique global du pays et doit augmenter sa compétitivité.

humains peupleront notre planète d'ici 2050. Cette croissance démographique fulgurante s'accompagnera très proba-

Une alimentation de l'homme respectueuse du développement durable, c'est-à-dire une production écologiquement, économiquement et socialement responsable de denrées alimentaires, nécessite des idées nouvelles et des interventions tout au long de la chaîne alimentaire et de la chaîne de création de valeur.

blement de prix élevés et volatiles des aliments sur le marché mondial, et débouchera sur une pauvreté plus marquée liée à la faim dans de vastes régions du monde.

Au vu de cette situation, il est raisonnable, d'un point de vue écologique global, de maintenir le degré d'auto-provisionnement de la Suisse à son niveau actuel. La

question est de savoir comment s'y prendre.

L'alimentation durable de l'homme – c'est-à-dire la production écologiquement, économiquement et socialement durable de denrées alimentaires – nécessite de nouvelles idées et interventions tout au long de la chaîne alimentaire et de la chaîne de création de valeur.

Le futur fonctionnement de notre système alimentaire ne saurait être garanti si la stratégie est axée avant tout sur le statu quo. Ou comme disait Einstein: «Aucun problème ne peut être résolu sans changer le niveau de conscience qui l'a engendré.» Il nous engage ainsi à choisir, dans notre quête de solutions, des approches et des voies innovatrices.

MODIFICATION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE: RIEN DE NEUF DANS LA SÉLECTION

Aujourd'hui, on nourrit de grands espoirs de trouver dans le génie génétique des approches permettant de résoudre les problèmes de l'agriculture et de l'alimentation.

A première vue, il paraît étonnant que le génie génétique appliqué à la médecine soit bien accepté, tout au moins en Europe, alors que ce n'est pas le cas dans le domaine agricole. Car depuis que l'homme, sous nos latitudes, est devenu sédentaire voilà environ 8'000 ans et qu'il a développé l'agriculture et l'élevage du bétail, l'optimisation du matériel génétique est au cœur de la production agricole.

Toute forme de sélection vise à améliorer les propriétés biologiques d'animaux ou de plantes. Ce n'est pas par hasard qu'un fils de paysan ait découvert les lois de l'hérédité et ait ainsi fondé la

génétique, Gregor Mendel, encore enfant, aidait déjà à greffer des arbres fruitiers dans le jardin et élevait des abeilles. Des expériences avec des pois lui ont appris

«qu'un organisme peut être considéré comme une mosaïque de caractères qui se transmettent chacun indépendamment et qui peuvent se recombinaer différemment».

L'histoire de l'amélioration génétique a commencé avec la sélection massale, au

Depuis que l'homme a développé la culture du sol et l'élevage du bétail, l'optimisation du matériel génétique est au cœur de la production agricole.

cours de laquelle sont choisis, pour l'étape de sélection suivante, les individus chez qui les caractéristiques désirées sont les plus prononcées. Depuis les découvertes de Gregor Mendel, on sait que non pas le mélange de « lignées sanguines » mais les gènes héréditaires, pouvant être récessifs ou dominants, sont les « éléments constitutifs de la vie ». Puis ont suivi l'amélioration par combinaison, qui implique le croisement de différents génotypes expressément choisis, la sélection hybride et la sélection par mutation, qui se sert de rayons ou de substances chimiques mutagènes pour obtenir plus rapidement les traits désirés.

Aujourd'hui, les traits désirés peuvent être introduits très précisément dans des plantes ou des animaux grâce au génie génétique. La différence fondamentale entre la sélection traditionnelle et le génie génétique est que, maintenant, la modification de l'information génétique ne se fait plus au hasard, mais est effectuée de manière ciblée par le chercheur.

Il demeure que toute sélection réussie résulte d'une modification de l'information génétique, soit une combinaison nouvelle des quatre éléments dont est constitué l'ADN contenu dans chaque cellule végétale ou animale.

Au vu de cette situation, nous accordons une signification éthique/philoso-

phique et non pas scientifique/biologique au fait que le génie génétique permet d'extraire de manière ciblée des gènes donnés de leur environnement et de les introduire à nouveau de manière ciblée dans des organismes d'une autre espèce. L'universalité du code génétique est une indication claire de l'origine commune de tous les organismes. Et la nature aussi a les moyens d'échanger de l'information génétique entre différentes espèces.^{[4][5]}

EXPÉRIENCES FAITES AVEC LES PLANTES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉES DANS L'AGRICULTURE

La première culture commerciale de plantes génétiquement modifiées (PGM) a eu lieu en 1996 aux Etats-Unis. Depuis lors, la culture de ces plantes augmente d'année en année pour représenter aujourd'hui à l'échelle mondiale environ trois pour cent (0,16 mia ha) de la surface agricole utile (5 mia ha) et près de onze pour cent (0,13 mia ha) des terres arables (1,4 mia ha). Sur les 16,9 millions d'agriculteurs qui ont fait usage de semences génétiquement modifiées en 2011, plus de 90 pour cent sont de petits paysans dans les pays en voie de développement.

Dans l'Union européenne, toutefois, l'utilisation agricole du génie génétique vert ne suit pas la tendance mondiale. Le

mais génétiquement modifié n'est cultivé en quantités appréciables qu'en Espagne et au Portugal.^[6]

Jusqu'à présent, l'exploitation commerciale mondiale de variétés génétiquement modifiées se concentre avant tout sur le soja, le maïs, le coton et le colza. Les traits nouvellement introduits par le génie génétique sont presque tous des traits de résistance à un herbicide ou à des insectes. Le fait que les résistances se limitent presque toujours aux mêmes gènes et aux mêmes mécanismes d'action est problématique. Plus de 80 pour cent des cultures génétiquement modifiées résistantes à un herbicide résistent au glyphosate et au glufosinate.^[7] Ces deux herbicides à large spectre d'action sont également très souvent utilisés dans l'agriculture classique ne recourant pas à des variétés génétiquement modifiées, cela depuis près de quarante ans s'agissant du glyphosate. Dans la lutte contre les insectes ravageurs, ce sont surtout les toxines Bt qui sont employées. Celles-ci sont produites par les plantes génétiquement modifiées elles-mêmes.

La conséquence de l'utilisation continue d'un seul herbicide pendant des années est, par la force des choses, la formation

de résistances chez les plantes adventices. Il en va de même pour les insecticides. Les organismes cibles sont susceptibles de développer des résistances lorsqu'une seule substance est utilisée de manière continue et régulière. On pouvait donc s'attendre à ce que des plantes adventices

et des insectes insensibles aux principes actifs apparaissent tôt ou tard dans les champs où poussent depuis des années des plantes résistantes au glyphosate ou des plantes Bt. Des

données internationales de monitoring indiquent que jusqu'à présent, environ vingt espèces de plantes adventices sont devenues résistantes à la substance active glyphosate. Cependant, le fait que des plantes adventices résistantes à un herbicide aient été également trouvées dans des champs sans cultures transgéniques démontre qu'en soi l'apparition de telles plantes ne saurait être attribuée qu'indirectement à la culture de plantes transgéniques.

Le problème principal est la gestion, laquelle laisse à désirer et est unilatérale. Il n'est donc guère surprenant que des chrysomèles des racines du maïs résistantes à la protéine Bt aient été trouvées aux Etats-Unis l'année passée.^[8]

Le problème principal n'est pas le génie génétique en soi, mais sa gestion qui laisse à désirer et qui est unilatérale.

De nombreuses études prouvent que les PGM ne représentent pas un danger plus grand pour l'environnement ou la sécurité alimentaire que les plantes obtenues par sélection conventionnelle.

Une gestion insuffisante des résistances et les stratégies de vente des grandes entreprises sont à l'origine du phénomène observé.^[9] La preuve est

ainsi donnée que des stratégies visant à diminuer les résistances sont indispensables à une agriculture durable et que les méthodes de culture avec et sans PGM ne se distinguent pas les unes des autres en ce qui concerne cette

problématique. Le développement de résistances doit être combattu en recourant à des moyens connus et éprouvés. La diversification figure au centre de ces mesures et implique un changement au niveau de la substance active utilisée, une combinaison de plusieurs substances actives différentes, la mise en place de zones de refuge ainsi que la rotation des cultures, pratiquée avec succès en Suisse.

SIGNIFICATION DU PNR 59 POUR L'AGRICULTURE SUISSE

Les résultats du PNR 59 sont maintenant disponibles. Ils confirment de nombreuses études et expériences étrangères qui prouvent que les PGM ne représentent pas un danger plus grand pour l'environ-

nement ou la sécurité alimentaire que les plantes utiles traditionnelles, obtenues par sélection conventionnelle.

Ce ne sont pas les problématiques de la sécurité et de la faisabilité, mais les aspects écologiques, économiques et/ou sociaux qui doivent occuper le cœur du débat sur l'utilisation du génie génétique dans l'agriculture suisse.

matiques de la sécurité et de la faisabilité qui doivent se situer au centre du débat sur l'utilisation du génie génétique dans

Les variétés génétiquement modifiées qui permettraient de remédier aux carences écologiques spécifiques à l'agriculture suisse font encore défaut.

l'agriculture suisse, mais plutôt les aspects écologiques, économiques et/ou sociaux. Ceux-ci représentent les trois axes régissant la production agricole en Suisse selon la loi sur l'agriculture.

Pourtant, la majorité de la population suisse ainsi qu'une grande partie des politiciens veulent aujourd'hui encore se passer de la culture de PGM. Certains changeront d'avis au vu des résultats du PNR 59. Du fait du manque d'acceptation commerciale des produits génétiquement modifiés, d'autres continueront à accorder une plus grande importance aux avantages économiques de produits sans génie génétique qu'aux avantages écologiques de variétés de PGM

Le programme de recherche révèle également qu'en Suisse, un petit pays, la culture en parallèle de plantes conventionnelles et génétiquement modifiées est possible. Ces résultats sont importants, car ils démontrent que ce ne sont pas les problé-

actuellement commercialisées qui ne les convainquent pas. Cette attitude doit, pour le moment, être respectée. Toutefois, les variétés génétiquement modifiées qui permettraient de remédier aux déficits écologiques spécifiques à l'agriculture suisse font encore défaut. De plus, les arguments de l'avantage économique actuel d'une production sans génie génétique, telle qu'elle est souhaitée par le marché, ne peuvent pas être niés.

LE GÉNIE GÉNÉTIQUE AU SERVICE DE LA DURABILITÉ

Au-delà de l'augmentation de l'efficacité écologique, le message concernant l'évolution future de la politique agricole pour les années 2014 à 2017^[1] met l'accent sur le renforcement de l'esprit d'entreprise et, son corollaire, la volonté accrue de répondre aux besoins du marché. C'est la tâche de la politique agricole de créer les conditions-cadres qui permettent la production et la vente de produits agricoles sur des marchés plus ouverts.

Mais l'Etat est également tenu de contrôler régulièrement les paramètres influençant la durabilité et d'introduire les correctifs nécessaires sur la base de

nouvelles connaissances scientifiques et du développement des technologies.

Il convient donc de rappeler les problèmes écologiques de l'agriculture suisse mentionnés plus haut, notamment en rapport avec l'utilisation d'azote et de phosphore. Le génie génétique vert cherche, depuis longtemps, à améliorer l'efficacité de l'azote et du

phosphore. On peut s'attendre – à terme – à ce que grâce à la recherche de nouvelles variétés voient le jour qui permettent de diminuer considérablement le recours aux engrais inorganiques utilisés et contribuent à fermer les cycles. Les travaux qui continuent à être menés à bien dans le domaine des résistances aux ravageurs, en particulier les maladies de la pomme de terre et du blé présentes en Suisse, devraient également revêtir un intérêt particulier pour notre agriculture. Le changement climatique aussi pourrait rendre nécessaire de nouvelles variétés qu'il serait possible de développer au moyen du génie génétique. Certaines études montrent que, dans un proche avenir déjà, certaines régions de la Suisse devront s'attendre à des récoltes plus faibles dues à des périodes prolongées de sécheresse.^[10] L'éventail des cultures, tel qu'il se présente aujourd'hui, doit donc être adapté aux nouvelles conditions. Il convient de rappeler ici que l'été exceptionnellement chaud et sec de 2003 a provoqué des pertes de récolte allant jusqu'à 20 pour cent et une

De manière générale, on peut s'attendre à ce que les PGM du futur soient plus fortement axés sur les besoins du marché qu'aujourd'hui.

L'opposition au génie génétique vert présente une dimension éthique ainsi qu'une autre ayant trait à la politique économique.

baisse des revenus d'environ 500 millions de francs. Cette année encore, la première variété de maïs résistante à la sécheresse sera mise sur le marché.

De manière générale, on peut s'attendre à ce que les PGM de l'avenir seront plus axés sur les besoins du marché qu'aujourd'hui. On mentionnera les «functional foods», des aliments qui, au-delà de l'apport calorique fondamental, couvrent d'autres besoins sur lesquels la vie moderne met le doigt, par exemple, l'entretien de la santé. Ainsi, le génie génétique vert et le génie génétique rouge tendront à se rapprocher en ce qui concerne leurs objectifs, s'assurant ainsi de nouveaux débouchés.

L'interdépendance des trois dimensions du développement durable va augmenter. L'idée est séduisante: une diminution des moyens nécessaires à la production abaisse les coûts, accroît la protection de l'environnement, diminue les risques de pertes de rendement, permet un gain de temps et garantit l'emploi. Il est toutefois nécessaire de tenir compte du fait que l'opposition au génie génétique vert en Europe présente aujourd'hui une dimension éthique ainsi qu'une dimension ayant trait à la politique économique. La forte concentration des brevets au sein de quelques firmes privées et la dépendance qui en résulte pour les utilisateurs du génie génétique suscitent des craintes fondées.

Cette situation n'a de chance de changer que si les droits de licence sont réglés de manière à prévenir leur accaparement par une poignée d'entreprises privées.

Une recherche publique intensive dans les domaines de la sélection et de la culture de plantes est donc importante, en Suisse comme ailleurs. C'est donc une bonne raison de la promouvoir chez nous.

Les travaux soutenus de recherche et de développement permettent de supposer que, dans un avenir proche, seront mis sur le marché des plantes et produits génétiquement modifiés offrant un avantage et une plus-value clairs pour le consommateur.

Un système agricole et alimentaire suisse visant à répondre aux besoins du marché fera montre de réactivité.

La politique agricole créera des conditions-cadres propres à aider les paysans suisses ayant le sens des affaires de réagir à temps face à de nouveaux besoins et d'y répondre avec succès. Néanmoins, privilégier des avantages à court terme sur le marché au risque de compromettre des chances d'avenir serait non seulement regrettable mais aussi irresponsable. Nous sommes appelés à faire montre de clairvoyance et à garder ouvertes toutes les options pour le futur.

Cette situation n'a de chance d'évoluer que si les droits de licence sont réglés de manière à ne pas être uniquement détenus par une poignée d'entreprises privées.

En matière agricole, privilégier des avantages à court terme sur le marché au risque de compromettre des chances d'avenir serait irresponsable.

LITTÉRATURE

- [1] Conseil fédéral (2012) Message du 1er février 2012 concernant l'évolution future de la politique agricole dans les années 2014-2017. 12.021.
- [2] OFEV (2008) Objectifs environnementaux pour l'agriculture. A partir de bases légales existantes. Connaissance de l'environnement n° 0820. Berne.
- [3] Lehmann, B., Weber, M., Peter, S., Valsangiacomo, A. (2010) «Stickstoff 2020» – Möglichkeiten und Einschränkungen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Stickstoffemissionen in der Schweiz (résumé en français). Untersuchung zuhanden des Bundesamtes für Landwirtschaft.
- [4] McDaniel, L.D., Young, E., Delaney, J., Ruhnu, F., Ritchie, K.B., Paul, J.H. (2010) High frequency of horizontal gene transfer in the oceans. *Science*, 330, 50.
- [5] Stegemann, S., Keuthe, M., Greiner, S., Bock, R. (2012) Horizontal transfer of chloroplast genomes between plant species. PNAS Online Publication, DOI: 10.1073/pnas.1114076109.
- [6] James, C. (2012). Global status of commercialized Biotech/GM crops. ISAA, 2011.
- [7] Sanvido, O., Romeis, J., Bigler, F. (2007). Ecological impacts of genetically modified crops: ten years of field research and commercial cultivation. *Adv Biochem Eng Biot* 107; 235-278.
- [8] Gassmann, A.J., Petzold-Maxwell, J.L., Keweshan, R.S., Dunbar, M.W. (2011) Field-Evolved Resistance to Bt Maize by Western Corn Rootworm. *PLoS ONE* 6(7): e22629. DOI:10.1371/journal.pone.0022629.
- [9] Diskussionsbeitrag. www.biosicherheit.de
- [10] Fuhrer, J., Calanca, P., Defila, C., Forrer, H.R., Lehmann, B., Luder, W., Müller-Ferch, G., Münger, A., Sonneveld, M., Uebersax, A. (2007) Landwirtschaft in: *Occc / ProClim* (Hrsg.). Les changements climatiques et la Suisse en 2050. Impacts attendus sur l'environnement, la société et l'économie. Berne, 41-53.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

1. Recherche sur les risques et écologie



1.1 Recherche sur la biosécurité en Europe

Selon le professeur Wolfgang Haber, ex-président de la Gesellschaft für Ökologie (GfÖ), une organisation scientifique rassemblant des spécialistes germanophones de l'écologie, «le développement durable ne peut réussir qu'à la condition que nous ne rêvions pas en matière d'écologie, mais que nous incluions celle-ci dans les mesures visant la garantie des fondements de la subsistance, cela sur la base d'un jugement réaliste».^[1] Les tenants d'une telle conception de la durabilité seront nécessairement ouverts à la mise en œuvre responsable de nouvelles technologies de sélection des plantes. Cependant, les plantes génétiquement modifiées (PGM) sont-elles aussi sûres pour l'environnement que les produits issus de sélections conventionnelles? Il n'y a pas que la recherche suisse sur la biosécurité au sein du PNR 59 qui se soit penchée sur cette question.

DETLEF BARTSCH

THÈMES PRINCIPAUX DE LA RECHERCHE INTERNATIONALE SUR LES RISQUES ÉCOLOGIQUES

Des recherches ayant pour but l'évaluation des répercussions écologiques de plantes génétiquement modifiées ont été effectuées depuis le premier développement de telles plantes. Au début, soit au milieu des années 1980 environ, ce sont des plantes cultivées telles que la tomate, le soja, le coton, le colza et le maïs qui ont été génétiquement modifiées. Les observations en plein champ, faites à l'œil nu, figuraient en tête des recherches sur les risques liés à ces plantes. Ce n'est qu'au début des années 1990 que la recherche expérimentale sur les risques a véritablement démarré. Une telle évolution se manifeste au travers des contributions présentées à la conférence ISBGMO (International Symposium on Biosafety of Genetically Modified Organisms) qui a lieu depuis 1990¹. Les thèmes centraux des conférences reflètent le développement épistémologique dans la recherche sur la sécurité. Cela a commencé en 1990 avec des études de croisement concernant du maïs. Aujourd'hui sont présentées des études complexes de flux génétique sur plusieurs générations avec des plantes sauvages. Elles vont de comparaisons simples de PGM avec leurs parents, proposées à l'époque, jusqu'aux tests élaborés actuellement qui permettent une comparaison avec plusieurs variétés de plantes cultivées produites par des méthodes conventionnelles. Cette dernière comparaison a gagné en importance, car on a appris au cours du temps que les interventions

génétiques peuvent aussi engendrer des modifications du matériel héréditaire qui vont au-delà de celles attendues dans le cadre du transfert d'un gène unique. Par exemple, lors de certains procédés de génie génétique tels que le transfert de gènes par la méthode biolistique², il arrive qu'un fragment d'ADN d'une cellule voisine soit transféré involontairement. Dans ce cas, une comparaison avec les croisements conventionnels est importante. Car pour ce qui est de l'amélioration du matériel héréditaire, chaque intervention expérimentale, réalisée au moyen d'agents chimiques ou de la radioactivité visant l'amélioration génétique classique ou recourant à des méthodes biologiques telles que la fusion de cellules, est susceptible de produire des effets involontaires. Il est donc essentiel que les effets du génie génétique soient comparés à ceux provoqués par les méthodes d'amélioration classique afin de permettre une évaluation se fondant sur des phénomènes qui nous sont familiers. Il existe toutefois également des voix critiques qui rejettent une évaluation comparative et exigent une manière de procéder qualifiée «d'orientée vers les problèmes»³. Cette démarche n'est toutefois pas favorisée dans les pays industrialisés occidentaux et dans de nombreux pays émergents, entre autres parce qu'elle exige que toute nouvelle technologie soit soumise à un débat de principe complexe et qu'elle n'est donc pas à portée de main pour les innovations ou la résolution de problèmes.

Les effets du génie génétique doivent être comparés à ceux causés par les méthodes de sélection classique afin de permettre une évaluation se fondant sur des phénomènes qui nous sont familiers.

Quoi qu'il en soit, les résultats de la recherche sont d'une grande importance pour l'évaluation des risques de PGM.

RISQUES POTENTIELS

La recherche biologique en matière de sécurité devrait se prononcer sur les problématiques suivantes:

- Effets indésirables causés par l'introduction et la propagation de PGM
- Développement de résistances par les ravageurs
- Traitement ménageant autant que possible les organismes non-cibles, y compris de nombreux organismes auxiliaires
- Répercussions sur la rotation des cultures et les mesures de récolte
- Effets secondaires sur les cycles biogéochimiques

Semblables répercussions étaient déjà connues bien avant le développement des PGM. Ainsi, l'expression «super mauvaise herbe», consacrée par le savoir populaire, a fait son apparition en 1948, des décennies avant le développement du génie génétique. Le botaniste américain Edgar Anderson désignait de cette façon le résultat de la transmission d'informations génétiques de plantes cultivées à des variétés sauvages apparentées, lesquelles, de ce fait, acquièrent des caractéristiques indésirables. Elles deviennent alors des mauvaises herbes profitant des traitements réservés aux variétés cultivées et privent l'agriculteur du rendement attendu.

Déroulement de l'évaluation des risques dans l'UE

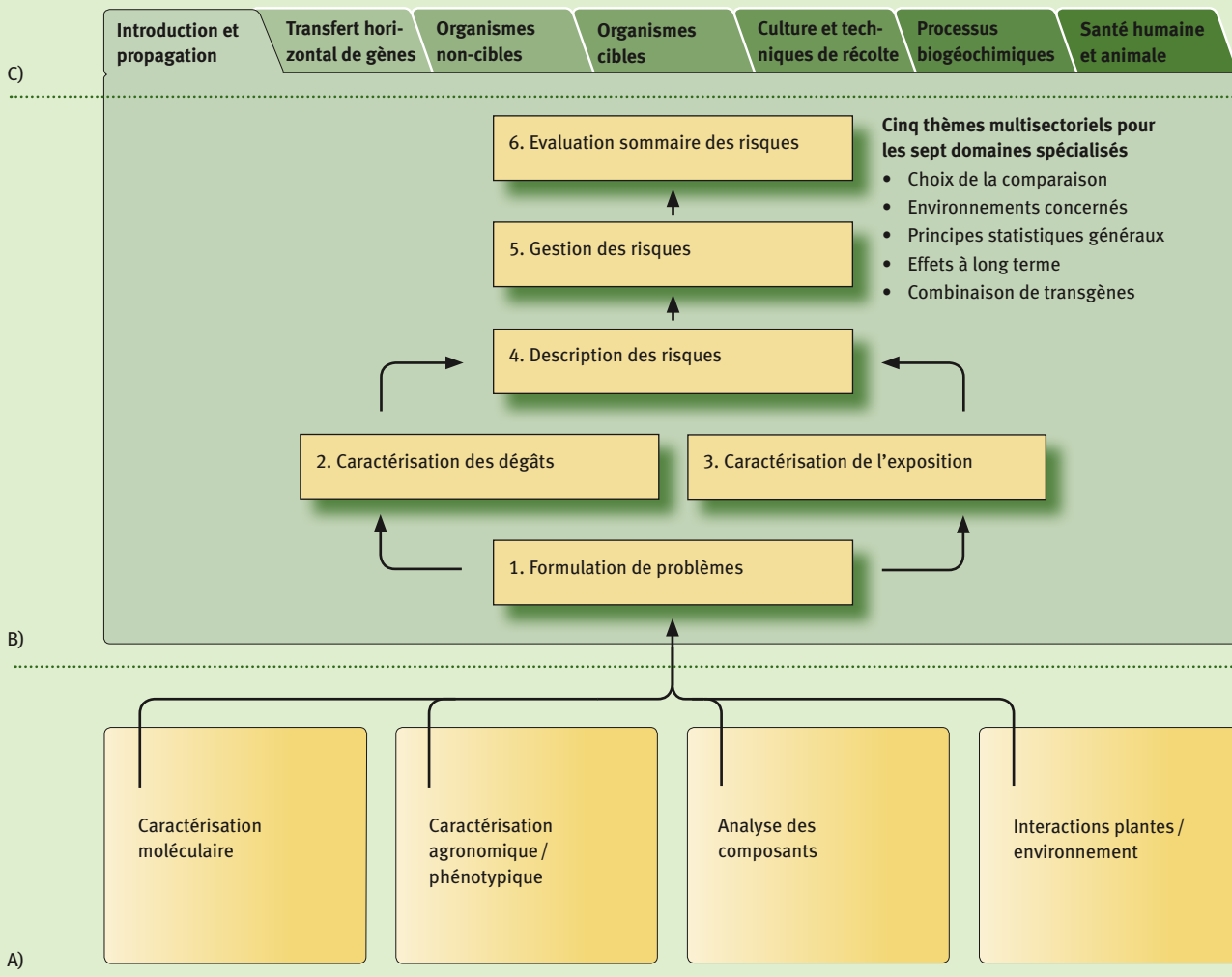
Au sein de l'UE, l'évaluation des risques écologiques est coordonnée par l'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) ayant son siège à Parme (Italie). L'évaluation se base sur des données scientifiques selon le principe de l'évaluation relative des risques («les PGM sont aussi sûres que...») à l'aide de standards reconnus de la sélection classique de plantes. Dans ce contexte, l'EFSA se fie non seulement aux données de base que chaque requérant doit fournir, mais aussi aux évaluations de spécialistes issus des domaines de l'écologie, de la santé et de la biologie moléculaire. De plus, des études indépendantes sont consultées lors de l'examen de chaque requête. L'illustration 1.1 fournit une vue d'ensemble de cette démarche complexe.

Illustration 1.1: Le principe de l'évaluation des risques écologiques dans l'UE

Source: cf. liste des illustrations

Les points de départ sont:

- A) Les données du système des quatre piliers, lesquelles sont
- B) évaluées à l'aide d'une analyse en six étapes tenant compte de
- C) cinq thèmes multisectoriels pour les sept domaines spécialisés.



Une autre conclusion générale tirée de la recherche est que les croisements entre plantes cultivées et plantes sauvages sont souvent limités à certains espaces définis: le flux de gènes n'a pas lieu partout et en tout temps.

Et les croisements n'engendrent que très rarement une perte de la diversité génétique. Jusqu'ici, il existe des exemples reconnus de ce phénomène que pour des plantes conventionnelles, par exemple dans le cas de la culture de la luzerne au détriment d'espèces sauvages en Suisse.

Que ce soit dans le cadre du génie génétique ou de l'amélioration conventionnelle, les conséquences du transfert de gènes de plantes cultivées à des espèces sauvages sont à évaluer au cas par cas, en tenant compte des conditions environnementales.

Au cours des deux dernières décennies, des ressources financières publiques considérables ont été investies dans la recherche sur la sécurité des PGM. Les résultats de programmes d'études importants sont exposés ci-après.

ÉTUDES INTERNATIONALES

Selon la Commission européenne, les PGM sont propres à freiner la sous-alimentation, à augmenter le rendement des récoltes et à contribuer à l'adaptation de l'agriculture au changement climatique,

surtout dans les pays moins développés. D'un autre côté, la recherche se doit d'étudier des dispositifs de sécurité rigoureux, permettant de prévenir les risques éventuels.

En 2010, la Commission européenne a publié un résumé des projets consacrés à la recherche sur la sécurité biologique au cours de la décennie précédente.^[2] Le rapport présente un aperçu des résultats

de 50 projets de recherche qui se sont penchés avant tout sur la sécurité d'organismes génétiquement modifiés (OGM) en matière d'environnement et de santé humaine et ani-

male. Auparavant déjà, de nombreux travaux de recherche relatifs à la sécurité des OGM, subventionnés par l'UE, ont été publiés.^[3] Dans l'espace de vingt-cinq ans, plus de 500 groupes de recherche indépendants ont participé à ces projets. En résumé, il en ressort «qu'il n'y a jusqu'ici pas d'indications scientifiques que les OGM [autorisés] représentent un danger plus grand pour l'environnement ou la sécurité alimentaire et fourragère que les plantes et organismes conventionnels».

Les projets de recherche décrits par le rapport de l'UE s'intéressaient à des questions scientifiques touchant des domaines suscitant la controverse dans la société:

- Développement d'outils et de méthodes analytiques permettant le dépistage d'OGM dans les aliments et fourrages

Depuis 1982, l'Union européenne a investi plus de 300 millions d'euros dans la recherche sur la biosécurité des OGM.

- Soutien de la politique de l'UE concernant l'étiquetage et la traçabilité d'OGM dans les aliments et fourrages
- Développement de nouveaux concepts d'évaluation des risques potentiels que font courir les aliments génétiquement modifiés pour la santé
- Amélioration de plantes cultivées au travers de modifications génétiques dans le but, par exemple, de renforcer leur résistance à un agent pathogène
- Durabilité augmentée de l'agriculture grâce à une meilleure valorisation de l'azote dans les plantes cultivées
- Gestion du flux génétique, du transfert de gènes et de la coexistence de PGM et de plantes non génétiquement modifiées
- Evaluation des répercussions de PGM sur la biodiversité

Ainsi, l'UE a investi, depuis 1982, plus de 300 millions d'euros dans la recherche sur la biosécurité des OGM. Outre l'UE, certains de ses Etats membres ont soutenu des enquêtes très étendues et de plus longue durée. Il convient de mentionner ici trois exemples parlants:

Grande-Bretagne

Le gouvernement britannique a soutenu, à raison de 5 millions de livres, des études indépendantes consacrées principalement aux répercussions sur la biodiversité dans l'agriculture de plantes tolérantes à des herbicides. Le sujet de l'étude était la rotation des cultures avec des betteraves fourragères, du maïs et du colza d'été et d'hiver

Qu'est-ce qu'un risque (écologique)?

L'analyse des risques de plantes génétiquement modifiées exprime la manière dont sont traitées les incertitudes liées à l'utilisation de nouvelles technologies pour lesquelles il n'existe, ou ne saurait exister, dans un premier temps, que peu ou pas d'expériences. La notion de risque est définie par deux facteurs à valeur égale: degré de dommage et probabilité d'occurrence. L'évaluation d'un dommage dépend d'échelles normatives (cf. chapitre 1.2, Objectifs de protection et évaluation des risques). Les lois spécifiques à chaque pays ne donnent, la plupart du temps, qu'un cadre grossier quant à la manière dont un dégât potentiel doit être évalué dans chaque cas.

Le pronostic des probabilités d'occurrence ne s'avère pas beaucoup plus facile, surtout lorsqu'un dégât environnemental potentiel n'est pas encore connu. Un exemple important en est l'évaluation de croisements de PGM avec des espèces parentes. La fécondation croisée est une évidence de la nature, valable pour toutes les plantes, indépendamment de la manière dont elles ont été produites. Il en ressort que la probabilité d'une fécondation croisée est très élevée pour de nombreuses espèces. On admet donc dans l'évaluation des risques que sa probabilité d'occurrence est de 1 (= occurrence certaine). En revanche, l'évaluation de l'atteinte à l'environnement causée par une fécondation croisée est plus difficile à effectuer. Au sein de l'UE et dans d'autres pays, un consensus règne sur un point: les dégâts doivent être exprimés exclusivement en unités techniquement mesurables pour des objectifs de protection définis. Aussi, la fécondation croisée, en tant que telle, ne constitue pas encore un risque. Dans l'évaluation des risques, elle peut être conçue comme un paramètre d'exposition uniquement en relation avec des conséquences indésirables.

Les essais britanniques confirment que l'utilisation intensive d'herbicides, et non pas la culture de PGM, a été le facteur décisif pour des effets indésirables.

génétiquement modifiés. Les résultats sont variables. La culture de betteraves fourragères et de colza d'été conventionnels favorise la présence d'un grand nombre

d'espèces animales telles qu'abeilles ou papillons, cela dans la mesure où les plantes adventices pouvant se développer dans ces conditions sont plus nombreuses que dans le cas de la culture de plantes génétique-

ment modifiées soumises à des traitements au moyen d'herbicides spéciaux. Dans la culture conventionnelle, on trouve également davantage de semences de plantes adventices, ce dont profitent notamment les oiseaux. En revanche, un plus grand nombre d'insectes ont été recensés dans le sol de champs cultivés avec des PGM. De même, une présence plus marquée d'animaux et de plantes sauvages a été observée dans des cultures de maïs génétiquement modifié. Globalement, les essais britanniques confirment que l'impact sur l'environnement est directement tributaire de l'utilisation plus ou moins massive d'herbicides et non pas de la culture de PGM en tant que telle.^[4]

Allemagne

En Allemagne, la recherche sur la biosécurité est encouragée, depuis la fin des années 1980, par le ministère fédéral de l'éducation et de la recherche (BMBF). Entre-temps, plus de 300 projets ont été soutenus à hauteur de plus de 100 millions d'euros,

les résultats étant rendus accessibles sur un portail Internet destiné au grand public (www.biosicherheit.de). L'étude des effets environnementaux du maïs dit Bt a été particulièrement promue. Ce maïs, qui porte plusieurs gènes provenant de différents isolats de la bactérie du sol *Bacillus thuringiensis* (Bt), est, de ce fait, résistant aux coléoptères et papillons nuisibles. Les projets ont étudié, sur plusieurs années, les variétés de maïs transgénique MON810, MON88017, MON89034 et Bt176, et comprenaient des essais en laboratoire ainsi qu'en plein champ en Allemagne.

Le principal résultat de ces études de biosécurité est le suivant: les nombreux projets n'ont pas fourni jusqu'ici de preuves scientifiques de dégâts à l'environnement causés par les PGM examinées, dont le maïs mais aussi la betterave à sucre, l'orge, le colza, la pomme de terre, la vigne et certaines plantes ligneuses.

Espagne

Dès 1998, c'est d'abord exclusivement la lignée de maïs Bt176 produite par Syngenta qui a été cultivée commercialement en Espagne, puis, dès 2004, essentiellement le maïs MON810 de l'entreprise Monsanto. A partir de 2007, la surface de culture du maïs génétiquement modifié porte sur plus de 80'000 hectares. En 2011, la surface cultivée était même de 97'325 hectares, ce qui correspond, en particulier dans certaines provinces du nord-est de l'Espagne, à une part de plus de 80 pour cent de la surface totale de culture du maïs dans la région. Calculé par rapport

au pays entier, la culture de maïs génétiquement modifié représente environ 26 pour cent de la surface totale de culture du maïs.

Dès le début, le ministère espagnol de l'environnement (MARM) a financé des études de biosécurité afin d'examiner d'éventuels effets environnementaux. A ce jour, les résultats ont été rendus publics au travers de 31 publications scientifiques. Une documentation du MARM^[5] prouve qu'après douze ans de culture commerciale du maïs Bt en Espagne, aucun effet négatif sur des arthropodes et micro-organismes non-cibles

du sol n'a été constaté. Il en va de même pour les ravageurs: aucune augmentation dans la résistance à la toxine Bt n'a pu être constatée. Les résultats des études réalisées jusqu'à présent sur le maïs tolérant au glyphosate montrent que ce composé chimique influence bien moins les communautés bactériennes dans la zone racinaire du maïs que d'autres herbicides. Ces résultats sont également confirmés par la vaste étude effectuée dans le cadre du PNR 59.^[6]

Amérique du Nord

Au niveau mondial, c'est en Amérique du Nord que la culture de PGM est la plus avancée. Aux Etats-Unis, par exemple, les plantes génétiquement modifiées sont cultivées sur environ la moitié des terres arables. Ainsi, la part des PGM en 2011

était de 88 pour cent pour le maïs, de 90 pour cent pour le coton et de 94 pour cent pour le soja.

En 2008 déjà, le comité national de recherche américain (NRC) avait chargé un groupe de dix personnes, composé de scientifiques, d'économistes et de sociologues, d'examiner les conséquences de

la culture de PGM depuis ses débuts en 1996. L'étude correspondante a été publiée en 2010.^[7] Elle fournit une évaluation détaillée des répercussions écologiques, économiques et sociales de la production agricole mettant en œuvre

des plantes génétiquement modifiées. Il en ressort que la plupart des exploitations agricoles sont parvenues soit à augmenter le rendement des

récoltes soit à diminuer leurs frais de production, notamment pour ce qui est des machines ou de la protection des cultures. Parallèlement, la charge environnementale a diminué par

rapport à celle imputable à l'agriculture conventionnelle, entre autres grâce à une protection améliorée contre l'érosion et le renoncement à des insecticides. C'est avant tout l'utilisation combinée et presque généralisée de soja tolérant à un herbicide et de colza qui a rendu possible une technique

Il n'y a jusqu'à présent pas d'indications scientifiques selon lesquelles les OGM autorisés représentent un danger plus grand que les plantes et organismes conventionnels.

En Amérique du Nord, la charge environnementale imputable à la culture de PGM a diminué par rapport à celle engendrée par l'agriculture conventionnelle.

Une gestion améliorée de l'environnement est freinée par un respect insuffisant des bonnes pratiques de la part des agriculteurs. Un usage inconsidéré d'herbicides a favorisé le développement de résistances parmi les plantes adventices.

culture ménéageant davantage les sols. De plus, un désherbage plus efficace a encouragé un travail du sol sans labour. Pour la surface cultivée de soja aux Etats-Unis, par exemple, l'utilisation de méthodes de travail ménéageant le sol est passée de 51 pour cent en 1996 à 63 pour cent en 2008. Il en est résulté une amélioration de la qualité du sol et de sa capacité de rétention d'eau.

De même, moins de pesticides toxiques pour les organismes non-cibles ou à haute persistance dans le sol et dans l'eau ont été utilisés dans les champs de PGM que dans les champs conventionnels (non biologiquement cultivés). Au niveau de la culture de coton notamment, le nombre de traitements avec des pesticides a diminué en moyenne de 1,3 à 3,4 traitements annuels par champ entre 1996 et 1999 pour les variétés Bt, alors que de douze à quinze traitements par champ constituent la norme pour les variétés conventionnelles.^[7]

Indépendamment des éventuels effets environnementaux, il est nécessaire d'inclure aussi l'estimation des conséquences sociales dans l'évaluation des risques.

Toutefois, une gestion améliorée de l'environnement est freinée par le respect insuffisant des bonnes pratiques de la part des agriculteurs. Ainsi, un usage inconsidéré d'agents herbicides a favorisé, dans le cas des plantes adventices, le développement de fortes résistances, en particulier au glyphosate.

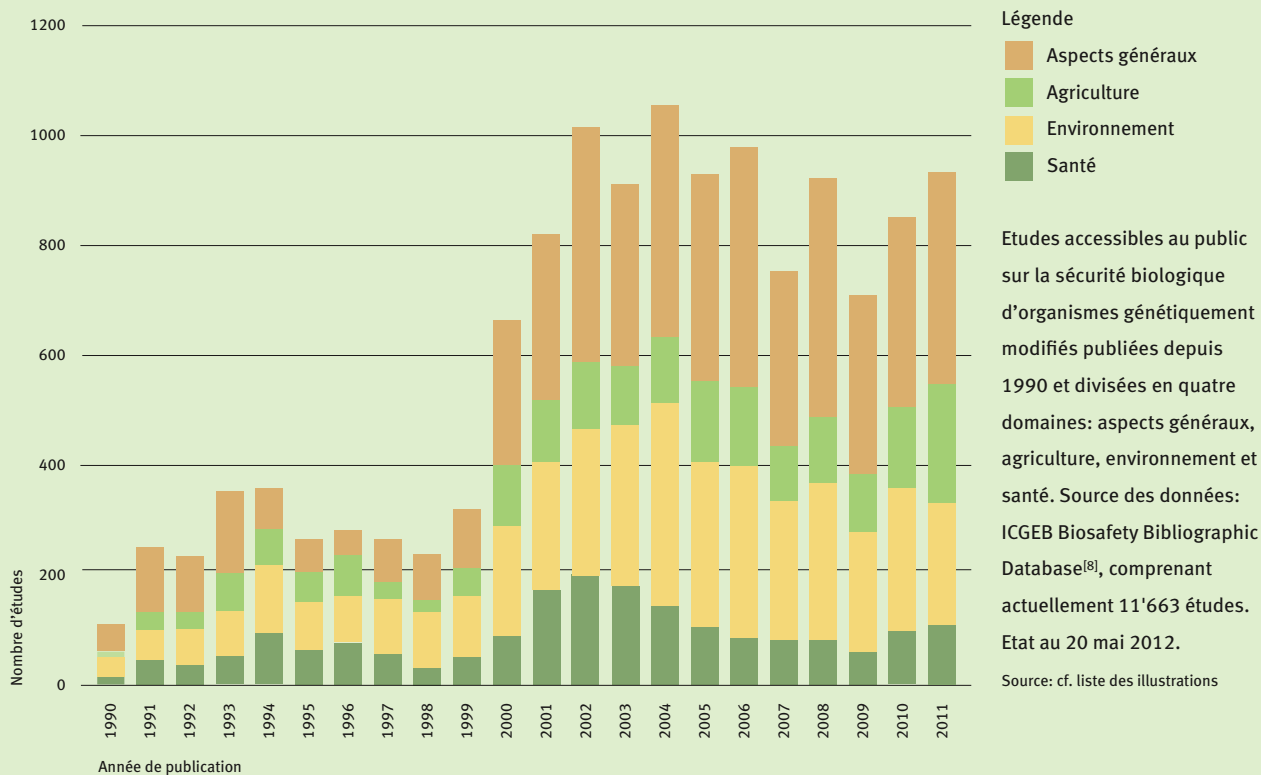
Jusqu'à présent, la prévention ou le retardement de résistances des ravageurs s'est révélé être plus efficace pour les plantes Bt,

s'agissant en particulier de la pyrale du maïs, un papillon ravageur. Ce constat vaut surtout lorsque des zones de refuge sont à disposition pour les ravageurs sensibles et que des programmes d'observation à des fins de prévention ont été mis en place. Malgré cela, dans le cas d'un coléoptère ravageur spécifique appelé la chrysomèle des racines du maïs, les résistances se développent nettement depuis 2011, entre autres parce que les agriculteurs n'observent pas assez rigoureusement les principes de la protection intégrée des cultures. La raréfaction du monarque, un magnifique papillon très apprécié du public, est une autre conséquence de la culture de plantes génétiquement modifiées. La raison en est la lutte, couronnée de succès dans certaines régions, contre sa plante hôte considérée comme une plante adventice. Toutefois, les données à ce sujet sont contradictoires.

Des contre-mesures destinées à prévenir de telles conséquences indésirables d'une intensification de l'agriculture sont actuellement en discussion. Il est question de créer, par exemple, des corridors exempts d'herbicides en bordure des champs ou de cultiver les plantes dont se nourrissent les monarques. Pour l'heure, on n'envisage pas de renoncer au glyphosate.

On doit s'attendre à ce que l'utilisation de PGM plus développées aura pour effet que de petites exploitations, économiquement plus faibles, ne pourront plus être concurrentielles, comme cela a été le cas lors d'autres développements similaires au niveau de la technologie agricole. De ce fait,

Illustration 1.2: Etudes sur la sécurité biologique d'OGM



l'étude du NRC recommande d'inclure, en plus des éventuels effets environnementaux, l'estimation des conséquences économiques et sociales dans l'évaluation des risques de PGM.

BASE DE DONNÉES À DISPOSITION

La base de données la plus complète sur la recherche dans le domaine de la sécurité est actuellement gérée par le centre

indépendant international du nom de Centre for Genetic Engineering and Biotechnology (ICGEB). Plus de 10'000 études scientifiques sont aujourd'hui accessibles au public. Elles sont actualisées et classifiées mensuellement par un groupe de chercheurs indépendants. L'illustration 1.2 propose une vue d'ensemble de ces études. Il est intéressant de constater que les PGM font non seulement l'objet de recherches concernant la sécurité, mais qu'elles ont également trouvé

leur place en matière de recherche fondamentale dans les domaines de la biologie de l'évolution et des populations.

Parmi ces études, on en trouve aussi qui sont très critiques envers le génie génétique. S'il est vrai que ces travaux stimulent le débat scientifique, une analyse plus poussée révèle néanmoins que, par le passé, ils ne sont guère parvenus à démontrer leurs conclusions négatives. Jusqu'à présent, ils ont réussi, tout au plus, à mettre en évidence des dégâts potentiels. En revanche, ces études n'ont pas résisté à un examen minutieux de la probabilité d'occurrence réaliste de dégâts potentiels ou l'exposition effective d'organismes non-cibles dans l'environnement.

Un exemple parlant est celui de la coccinelle à deux points (cf. encadré).

La majeure partie des études laissent supposer que les PGM ne représentent pas un risque particulier.

Une étude détaillée de la littérature a également été menée à bien dans le cadre du PNR 59.

Elle offre une vue d'ensemble des plus importants résultats de la recherche dans les domaines de la biosécurité et de la coexistence.^[6] L'évaluation de la littérature scientifique couvrant plus de vingt ans de recherche sur le terrain et quinze ans de culture commerciale de PGM a mis en évidence trois effets négatifs, qui ne sont toutefois pas spécifiques au génie génétique:

- Apparition de résistances dans des organismes non-cibles
- Atteinte à des organismes non-cibles
- Restriction de la biodiversité et naissance de plantes adventices indésirables due à l'utilisation excessive d'herbicides complémentaires dans la culture de PGM tolérantes aux herbicides.

D'autres effets d'OGM autorisés n'ont pas été établis. Malgré la publication de rapports faisant état d'effets négatifs sur les animaux et l'homme, ces observations n'ont pas été confirmées lors d'un examen critique approfondi.

Certaines expériences en laboratoire ont laissé supposer l'existence d'effets négatifs. Mais des essais en champ réalisés par la suite ont révélé que ces nuisances étaient négligeables. Une conclusion importante tirée de ces observations est que les effets défavorables observés en laboratoire ne se vérifient pas forcément en plein champ, où, bien souvent, des facteurs plus importants (climat, interactions avec d'autres organismes) déterminent le comportement d'organismes non-cibles dans l'environnement. D'un autre côté, les PGM devraient avoir le moins de propriétés indésirables possibles, cela aussi en plein champ. Les expériences des dix à quinze dernières années au sujet de la culture à grande échelle de plantes tolérantes à un herbicide ou produisant la toxine Bt ont été analysées dans une étude indépendante, qui démontre que très peu d'effets indésirables ont pu être observés.^[9]

Les études critiques sur le génie génétique stimulent certes le débat scientifique, mais une analyse plus poussée révèle que, par le passé, elles ne sont guère parvenues à démontrer leurs conclusions négatives.

La coccinelle à deux points – quel comportement adopter face à des résultats déroutants?

Des études de laboratoire quant aux effets de protéines Bt (telles qu'elles se trouvent dans le maïs génétiquement modifié) sur les larves de coccinelles à deux points ont été notamment effectuées dans le cadre du projet de recherche Bt-BioNoTa de l'UE (période de financement: octobre 2000 à septembre 2003, cf. [2]). Les résultats ont été publiés en 2009 dans une revue spécialisée de langue anglaise.

Dans l'expérience, de la protéine Bt en trois concentrations [5, 25 et 50 µg / ml] ainsi qu'une solution de contrôle [0 µg / ml] ont été appliquées sur des œufs de teigne de la farine, ces œufs étant le seul aliment des coccinelles utilisé dans l'étude. Les larves de coccinelles objet de l'expérience ont été exposées aux substances d'essai tout au long de leur développement.

La solution de contrôle n'a pas provoqué d'effets. En revanche, pour deux protéines Bt appliquées dans des concentrations différentes, une augmentation significative de la mortalité des larves au cours des premiers stades de développement a pu être observée par rapport à celles exposées à la solution de contrôle. Des effets négatifs des protéines Bt sur la durée du développement des larves ou sur le poids des coccinelles adultes n'ont pas été observés.

Les auteurs de l'étude en ont déduit que la mortalité accrue dans le cas de la coccinelle à deux points pourrait résulter directement de la présence des protéines Bt. Ils en concluent que ces résultats remettent en question la sécurité des protéines Bt. Toutefois, les auteurs arrivent eux aussi à la conclusion, en ce qui concerne la pertinence écologique de leurs résultats, que les larves de coccinelles ne sont exposées à des quantités potentiellement nuisibles de protéines Bt dans la nature que si elles se nourrissent de pollen de maïs Bt (exposition directe) ou de proies (telles que les tétranyques) qui absorbent des protéines Bt par l'alimentation (exposition indirecte).

Ces résultats ont été critiqués dans une série de publications scientifiques.^[10] Au centre de la controverse, on trouve, d'une part, des doutes concernant la méthodologie appliquée, en particulier la question de savoir si les larves de coccinelles absorbent effectivement les protéines Bt appliquées sur les œufs de teigne de la farine. D'autre part, les résultats présentés sont également mis en question puisqu'il n'a pas été possible d'observer un rapport dose-effet, et les animaux survivants se sont développés tout à fait normalement. La discussion se poursuit en 2012.

Quelle que soit la manière dont sont évaluées de telles études de laboratoire, un des arguments les plus importants contre une éventuelle mise en danger des larves de coccinelles par les protéines Bt est leur faible exposition dans des conditions naturelles. Les larves de coccinelles se nourrissent avant tout de pucerons et beaucoup moins de tétranyques. Il a été confirmé que les pucerons vivant sur les plantes de maïs Bt n'absorbent pas de protéines Bt et que les coccinelles, elles non plus, ne sont pas affectées lorsqu'elles se nourrissent de pucerons. En plein champ, une exposition des coccinelles ne serait donc possible qu'au travers de l'absorption de pollen de maïs. Mais dans ce cas, on ne doit pas non plus s'attendre à un effet délétère sur les larves de coccinelles en raison de la faible concentration de protéines Bt dans le pollen.

A cette vue d'ensemble s'ajoute le fait que de nombreuses autres études en laboratoire et sur le terrain n'ont pas décelé d'effets des protéines Bt sur la coccinelle à deux points et d'autres espèces de coccinelles.

L'exemple de la coccinelle à deux points démontre que des informations contradictoires doivent être analysées minutieusement et de manière indépendante.

Conclusions et recommandations

1. Les problèmes environnementaux communs liés à l'agriculture, tels les monocultures et le développement de résistances ainsi que les complications socio-économiques causées par certaines cultures spéciales, sont susceptibles d'être renforcés ou atténués par les PGM. Le génie génétique n'en est toutefois pas le seul responsable. Il convient donc de définir les régulations spécifiques en matière d'introduction de PGM dans l'agriculture helvétique de façon à ce que cette technologie puisse contribuer à une agriculture durable sans causer d'effets secondaires défavorables.
2. Aucun risque spécifiquement lié au génie génétique n'a été constaté au niveau de PGM autorisées à la culture commerciale. Les répercussions agricoles de ces plantes sont semblables à celles de cultures non génétiquement modifiées. Dans le cadre de l'évaluation de la compatibilité écologique de PGM, il convient donc d'effectuer une comparaison avec les variétés et les pratiques agricoles conventionnelles, tout en tenant compte des fluctuations qui leur sont propres.

NOTES

- 1 Depuis l'an 2000, la Société internationale de recherche en biosécurité met à disposition, elle aussi, une vue d'ensemble de tels résultats dans une revue spécialisée. Grâce à des conférences tenues régulièrement, elle encourage également l'échange public entre les instituts de recherche scientifique, l'industrie et les autorités. <http://www.isbr.info>
- 2 Méthode permettant l'introduction, sous haute pression, de fragments d'ADN liés à de petites billes d'or ou de platine dans des cellules au moyen d'un « canon à gènes ».
- 3 IAASTD 2010 – résumé du rapport du Conseil mondial de l'agriculture au sujet de la biotechnologie, y inclus le génie génétique : « Une solution au problème de la recherche et du développement en biotechnologie consisterait à investir dans des priorités locales définies suivant une démarche participative et transparente, et de privilégier les solutions multifonctionnelles aux problèmes locaux. Semblable démarche requerrait de nouveaux types de soutien pour encourager le public à s'associer à l'évaluation des effets de la biotechnologie moderne sur les plans technique, social, politique, culturel, juridique, sexospécifique, environnemental et économique. Les biotechnologies devraient servir à sauvegarder les compétences et le matériel génétique existant à l'échelon local, de sorte qu'à ce niveau, les collectivités locales puissent poursuivre leurs recherches. Ces travaux de recherche et de développement mettraient l'accent sur les projets participatifs de sélection végétale et sur l'agro-écologie. »

LITTÉRATURE

- [1] Haber, W. (2009) Die unbequemen Wahrheiten der Ökologie – Eine Nachhaltigkeitsperspektive für das 21. Jahrhundert. Rat für Nachhaltige Entwicklung (Hrsg.) Carl-von-Carlowitz-Reihe Band 1. Munich: Editions Oekom, 1-69.
- [2] Commission européenne (2010) A decade of EU-funded GMO research (2001-2010). Luxembourg, Office des publications de l'Union européenne, 2010.
- [3] EC-sponsored research on the Safety of Genetically Modified Organisms (1985-2000), Site Internet concernant les travaux de recherche sur la sécurité des organismes génétiquement modifiés soutenus par l'UE: <http://ec.europa.eu>
- [4] Champion, G. (2011) Lessons learned from the farm scale evaluation of GMHT crops. J Verbrauch Lebensm 6, Supplement 1, 73-78.
- [5] MARM - Ministerio de Medioambiente, y Medio Rural y Marino (2010) Planes de Seguimiento Ambiental del Cultivo de Maiz Modificado Genéticamente en España Madrid, 2010. 72 ss.
- [6] Sweet, J. and Bartsch, D. (2012). Synthesis and Overview Studies to Evaluate Existing Research and Knowledge on Biological Issues on GM Plants of Relevance to Swiss Environments. vdf, Zurich 2012.
- [7] NRC (2010) Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States. National Academic Press, Washington D.C. 2010, 270 ss.
- [8] ICGEB (2012) Biosafety - The Biosafety Bibliographic Database. <http://bibliosafety.icgeb.org/>
- [9] Van den Brink, L., Bus, C. B., Franke, A. C., Groten, J. A. M., Lotz, L. A. P., Timmer, R. D., van de Wiel, C. C. M. (2010) Inventory of observed unexpected environmental effects of genetically modified crops. Appl Plant Res CGM 2010-08, PPO no. 3250165700.
- [10] ZKBS (2011) Stellungnahme der Zentralen Kommission für die biologische Sicherheit zu neueren wissenschaftlichen Veröffentlichungen zur Risikoabschätzung der Maislinie MON810. Document en ligne: <http://www.bvl.bund.de>

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

1.2 Objectifs de protection et évaluation des risques

Une grande partie de la population est sceptique envers l'utilisation d'organismes (OGM) et de plantes (PGM) génétiquement modifiés dans l'alimentation, quand elle n'y est pas totalement opposée. Ce refus du génie génétique est généralisé, sauf dans le domaine médical, et est à l'ordre du jour dans une grande partie de l'Europe et, en particulier, en Suisse. Les attentes de la société vis-à-vis des autorités responsables sont par conséquent élevées en ce qui concerne la prévention de dangers liés à l'autorisation de produits génétiquement modifiés, cela plus fortement dans le domaine de l'alimentation qu'ailleurs.

JOACHIM FREY

PRESCRIPTIONS LÉGALES

En Suisse, l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés est régie par la loi sur le génie génétique (LGG)^[1] et l'ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (ODE).^[2] Le but de ces normes est de protéger l'être humain, les animaux et l'environnement, de sauvegarder leur santé et leur sécurité, de protéger durablement la biodiversité et la fertilité des sols, de garantir la dignité des créatures et de permettre le libre choix des consommateurs.

Afin d'assurer la mise en œuvre des objectifs définis dans la LGG, les OGM et spécialement les PGM doivent être soumis à une évaluation des risques avant l'autorisation d'utilisation, plus particulièrement avant la dissémination. Les données, méthodes d'analyse, estimations et suppositions utilisées au cours de cette évaluation se baseront sur des résultats scientifiques. Les prescriptions légales (LGG et ODE) décrivent les objectifs de protection. En revanche, les méthodes d'évaluation des risques ne sont pas explicitement énoncées. Elles doivent donc être présentées de manière transparente et tenir compte de tous les objectifs de protection. L'évaluation des risques sera compréhensible et facile à saisir, et reposera sur une terminologie d'évaluation harmonisée et des standards reconnus, de préférence internationalement. Lors de l'évaluation des risques, les autorités responsables sont tenues de fournir une description détaillée des données utilisées

Commission d'experts pour la sécurité biologique

En Suisse, la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB), un organisme administratif permanent de la Confédération, est chargée de conseiller le gouvernement, les offices fédéraux ainsi que les autorités cantonales en matière de sécurité biologique. Elle remet des prises de position concernant des demandes d'autorisation pour des activités impliquant des organismes en systèmes fermés et ouverts (dissémination), publie des recommandations concernant la manipulation d'organismes génétiquement modifiés ou pathogènes et participe à l'élaboration de lois, d'ordonnances, de directives et de recommandations.^[3] Les évaluations de risques réalisées par la CFSB s'appuient avant tout sur la documentation mise à disposition par les requérants ainsi que sur des études effectuées par des institutions indépendantes et qui ont été publiées dans des revues fiables. Outre les lois et ordonnances suisses, certains règlements européens tels que la directive concernant les risques environnementaux de PGM^[4] et les recherches menées à bien dans les hautes écoles suisses sont considérés comme utiles.

ainsi que des conditions expérimentales et/ou ambiantes de celles-ci. Dans le cas de conclusions qui se basent sur des évaluations quantitatives, chaque élément de l'argumentation ou du calcul, et chaque modèle mathématique seront cités et justifiés. Les incertitudes survenues au cours des différentes phases de l'évaluation des risques et dont il a été tenu compte seront décrites pour chaque résultat scientifique. Leur signification pour le résultat de l'évaluation, qui dépend des objectifs de protection, sera exposée.

OBJECTIFS DE PROTECTION

Les objectifs primaires de protection sont les consommateurs finals, donc l'être humain ou les animaux de rente, qui sont en contact direct ou indirect avec des plantes utiles génétiquement modifiées. Dans les dispositions générales de la LGG, les objectifs de protection élargis, qui prennent en compte l'environnement, sont également clairement décrits: lors de la dissémination de PGM, la santé et la sécurité de l'être humain, des animaux et de l'environnement doivent être protégées, et la diversité biologique et la fertilité du sol conservées durablement (LGG, art. 1). Lors de la dissémination de PGM, contrairement à la simple consommation, il est impératif d'évaluer non seulement le risque pour les consommateurs finals, mais d'inclure également dans l'évaluation les acteurs directs et indirects tels que les animaux, les plantes, les micro-organismes et la nature inanimée, en particulier la fertilité des sols.

ÉVALUATION DES RISQUES

Dans le cadre du PNR 59, deux projets de recherche concernant des questions normatives de l'évaluation des risques ont été menés à bien: qu'est-ce qu'un dommage? comment l'apprécie-t-on par rapport avec l'objectif de protection? Le projet *Fondements des objectifs de protection dans le traitement des plantes génétiquement modifiées* examinait principalement l'évaluation de l'ampleur d'éventuels effets

nuisibles et incommodants des PGM et la possibilité de comparer différents effets quant à l'ampleur des dommages causés. De telles informations forment, entre autres, la base pour l'évaluation de l'adéquation de mesures en cas de dommage. Le projet *Evaluation des effets sur l'environnement des plantes génétiquement modifiées* a estimé les risques liés aux PGM comparés aux risques ressortant aux variétés et aux méthodes de culture conventionnelles.

Il apparaît qu'un dommage peut être défini soit par l'intermédiaire de valeurs seuils fixées soit au moyen d'une comparaison analytique. La comparaison analytique entre des plantes utiles génétiquement modifiées et leur contrepartie conventionnelle est couramment effectuée dans les nations occidentales industrialisées: elle permet, par exemple, de déterminer si le colza génétiquement modifié ne recèle pas plus de risques que le colza conventionnel. L'expérience internationale démontre que les valeurs seuils, dans le domaine de l'écologie en particulier, sont difficiles à appliquer et peu utiles au pronostic de risques. Souvent, on ne peut évaluer un risque qu'a posteriori en se servant de valeurs seuils précises. Dans ce contexte, il convient de noter qu'au niveau mondial les études appliquées réalisées jusqu'à présent ne révèlent pas de risques émanant spécifiquement de PGM.^{[5][6]} Les décisions prises par l'autorité tendant à l'admission de l'utilisation de PGM sont donc, le plus souvent, basées sur une évaluation comparative des risques.

ESTIMATION DES RISQUES

Selon les prescriptions légales, l'évaluation des risques engendrés par les PGM et les OGM en général doit être effectuée par étapes, en tenant compte des domaines suivants:

1. Consommateurs primaires des aliments et fourrages concernés (êtres humains et animaux)
2. Organismes cibles (en cas de modifications à but de protection des plantes)
3. Organismes non cibles
4. Propagation de PGM au-delà de la zone de culture
5. Techniques de culture et de récolte
6. Flux éventuel de gènes vers des organismes tiers

Lors de l'évaluation des risques, il est nécessaire, en premier lieu, de différencier entre une autorisation en tant qu'aliment ou fourrage et la dissémination.

Autorisation

La protection de la santé des êtres humains et des animaux se trouve au premier plan lors de l'autorisation de produits génétiquement modifiés. Dans cette situation, l'évaluation des risques concerne le consommateur primaire et se concentre sur la sécurité des aliments. Des aliments produits à partir de PGM doivent en principe avoir, à l'état de produit final, la même composition que le produit analogue non génétiquement modifié, mise à part la propriété qui a été

introduite par modification génétique. On parle d'équivalence en substance.

La propriété introduite ne doit pas compromettre la santé des êtres humains ou des animaux, et ne saurait engendrer de dommages à long terme. Les modifications apportées visent soit à améliorer la valeur nutritive ou la valeur de facteurs déterminants pour la santé des aliments concernés, soit à protéger les plantes ou à améliorer leur croissance.

- Un exemple d'amélioration de la valeur nutritive ou de la valeur de facteurs déterminants pour la santé est le «Golden Rice», qui contient significativement plus de provitamine A et de fer lié.^[7] Dans ce cas, l'évaluation des risques se fait avant tout dans le domaine des sciences de l'alimentation.
- Lorsque la modification génétique a pour but la protection des plantes ou une amélioration de la croissance de celles-ci, ce sont les études sur la tolérance des propriétés introduites, en tenant compte de la concentration dans le produit final, qui se trouvent au centre de l'intérêt. Le maïs Bt en est un exemple: il contient la δ -toxine (toxine Bt) de la bactérie *Bacillus thuringiensis*, lui conférant une protection contre la pyrale du maïs.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'analyser la stabilité de la construction génétique, afin de pouvoir exclure l'induction de nouvelles propriétés telles que l'apparition de nouveaux allergènes ou de

métabolites qui nuisent à la santé. Ces propriétés peuvent être imputables à la modification génétique ou apparaître au cours du processus de croisement. Ce dernier est également soumis à l'obligation de vigilance en place dans le cas de croisements et de sélections classiques de plantes utiles par croisement ou par mutagenèse radioactive ou chimique. Il faut noter ici qu'un grand nombre de plantes utiles qui sont aujourd'hui considérées «naturelles» ont été produites par mutagenèse radioactive ou chimique. Ces méthodes ont provoqué des modifications génétiques le plus souvent inconnues et bien plus importantes que les méthodes de génie génétique en général et que les méthodes récentes^[8] (cf. chapitre 4.3) en particulier. La stabilité ou la variabilité génétique doivent aussi être considérées sous un autre angle: un grand nombre de plantes qui sont aujourd'hui cultivées à but alimentaire ont été créées à partir de variétés qui étaient à l'origine malsaines ou dangereuses pour l'homme. Du point de vue de la sécurité biologique et de la sécurité des aliments en particulier, il est en premier lieu nécessaire d'assurer que de nouvelles variétés de plantes présentent la stabilité génétique qui garantit que la plante utile ne peut en aucun cas se retransformer sans qu'on s'en aperçoive en une variété impropre à la consommation, dans l'hypothèse d'une variété améliorée à

Des analyses sont nécessaires afin de pouvoir exclure que de nouvelles propriétés aient été induites par la modification génétique ou au cours du processus de croisement.

partir d'une plante sauvage non comestible, par exemple. Pour l'estimation et l'évaluation des risques, il est préférable de choisir des méthodes de génie génétique plutôt que les méthodes chimiques et radioactives classiques, puisque les propriétés génétiques introduites par génie génétique et leur stabilité au cours de modifications liées à la technique sont bien mieux étudiées qu'elles ne le sont pour les méthodes classiques. La question pertinente en matière de sécurité n'est donc pas «Cette plante est-elle ou non génétiquement modifiée?» mais plutôt «Les caractéristiques génétiques de cette plante sont-elles suffisamment sûres et stables pour la fonction qui leur est destinée?». L'indication exigée pour les produits OGM lors de l'autorisation pour l'UE et la Suisse n'est donc pas pertinente du point de vue de la sécurité biologique. Elle est obligatoire en vertu du devoir de renseigner sur l'origine ancré dans la loi, mais n'est pas le fruit de réflexions concernant la sécurité. Elle sert plutôt d'information pour les consommateurs et est utilisée à des fins de marketing.

Dissémination

Dans le cas de l'évaluation des risques liés à la dissémination de PGM, les critères relatifs à l'environnement se trouvent au premier plan. Ici, les évaluations varient de cas en cas et dépendent de l'environnement correspondant, puisqu'il s'agit d'évaluer les

interactions directes des PGM avec l'environnement vivant et inerte ainsi que le flux de gènes en relation avec les organismes vivants se trouvant à proximité. Il convient de tenir compte des domaines suivants:

1. **Organismes cibles**
2. **Organismes non cibles**
3. **Potentiel d'invasion** de PGM dû à des avantages liés à la propagation en dehors de la zone de culture
4. Eventuelles **nuisances directes et indirectes** à la culture et au rendement d'autres plantes
5. Influence d'un éventuel **flux de gènes** sur des organismes tiers

Pour chacun de ces points, il est nécessaire de recueillir des données concernant la caractérisation moléculaire et génétique de la variété de PGM, les composants, les caractéristiques phénotypiques des PGM cultivées en plein champ, les conditions de culture et les interactions des PGM avec l'environnement (par exemple, avec des organismes cibles ou non cibles). Ces informations serviront à procéder à une évaluation complète et à jauger l'ampleur possible des dommages et leur probabilité d'occurrence, ce qui n'est normalement possible qu'en incluant des plantes de comparaison ou des techniques comparatives dans le processus.

Il convient de discuter ici l'évaluation du potentiel de dommages pour les différents domaines énumérés plus haut:

1. Pour les **organismes cibles**, il est important de mentionner la formation de résistances aux PGM chez les ravageurs.

En raison de la haute capacité d'adaptation d'organismes – dans ce cas des ravageurs – à leur environnement, il faut également s'attendre au développement de ravageurs résistants en présence de PGM. La probabilité d'occurrence peut être déterminée en laboratoire, mais doit être confirmée en plein champ. Elle dépend de la nature de la propriété introduite par génie génétique, telle que la toxine Bt dans le maïs ou la résistance au mildiou avec le blé, ainsi que de la surface et de la densité de culture des PGM. Pour l'estimation des risques, il est nécessaire de comparer l'ampleur potentielle des dommages avec des mesures de protection conventionnelles. Ainsi, la pyrale du maïs, devenue résistante en raison d'une culture importante de maïs Bt, devrait être considérée comme un dommage négligeable lorsque cette situation est comparée à des mesures de protection chimiques, puisque la protection chimique et la protection biologique (Bt) agissent indépendamment l'une de l'autre. En revanche, des ravageurs résistants à la toxine Bt sont problématiques lors du recours à des mesures de lutte biologique se servant de *Bacillus thuringiensis*, car celles-ci fonctionnent selon le même principe de défense impliquant la toxine Bt. Afin d'estimer l'importance des dommages engendrés par la formation d'une résistance à la toxine Bt chez la pyrale du maïs, il faut déterminer si, à effet de protection égal, la formation de résistances chez les PGM, en comparaison avec les méthodes conventionnelles, est plus fréquente ou plus rare.

2. Dans le cas des **organismes non cibles**, la probabilité d'occurrence et l'ampleur des dommages doivent être évalués dans des conditions réelles, c'est-à-dire sur le terrain. Cela nécessite des connaissances de base concernant les effets des propriétés toxiques qui ont été introduites dans les PGM sur les organismes non cibles tels que les papillons ou d'autres organismes utiles.

Certains organismes non cibles présentent des similitudes avec des ravageurs et sont, de ce fait, sensibles à la toxine contenue dans les PGM et destinée à les protéger. Il est toutefois nécessaire d'inclure les habitudes alimentaires des organismes non cibles dans l'évaluation, comme cela a été décrit pour la coccinelle à deux

points (cf. chapitre 1.1, encadré: La coccinelle à deux points). Dans le cadre de l'évaluation des risques, il est également important de tenir compte de l'utilité potentielle de PGM résistantes à des ravageurs. Il est, par exemple, possible de réduire l'usage d'insecticides grâce aux PGM, ce qui profite aux organismes non cibles. Dans l'ensemble, une comparaison entre les PGM et les méthodes de culture conventionnelles s'impose ici aussi.

3./4. Le **potentiel d'invasion** des PGM en dehors de la zone de culture – et, dans ce contexte, les éventuelles atteintes directes ou indirectes à la culture et au

rendement d'autres plantes – sont d'autres aspects importants et pertinents pour l'environnement qui doivent être inclus dans l'évaluation des risques. Les PGM, autant que les plantes utiles obtenues par des méthodes de sélection classiques, sont en premier lieu génétiquement modifiées de manière à ce qu'elles se développent le mieux possible sous les conditions de culture données et qu'elles présentent un avantage de croissance par rapport à d'autres plantes et, surtout, vis-à-vis des plantes adventices. Pour cette raison, elles

sont aussi capables de s'imposer dans d'autres champs ou en dehors de la zone de culture, tel qu'il en a été discuté dans le cas du colza (cf. encadré). Il convient de souligner que ce risque

potentiel n'est pas une caractéristique limitée aux plantes génétiquement modifiées (cf. illustration 1.3).

5. Les répercussions de l'éventuel **flux de gènes** vers des organismes tiers sont des risques difficiles à évaluer. Les organismes biologiques changent continuellement par mutation ou par échange de fragments de gènes avec d'autres organismes, afin de s'adapter à leur environnement. C'est dès lors un fait avéré que les PGM transmettent à des organismes tiers leur matériel génétique, y compris les propriétés introduites par génie génétique. La probabilité d'occurrence du croisement dépend de la nature des gènes, de la

Pour l'estimation des risques, il est nécessaire de comparer l'ampleur potentielle des dommages avec des mesures de protection conventionnelles.

Evaluation comparative des risques: colza 0/0 et colza génétiquement modifié

Les anciennes variétés de colza contiennent de grandes quantités d'acide érucique (acide 13-dococénoïque) qui est problématique d'un point de vue alimentaire puisqu'il provoque de graves maladies cardiaques. Pour cette raison, il n'était autrefois pas possible d'utiliser le colza dans la production d'huile comestible.

Ce n'est que la sélection de variétés de colza exemptes d'acide érucique, tel le colza 0/0, qui a permis de faire du colza un aliment à haute valeur nutritive. Bien que le colza 0/0 soit souvent confondu avec du colza génétiquement modifié dans le débat public, il s'agit d'une variété obtenue par sélection classique.

Le colza génétiquement modifié autorisé dans certains pays est généralement une variété 0/0 tolérante à un herbicide. Ces variétés sont celles cultivées sur pratiquement toute la surface de culture du colza en Amérique du Nord. Il en résulte que le colza conventionnel peut être contaminé par du colza génétiquement modifié.

Selon l'article 6a de l'ordonnance sur les denrées alimentaires génétiquement modifiées (ODAIGM) sont tolérées des traces d'organismes génétiquement modifiés jusqu'à des quantités ne dépassant pas 0,5%. Ainsi, la déclaration en matière de PGM dans les aliments est régie par une valeur maximale. Mais cette valeur seuil ne fait pas référence à un facteur de dommage, puisque le colza génétiquement modifié est tout aussi sûr pour le consommateur que le colza 0/0 conventionnel. Du point de vue de la santé publique, la pureté variétale en ce qui concerne l'absence de substances nuisibles, tel l'acide érucique présent dans d'anciennes variétés, est beaucoup plus importante.

Lors de la dissémination, il doit être tenu compte d'autres aspects: tout comme le colza conventionnel, le colza génétiquement modifié peut causer une repousse (une croissance incontrôlée de colza dans ou en dehors d'un champ). De plus, il est susceptible de transmettre sa tolérance à un herbicide à d'autres plantes. Cela risque de provoquer des dégâts lorsque des herbicides sont employés dans la culture. Dans des régions où du colza génétiquement modifié et du colza conventionnel sont cultivés en parallèle, cette cohabitation débouche sur les problèmes susmentionnés. Le degré du dommage proprement dit doit toutefois être évalué dans son ensemble, en tenant compte des méthodes de culture, et peut être réduit à un degré tolérable et comparable à celui de variétés conventionnelles grâce à une gestion adéquate du risque. La problématique de la repousse étant connue depuis l'introduction du colza 0/0 conventionnel, ce dernier est de nature à servir de modèle pour l'évaluation des risques de colza génétiquement modifié.

pression de sélection en place localement et du degré de parenté entre les plantes impliquées. Il est beaucoup plus difficile de définir si la migration d'un gène d'une PGM à une plante réceptrice naturelle ou obtenue par sélection classique est susceptible d'engendrer un dégât et d'en déterminer l'ampleur que d'évaluer la probabilité d'un tel transfert de gènes à des organismes tiers.

GESTION DU RISQUE

Les estimations de risques ne sont utiles qu'en rapport avec des concepts de gestion du risque. Cette dernière implique la planification et l'introduction de mesures permettant de minimiser les risques connus et de détecter ceux encore inconnus le plus vite possible grâce à un monitoring. Les questions suivantes doivent être posées:

- Quelle est l'approche adoptée face aux risques que présente la culture de plantes, et quelles méthodes ont été employées jusqu'ici dans la gestion de tels risques?
- Comment sont évalués et traités les risques potentiels nouveaux ou modifiés émanant de la culture de PGM comparativement avec la culture classique?
- Quels risques liés à de nouvelles technologies sont-ils admissibles en comparaison avec leur utilité?

- Quelles nouvelles possibilités le génie génétique lui-même offre-t-il pour le traitement ou la réduction de tels risques?

Alors que des travaux de recherche étendus ont été effectués ces vingt-cinq dernières années concernant la sécurité environnementale de plantes génétiquement modifiées, les études de plantes cultivées classiques se sont limitées à la sécurité des aliments ou à l'optimisation des rendements. Par conséquent, c'est n'est souvent qu'a posteriori qu'il a pu être déterminé si une nouvelle variété est à l'origine de changements ou des dégâts à l'environnement.

Pour cette raison, dans le cadre d'une gestion détaillée des risques, il est important de comparer d'abord les dégâts indirects provoqués par la dissémination de nouvelles variétés ou lignées avec les répercussions qu'ont les variétés classiques correspondantes.

Comme les études de risques de plantes cultivées classiques se sont le plus souvent concentrées sur la sécurité des aliments, il n'a pu être déterminé que par après si une nouvelle variété cause des dégâts à l'environnement.

Un exemple en est la problématique du feu bactérien, une maladie bactérienne des pommiers qui cause des dégâts importants dans le nord-est de la Suisse. A l'heure actuelle, cette maladie végétale est combattue au moyen de l'antibiotique streptomycine, pratique qui est à son tour liée à des risques, vu la problématique grave des résistances aux antibiotiques qui sont transmissibles à des pathogènes des humains ou des animaux.

Dans le cadre du projet *Des pommes génétiquement modifiées*, en rapport avec la dissémination de variétés cisgènes de pommes (cf. chapitre 1.3), il a été examiné si les variétés cisgènes résistantes à la tavelure sont particulièrement sensibles au feu bactérien. Les chercheurs voulaient exclure que la nouvelle lignée serve à la multiplication du pathogène du feu bactérien, ce qui est actuellement le cas pour plusieurs variétés conventionnelles de pommes. Les auteurs du projet du PNR 59 ont donc aussi testé les lignées résistantes à la tavelure quant à leur sensibilité à *Erwinia amylovora*. Le résultat montre que la modification génétique induisant la résistance à la tavelure n'exerce pas d'influence sur la sensibilité au feu bactérien.^[9] Dans des régions atteintes par le feu bactérien, une telle lignée se comporterait donc de manière neutre dans la gestion des risques.

Lors d'une étape suivante, le projet a également démontré comment la technologie de cisgenèse peut être directement utilisée dans la lutte contre le feu bactérien.

Illustration 1.3: Risque de propagation dans les terres cultivées



La propagation incontrôlée n'est pas spécifique aux plantes génétiquement modifiées, mais dépend plutôt du mécanisme de propagation de chaque espèce. Le colza conventionnel sert donc de modèle de risques pour la propagation de colza génétiquement modifié. Source: cf. liste des illustrations

Les chercheurs en concluent qu'en raison du risque médical lié à l'utilisation d'antibiotiques dans l'agriculture, il est préférable d'avoir recours à des lignées cisgéniques éprouvées et rendues résistantes au feu bactérien par des méthodes de génie génétique que d'employer la streptomycine dans la lutte contre la maladie.

Conclusions et recommandations

1. Selon l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de risques inhérents au génie génétique. Il importe donc d'évaluer les risques liés à la dissémination de plantes génétiquement modifiées (PGM) au cas par cas et de tenir compte des propriétés individuelles de chaque plante et de l'environnement dans lequel elle pousse.
2. L'évaluation du potentiel de dégât de PGM pour les organismes non cibles exige que la probabilité d'un tel événement ainsi que les proportions prévisibles du dommage dans des conditions réelles soient déterminées.
3. Toute forme d'exploitation agricole a des répercussions sur l'environnement, qu'il s'agisse de formes de culture conventionnelles, biologiques ou se servant de plantes génétiquement modifiées. Lors de l'évaluation de l'utilité et des risques de plantes génétiquement modifiées pour l'agriculture suisse, il convient donc de comparer les différentes formes de culture en tant que système global. Dans ce contexte, il est important de définir préalablement les valeurs de référence (baseline) sur lesquelles se baseront l'évaluation.

LITTÉRATURE

- [1] Administration fédérale suisse (2003) Loi fédérale du 21 mars 2003 sur l'application du génie génétique au domaine non humain (Loi sur le génie génétique, LGG), SR 814.91.
- [2] Administration fédérale suisse (2008) Ordonnance du 10 septembre 2008 sur l'utilisation d'organismes dans l'environnement (Ordonnance sur la dissémination dans l'environnement, ODE), SR 814.911.
- [3] Administration fédérale suisse (1996) Ordonnance du 20 novembre 1996 sur la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique, 172.327.8
- [4] European Food Safety Authority (2010) Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants, EFSA Journal
- [5] European Commission (2010) A decade of EU-funded GMO research. (2001-2010) Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2010.
- [6] Sanvido, I., Romeis, J., Bigler, F. (2007) Ecological impacts of genetically modified crops: ten years of field research and commercial cultivation. *Adv Biochem Eng Biot* 107, 235-278.
- [7] Potrykus, I. (2001) Golden rice and beyond. *Plant Physiol* 125, 1157-1161.
- [8] Vainstein, A., Marton, I., Zucker, A., Danziger, M, Tzfira, T. (2011) Permanent genome modifications in plant cells by transient viral vectors. *Trends Biotechnol* 29, 363-369.
- [9] Vanblaere, T., Szankowski, I., Schaart, J., Schouten, H., Flachowsky, H., Broggini G. A. L., Gessler, C. (2011) The development of a cisgenic apple plant. *J Biotechnol* 154, 304-311.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

1.3 Propriétés de plantes génétiquement modifiées

En plein champ, les plantes agricoles – génétiquement modifiées ou non – doivent prouver leur capacité à se développer dans la diversité des conditions propre à l’environnement. Il importe donc de déterminer, grâce à des essais sur le terrain, l’efficacité avec laquelle les propriétés désirées se manifestent, d’observer l’apparition éventuelle d’effets secondaires et d’étudier comment les plantes réagissent à leur environnement. En fin de compte, il s’agit de prévenir des croisements involontaires ou, à tout le moins, de les minimiser puisque de tels croisements modifient le comportement écologique de plantes sauvages ou entravent la coexistence avec des cultures non transgéniques.

DANIEL SCHÜMPERLI

RÉSISTANCES AUX CHAMPIGNONS DANS LA LIGNE DE MIRE DE LA SCIENCE ET DE L'AGRICULTURE

A l'échelle mondiale, la résistance aux herbicides et aux insectes sont les caractéristiques les plus connues des plantes génétiquement modifiées (PGM) commercialisées. Cependant, la résistance aux virus est une propriété déjà développée aussi.^[1] La recherche et le développement dans le domaine des résistances aux champignons, en revanche, sont moins avancés, bien que, globalement, les champignons causent des pertes de rendement énormes. Une prévention complète de ces pertes – ce qui est certainement une illusion – permettrait d'améliorer considérablement la situation alimentaire, voire, selon certains experts, de couvrir complètement les besoins alimentaires mondiaux.^[2] De plus, la reconversion de sols naturels en faveur de l'agriculture pourrait être réduite, tout comme l'utilisation de produits chimiques qui nuisent à l'environnement.

Les plantes perçoivent la présence de champignons ou de bactéries par le biais de molécules qui remplissent une fonction importante dans ces mêmes micro-

organismes. Semblable faculté conduit à une certaine résistance, laquelle ne suffit toutefois pas à prévenir des dégâts dans l'agriculture. Mais un grand nombre de plantes sauvages ont développé, par sélection naturelle, des gènes de résistance à des micro-organismes pathogènes. De tels gènes de résistance se retrouvent en partie dans les plantes utiles conventionnelles. Et il est possible de les introduire dans des variétés non résistantes par croisement. Cependant, par le biais de ce processus, maintes autres propriétés, parfois indésirables, sont insérées dans la plante.

De multiples rétrocroisements s'imposent donc avant d'obtenir à nouveau des variétés utiles à l'agriculture – et celles-ci doivent ensuite se faire une place sur le marché. Même si cette démarche est couronnée de succès, l'amélioration de la résistance de variétés par des techniques génétiques est un travail sans fin puisque les pathogènes s'adaptent souvent aux résistances existantes et sont capables de les contourner.

Un exemple en est la propagation, observée depuis 1999, d'une nouvelle espèce de champignon agressif responsable de la rouille noire du blé (*Puccinia graminis*).

Il est possible d'introduire par croisement des résistances dans des plantes de culture non résistantes. Cependant, par la même occasion, des propriétés indésirables sont introduites dans la plante.

Grâce au génie génétique, on peut introduire de manière ciblée une résistance dans une variété existante, sans que ses autres propriétés se perdent.

Essais en plein champ avec du blé transgénique: introduction de gènes de résistance aux champignons

Dans les essais, 14 lignées de blé génétiquement modifiées ont été testées (cf. tableau 1.1). Douze des lignées transgéniques, mises à disposition par l'Institut de biologie végétale de l'Université de Zurich, étaient de la variété «Bobwhite», dans laquelle avait été introduite une de six variantes (allèles) différentes d'un gène de résistance (*Pm3a-d*, ainsi que *f* et *g*). Ces allèles se distinguent par leur efficacité contre diverses souches de l'agent pathogène de l'oïdium (*Blumeria graminis f. sp. tritici*). Les chercheurs avaient ajouté au gène Pm3 un promoteur permettant d'améliorer l'activité du gène par rapport aux variétés locales qui contiennent ce gène par nature, et ainsi d'augmenter la résistance de la plante. Pour chaque lignée, une isolignée a été incluse dans les essais en guise de contrôle. Ces isolignées ont perdu le gène de résistance par ségrégation génétique, mais ont subi les mêmes processus de culture de tissus que les lignées transgéniques correspondantes.

Une autre approche permettant l'amélioration de la résistance à l'oïdium a été adoptée avec deux lignées de l'Institut des sciences végétales de l'EPF Zurich. Ces lignées transgéniques ont été produites à l'aide de la variété de blé Frisal qui possède une résistance partielle satisfaisante due à l'effet de plusieurs gènes faibles. Ces PGM expriment une combinaison des gènes de la chitinase et de la glucanase de l'orge. Ces deux gènes codent pour des enzymes qui sont naturellement présentes dans les plantes et qui dégradent la paroi externe des champignons. Les gènes de l'orge fournissent au blé une protection contre un large spectre d'espèces de champignons.

Au vu de la capacité d'adaptation du pathogène, l'amélioration par sélection de la résistance à la maladie dépend d'approches et de méthodes innovatrices. Grâce à la modification génétique, il est possible d'introduire de manière ciblée une résistance dans une variété existante, sans que ses autres propriétés se perdent.

De plus, il est possible d'augmenter de la sorte l'activité des gènes de résistance, de l'optimiser et, éventuellement, de la limiter à certaines parties de la plante. L'approche optimale à choisir pour le développement d'une résistance peut dépendre de l'espèce ou de la variété concernée, du pathogène impliqué ainsi que de facteurs liés au marché.

Déjà avant le lancement du PNR 59, des groupes de recherche de l'Université de Zurich et de l'EPF Zurich avaient inséré des gènes de résistance à des champignons du blé et de l'orge dans plusieurs variétés de blé (cf. encadré). L'objectif de ces lignées de blé génétiquement modifié n'était pas de créer de nouvelles variétés pour l'utilisation agricole, mais plutôt de faciliter l'étude fondamentale des mécanismes de résistance aux champignons dans le cas du blé et de comprendre le développement de ces organismes au cours de l'évolution. Grâce au PNR 59, l'occasion unique s'est toutefois présentée d'examiner les propriétés de ces plantes en plein champ, donc dans des conditions naturelles, et de clarifier parallèlement des questions fondamentales concernant les risques et bénéfiques de plantes génétiquement

Tableau 1.1: Gènes de résistance utilisés dans les essais de blé et emploi des différentes lignées de blé

Source: cf. liste des tableaux

Transgène/allèle	Lignée GM	Isolignée	Fond génétique	Zurich-Reckenholz			Pully	
				2008	2009	2010	2009	2010
<i>Pm 3a</i>	Pm3a#1	Sa#1	Bobwhite SH 98 26	P	P			
	Pm3a#2	Sa#2	Bobwhite SH 98 26	P	P			
<i>Pm3b</i>	Pm3b#1	Sb#1	Bobwhite SH 98 26	P				
	Pm3b#2	Sb#2	Bobwhite SH 98 26	P	P			
	Pm3b#3	Sb#3	Bobwhite SH 98 26	P				
	Pm3b#4	Sb#4	Bobwhite SH 98 26	P				
<i>Pm 3c</i>	Pm3c#1	Sc#1	Bobwhite SH 98 26		P			
	Pm3c#2	Sc#2	Bobwhite SH 98 26		P			
<i>Pm 3d</i>	Pm3d#1	Se#1	Bobwhite SH 98 26	P	P			
<i>Pm 3f</i>	Pm3f#1	Sf#1	Bobwhite SH 98 26		P			
	Pm3f#2	Sf#2	Bobwhite SH 98 26		P			
<i>Pm 3g</i>	Pm3g#1	Sg#1	Bobwhite SH 98 26		P			
Chitinase, glucanase*	A9	Frisal	Frisal	P	P			
Chitinase, glucanase	A13	Frisal	Frisal	P	P			

*Le gène de la glucanase n'est pas actif dans la lignée A9

P: parcelles servant à la multiplication des semences
Champs vert foncé: parcelles expérimentales

modifiées. Afin de disposer des compétences et de la main-d'œuvre nécessaires pour ces travaux étendus, les scientifiques ont formé un consortium interdisciplinaire de chercheurs (Consortium blé). Ainsi que mentionné plus haut, les plantes transgéniques avaient été développées afin de répondre à des questions scientifiques fondamentales. Pour cette raison, un nombre restreint de lignées génétiquement modifiées était disponible. Elles doivent donc être considérées comme des plantes modèles pour des raisons de recherche et en

aucun cas tel du matériel de départ pour des activités de sélection de plantes. Il est impératif de tenir compte de ce fait lors de l'interprétation des résultats.

MISE À L'ÉPREUVE DE RÉISTANCES AUX CHAMPIGNONS EN PLEIN CHAMP

Dans les essais en plein champ à Zurich-Reckenholz (essais sur trois ans) et à Pully près de Lausanne (essais sur deux ans), toutes les lignées Pm3 testées étaient significativement plus résistantes

Illustration 1.4: Résistance à l'oïdium de plantes de blé transgéniques



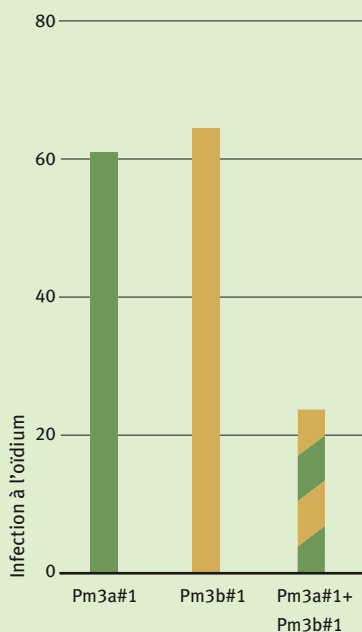
Les feuilles de différentes lignées de blé ont été infectées par l'oïdium au stade de plantules. Les taches claires sont les colonies d'oïdium. Les races non améliorées Chul et Chul/8*CC portent par nature le gène de résistance *Pm3b*. Les races améliorées Chancellor et Bobwhite ne sont pas résistantes. Les quatre lignées contenant le transgène *Pm3b* (*Pm3b#1* à *Pm3b#4*) sont en revanche résistantes, alors que leurs isolignées (*Sb#1* à *Sb#4*), ne contenant pas le transgène *Pm3b*, sont sensibles à l'oïdium.

Source: cf. liste des illustrations

à l'oïdium que leurs lignées soeurs non transgéniques (cf. illustration 1.4). Et cela était le cas autant pour les infections naturelles qu'artificielles. Pourtant, il existe de grandes différences entre les races d'oïdium quant à leur sensibilité envers les six allèles *Pm3* utilisés. Dès lors, l'ampleur de l'effet de protection dépendait de la composition de chaque population d'oïdium.^[3] Les lignées transgéniques portant les allèles de résistance *Pm3a* et *Pm3b*

étaient plus résistantes que les variétés de blé naturellement munies de ces gènes. Ce fait indique que l'expression amplifiée du transgène augmente la résistance. En revanche, les lignées transgéniques chitinase et chitinase-glucanase de la variété Frisal, qui est partiellement résistante, ne présentent que dans certaines conditions (en l'absence de plantes de blé leur faisant concurrence) une amélioration de la résistance à l'oïdium.

Illustration 1.5: Résistance de multilignées dans des essais en plein champ



En 2009, les deux lignées transgéniques Pm3a#1 et Pm3b#1 présentaient une infection similaire par l'oïdium. Lorsque les deux lignées résistantes poussaient en mélange, l'infection était nettement inférieure à l'infection observée dans les parcelles des lignées plantées séparément. D'autres mélanges, ainsi que la répétition des essais en 2010, ont produit des résultats similaires: les mélanges sont plus résistants que chaque lignée de blé cultivée séparément. Source: cf. liste des illustrations

Une observation d'intérêt particulier, et n'ayant jusqu'à présent pas été décrite, est le fait qu'un mélange de deux lignées portant des allèles différents est plus

résistant que ses composantes prises séparément (cf. illustration 1.5).^[4]

Ces lignées, dites multilignées, pourraient constituer une alternative prometteuse à la combinaison laborieuse de plusieurs gènes de résistance dans la même plante. Dans le langage technique, le terme anglais «stacking», ou parfois «pyramiding», est le plus souvent utilisé pour cette procédure.

Les deux approches (multilignées et stacking) sont susceptibles de couvrir un plus large spectre d'agents pathogènes et d'exploiter les gènes de résistance de manière efficace et durable. Les multilignées permettent toutefois de maintenir à un niveau plus bas l'activité totale des gènes de résistance dans chaque plante, ce qui peut contribuer à réduire ou à exclure les effets secondaires décrits dans le paragraphe suivant. Mais un tel résultat n'est probablement atteignable que s'agissant de plantes à haute densité superficielle, donc surtout dans le cas de toutes les espèces de céréales.

Certaines lignées transgéniques étaient plus résistantes que les variétés de blé qui portent naturellement ces gènes.

EFFETS SECONDAIRES, RENDEMENT ET COMPÉTITIVITÉ

La croissance, l'aspect et le rendement des lignées de blé résistantes aux champignons ainsi que leur compétitivité, comparativement à des plantes de blé et des plantes sauvages poussant aux alentours, ont été examinés dans différentes conditions environnementales. Dans un essai en plein

Illustration 1.6: Modifications des caractéristiques en serre et en plein champ

Différence relative entre les plantes transgéniques et les plantes de contrôle pour quatre lignées de blé (à l'échelle logarithmique). Tant en serre qu'en plein champ, la résistance à l'oïdium était plus élevée dans les lignées transgéniques que dans leurs lignées sœurs.

En serre, le rendement, le nombre de grains et la masse végétative des lignées génétiquement modifiées étaient plus grands que ce n'était le cas pour les isolignées. En revanche, en plein champ, ces paramètres étaient nettement inférieurs pour les lignées transgéniques.

La différence est pondérée en fonction du dosage des nutriments.

Source: cf. liste des illustrations

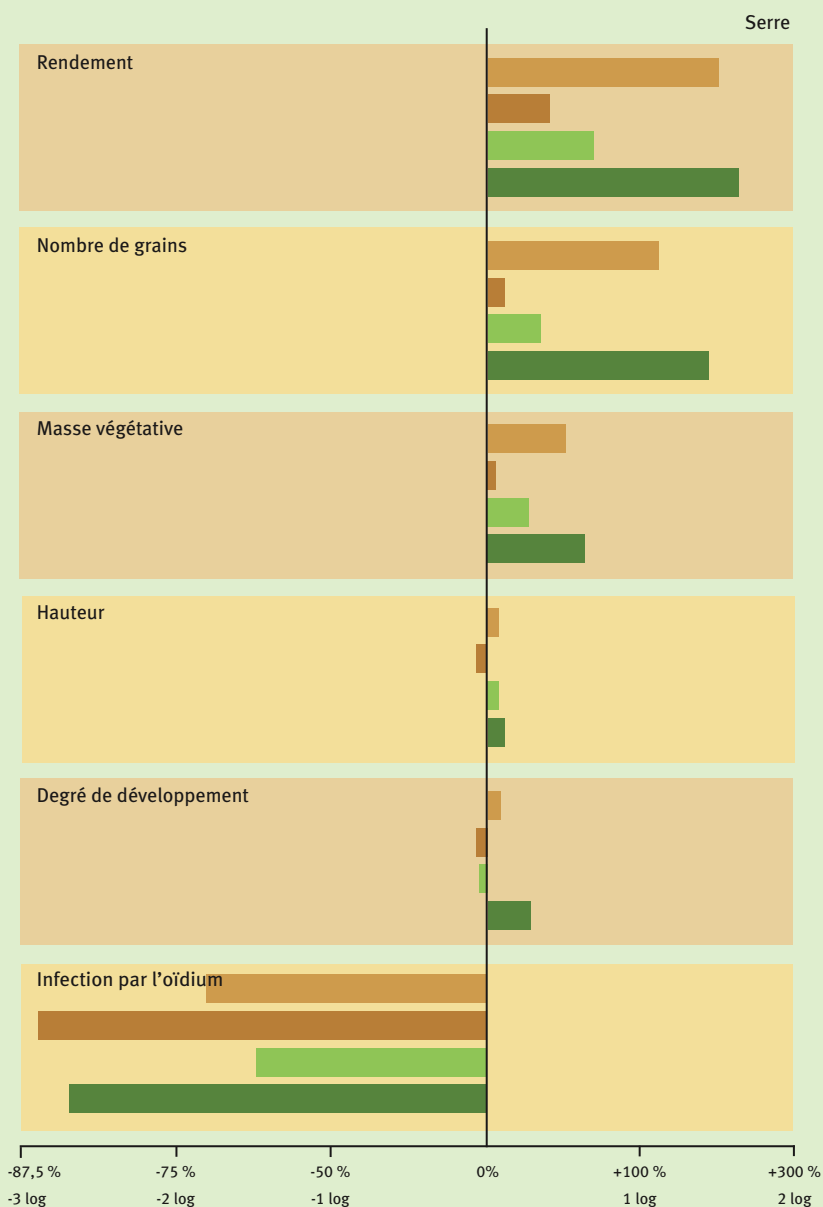
Brun clair: Pm3b#1 comparé à S3b#1

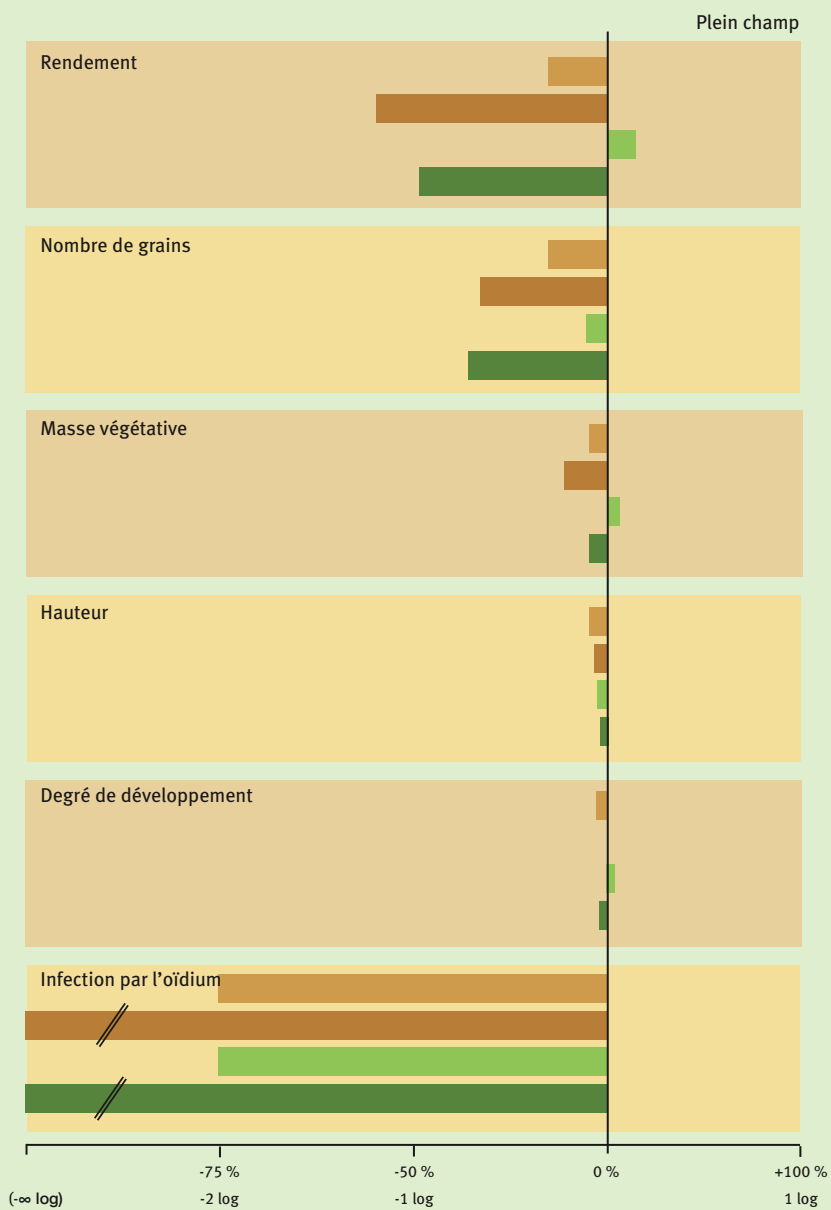
Brun: Pm3b#2 vs. S3b#2

Vert clair: Pm3b#3 vs. S3b#3

Vert: Pm3b#4 vs. S3b#4

L'axe X représente l'échelle logarithmique et les valeurs originales en pourcentage.





champ, cinq des douze lignées Pm3 présentait des modifications au niveau de plusieurs traits qui ne s'étaient pas manifestées dans des conditions contrôlées en serre ou en phytotron (cf. illustration 1.6).^[5]

Les effets observés à des degrés divers dans les différentes lignées allaient d'une hypersensibilité à des traitements aux herbicides, à une hauteur de croissance

diminuée et à un développement ralenti, en passant par une fertilité réduite (nombre réduit de grains et diminution de la taille des grains) et des feuilles jaunies. De plus, dans certaines lignées, les fleurs restaient épanouies plus longtemps qu'à l'ordinaire (cf. illustration 1.7). Cette situation augmente la susceptibilité à l'ergot, un pathogène fongique dont les spores infestent les fleurs ouvertes de céréales.

Les effets les plus marqués ont été observés dans les lignées

transgéniques présentant la plus forte activité du transgène. Vraisemblablement, la surexpression du transgène a surchargé le métabolisme de la plante.

Cela signifie que le promoteur ne devrait pas exprimer trop fortement le gène introduit, puisqu'il peut en résulter des

désavantages au niveau de la croissance et/ou du développement. En optimisant l'expression du transgène ou en la limitant à certains tissus de la plante, il est éventuellement possible de minimiser ces effets. Toutefois, la relation entre l'activité d'un gène de résistance et la physiologie et le développement de la plante n'a pas encore été étudiée de manière assez détaillée.

Dans ce contexte, les essais en champ ont fourni une base précieuse pour des examens plus approfondis.

Des effets secondaires dus à la surexpression d'un gène de résistance ont déjà été décrits à plusieurs reprises, notamment dans le blé.^{[6][7][8]}

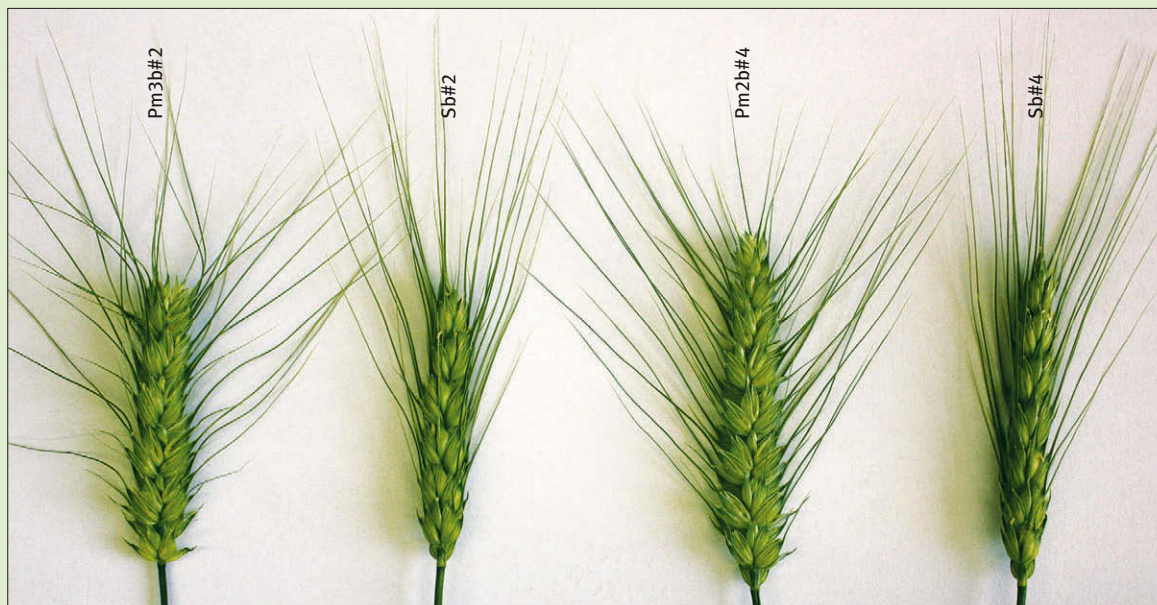
Pourtant, le fait que ces effets n'apparaissent qu'au cours des essais en champ, et non pas déjà en serre, semble n'avoir pas encore été observé. De manière générale, peu d'effets secondaires dans les programmes de

sélection conventionnelle et par génie génétique ont été documentés. Il est toutefois bien connu que les programmes de sélection par croisement produisent un grand nombre de lignées inutilisables qui présentent de nombreux effets secondaires indésirables d'un point de vue agronomique.

Les effets secondaires les plus marqués se sont manifestés dans les lignées transgéniques présentant la plus forte activité du transgène. Vraisemblablement, la surexpression du transgène a surchargé le métabolisme de la plante.

Les programmes de sélection par croisement produisent toujours des lignées inutilisables présentant un grand nombre d'effets secondaires indésirables d'un point de vue agricole.

Illustration 1.7: Formes particulières des épis de lignées transgéniques



Les lignées transgéniques de blé Pm3b#2 et Pm3b#4 gardaient leurs fleurs ouvertes plus longtemps que les lignées de contrôle Sb#2 et Sb#4. Cela les rendait plus sensibles à l'ergot du blé (*Claviceps purpurea*).

Source: cf. liste des illustrations

De telles lignées sont rapidement éliminées du programme de sélection et ne sont pas étudiées de plus près.

La situation est très semblable dans la sélection de plantes par l'intermédiaire du génie génétique: dans les projets commerciaux, de nombreuses lignées transgéniques sont produites. Celles qui présentent les traits recherchés en l'absence d'effets secondaires sont ensuite sélectionnées.^[9] On ne sait que peu de choses sur ces lignées «échouées», car elles ne sont pas analysées en détail et n'appa-

raissent par conséquent que rarement dans les publications.

Il faut donc s'attendre à des effets secondaires. Pour ce qui est des lignées de blé résistantes aux champignons examinées dans le cadre du PNR 59, ils ont été détectés dans moins de la moitié des lignées observées, mais ne sont, la plupart du temps, devenus apparents qu'au cours des essais en plein champ. Ces résultats démontrent que les essais en plein champ sont très importants, non seulement en vue de la sécurité biologique, mais aussi

Technique des phytomètres

Un essai sur le terrain a été effectué avec des plantes de blé transgéniques et conventionnelles élevées en serre, qui servent ainsi de «sondes biologiques». Ces plantes, élevées dans des conditions optimales et contrôlées, étaient ce que l'on pourrait appeler «naïves» face aux données environnementales telles qu'on les rencontre en plein champ. Elles ont été plantées dans des parcelles qui se distinguaient, entre autres, par la variété de blé choisie, la fertilisation ou le degré d'infection par le pathogène. L'influence de ces facteurs environnementaux devait se refléter dans la croissance, la biomasse et la reproduction de ces plantes phytomètres. Le rôle de la concurrence entre les plantes a également été étudié. Cette méthode de mesure, connue de l'écologie et qui fournit des résultats très détaillés et révélateurs, pourrait aussi être d'une grande valeur concernant d'autres questions qui se posent dans le contexte des PGM.^[10]

en ce qui concerne les aspects d'amélioration des plantes.

Le rendement agronomique, particulièrement bien étudié dans les quatre lignées Pm3b et leurs isolignées, dépend fortement

de l'environnement. En serre – dans des conditions favorables, mais en présence d'une importante infection d'oïdium – la résistance à l'oïdium a débouché sur un meilleur rendement en grains. Un apport important d'engrais a permis de doubler à peu près la récolte. Dans les essais en plein champ, le rendement a été déterminé de deux manières différentes. D'une part, le

Ces résultats démontrent que les essais en plein champ sont très importants non seulement du point de vue de la sécurité biologique mais aussi pour des questions d'amélioration des plantes.

rendement en grains de plantes isolées a été mesuré. Dans de telles expériences, la récolte de quelques-unes des lignées Pm3b était environ moitié moins grande et l'apport d'engrais renforçait même cette différence. Cela indique que ces plantes Pm3b uniques étaient stressées dans des conditions de plein champ (ce qui se manifeste également dans les effets secondaires déjà mentionnés) et ne pouvaient donc pas profiter de l'apport d'engrais, alors que les isolignées non transgéniques en ont bénéficié. Les facteurs de stress susceptibles d'entrer en ligne de compte sont une concurrence augmentée avec les plantes avoisinantes ainsi que les conditions climatiques.

D'autre part, au cours d'une deuxième expérience, le rendement a été mesuré à l'aide d'un procédé standard de l'examen variétal agronomique sur de grandes parcelles. Il s'est révélé qu'une des lignées Pm3b (Pm3b#2) a subi une baisse du rendement de 12,2 pour cent (à Pully) et de 34 pour cent (à Reckenholz), alors qu'aucune perte substantielle de rendement n'a été observée dans les autres lignées (cf. illustration 1.8).

Les chercheurs ont également examiné l'expression d'un grand nombre de gènes des lignées Pm3b sous différentes conditions. Il s'est avéré que les écarts entre les diverses variétés de blé étaient plus grandes qu'entre les lignées transgéniques et non transgéniques.

Dans le cadre de l'étude du blé, il a également été déterminé si les PGM sont capables de regermer après la récolte, de

Illustration 1.8: Rendement du blé dans deux sites



Le rendement de grains (en quintaux par hectare) était nettement plus élevé à Pully qu'à Zurich-Reckenholz. Les facteurs responsables de cette différence pourraient être le climat ou le type d'exploitation choisi. En comparaison avec leurs lignées sœurs non transgéniques, seule la lignée Pm3b#2 présentait un rendement plus bas, de 12 pour cent à Pully et de 34 pour cent à Zurich-Reckenholz. Source: cf. liste des illustrations

prospérer et de se reproduire dans une communauté mixte de graminées. Les lignées génétiquement modifiées n'étaient nullement supérieures aux plantes de blé conventionnelles. Au contraire, les lignées Pm3b étaient moins concurrentielles dans des communautés de plantes adventices que les lignées de contrôle non transgéniques.

La culture de blé génétiquement modifié n'avait pas non plus de répercussions directes sur la biodiversité et la densité des communautés de plantes adventices après la récolte.

Une série d'expériences a servi à analyser la qualité boulangère de la farine produite à partir de blé transgénique. Il s'est avéré que la teneur en protéines des grains de blé transgénique est plus élevée et que la qualité boulangère est égale ou quelque peu supérieure. Cette observation doit être examinée de plus près dans de futures études et présente éventuellement un rapport direct avec la résistance.

En résumé, ces résultats n'indiquent pas que les plantes de blé transgéniques portent atteinte à l'environnement. En revanche, une expression élevée du gène de

résistance Pm3b en plein champ semble entraver, dans une certaine mesure, le développement et le rendement des plantes.

LA POLLINISATION CROISÉE ET SES RÉPERCUSSIONS

Lors d'un croisement de plantes transgéniques utilisées dans l'agriculture avec des plantes sauvages parentes, les plantes hybrides qui en résultent peuvent être

porteuses de nouvelles caractéristiques qui doivent être soigneusement analysées. Lors d'un croisement avec des plantes utiles de la même espèce, le statut «exempt de génie génétique» de champs avoisinants peut être remis en question. Il est donc important d'examiner ces deux formes de pollinisation croisée.

Au niveau du rendement agronomique, les différences entre plusieurs variétés de blé étaient plus grandes qu'entre les lignées transgéniques et non transgéniques.

La culture de blé génétiquement modifié n'avait pas de répercussions directes sur la biodiversité et la densité des communautés de plantes adventices après la récolte.

Croisements avec des espèces sauvages

La propagation d'un transgène au sein d'une population de plantes sauvages présuppose la formation d'hybrides viables, capables de se multiplier et qui pré-

sentent un avantage de sélection ou qui sont en possession de caractéristiques de multiplication favorables (valeur sélective), cela afin de ne pas être supplantées par des

plantes sauvages non transgéniques. Dans le cadre des essais en champ avec du blé, deux projets ont déterminé si les lignées Pm3 et leurs isolignées se croisent avec la graminée proche *Aegilops cylindrica* et ont évalué la valeur sélective d'éventuels hybrides.

Dans un premier temps, des examens génétiques ont révélé que, dans le passé, les espèces actuelles d'*Aegilops* ont souvent incorporé du matériel génétique du

blé. De plus, un échange de matériel héréditaire a également eu lieu entre différentes espèces d'*Aegilops*. Ainsi, le croisement avec du blé génétiquement modifié peut éventuellement servir de pont pour un flux de gènes vers d'autres graminées sauvages.

La fréquence de l'hybridation n'a pas pu être clairement déterminée au cours des essais en champ, mais on est en droit d'admettre, pour deux raisons, qu'elle est basse: d'une part, à cause de la faible distance de croisement du blé, mentionnée plus bas, et, d'autre part, parce qu'un croisement implique que les deux plantes fleurissent en même temps, ce qui n'était le cas que la première année de l'essai en champ.

En ce qui concerne la valeur sélective, les hybrides produits expérimentalement étaient plus grands et plus forts qu'*Aegilops*

cylindrica, mais ils produisaient significativement moins de grains qu'*Aegilops*; huit fois moins dans le cas d'hybrides avec «Bobwhite», voire 60 fois moins dans les hybrides «Frisal».

Les résultats dépendaient de l'environnement et variaient d'une année à l'autre. Toutefois, les chercheurs n'ont pas décelé de différences significatives entre les hybrides produits avec des lignées transgéniques et ceux obtenus avec du blé non transgénique.

La majorité des hybrides blé/*Aegilops* – transgéniques ou non – présentaient une valeur sélective réduite. Pourtant, quelques hybrides isolés ont été trouvés, dont la valeur sélective surpassait celle d'*Aegilops cylindrica* sauvage. Des conditions environnementales variables ainsi que les différentes compositions génétiques de ces hybrides sont les causes éventuelles de cette variabilité entre les différents hybrides issus de mêmes lignées parentales.

En résumé, on est en mesure d'affirmer que la grande majorité des hybrides ne sont pas capables de s'imposer dans les populations sauvages. De plus, la probabilité que des transgènes se propagent par l'intermédiaire d'hybrides épars à valeur sélective plus élevée peut être considérée comme très faible.

Aucune différence significative n'a été constatée entre les hybrides produits avec du blé transgénique et ceux obtenus avec des lignées non transgéniques.

La probabilité que des transgènes se propagent par l'intermédiaire d'hybrides épars à valeur sélective plus élevée peut être considérée comme très faible.

Les croisements entre des plantes utiles transgéniques et des parentes sauvages ont également été étudiés à l'aide de fraises. Il existe déjà des lignées transgéniques de cette plante très appréciée, mais celles-ci n'ont pas encore été commercialisées. Les fraisiers sont vivaces et se multiplient autant par la voie sexuée, par pollinisation, que par la voie végétative, au moyen de stolons. De plus, les fraisiers appartiennent à la famille des rosacées et pourraient donc servir de modèle pour d'autres cultures de la même famille (p.ex. pommes, poires et cerises).

Les expériences ont démontré, d'une part, que les croisements entre la fraise des bois diploïde (*Fragaria vesca* L.) et la fraise cultivée (*F. x ananassa* Duch.) octoploïde conduisent à des plantes hybrides viables. D'autre part, il a également été possible de produire des hybrides en partant de deux lignées de fraises transgéniques. Dans une des lignées (DefH9-iaaM), le transgène sert à augmenter la production de fruits, dans l'autre (roIC), ce sont l'enracinement et la production de sucre qui sont améliorés. Les plantes hybrides n'ont toutefois pas produit de semences fertiles, et les fruits étaient atrophiés.

De plus, les chercheurs ont examiné pendant trois années de culture plusieurs entreprises agricoles qui produisent depuis plus de dix ans des fraises, et aux alentours desquelles poussent des fraises des bois. Ils n'ont pas trouvé, dans les fraises sauvages, d'hybrides entre ces espèces. Les croisements de fraises transgéniques ne peuvent donc pas être complètement exclus dans des conditions naturelles, mais paraissent hautement improbables. En cas de croisement, les hybrides qui en résultent sont pratiquement toujours infertiles.

Cela signifie que les fraises transgéniques ne sont susceptibles de se répandre que par la voie végétative, ce qui restreint leur propagation à une distance de quelques mètres. On ne saurait toutefois déclarer impossible que d'autres lignées de fraises transgéniques produisent des hybrides fertiles. Les exemples du blé et du fraisier démontrent que les croisements et un flux de gènes de plantes de culture à des plantes sauvages sont possibles. La fréquence de tels croisements et leur répartition dépendent cependant fortement de la biologie de reproduction de chaque plante impliquée, de leur mélange en plein champ, d'éventuels vecteurs

Les croisements de fraises transgéniques sont hautement improbables sous conditions naturelles, et s'ils se produisent, les hybrides sont infertiles.

Le transfert d'un transgène n'engendre pas automatiquement des répercussions négatives pour l'écosystème.

(p.ex. d'abeilles sauvages en tant que pollinisatrices dans l'hypothèse des fraises) et de la tendance à un retour à la nature de plantes de culture. Cette propension est, notamment, plus forte pour le colza que pour le blé. Ainsi, chaque cas doit être évalué séparément. Il importe également de tenir compte du fait que le transfert d'un transgène n'engendre pas automatiquement des répercussions négatives pour l'écosystème. Dans le cadre du PNR 59, les connaissances à ce sujet ont été compilées dans une importante recherche de littérature.^[11]

Croisements avec d'autres plantes utiles

Dans les essais en champ avec du blé transgénique, plusieurs lignées différentes poussaient sur une surface très restreinte. Cette situation a permis d'observer très précisément les croisements de plantes de blé transgéniques avec celles conventionnelles. Sur 185'000 grains de la variété «Frisal» examinés, seulement cinq croisements ont été trouvés, dont deux à l'intérieur d'un champ et trois dans la ceinture d'isolation qui avait été plantée autour du champ d'essais. Aucun croisement n'a été repéré en dehors de cette zone tampon. La distance

de cet hybride à la parcelle de PGM suivante était de 2,6 mètres au maximum.^[12]

Au moyen des plantes phytomètres susmentionnées, il a également été possible de

Pour le blé, une distance maximale de 5 mètres entre les champs suffit à empêcher des croisements.

déterminer que sur de courtes distances à l'intérieur d'un champ, 0,55 pour cent des fleurs non transgéniques étaient soumises à une pollinisation croisée.^[13] A 2,5 mètres d'écart, ce taux de pollinisation étrangère était passé à moins de 0,05 pour cent. Il a donc été démontré qu'une faible distance d'isolation dans le champ suffit déjà à empêcher des croisements; situation qui est favorisée par le fait que le blé est essentiellement une plante à pollinisation directe.^[14] On peut conclure de ces résultats qu'une distance maximale de 5 mètres entre les champs de blé suffit à empêcher des croisements.

Dans le cas du maïs, la contamination des semences ne devrait pas dépasser 0,2 à 0,5 pour cent si l'on veut que celle de la récolte ne soit pas supérieure à 0,9 pour cent.

Contamination des semences

Une autre expérience visait à examiner le problème de la contamination des semences (modèle de prédiction de la contamination des semences). Les semences de 20 champs de maïs situés sur le Plateau suisse

déterminer que sur de courtes distances à l'intérieur d'un champ, 0,55 pour cent des fleurs non transgéniques étaient soumises à une pollinisation croisée.^[13] A

Ce faible taux de croisement du blé permet donc des essais en champ sûrs et indique qu'une coexistence entre le blé transgénique et le blé conventionnel est possible.

(17 IPM, 3 bio-organiques) ont été mélangées à raison de 1 pour cent avec des semences de la variété «Adonis» à grains bleus. L'analyse des récoltes révèle une contamination 2,8 fois plus élevée, ce qui peut être attribué au fait que la variété «Adonis» produit plus de pollen que les autres variétés de maïs examinées.^[15]

Le même groupe de recherche a également développé un modèle mathématique (Deed Admixture Model, SAMETH) qui permet d'évaluer le développement d'une contamination des semences en se basant sur les caractéristiques de floraison de différentes variétés de maïs.

Le modèle a été calibré à l'aide des données de six champs, puis a été validé avec les 14 champs restants. Il est capable de prédire la contamination à la récolte.^[15] Ce modèle constitue donc un outil permettant de simuler des scénarios lorsque les coûts, le temps disponible et la sécurité ne permettent pas d'essais en champ.

Sur la base de ces enquêtes, il est recommandé que la contamination de semences pour des variétés de maïs à production comparable de pollen ne dépasse pas 0,2 à 0,5 pour cent afin que la contamination de la récolte ne soit pas supérieure à 0,9 pour cent. Cela correspond aux valeurs seuil pour les aliments et fourrages non génétiquement modifiés en Suisse et dans l'UE.

APPROCHES POUR DE NOUVELLES PLANTES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉES

Le PNR 59 a également accordé son soutien au développement de trois nouvelles PGM pour lesquelles, en raison de l'approche méthodique choisie et à cause de l'application visée, on pouvait s'attendre à une grande acceptation au sein de la population et une incitation à la réflexion en vue de la discussion sur les plantes génétiquement modifiées.

Pommes résistantes à la tavelure

Dans le cadre du projet *Pommes résistantes à la tavelure*, plusieurs lignées de la variété «Gala» ont été munies d'un gène de résistance contre la tavelure des pommes. La particularité de ce projet est que seuls des gènes issus du génome de la pomme ont été mis en œuvre. Ainsi, le gène de résistance à la tavelure *HcrVf2* utilisé dans ce projet provient d'une variété de pomme sauvage. Pour ce genre de modification génétique, on emploie le terme «cisgénique»,

En serre, les pommiers cisgéniques de la variété «Gala» présentaient une susceptibilité nettement plus faible à la tavelure que les plantes non transgéniques.

par opposition à celui de «transgénique» qui implique qu'un gène est transféré au-delà de la barrière de l'espèce (cf. chapitre 4.3). Il était également important que tous les gènes auxiliaires utilisés pour la création des lignées cisgéniques puissent être éliminés plus tard. Les plantules ainsi cultivées ont ensuite été greffées sur des

Illustration 1.9: Susceptibilité à la tavelure du pommier



Feuilles de différents pommiers, trois semaines après infection par des conidies de *Venturia inaequalis*, le champignon responsable de la tavelure.

A) Feuille de la variété «Gala». Le mycélium noir du champignon est bien visible sur la feuille de la plante non génétiquement modifiée.

B) Feuille de pommier génétiquement modifiée de la variété «Gala». Les zones claires résultent de la réaction de défense de la plante.

En comparaison avec les lignées non transgéniques, les lignées cisgéniques présentent une croissance fortement réduite du champignon.

C) Une feuille saine de la variété «Florina», résistante à la tavelure.

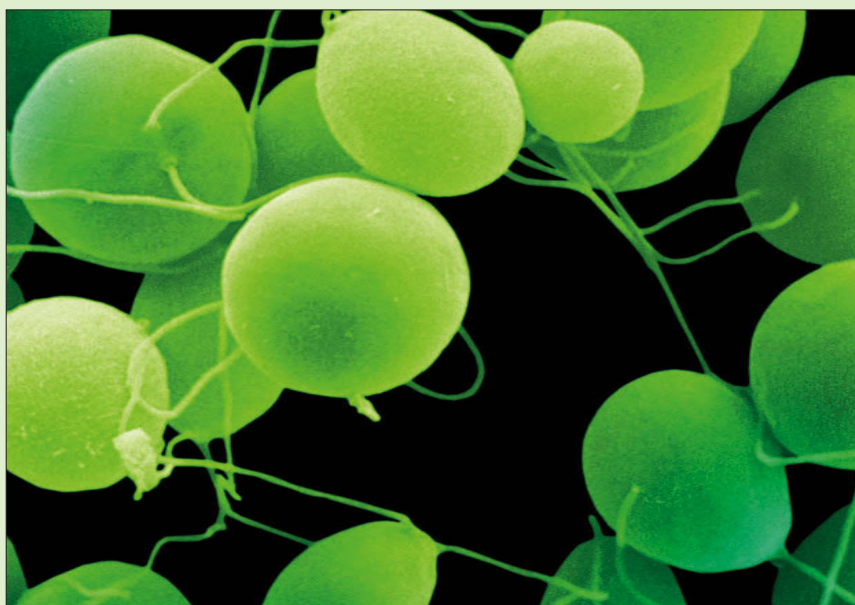
Source: cf. liste des illustrations

porte-greffes de pommier, ont été élevées en serre et puis propagées.

Dans les essais en serre, les plantes cisgéniques n'étaient pas entièrement résistantes à la tavelure, mais présentaient pourtant, comparativement à des pommiers «Gala» non transgéniques, une susceptibilité significativement réduite et une croissance fongique fortement diminuée (cf. illustration 1.9).

L'analyse subséquente a révélé que l'activité du gène de résistance dans les lignées cisgéniques était plus faible que dans la variété «Florina», résistante à la tavelure et obtenue par sélection classique. En ce qui concerne la croissance et l'aspect, les pommes «Gala» cisgéniques n'affichaient pas de différences statistiquement significatives par rapport aux pommes non génétiquement modifiées. Et la composition

Illustration 1.10: Vaccination de poissons avec des algues vertes transgéniques



Au cours de ce projet du PNR 59, les chercheurs ont fait en sorte que des algues vertes génétiquement modifiées produisent des éléments d'un pathogène dans leurs chloroplastes. Il est prévu qu'un jour ces algues, sous forme de complément alimentaire séché, servent de vaccin oral pour poisson contre la furunculose, une maladie bactérienne. Source: cf. liste des illustrations

en protéines, en particulier la production de protéines allergènes, n'avait pas été influencée par la modification génétique, bien qu'il soit important de mentionner que les plantes n'ont pas encore été cultivées en plein champ.

Vaccins issus de plantes et d'algues

Deux autres projets visaient à produire, par des méthodes innovatrices, des vaccins dans des plantes génétiquement modifiées. L'idée n'est pas nouvelle: le

développement de PGM pour la production de médicaments et de vaccins avait commencé il y a vingt ans déjà, et une première application est sur le point de devenir réalité avec l'homologation imminente aux Etats-Unis d'un médicament contre la maladie de Gaucher.^[16] De manière générale, on s'attend à ce que la production de substances actives biomédicales soit plus facilement acceptée par la population que la production d'aliments ou de fourrages, particulièrement lorsque les plantes

génétiqnement modi-
fiées sont cultivées dans
des systèmes fermés
(tels que des serres ou
des citernes).

Dans le projet *Vac-
cination de poissons
avec des algues vertes
transgéniques*, les cher-
cheurs des Universités
de Genève et de Berne
ont modifié le génome
de l'algue unicellulaire

Chlamydomonas reinhardtii de manière
à ce qu'elle produise un vaccin contre
une maladie bacté-
rienne des poissons (cf.
illustration 1.10). Dans
les viviers commer-
ciaux, les maladies bac-
tériennes sont un pro-
blème de taille qui est
normalement combattu
au moyen d'antibio-
tiques. Les résidus d'antibiotiques dans
les poissons et l'apparition de résistances
sont toutefois très pro-
blématiques. L'immu-
nisation de poissons
par injection n'est inté-
ressante, d'un point de
vue économique, que
pour les sujets d'une
certaine taille, tels que
le saumon, et non pas pour les poissons
plus petits tels que la truite. Il paraissait
donc intéressant d'incorporer le vaccin,

Chloroplastes

Les chloroplastes sont les organites des algues vertes et des plantes supérieures où a lieu la photosynthèse, donc la production d'énergie à partir de la lumière du soleil. Ils possèdent un ADN qui leur est propre et qui est transmis par la lignée maternelle, indépendamment du matériel génétique se trouvant dans le noyau (il provient donc de l'ovule et non du pollen). Lorsqu'un gène étranger est introduit dans les chloroplastes plutôt que dans le matériel génétique du noyau, il est possible d'enrayer presque entièrement le danger d'un croisement incontrôlé par l'intermédiaire du pollen.

présent dans des algues génétiquement
modifiées et séchées, dans la nourriture
de ces animaux.

**On s'attend à ce que la production
de substances actives biomédicales
soit plus facilement acceptée par
la population que celle d'aliments
ou de fourrages.**

Une approche simi-
laire a été adoptée dans
le projet *Vaccin produit
dans le tabac*. Le but de
ce projet était d'obtenir
des protéines du virus
IH et du virus de l'hépa-
tite C dans des plantes
de tabac, et de mettre ainsi au point des
vaccins pour l'être humain.

**Deux projets ont obtenu un
bon rendement de protéines pour
un vaccin. Cependant, il n'y a pas
encore eu d'immunisation.**

Les deux groupes de
recherche ont transféré
les gènes correspon-
dants dans le génome
des chloroplastes. Le
choix de cet organite
cellulaire en tant que
cible du transfert tient

au fait que l'extraction des chloroplastes
de plantes et algues est simple et par
conséquent bon marché.

Conclusions et recommandations

1. Les essais en champ sont importants non seulement du point de vue de la sécurité biologique mais aussi pour des raisons de sélection, puisque certains effets ne sont pas visibles en serre.
2. Dans le cas du blé (et probablement aussi d'autres plantes à haute densité de surface), des mélanges de plusieurs lignées (multilignées) résistantes à un champignon permettent de couvrir un large spectre de pathogènes, de tirer parti des gènes de résistance de manière efficace et durable, et de réduire ou d'exclure les effets secondaires.
3. Une distance de 5 mètres entre les champs suffit à empêcher des croisements entre du blé transgénique et du blé conventionnel. Ce fait est important lorsqu'il convient de respecter le statut «exempt de génie génétique» de champs avoisinants.
4. La contamination de semences de maïs par des grains génétiquement modifiés ne doit pas dépasser 0,2 à 0,5 pour cent afin de respecter la limite de déclaration de 0,9 pour cent dans le matériel de récolte, même lorsque le maïs génétiquement modifié produit plus de pollen que la variété conventionnelle utilisée. Quand les quantités de pollen produites par les deux variétés sont connues, il est éventuellement possible d'adapter ces valeurs limites.
5. Le modèle SAMETH est un outil de grande valeur permettant d'estimer de manière fiable la probabilité d'une contamination des semences de maïs.
6. Pour déterminer la probabilité d'un croisement avec des plantes sauvages, il importe de connaître la biologie de reproduction des plantes de culture et sauvages impliquées, et de prendre en compte leur mélange dans le champ ainsi que la tendance à un retour à la nature de la plante cultivée. Un monitoring approprié est recommandé puisqu'il n'est pas possible de prédire de manière fiable si le croisement aura des répercussions écologiques.

LITTÉRATURE

- [1] James, C. (2012) Global status of commercialized Biotech/GM crops: 2011; ISAAA.
- [2] Collinge, D.B., Joergensen, H.J.L., Lund, O.S., Lyngkjaer, M.F. (2010) Engineering Pathogen Resistance in Crop Plants: Current Trends and Future Prospects. *Annu Rev Phytopathol*, 48, 269-291.
- [3] Brunner, S., Hurni, S., Herren, G., Kalinina, O., von, B.S., Zeller, S.L., Schmid, B., Winzeler, M., Keller, B. (2011) Transgenic Pm3b wheat lines show resistance to powdery mildew in the field. *Plant Biotechnol J*, 9, 897-910.
- [4] Brunner, S., Stirnweis, D., Diaz Quijano, C., Buesing, G., Herren, G., Parlange, F., Barret, P., Tassy, C., Sautter, C., Winzeler, M. et al. (2012) Transgenic Pm3 multilines of wheat show increased powdery mildew resistance in the field. *Plant Biotechnol J* 10, 398-409.
- [5] Zeller, S.L., Kalinina, O., Brunner, S., Keller, B., Schmid, B. (2010) Transgene x environment interactions in genetically modified wheat. *PLoS ONE*, 5(7): E11405.
- [6] Heil, M., Hilpert, A., Kaiser, W., Linsenmair, K.E. (2000) Reduced Growth and Seed Set Following Chemical Induction of Pathogen Defence: Does Systemic Acquired Resistance (SAR) Incur Allocation Costs? *J Ecol* 88, 645-654.
- [7] Stokes, T.L., Kunkel, B.N., Richards, E.J. (2002) Epigenetic variation in Arabidopsis disease resistance. *Gene Dev* 16, 171-182.
- [8] Tang, X., Xie, M., Kim, Y.J., Zhou, J., Klessig, D.F., Martin, G.B. (1999) Overexpression of Pto activates defense responses and confers broad resistance. *Plant Cell* 11, 15-29.
- [9] Cellini, F., Chesson, A., Colquhoun, I., Constable, A., Davies, H.V., Engel, K.H., Gatehouse, A.M.R., Kärenlampi, S., Kok, E.J., Leguay, J.J. et al. (2004) Unintended effects and their detection in genetically modified crops. *Food Chem Toxicol* 42, 1089-1125.
- [10] Clements, F.E., Goldsmith, G.W. (1924) *The phytometer method in ecology: the plant and community as instruments*. Washington, D.C., Carnegie Institution. Publications of the Carnegie Institution.
- [11] Sweet, J., Bartsch, D. (2011) Synthesis and overview studies to evaluate existing research and knowledge on biological issues on GM plants of relevance to Swiss environments. *Etude de littérature Ecologie et risques*.
- [12] Foetzki, A., Diaz Quijano, C., Moullet, O., Fammartino, A., Kneubuehler, Y., Mascher, F., Sautter, C., Bigler, F. (2012) Surveying of pollen-mediated crop-to-crop gene flow from a wheat field trial as a biosafety measure. *GM Crops*, 3(2), epub. ahead of print.
- [13] Rieben, S., Kalinina, O., Schmid, B. and Zeller, S.L. (2011) Gene Flow in Genetically Modified Wheat. *PLoS ONE* 6(12), e297 30.
- [14] Allard, R.W. (1999) History of plant population genetics. *Annu Rev Genet* 33, 1-27.
- [15] Oehen, B., Ochsenein, C., Westgate, M.E., Stamp, P. (2011) Field Simulation of Transgenic Seed Admixture Dispersion in Maize with a Blue Kernel Color Marker. *Crop Sci* 51, 829-837.
- [16] Rybicki, E.P. (2010) Plant-made vaccines for humans and animals. *Plant Biotechnol J* 8, 620-637.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

1.4 Les interactions des plantes génétiquement modifiées avec leur environnement

Le sol est un habitat très hétérogène comprenant des phases solides, gazeuses et liquides. Les micro-organismes et la faune du sol ainsi que les racines des plantes y forment des communautés biologiques de grande importance pour la fertilité du sol. Aussi, il est impératif de déterminer si les plantes génétiquement modifiées altèrent passagèrement ou définitivement, les communautés présentes au sein de ce système. Les études réalisées dans le cadre du PNR 59 ont révélé que le blé ou le maïs génétiquement modifié n'a que de faibles répercussions, voire pas d'incidence du tout. Les effets observés correspondaient de fait toujours à la variabilité inhérente aux différents sites et variétés.

JOSEF ZEYER

ÉTUDES CONSACRÉES À L'ÉCOSYSTÈME SOL

Dans les études concernant les interactions entre les plantes et le sol, il convient de tenir compte d'un certain nombre de points:

1. Il est important de ne pas limiter les examens à l'influence des plantes génétiquement modifiées (PGM) et d'inclure les plantes de référence adéquates dans l'étude. Toute plante excrète des composés organiques dans le sol via les racines. Ces excréments stimulent l'activité des organismes présents dans le milieu. La comparaison du sol au voisinage d'une PGM avec un sol exempt de végétaux donnerait donc lieu à des données trompeuses. Il est donc indispensable de ne comparer que des sols dans lesquels ont poussé, par exemple, du maïs transgénique, une isolignée correspondante et une variété conventionnelle.
2. Les paramètres à mesurer doivent être clairement définis. Il se peut que, dans une expérience donnée, l'un réagisse de manière sensible alors qu'un autre ne change guère. Suivant la question posée, diverses structures et fonctions des organismes du sol sont analysées. Au niveau des structures, il s'agit, entre autres, de l'abondance (combien d'organismes sont présents?), de la diversité (quelles espèces vivent dans le sol?) et de l'ordre spatial (dans quelles couches du sol se trouvent les organismes?). A l'échelon des fonctions, ce sont les questions concernant l'activité et les interactions avec d'autres organismes qui se trouvent au centre de l'attention.
3. Les données recueillies en laboratoire ne concordent pas forcément avec celles obtenues en plein champ. Une expérience sur le terrain est influencée par un grand nombre de facteurs naturels (p.ex. la météorologie, la diversité des insectes, la structure des sols). En laboratoire et en serre, les conditions environnementales peuvent, dans une large mesure, être prédéfinies. En effet, de manière générale, les données de laboratoire sont soumises à des variations plus faibles et, dès lors, plus facilement reproductibles. En revanche, leur extrapolation aux conditions régnant en plein champ doit être envisagée avec prudence.
4. Un écosystème est caractérisé par des interactions complexes et des effets de rétroaction, ce qui rend difficile non seulement la conception d'expériences mais aussi la modélisation des données obtenues. Dans le domaine de l'écologie, il est, de ce fait, malaisé de développer des modèles de valeur prévisionnelle fiable.
5. Dans le cadre d'expériences en plein champ, les valeurs mesurées sont soumises à de grandes fluctuations naturelles. La diversité des bactéries et des champignons dans le sol, notamment, peut être sujette à de très grandes variations suivant les conditions météorologiques. Ainsi, la densité de la population d'organismes du sol est susceptible de varier d'un facteur mille d'une année à l'autre. Il n'est donc possible de formuler des conclusions claires concernant les répercussions de plantes transgéniques

sur l'écologie des sols qu'en analysant de manière statistiquement correcte les données et en tenant compte des fluctuations naturelles.

Dans le cadre du PNR 59, les effets de plantes génétiquement modifiées sur les organismes du sol ont été étudiés dans de nombreux systèmes.

RÉPERCUSSIONS SUR LES ORGANISMES DU SOL

Trois projets ont été consacrés à l'influence de plantes génétiquement modifiées sur les micro-organismes du sol.

Les projets *Influence du blé génétiquement modifié sur les bactéries du sol* et *Interaction de champignons mycorhiziens avec le blé transgénique* font partie intégrante du Consortium blé. Ils comprennent une étude en plein champ détaillée de l'influence du blé génétiquement modifié sur les populations de certaines bactéries du sol, particulièrement sur les bactéries du genre *Pseudomonas*, ainsi que sur les champignons mycorhiziens.^{[1][2]} Une étude en laboratoire effectuée dans le cadre du projet *Impact des plantes transgéniques sur la fertilité des sols* a examiné l'influence du maïs génétiquement modifié sur les structures et fonctions d'organismes du sol.^[3]

Les essais en plein champ se sont déroulés sur trois ans (de 2008 à 2010) à Zurich-Reckenholz et à Pully. Ces études ont révélé que la taille des populations de micro-organismes utiles examinées n'était pas en premier lieu influencée par les PGM

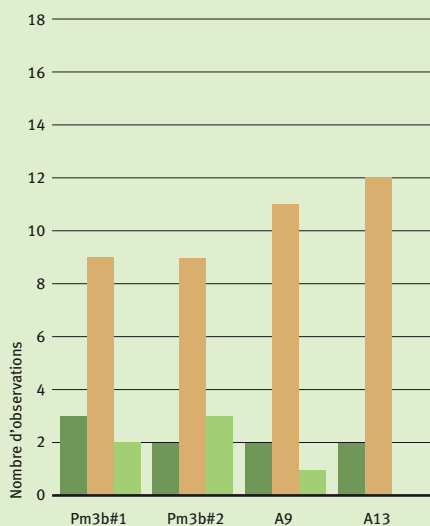
Illustration 1.11: Influence de gènes de résistance aux champignons introduits dans des plantes de blé sur le nombre de micro-organismes utiles présents sur leurs racines

Les populations de *Pseudomonas* (A) et de champignons mycorhiziens (B) sur les racines de quatre lignées différentes de blé génétiquement modifié ont été comparées avec celles présentes sur les racines de lignées contrôle. Au cours des trois années qu'ont duré les essais de dissémination dans deux sites différents, 14 comparaisons avec des *Pseudomonas* et 18 avec des champignons mycorhiziens ont été effectuées entre du blé génétiquement modifié et conventionnel.

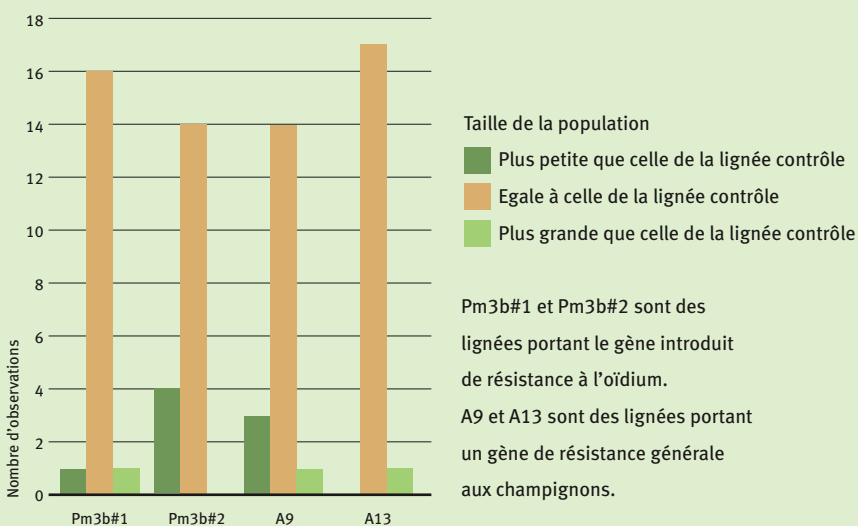
Source: cf. liste des illustrations

introduites dans le système. La variété de blé choisie, le stade de développement de la végétation, l'apport d'engrais, le site et l'année de l'essai constituaient des facteurs bien plus décisifs. Curieusement, les populations de *Pseudomonas* et de champignons mycorhiziens se comportaient souvent de façon opposée. Un facteur donné influençait l'une de manière positive, alors que l'autre réagissait négativement. Dans le cas de plantes d'un certain âge, notamment, les populations mycorhiziennes augmentaient fortement, alors que la plupart du temps celles de *Pseudomonas* diminuaient. L'apport d'engrais avait, pour sa part, un effet plutôt positif sur les *Pseudomonas*, alors que ses répercussions sur les champignons mycorrhiziens étaient clairement négatives.

A) Colonisation des racines par des *Pseudomonas*



B) Colonisation des racines par des champignons mycorhiziens



Taille de la population
 ■ Plus petite que celle de la lignée contrôle
 ■ Egale à celle de la lignée contrôle
 ■ Plus grande que celle de la lignée contrôle

Pm3b#1 et Pm3b#2 sont des lignées portant le gène introduit de résistance à l'oïdium.
 A9 et A13 sont des lignées portant un gène de résistance générale aux champignons.

Certes, on a observé parfois dans le sol des différences de taille entre des populations se trouvant à proximité immédiate des plantes de blé ou d'orge génétiquement modifiées et des lignées contrôles non génétiquement modifiées. Ces écarts n'étaient toutefois pas véritablement significatifs, voire présentaient des caractéristiques opposées selon l'année et l'emplacement de l'essai (cf. illustration 1.11). Dans la plupart des cas, cependant, la taille des populations liées aux plantes génétiquement modifiées ne se distinguait pas de celle des populations

La taille des populations de micro-organismes utiles n'était pas, en premier lieu, influencée par les PGM introduites dans le système, mais plutôt par la variété végétale choisie, l'apport d'engrais, le site et l'année de l'essai.

présentes autour des lignées contrôle non transgéniques. La diversité des *Pseudomonas* utiles n'était, elle non plus, affectée par l'introduction du gène de résistance contre l'oïdium.

Le projet *Impact des plantes transgéniques sur la fertilité des sols* a analysé les répercussions de diverses variétés transgéniques de maïs sur des paramètres biologiques du sol. Les essais ont été effectués dans des phytotrons et se sont étendus sur deux cycles de végétation. Deux variétés différentes de maïs génétiquement modifié (Bt-NK4640

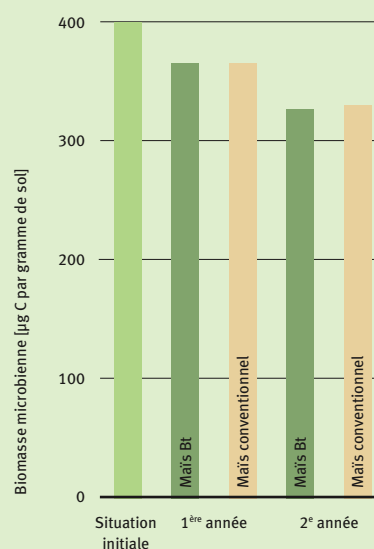
Illustration 1.12: Influence du maïs Bt sur l'écosystème «sol»

Plusieurs paramètres liés à la biologie des sols ont été examinés avant et après la culture de deux variétés Bt ainsi que de huit variétés conventionnelles de maïs.

- A) La biomasse des micro-organismes du sol n'a pas été influencée par la culture de maïs génétiquement modifié.
- B) Le maïs Bt avait un effet légèrement stimulant sur la respiration du sol. Celui-ci n'était toutefois pas significatif statistiquement.
- C) L'activité de la déshydrogénase dans le sol était légèrement réduite après la culture de maïs Bt.

Source: cf. liste des illustrations

A) Biomasse microbienne



et Bt-Max88) ont été comparées à une isolignée (NK4640) ainsi qu'à sept variétés de maïs conventionnelles. Les paramètres biologiques du sol étudiés étaient la biomasse microbienne, la respiration du sol et l'activité d'une enzyme (une déshydrogénase) servant de mesure de l'activité biologique générale du sol.

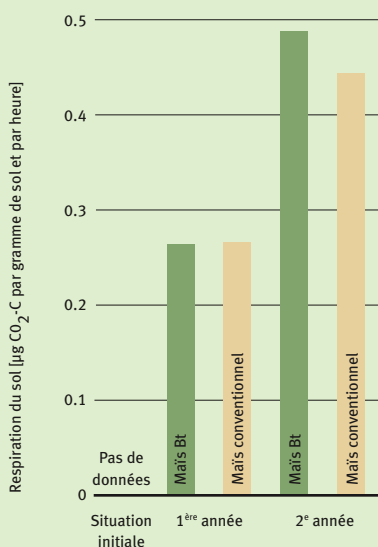
Aucun des essais n'a révélé d'effets importants des plantes génétiquement modifiées (cf. illustration 1.12). Comparées à l'isolignée et aux variétés conventionnelles, les PGM n'avaient qu'une répercussion faible sur la respiration du sol

et l'activité de la déshydrogénase, et aucune influence sur la biomasse microbienne.^[3]

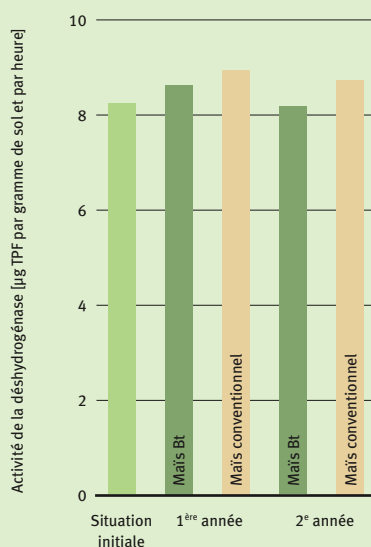
Dans le cadre de ce même projet, il a été examiné s'il existe des variations au niveau du comportement vis-à-vis de plantes génétiquement modifiées de sols exploités différemment sur une longue période. Des sols ayant été travaillés durant trois décennies soit de manière conventionnelle, à l'aide d'engrais minéraux ou de fumier, soit de manière bio-organique, selon la méthode biodynamique, ont servi de systèmes d'analyse. Au niveau des plantes utilisées, le choix s'est porté sur la

Les répercussions du maïs génétiquement modifié sur l'écologie du sol sont soumises à des fluctuations qui ne dépassent toutefois pas celles observées pour des variétés conventionnelles de maïs.

B) Respiration du sol



C) Activité de la déshydrogénase



variété génétiquement modifiée de maïs Bt-NK4640, sur l'isolignée NK4640 et sur la variété conventionnelle «Gavott». Dans le cas des plantes transgéniques, les chercheurs ont été contraints de se servir de variétés relativement anciennes, puisque les producteurs de variétés plus modernes n'étaient pas disposés à mettre leurs semences à disposition pour des expériences.

Les plantes ont été cultivées deux fois de suite dans le même sol. Il s'agissait en premier lieu de déterminer si les éventuels effets du maïs génétiquement modifié sont moins marqués dans un sol biologiquement très actif que dans un sol moins actif. Aucune incidence spécifique n'a été observée au cours de l'expérience, ce qui signifie que tous les sols ont réagi de manière identique

aux variétés. Comparé à l'isolignée, le maïs transgénique a légèrement stimulé la biomasse microbienne et l'activité de la déshydrogénase, alors que la respiration du sol n'en a pas été significativement influencée. Ces résultats confirment les observations relatées dans la littérature qui indiquent que ces effets sont faibles et passagers.^[4]

RÉPERCUSSIONS SUR LA FAUNE DU SOL

Dans le cadre du Consortium blé, le projet *Influence du blé génétiquement modifié sur la décomposition de la biomasse par les organismes du sol* s'est concentré sur les incidences de PGM sur la faune du sol. Les travaux comprenaient des essais en laboratoire ainsi qu'en plein champ.^[4]

En laboratoire, cinq espèces différentes et représentatives de la faune du sol ont été nourries de blé génétiquement modifié et conventionnel. Des paramètres tels que les préférences alimentaires, l'ingestion des aliments, la croissance, la mortalité, la multiplication et le rapport des sexes ont été étudiés. Dans le but de détecter d'éventuels effets à long terme, les essais ont été effectués sur plusieurs générations. Aucun des tests n'a révélé d'impacts négatifs d'importance significative pouvant être attribués au blé génétiquement modifié. Quelques valeurs extrêmes ont certes été observées, mais elles étaient sans portée particulière dans le contexte de séries entières d'expériences.

En plein champ, il a été examiné pendant deux ans si le blé transgénique a une influence sur la structure et la composition de la faune du sol. Dans ce but, les chercheurs ont isolé, par la méthode de McFadyen, les organismes du sol présents dans les échantillons. Ils les ont ensuite identifiés et quantifiés au niveau de l'ordre et de la famille.

Les collemboles ont été différenciés jusqu'au niveau de l'espèce. Les parcelles plantées respectivement de PGM, d'isolignées et de plantes conventionnelles n'ont pas révélé

de différences significatives quant à la fréquence, la structure et la composition des espèces (cf. illustration 1.13). On relèvera que, dans cette expérience aussi, les données étaient soumises à de fortes fluctuations naturelles. D'une part, les différences observées entre les deux années étaient considérables. D'autre part, la variabilité au sein du champ d'essai lui-même était également très élevée. Ces résultats démontrent que même de faibles modifications de la texture et du contenu en argile et en eau du sol ont des répercussions importantes sur la structure de la faune du sol.

Des essais plus approfondis ont été consacrés à la décomposition de la litière dans les différents champs d'essai. Des sachets en gaze contenant une quantité définie de biomasse morte de blé ont été enterrés à une profondeur de cinq centimètres dans le sol durant tout l'été. Chaque mois, les chercheurs ont procédé à la quantification de la décomposition de la litière ainsi qu'à l'identification des organismes du sol impliqués dans le processus. Ces examens

ont démontré que les variétés génétiquement modifiées n'ont de répercussions négatives ni sur la vitesse de décomposition ni sur les organismes du sol impliqués.^{[5][6][7][8]}

En laboratoire comme en plein champ, la faune du sol n'a pas révélé de différences significatives quant à sa réaction au blé transgénique, aux isolignées et aux variétés conventionnelles.

Des contrastes importants ont été observés selon les espèces céréalières et les secteurs du champ d'essai ensemencés ainsi qu'au fil des années de tests.

RÉPERCUSSIONS SUR LES ARTHROPODES ET LES RÉSEAUX ALIMENTAIRES

Les communautés biologiques dans et sur le sol forment en règle générale des réseaux complexes. Les insectes herbivores, ou leurs larves, portent, par exemple, atteinte aux plantes. Ces ravageurs, quant à eux, sont tenus en respect par des insectes prédateurs ou parasitaires, ou par des vers. Dans le cadre du PNR 59, les projets *Influence du blé génétiquement modifié sur les réseaux alimentaires des insectes* et *Interactions du maïs Bt avec l'écosystème du sol* sont consacrés aux répercussions indirectes de PGM sur les herbivores et leurs adversaires.

Le premier projet visait à déterminer dans quelle mesure le blé génétiquement modifié présentant une résistance augmentée à l'oïdium a des répercussions sur les communautés d'insectes qui le colonisent. Outre des lignées de blé transgéniques, les chercheurs ont donc examiné, à titre de référence, des isolignées correspondantes, des variétés suisses de blé conventionnel de même que deux autres espèces de céréales (orge et triticale) en plein champ ainsi qu'en serre semi-ouverte. Cette dernière est considérée comme un système fermé et permet l'étude de PGM dans des conditions très proches de celles se rencontrant en plein champ.

L'accent des études était mis sur les herbivores fréquemment présents sur le blé en Suisse. Ont été étudiés les pucerons, dont trois espèces différentes ont été

trouvées tant en plein champ qu'en serre, le criocère des céréales (un coléoptère vivant sur les feuilles) ainsi que la mouche jaune des chaumes, dont les larves vivent dans les tiges du blé.

Il convient de noter que les pucerons observés dans l'étude peuvent être éliminés par des parasitoïdes (cf. illustration 1.14). Treize espèces ont été découvertes dans le champ d'essai, vingt et une en serre.

Sur le terrain, les chercheurs ont trouvé autant de pucerons sur les PGM que sur les plantes de contrôle. Dans les serres semi-ouvertes, en revanche, des populations plus importantes de ces insectes se sont développées sur les lignées de blé transgéniques que sur les autres plantes. Cette situation n'était toutefois pas due au fait qu'il s'agissait de plantes génétiquement modifiées, mais plutôt à la plus faible contamination par l'oïdium en raison du gène de résistance présent dans ces plantes. Ces observations ont été confirmées par des études de suivi effectuées en serre.

En raison du nombre restreint de parasitoïdes présents en plein champ, les analyses statistiques des réseaux alimentaires n'ont été menées qu'avec les données issues de la serre semi-ouverte. Les procédés statistiques choisis ont permis de comparer la complexité et la diversité des communautés de pucerons et parasitoïdes présentes sur les différentes plantes de l'expérience. Les paramètres examinés incluaient tant la diversité des espèces que la relation de celles-ci entre elles. Dans ce

Illustration 1.13: Taux de présence de quatre groupes d'organismes vivant dans le sol au cours de la décomposition de la litière

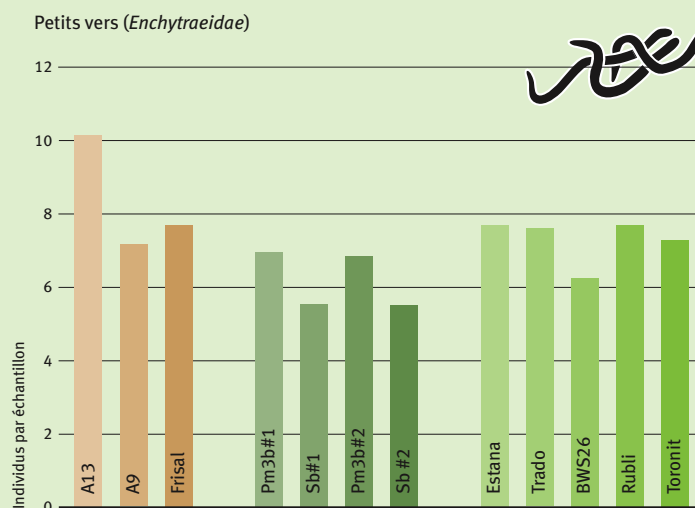
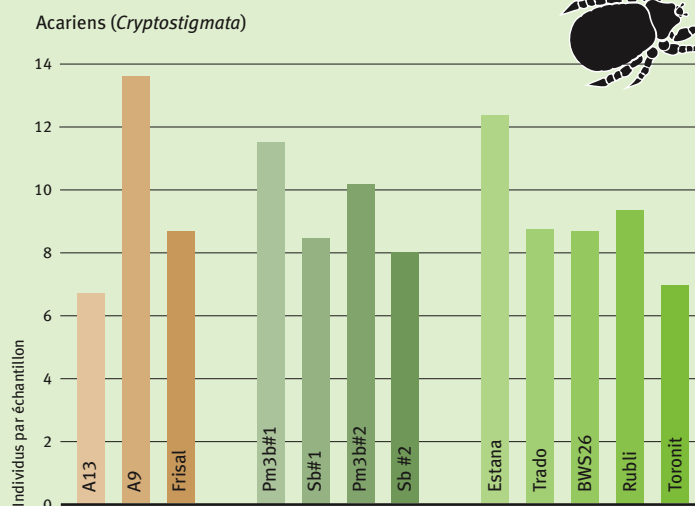
La faune du sol a été examinée dans des parcelles sur lesquelles poussaient du blé génétiquement modifié, ses lignées contrôle correspondantes ainsi que des variétés de blé conventionnelles. Quatre groupes d'organismes ont été extraits des échantillons de sol, et leur fréquence respective a été mesurée. Aucune différence significative n'a été détectée quant à la fréquence, la structure et la composition des espèces. On notera que les données sont soumises à de fortes fluctuations naturelles. Il s'est révélé que le champ d'essai présentait des variations au niveau du contenu en argile et en eau, ce qui se reflète dans la structure de la faune du sol.

Source: cf. liste des illustrations

Barres brunes: lignées porteuses de résistances générales à des champignons (A9, A13), lignée contrôle (Frisal)

Barres vert foncé: lignées portant le gène de résistance Pm3b (Pm3b#1, Pm3b#2), lignées contrôle (Sb#1, Sb#2)

Barres vert clair: variétés conventionnelles de blé (Estana, Trado, BWS 26, Rubli, Toronit)



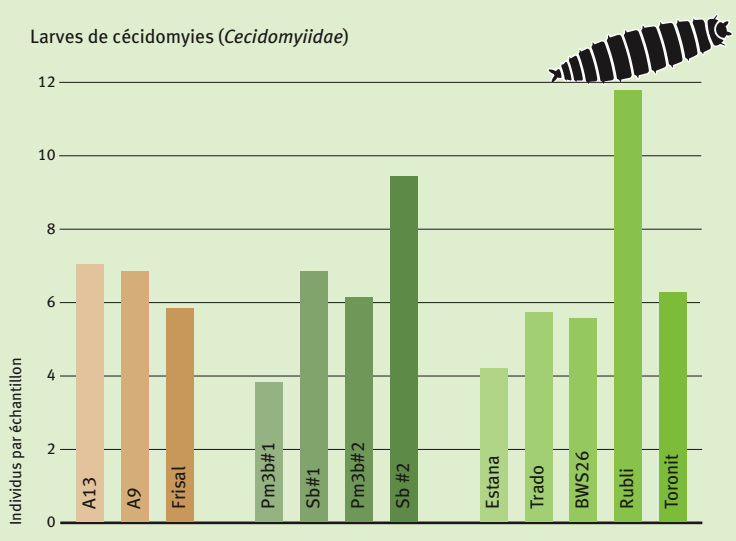
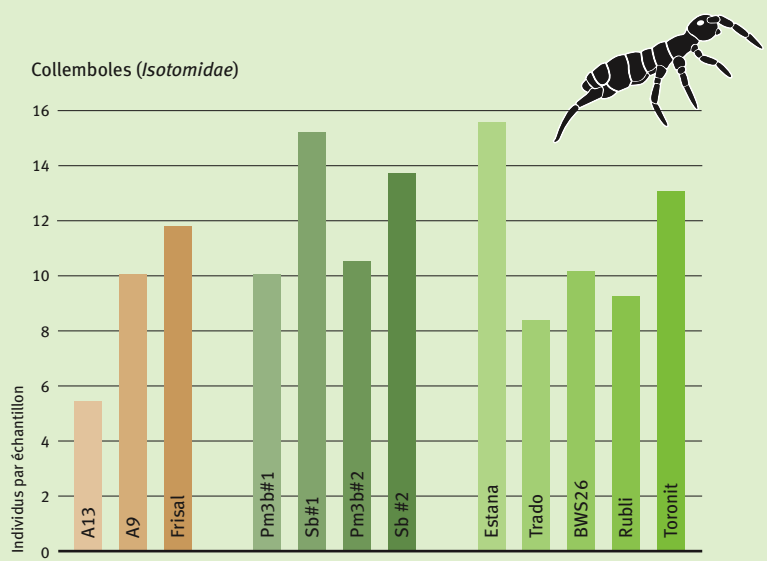
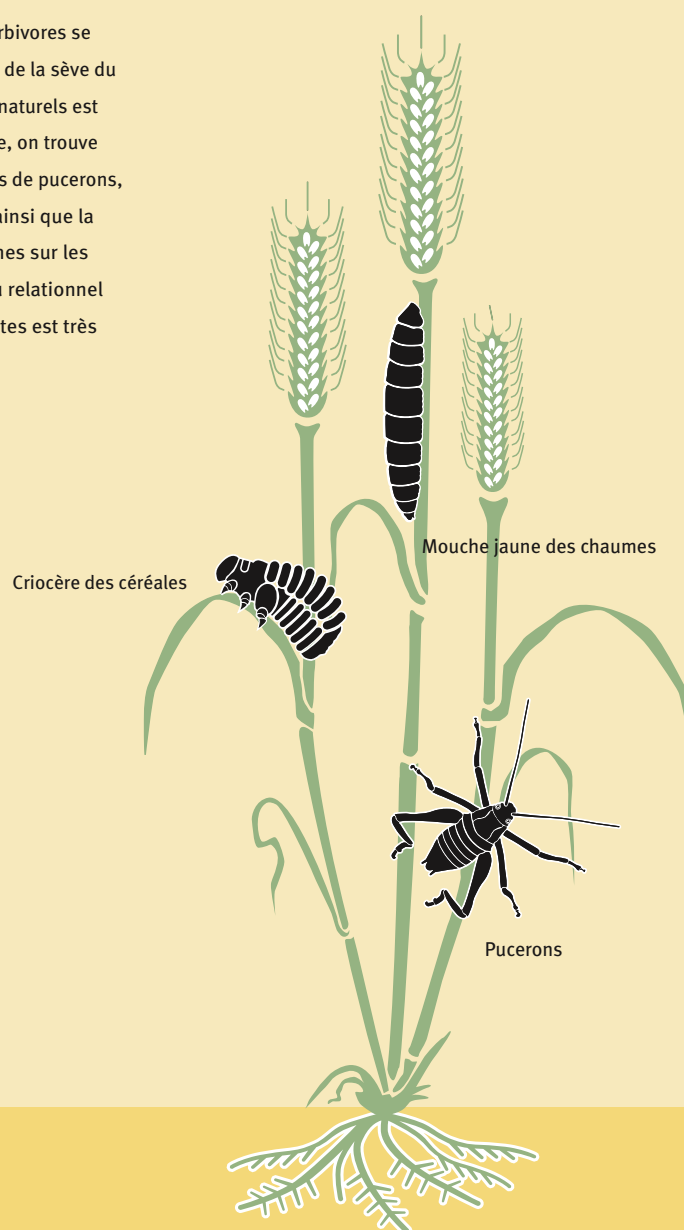


Illustration 1.14: Réseau relationnel des herbivores avec leurs parasites sur le blé

Les pucerons sont des herbivores se nourrissant, entre autres, de la sève du blé. Un de leurs ennemis naturels est l'ichneumonidé. En Suisse, on trouve souvent plusieurs espèces de pucerons, le criocère des céréales ainsi que la mouche jaune des chaumes sur les plantes de blé. Ce réseau relationnel d'herbivores et de parasites est très complexe.

Source: cf. liste des illustrations

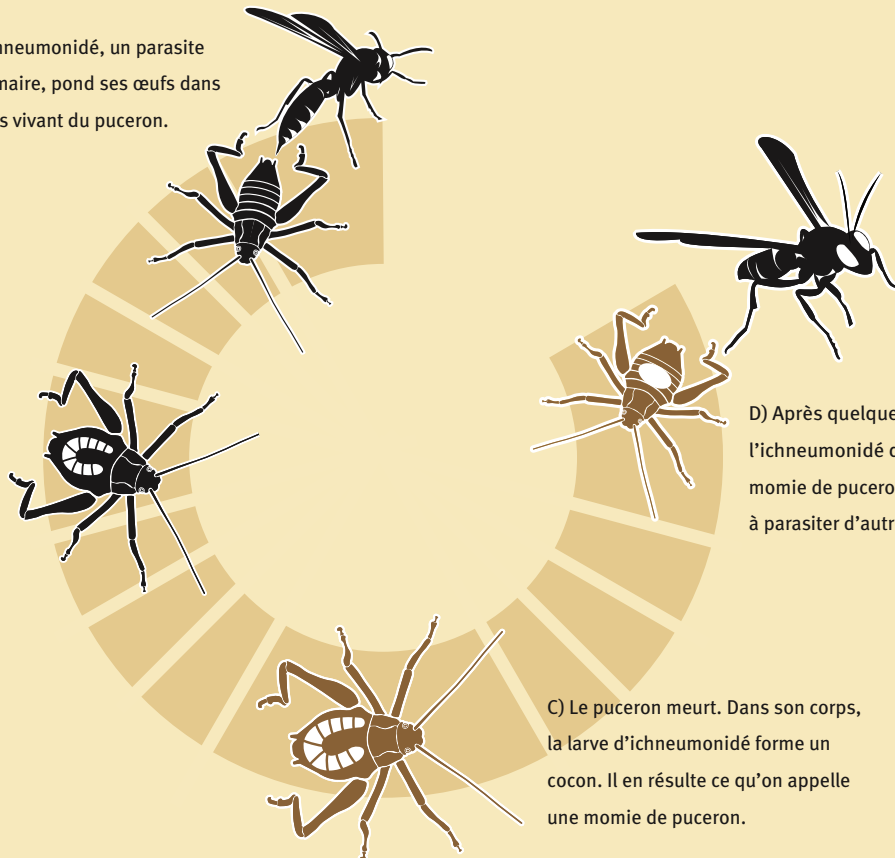


A) L'ichneumonidé, un parasite dit primaire, pond ses œufs dans le corps vivant du puceron.

B) La larve d'ichneumonidé se développe dans le puceron et s'en nourrit.

D) Après quelques jours, l'ichneumonidé quitte la momie de puceron et est prêt à parasiter d'autres pucerons.

C) Le puceron meurt. Dans son corps, la larve d'ichneumonidé forme un cocon. Il en résulte ce qu'on appelle une momie de puceron.



contexte, aucune différence dont on puisse tirer des conclusions cohérentes n'a été repérée au niveau des réseaux alimentaires entre les diverses plantes d'essai.^{[9][10]}

L'étude démontre qu'il est impératif d'effectuer les essais dans plusieurs systèmes. Les données récoltées en laboratoire ou en serre n'ont qu'une validité restreinte pour la situation en plein champ. Ainsi, la contamination par l'oïdium en serre semi-ouverte était beaucoup plus manifeste que sur le terrain. En serre semi-ouverte, aussi, le nombre de parasitoïdes des pucerons était plus élevé. A l'inverse, l'infestation des plantes par le criocère des céréales était moins importante en serre semi-ouverte qu'en plein champ, et la mouche jaune des chaumes était totalement absente (cf. illustration 1.15).^[10]

Le projet *Interactions du maïs Bt avec l'écosystème du sol* a analysé les interactions du maïs transgénique avec des réseaux aériens et souterrains (cf. illustration 1.16). Les racines du maïs sont susceptibles d'être attaquées par la chrysomèle des racines du maïs (*Dia-brotica virgifera*). Cet insecte est le ravageur le plus important aux Etats-Unis et, depuis vingt ans, il se propage également en Europe. Le maïs endommagé réagit en produisant une substance odorante (l'(E)-bêta-caryophyllène) qui attire en particulier des nématodes de l'espèce *Heterorhabditis megidis*. Ces derniers sont des ennemis naturels de la chrysomèle des racines du maïs et sont utilisés dans la lutte biologique contre les ravageurs.

Illustration 1.15: Infestation de diverses lignées de blé par des champignons pathogènes et des parasites

Source: cf. liste des illustrations



Oïdium

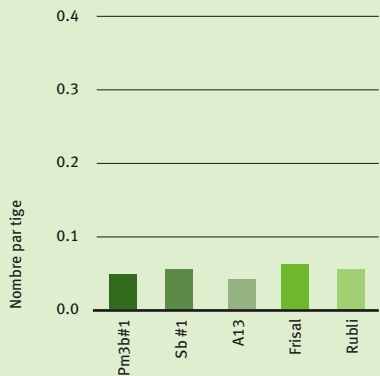
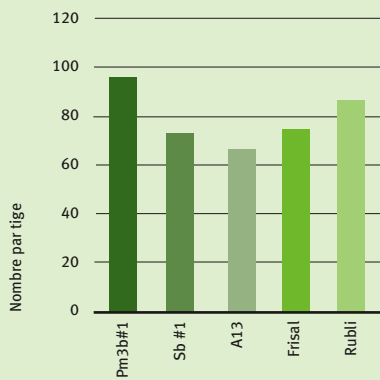
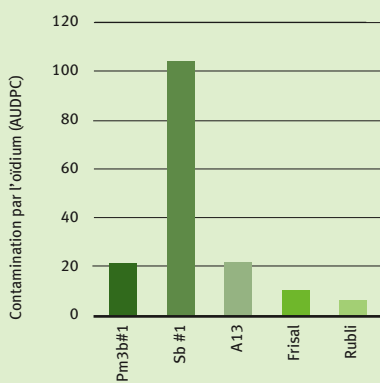


Pucerons

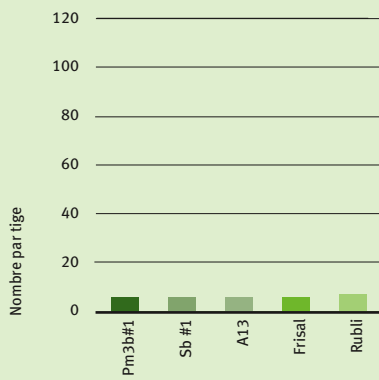
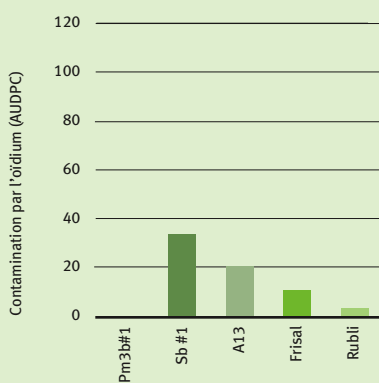


Criocère des céréales

Serre semi-ouverte



Plein champ



A la surface du sol, des mécanismes similaires entrent en jeu: les feuilles de maïs sont susceptibles d'être mangées par les chenilles de certains papillons (*Spodoptera littoralis*). La plante réagit en produisant une substance odorante qui attire des guêpes parasitoïdes (*Cotesia marginiventris*). Celles-ci attaquent les chenilles et contrôlent ainsi le ravageur.

Dans un premier temps, les chercheurs ont examiné si ces réseaux souterrains et aériens fonctionnent également dans le cas du maïs rendu résistant à des ravageurs par génie génétique. Cette partie du projet a été effectuée dans un phytotron en Suisse. Dans un deuxième temps, le groupe de recherche s'est employé à déterminer si une utilisation simultanée de maïs résistant à un ravageur et de nématodes conduit à un effet additif ou à un affaiblissement mutuel de l'impact. Ce sous-projet a été mené à bien dans le cadre d'un essai sur le terrain aux Etats-Unis. Ont été choisies pour ces tests une lignée transgénique de maïs produisant la protéine mCry3A, toxique pour la chrysomèle des racines du maïs, une lignée produisant la protéine Cry1Ab, toxique pour les chenilles de papillon, ainsi qu'une lignée produisant les deux protéines. Ces lignées ont été comparées à l'isolignée correspondante (NG68-GT) ainsi qu'à la variété conventionnelle «Delprim».

Les expériences réalisées en phytotron ont révélé que les larves de la chrysomèle des racines du maïs prenaient plus de poids lorsque des chenilles se nourrissaient simultanément de la même plante. Inversement, les chenilles n'étaient pas influencées par la présence des larves de chrysomèle.

Lorsque les plantes de maïs étaient concurremment attaquées par la chrysomèle et les chenilles, les lignées génétiquement modifiées étaient moins attrayantes pour les guêpes parasitoïdes que les isolignées. Cette situation découle du fait que

Les données recueillies en laboratoire ou en serre n'ont qu'une validité restreinte pour la situation en plein champ. Il est donc important d'effectuer les essais dans divers systèmes.

la protéine Cry1Ab a un effet toxique sur les chenilles et que celles-ci endommagent par conséquent moins la plante. Il en résulte que les émissions de substances odorantes sont réduites, attirant ainsi moins de guêpes para-

sitoïdes. Au niveau de l'effet d'attraction pour les nématodes, en revanche, il n'a pas été observé de différences entre les variétés de maïs génétiquement modifiées et les isolignées.

Au cours de l'expérience en plein champ, il s'est avéré que les variétés transgéniques de maïs exprimant la protéine mCry3A étaient sujettes à de moindres dégâts au niveau des racines ainsi qu'à une apparition moins prononcée de chrysomèles adultes. L'utilisation additionnelle de nématodes réduisait les

Illustration 1.16: Réseau relationnel des herbivores avec leurs parasites sur le maïs

Source: cf. liste des illustrations

A1) La chenille se nourrit de la feuille de maïs.

B1) Lorsque la chenille attaque une feuille, la plante est incitée à produire certaines substances odorantes. Celles-ci attirent l'ichneumonidé, un parasite de la chenille.

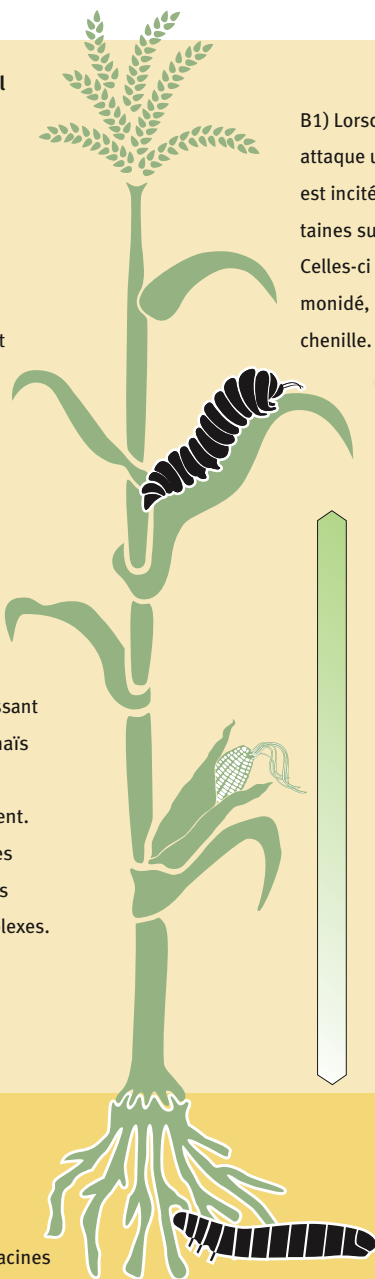


C1) L'ichneumonidé, attiré par les substances odorantes de la plante, pond ses œufs dans la chenille. Les œufs de cette espèce de guêpe se développent dans la chenille jusqu'à la formation du cocon. La chenille meurt. La guêpe fait ainsi fonction de défense naturelle pour la plante.

Des ravageurs se nourrissant de la même plante de maïs sont susceptibles de s'influencer mutuellement. Les interactions entre les divers ravageurs et leurs parasites sont très complexes.

C2) Les nématodes, attirés par la substance odorante dans le sol, pénètrent dans les larves de chrysomèles, y libèrent des bactéries qui tuent l'hôte et s'y multiplient. Leurs descendants, qui se nourrissent du corps des larves, contrôlent ainsi les populations de ravageurs.

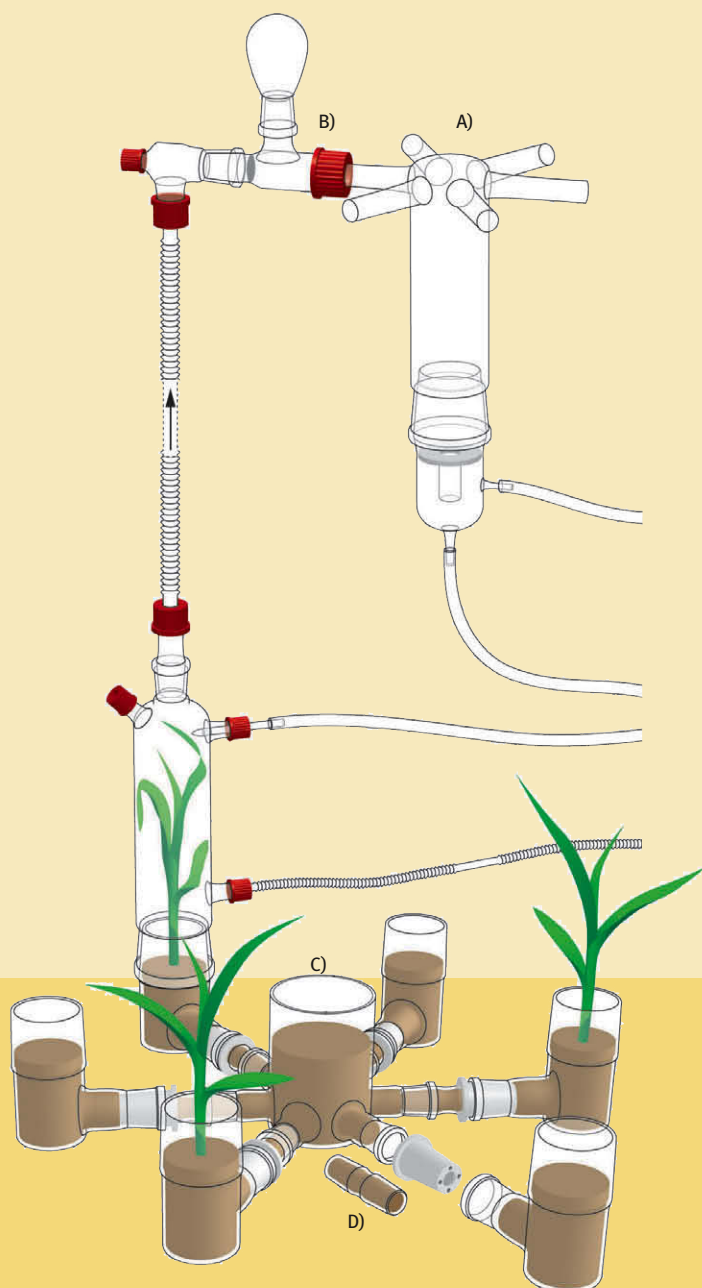
A2) La chrysomèle des racines du maïs se nourrit des racines de la plante.



B2) La larve de chrysomèle des racines du maïs se nourrit de ces dernières, incitant ainsi la plante à produire des substances odorantes. Celles-ci pénètrent dans le sol et attirent des nématodes.



Illustration 1.17: Appareil de mesure de substances odorantes – l'olfactomètre



L'olfactomètre permet de tester simultanément l'attractivité du maïs pour les ennemis naturels présents dans l'air et dans le sol. Des plantes intactes ainsi que celles ayant été attaquées par des ravageurs se trouvent dans les bras de l'appareil. Les bras vides servent de contrôle. Les parasitoïdes aériens tels que les ichneumonidés sont libérés dans les bras remplis d'air (A), et les émissions de substances odorantes sont mesurées. Le nombre de parasitoïdes présents dans chaque bras est déterminé après une demi-heure (B). Les nématodes sont placés au centre de la partie souterraine de l'appareil (C), remplie de sable, et sont extraits de chaque bras après 24 heures (D). Les racines sont prélevées en même temps, et la production de substances odorantes est mesurée. Ce système permet d'analyser les interactions entre la plante, les ravageurs et les parasitoïdes.

Source: cf. liste des illustrations

dommages infligés à la racine de la variété «Delprim», mais n’offrait pas de protection supplémentaire aux variétés génétiquement modifiées et à leurs isolignées. Des études en laboratoire plus approfondies ont permis d’expliquer cette situation: tant les lignées génétiquement modifiées que l’isolignée produisent moins de substances odorantes que la lignée conventionnelle «Delprim». Ce phénomène peut donc être expliqué par des différences entre les variétés et n’est pas imputable à la modification génétique.

En résumé, ces études démontrent que différentes espèces de ravageurs se nourrissant de la même plante de maïs sont à même de s’influencer mutuellement. En plein champ, ce phénomène est susceptible d’avoir des répercussions sur le développement des populations de ravageurs. Les interactions sont très complexes et impliquent divers facteurs: les ravageurs aériens et souterrains ainsi que leurs ennemis, l’attraction exercée par des substances odorantes ainsi que certains effets plus ou moins prononcés suivant la variété utilisée. De tels réseaux sont essentiels pour le fonctionnement d’écosystèmes, et il est impératif qu’ils ne soient pas perturbés de manière durable par des plantes génétiquement modifiées.

SYSTÈMES D’ANALYSE ET MÉTHODES INNOVANTES

Le PNR 59 avait certes pour but d’étudier les possibilités d’application de la biotechnologie végétale dans les conditions

régnant en Suisse, mais ce programme était également appelé à développer des procédures standard dans le domaine de la recherche sur les risques et le monitoring. Dans ce contexte, plusieurs projets ont consisté à mettre au point des concepts et méthodes novateurs pouvant à l’avenir être appliqués non seulement dans le secteur de la biotechnologie végétale mais aussi dans d’autres champs de recherche. Pour des raisons évidentes, il n’est pas possible d’énumérer ici en détail toutes ces innovations. A titre d’illustration, un projet sera décrit ci-dessous pour chacun des domaines suivants: zoologie des sols, chimie analytique et chimie des sols.

Zoologie des sols

Ce champ de la zoologie est axé sur les réseaux relationnels complexes tels qu’ils se présentent dans les sols. Dans le cadre d’études en laboratoire, il n’est toutefois pas possible de se consacrer avec la même intensité à tous les organismes présents. Il est donc nécessaire de se concentrer sur des espèces dites modèle. Au moment de choisir celles-ci, il convient de veiller, entre autres, à ce que les espèces sélectionnées soient représentatives de l’écosystème, qu’elles participent à des processus essentiels, qu’elles soient faciles à élever en laboratoire et que les fluctuations naturelles de leurs populations soient limitées. Le projet *Influence du blé génétiquement modifié sur la décomposition de la biomasse par les organismes du sol* s’est intéressé au

choix des organismes modèles. Il a été possible de sélectionner, pour l'étude des répercussions de plantes transgéniques, des espèces modèles remplissant les critères mentionnés ci-dessus et conduisant à des résultats reproductibles. Les espèces retenues sont des larves de mouches (*Drosophila melanogaster* et *Megaselia scalaris*), des cloportes (*Porcellio scaber*) ainsi que des vers (*Enchytraeus albidus* et *Lumbricus terrestris*). Les uns sont importants dans la décomposition de matériel organique mort, les autres dans le transport de substances dans le sol. Les vers sélectionnés permettent en outre d'étudier de près le comportement reproducteur (*E. albidus*) et le choix individuel de la nourriture (*L. terrestris*).^[8]

Chimie analytique

L'étude de la réaction de réseaux à des substances odorantes nécessite des instruments de mesure et des méthodes analytiques chimiques très précis. Un olfactomètre a été développé dans le cadre du projet *Interactions du maïs Bt avec l'écosystème du sol*. Cet appareil a permis de déterminer l'attractivité du maïs transgénique et conventionnel pour leurs ennemis aériens et souterrains (cf. illustration 1.17).^{[11][12]}

Chimie des sols

Sous l'angle de la chimie des sols, non seulement la toxicité des protéines Cry du maïs génétiquement modifié est intéressante, mais aussi le comportement de celles-ci au cours des nombreux processus de transport et de transformation. Dans

ce contexte, l'adsorption (l'adhérence) des protéines Cry à la surface des particules joue un rôle important. Plus ces protéines sont fortement adsorbées à la surface des particules, moins elles sont transportées par l'eau s'infiltrant dans le sol à la suite de précipitations. On peut admettre que l'adsorption augmente la stabilité des protéines Cry dans le sol, puisque le travail des enzymes responsables de la dégradation des protéines est rendu plus difficile dans ces conditions. En outre, l'adsorption diminue la concentration des protéines Cry dans la solution du sol, réduisant ainsi l'exposition des organismes présents.

Traditionnellement, l'adsorption des protéines est mesurée comme suit: les protéines sont ajoutées à une suspension aqueuse du sol et bien mélangées. Après un temps donné, la quantité de protéines dans la solution du sol est mesurée. La quantité adsorbée est déterminée par la différence entre la quantité ajoutée et celle présente dans la solution du sol. Cette manière de procéder est toutefois problématique, car il existe d'autres processus (en particulier de dégradation) conduisant également à une baisse de la concentration de protéines dans la solution du sol. De plus, le sol contient d'innombrables composantes minérales (p.ex. du quartz, des minéraux argileux et des oxydes de fer) et organiques (p.ex. de l'acide humique et des racines mortes), et il n'est pas possible de déterminer, par la mesure traditionnelle de l'adsorption, sur quelles surfaces les protéines sont adsorbées et si le processus est réversible.

Dans le projet *Adhérence de protéines Bt à des surfaces de sol minérales et organiques*, une approche très différente a été adoptée. La protéine Cry1Ab y a été choisie en guise d'objet d'étude. Au cœur du nouveau dispositif de mesure se trouve une microbalance à quartz munie d'un capteur piézoélectrique. Ce capteur peut être mis en oscillation par une tension alternative à haute fréquence. La fréquence de l'oscillation dépend de la masse du capteur et équivaut à plusieurs centaines de milliers d'oscillations par seconde. Lorsque des protéines Cry1Ab adhèrent à la surface du capteur, la masse oscillante augmente légèrement et la fréquence de l'oscillation diminue. Cette diminution est enregistrée par le système électronique et sert de mesure de l'intensité de l'adsorption. Dans le cadre du projet, les chercheurs ont développé des procédés capables de modifier les surfaces des capteurs de manière à ce qu'elles ressemblent aux surfaces des particules minérales et organiques les plus importantes du sol. Il a été possible d'immobiliser des substances organiques naturelles du sol sur les capteurs et ainsi d'examiner l'adsorption de protéines Cry dans diverses conditions environnementales.^{[13][14][15]}

Ces résultats pourraient notamment servir à optimiser les solutions tampon utilisées lors de l'extraction de protéines Cry présentes dans le sol. Les données permettront de prédire plus précisément le transport et la toxicité des protéines Cry et de déterminer où elles se trouvent dans les sols agricoles.

RÉPERCUSSIONS DES PGM SUR LA DURABILITÉ DE DIVERS SYSTÈMES DE CULTURE

LUCIUS TAMM

Les répercussions de l'introduction de PGM sur les systèmes agricoles prédominants en Suisse ont été analysées dans le cadre du projet *Comparaison des PGM dans les systèmes agricoles conventionnels, intégrés et biologiques*.^[16] Les chercheurs sont partis du principe que la culture de PGM est sans risques.

Ils ont analysé des rotations de cultures arables typiquement helvétiques ainsi que la culture permanente des fruits à pépins (pommes). Non seulement les répercussions agro-écologiques mais aussi celles socio-économiques ont été enregistrées (les effets socio-économiques sont décrits dans le chapitre 2.1).

Tant dans le domaine des cultures arables que dans celui des fruits à pépins, les PGM courantes ainsi que celles en phase d'introduction sur le marché ont été soumises à une évaluation ex ante. Les indicateurs adéquats ont été déterminés par les chercheurs au moyen de la littérature scientifique ainsi qu'à l'aide de divers ateliers d'experts auxquels ont participé des scientifiques ainsi que des conseillers munis de connaissances approfondies au sujet des trois systèmes de culture.

Tolérance aux herbicides

L'évaluation démontre que dans l'hypothèse de rotations de cultures arables, la tolérance aux herbicides est susceptible de développer un effet maximum sur la pratique

Dans les rotations de cultures arables, la tolérance aux herbicides est susceptible d'avoir le plus grand effet sur la pratique agronomique, tant dans le système de culture conventionnel qu'intégré.

Une résistance de cultures arables à des maladies et des ravageurs n'apporterait ni à la culture conventionnelle, ni intégrée, ni biologique une amélioration notable au niveau de l'exploitation et de la qualité écologique.

agronomique tant dans le système de culture conventionnel que dans le système intégré.

Dans les deux cas, des plantes tolérantes aux herbicides faciliteraient des mesures alter-

natives de lutte contre les plantes adventices ainsi qu'une exploitation modifiée du sol. Le passage d'un travail intensif du sol, notamment à l'aide de la charrue, à une méthode plus douce ménageant les sols telle que le semis direct présenterait plusieurs avantages écologiques: une mobilité réduite de l'azote nitrique, une stabilisa-

tion de la substance organique dans le sol ainsi qu'une réduction de l'érosion.

Cependant, une efficacité fortement améliorée de la lutte contre les plantes adventices obtenue grâce à l'utilisation d'herbicides non sélectifs sur des plantes de culture tolérantes

aux herbicides peut conduire à une diminution de la biodiversité de plantes et animaux vivants dans ces champs. Cet effet est de plus amplifié par une application inadéquate des herbicides ou par une pratique agricole déficiente.

Il est probable que ces avantages et désavantages augmenteraient au cours d'une rotation complète des cultures, car la part des cultures tolérantes aux herbicides dans une telle rotation est élevée.

Les plantes de culture tolérantes à des herbicides ne conviennent pas à l'agriculture biologique, car celle-ci ne recourt pas à de telles substances.

Résistance à des maladies

Une résistance de cultures arables à des maladies et des ravageurs n'apporterait à aucun des trois systèmes de culture (conventionnelle, intégrée ou biologique) une amélioration notable au niveau de l'exploitation et de la qualité écologique. Car aujourd'hui déjà, il existe de bons moyens de régulation n'impliquant pas de PGM, et grâce aux méthodes traditionnelles de sélection, des résistances adéquates sont disponibles.

En revanche, des pommes génétiquement modifiées portant des résistances à la tavelure et au feu bactérien auraient, dans tous les systèmes de culture, un effet positif sur les ressources naturelles et l'écologie locale des plantations de fruits à pépins. Cet effet est le résultat, premièrement, du faible nombre de passages au pulvérisateur, réduisant ainsi l'atteinte portée au sol, et, deuxièmement, de la diminution de l'atteinte à l'environnement par les pesticides. Le même effet est également obtenu grâce à la culture de variétés de pommes rendues résistantes à la tavelure par des méthodes conventionnelles de sélection, tel que c'est déjà le cas pour 42 pour cent de toutes les surfaces de culture biologique de pommes.

Cette étude démontre aussi que les effets agro-écologiques (et agro-économiques) des PGM dépendent considérablement du système de culture choisi et des conditions écologiques en place et que, par conséquent, il n'est pas possible de les généraliser.

LITTÉRATURE

- [1] Meyer, J. B., Lutz, M. P., Frapolli, M., Péchy-Tarr, M., Rochat, L., Keel, Ch., Défago, G., Maurhofer, M. (2010) Interplay between Wheat Cultivars, Biocontrol Pseudomonads, and Soil. *Appl Environ Microb* 76, 6196-6204.
- [2] Song, W. Y., Wiemken, A., Boller, T. (2010) Interplay of arbuscular mycorrhizal fungi with transgenic and nontransgenic wheat. *IOBC/wprs Bulletin* 52, 91-95.
- [3] Fliessbach, A., Messmer, M., Nietlispach, B., Infante, V., Mäder, P. (2011) Effects of conventionally bred and Bt maize varieties on soil microbial biomass and activity. *Biol Fert Soils* 48, 315-324.
- [4] Maeder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U. (2002) Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* 296, 1694-1697.
- [5] Peter, M., Lindfeld, A., Nentwig, W. (2010) Does GM wheat affect saprophagous Diptera species (Drosophilidae, Phoridae)? *Pedobiologia* 53, 271-279.
- [6] Bigler, I., Nentwig, W., Lindfeld, A. (2011) Food preference in the woodlouse *Porcellio scaber* (Isopoda) in a choice test with fungicidal GM wheat. *J Appl Entomol* 136, 51-59.
- [7] Lindfeld, A., Lang, C., Knop, E., Nentwig, W. (2011) Hard to digest or a piece of cake? Does GM wheat affect survival and reproduction of *Enchytraeus albidus* (Annelida: Enchytraeidae)? *Appl Soil Ecol* 47, 51-58.
- [8] Duc, C., Nentwig, W., Lindfeld, A. (2011) No adverse effect of GM antifungal wheat on decomposition dynamics and the soil fauna community - A field study. *PLoS ONE* 6.
- [9] von Burg, S., van Veen, F. J. F., Alvarez-Alfageme, F., Romeis, J. (2011) Aphid-parasitoid community structure on genetically modified wheat. *Biol Letters* 7, 387-391.
- [10] Alvarez-Alfageme, F., von Burg, S., Romeis, J. (2011) Infestation of transgenic powdery mildew-resistant wheat by naturally occurring insect herbivores under different environmental conditions *PLoS ONE* 6.
- [11] Turlings, T. C. J., Davison, A., Tamò, C. (2004) A six-arm olfactometer permitting simultaneous observation of insect attraction and odour trapping. *Physiol Entomol* 29, 45-55.
- [12] Rasmann, S., Köllner, T. G., Degenhardt, J., Hiltbold, I., Töpfer, S., Kuhlmann, U., Gershenzon, J., Turlings T. C. J. (2005) Recruitment of entomopathogenic nematodes by insect-damaged maize roots. *Nature* 434, 732-737.
- [13] Sander, M., Madliger, M., Schwarzenbach, R. P. (2010) Adsorption of transgenic insecticidal Cry1Ab Protein to SiO₂. 1. Forces driving adsorption. *Environ Sci Technol* 44, 8870-8876.
- [14] Sander, M., Madliger, M., Schwarzenbach, R. P. (2010) Adsorption of transgenic insecticidal Cry1Ab Protein to SiO₂. 2. Patch-controlled electrostatic attraction. *Environ Sci Technol* 44, 8877-8883.
- [15] Sander, M., Madliger, M., Schwarzenbach, R. P. (2011) Adsorption of transgenic insecticidal Cry1Ab protein to quartz particles. Effects on transport and bioactivity. *Environ Sci Technol* 45, 4377-4384.
- [16] Speiser, B., Stolze, M., Oehen, B., Gessler, C., Weibel, F., Bravin, E., Kilchenmann, A., Widmer, A., Charles, R., Lang, A., Stamm, C., Triloff, P., Tamm, L. (2012) Sustainability assessment of GM crops in a Swiss agricultural context. *Agron Sustain Dev*, DOI 10.1007/s13593-012-0088-7.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

Génie génétique: origine, concept, évaluation des risques et potentiel pour l'avenir

Des avantages déterminants pour le développement non seulement de la biotechnologie mais aussi de l'agriculture s'annoncent grâce au génie génétique. Autrefois, pour l'exploitation de matières premières biologiques à des fins agricoles, on était contraint de recourir aux espèces présentes dans la nature ou de les améliorer au moyen de la sélection ou d'une mutagenèse largement incontrôlée. Aujourd'hui, il est possible d'introduire des fragments d'ADN responsables de fonctions génétiques spécifiques dans les organismes les plus appropriés à l'exploitation.

Werner Arber

Professeur émérite, département de microbiologie moléculaire
Université de Bâle

L'histoire du génie génétique

Alors que le génie génétique a fortement contribué, et continue à contribuer, aux connaissances actuelles en génomique, lui-même doit avant tout son développement à la recherche en génétique microbienne. Le commencement a été marqué en 1944 par la découverte que l'acide désoxyribonucléique (ADN) est le porteur de l'information génétique. En 1953, les recherches dans le domaine de la biologie structurale en ont élucidé la structure: il s'agit d'une molécule filiforme à structure en double hélice qui assure une multiplication fidèle de la molécule grâce à l'accouplement de nucléotides entre les deux brins. Egalement dans les années 1950, on a découvert que les bactériophages et les plasmides, c'est-à-dire de petites molécules d'ADN qui se multiplient de manière autonome, font office de vecteurs naturels de gènes. Ils sont capables de transférer une partie de l'information génétique de leur ancien hôte à un nouvel hôte. Parfois, l'information génétique contenue dans l'ADN transféré est multipliée et exprimée dans le nouvel hôte.

Le génie génétique se base sur ces connaissances: l'idée consiste donc à extraire un court segment du très grand génome d'un organisme, de l'introduire in vitro dans un vecteur génétique et d'insérer la molécule hybride ainsi construite dans un hôte approprié où elle peut se multiplier et déployer ses fonctions.

Une contribution inattendue à cette approche a eu lieu dans le cadre de l'élucidation des systèmes bactériens de restriction et de modification à partir de 1960: les enzymes de restriction propres à une bactérie distinguent si l'ADN pénétrant de l'extérieur dans la cellule est d'origine étrangère ou s'il provient d'une bactérie de la même espèce. L'ADN «étranger» est coupé en fragments, qui sont ensuite

rapidement débités en leurs éléments constitutifs par des exonucléases. Cette découverte a fait avancer d'un grand pas l'idée du génie génétique: à l'aide d'une enzyme de restriction, un génome peut être découpé en un grand nombre de fragments spécifiques susceptibles d'être séparés au moyen de l'électrophorèse sur gel.

Un fragment d'ADN purifié par cette méthode pourra ensuite être inséré dans une molécule vectrice qui a également été ouverte au moyen d'une enzyme de restriction et, dans une étape suivante, être introduit dans un hôte où il se multiplie et s'exprime éventuellement.

Suivant la cellule hôte choisie, l'expression d'un gène permet d'en déterminer la fonction. Les méthodes de mutagenèse dirigée – l'induction artificielle d'une modification génétique en un site prédéterminé de l'ADN – contribuent également à cette analyse. Puisque la modification d'une séquence d'ADN peut entraver la fonction normale d'un gène, la mutagenèse constitue une aide importante dans l'analyse des fonctions de gènes. Finalement, les fragments de restriction purifiés du génome, à disposition de la recherche depuis les années 1970, ont participé à l'élucidation de séquences de nucléotides.

Auparavant, dans les années 1960, le code génétique universellement valable avait été élucidé. La connaissance de ce code et la possibilité de lire des séquences de nucléotides ont permis d'identifier des gènes spécifiques dans un génome. Il s'avère que les gènes sont de longueurs très différentes mais qu'ils contiennent en moyenne environ 1000 éléments constitutifs (nucléotides).

Les risques présumés

Dès le début du développement encourageant du génie génétique, les pionniers de ce domaine de recherche ont débattu des risques éventuels de la méthode. J'ai en effet assisté en 1972 à la première discussion de principe concernant les risques, qui a eu lieu en Suisse (au Leuenberg, lieu de séminaires dans le canton de Bâle-Campagne) lors d'un atelier de l'EMBO¹ sur les systèmes bactériens de restriction-modification. En février 1975, la conférence interna-

tionale Asilomar² en Californie a été consacrée aux risques présumés du génie génétique.

Il a été constaté à l'unanimité qu'il est nécessaire de différencier entre les risques imminents, pendant le travail

de laboratoire, et les risques à long terme après la dissémination d'ADN recombiné. D'une part, dans le but d'éviter des risques, des directives de travail ont été recommandées. Celles-ci se modélaient sur les règles de travail des laboratoires de microbiologie médicale. D'autre part, il a été discuté de la possibilité que l'ADN recombiné disséminé dans la nature puisse éventuellement aussi se reporter de manière incontrôlée sur d'autres organismes. Il a vite été clair qu'il était nécessaire de connaître, pour l'appréciation des risques, les mécanismes moléculaires de la variation génétique spontanée, le moteur de l'évolution biologique naturelle.

Des connaissances solides sur les mécanismes moléculaires de la variation génétique naturelle ont à leur tour été acquises grâce à des expériences en génétique microbienne. Des comparaisons assistées par ordinateur de séquences d'ADN d'organismes évolutivement plus ou moins parents ont indiqué

que ces principes ont également cours pour les organismes plus évolués. Une vue d'ensemble des connaissances sur les événements moléculaires de l'évolution biologique qui sont à disposition aujourd'hui est présentée ci-dessous.

Variation naturelle et expérimentale

En principe, l'information génétique de tous les organismes vivants examinés jusqu'à présent est relativement stable. Il se peut pourtant que, de temps à autre, une modification génétique ait lieu dans la lignée germinale d'un individu ou dans une cellule somatique. A tout moment, la sélection naturelle postulée par Charles Darwin agit sur une population de formes parentales et de variantes génétiques. Par sélection naturelle, on entend le choix naturel d'organismes vivants en fonction de leur capacité à s'adapter aux conditions de vie auxquelles ils sont soumis. Des conditions définies par la nature physique et chimique de l'environnement et par tous les organismes vivants présents dans un écosystème. Curieusement, il s'est avéré qu'une mutation spontanée ne procure que rarement un avantage sélectif à l'organisme concerné. Bien plus souvent, une nouvelle mutation entraîne des désavantages sélectifs qui font que le porteur de cette variante du gène ainsi que ses éventuels descendants disparaîtront au cours du temps. De plus, un grand nombre de nouvelles mutations sont sélectivement neutres, ce qui signifie qu'elles ne procurent ni avantage ni désavantage au porteur. Ces découvertes indiquent que les variations génétiques spontanées, qu'on nomme mutations, et leurs effets sont plutôt fortuits. C'est aussi à ce niveau que se situe la différence entre la variation génétique spontanée, qui a lieu dans la nature, et la variation expérimentale, se basant sur

le génie génétique. Les processus moléculaires, en revanche, restent en principe identiques.

Consacrons-nous d'abord à la variation génétique naturelle. Il est établi que divers processus contribuent à la formation de variantes génétiques.

- **Modification locale dans la séquence d'ADN:** celle-ci inclut la substitution d'un nucléotide par un autre, l'omission d'un ou de plusieurs nucléotides avoisinants, l'insertion d'un ou de plusieurs nucléotides supplémentaires, ainsi que le mélange de quelques nucléotides avoisinants. Il est important de noter que ces processus ne doivent pas être considérés comme des erreurs ou la conséquence d'accidents. Nous les comprenons aujourd'hui plutôt comme un effet coopératif de produits spécifiques de gènes avec des éléments non génétiques tels que la flexibilité structurale de molécules biologiques.
- **Restructuration par segments au moyen de recombinaisons dans le génome:** ce processus, qui est en règle générale de nature enzymatique, concerne des segments de longueurs variables. Suivant l'enzyme de recombinaison impliqué, ces processus peuvent conduire au doublement d'un segment d'ADN, à son élimination (délétion) ou à son déplacement (translocation) vers une position différente du génome. Cela peut, de temps en temps, conduire à une fusion de deux segments fonctionnels qui étaient auparavant indépendants, résultant sous certaines conditions en une nouvelle fonction biologique.
- **Intégration d'un segment d'information génétique étrangère par l'intermédiaire d'un transfert de gènes horizontal:** ce processus, aussi nommé acquisition, peut être hautement intéressant lorsque l'information génétique incorporée procure au

porteur un avantage sélectif. De manière générale, il s'avère que le transfert horizontal de gènes est le processus le plus efficace lors de l'intégration d'un segment relativement petit d'information génétique étrangère.

Enfin, je fais remarquer encore une fois que, dans la nature, l'ensemble des mécanismes spécifiques de la variation génétique sont des processus plutôt rares. Des systèmes enzymatiques spécifiques ainsi que des processus de régulation de l'expression des enzymes faisant fonction de générateurs de la variation en sont en partie responsables. Pour autant qu'on sache, tous les organismes vivants examinés jusqu'à présent bénéficient d'une part d'une certaine stabilité génétique et d'autre part des avantages à long terme d'une évolution biologique activement entretenue au niveau de leur population.

Les processus de variation génétique connus dans la nature nous servent aussi dans le génie génétique: à l'exemple de l'acquisition naturelle d'ADN, des segments d'ADN relativement courts sont transférés horizontalement. Dans la mutagenèse dirigée, des modifications locales sont introduites dans des séquences d'ADN. Finalement, différentes séquences d'ADN déjà présentes dans le génome sont aussi combinées de temps en temps. Comme dans la nature, les modifications réalisées par génie génétique ont souvent du succès lorsque ce sont de courts segments qui sont introduits. En définitive, l'ensemble des variantes obtenues par génie génétique sont également soumises à la sélection naturelle. Nous ne devons pas oublier

que des segments d'ADN transférés grâce à des méthodes de génie génétique se retrouvent parfois dans la nature et que, tôt ou tard, ils peuvent être transférés spontanément à d'autres organismes par un transfert horizontal de gènes.

En conclusion, nous pouvons constater qu'il n'y a pas de raison scientifiquement fondée d'attribuer des risques méthodiques particuliers aux procédés du génie génétique. L'expérience nous a appris que ni l'évolution biologique naturelle ni les procédés classiques de sélection ne comportent des risques particulièrement élevés. Au vu de la grande similitude entre les procédés de génie génétique et la variation génétique naturelle, nous pouvons présumer que les éventuels risques liés au génie génétique sont du même ordre que ceux de l'évolution biologique naturelle, donc largement insignifiants.

Au vu de la grande similitude entre les procédés de génie génétique et la variation génétique naturelle, les éventuels risques liés au génie génétique sont probablement largement insignifiants.

NOTES

- 1 European Molecular Biology Organization
- 2 Conférence scientifique internationale qui a eu lieu en 1975 à Asilomar, en Californie

LITTÉRATURE

- Arber, W. (2007) Genetic variation and molecular evolution. R.A. Meyers (Ed.) Genomics and Genetics, vol 1, Wiley-VCH, Weinheim, 385-406.
- Arber, W. (2009) The impact of science and technology on the civilization, *Biotechnol. Adv.* 27, 940-944.
- Arber, W. (2010) Genetic engineering compared to natural genetic variations, *New Biotechnology* 27, 517-521.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

2. Économie agricole et législation



2.1 Plantes génétiquement modifiées en Suisse – une analyse agro-économique

Si l'on tient compte des conditions en place dans l'agriculture suisse, l'utilité première des plantes génétiquement modifiées (PGM) est une réduction des coûts. Cette constatation est notamment valable lorsque des aspects indirects, comme l'introduction simultanée du semis sans labour, sont pris en considération. Les semences coûteuses et les mesures de coexistence nécessaires dans la production végétale caractérisée par des structures de petite taille telles qu'elles se rencontrent en Suisse engendrent des frais supplémentaires pour les agriculteurs. La culture choisie et les conditions-cadres déterminent dans quelle mesure les bénéfices ou les coûts l'emportent. Ainsi, les PGM ne présentent un intérêt que lorsque la pression des ravageurs et des maladies est grande. Toutefois, les éventuelles hausses de revenus obtenues grâce à la culture de PGM ne seront probablement jamais plus élevées que les paiements directs liés aux prestations écologiques requises. Pour cette raison, une adaptation de ces directives serait nécessaire afin que les plantes génétiquement modifiées puissent, elles aussi, contribuer à une agriculture écologiquement, socialement et économiquement durable. Pourtant, qu'un agriculteur cultive ou non des plantes génétiquement modifiées n'est pas seulement une question économique. Les opinions et réactions de son entourage social jouent également un rôle très important.

ROBERT FINGER
MICHAEL WEBER

SURFACES MONDIALES CROISSANTES DE CULTURE

Suite à leur introduction commerciale voilà quinze ans, des plantes génétiquement modifiées ont été cultivées en 2011 dans 29 pays, sur une surface de plus de 160 millions d'hectares. Alors que, dans les premiers temps, il s'agissait avant tout de plantes tolérantes à des pesticides et à des herbicides, la croissance actuelle des surfaces de culture peut surtout être attribuée à la disponibilité, depuis peu, de PGM présentant des traits combinés

(stacked traits). Ces plantes sont porteuses de plusieurs nouvelles propriétés telles une résistance à un herbicide et une résistance à des ravageurs particuliers.

Par rapport à la part totale des plantes génétiquement modifiées dans la surface mondiale de culture, le coton, à raison de 82%, représente la culture génétiquement modifiée dominante, suivie par le soja (75%), le maïs (32%) et le colza (26%).^[1]

Pour l'heure, le volume de culture des PGM en Europe est très faible. La culture de maïs Bt en Espagne en représente de loin la plus grande part.

Cependant, ces dernières années, des variétés de plantes agricoles pouvant également présenter un intérêt pour l'agriculture suisse, comme les pommes de terre, la luzerne ou les betteraves à sucre, ont été commercialisées.

A première vue, le développement vertigineux de la surface mondiale de culture donne à penser que les PGM sont rentables de l'avis de nombreux agriculteurs. Malgré les frais élevés liés aux semences, ceux-ci préfèrent les plantes génétiquement modifiées aux plantes conventionnelles. Cepen-

dant, une comparaison détaillée de la rentabilité de PGM et de plantes conventionnelles révèle que les motivations des agriculteurs à s'orienter vers les PGM sont très variées.^[2] Dans les pays dont l'agriculture se caractérise par des procé-

dés d'exploitation hautement développés et une importante lutte contre les ravageurs (p.ex. aux Etats-Unis ou en Europe), la réduction des frais est généralement déterminante. Dans ces conditions, l'utilisation de PGM simplifie ou rend superflue la lutte contre les ravageurs. En revanche, dans les pays où des méthodes de culture moins évoluées sont mises en œuvre (p.ex. dans les pays en voie de développement), la réduction des pertes de rendement réalisable grâce aux PGM représente le facteur économiquement le plus important.

Dans ce contexte, il convient de remarquer qu'en règle générale les PGM ne visent pas à augmenter les rendements, mais plutôt à diminuer les pertes ou à réaliser cette réduction grâce à des frais plus bas. En l'absence de problèmes dus notamment à des ravageurs ou des plantes adventices,

En l'absence de problèmes dus notamment à des ravageurs ou des plantes adventices, les PGM ne présentent pas une rentabilité plus élevée que les plantes conventionnelles.

les PGM ne sont donc, par définition, pas en état de présenter une rentabilité plus élevée que les plantes conventionnelles. Lorsque la culture de PGM est réglementée par l'Etat, il est important de tenir compte, dans les comparaisons de rentabilité, des frais de coexistence dont doit s'acquitter l'agriculteur.

ÉTUDES EFFECTUÉES DANS LE CADRE DU PNR 59

Au vu des faits évoqués et des études menées dans le cadre du PNR 59, les aspects agro-économiques de la culture potentielle de PGM par l'agriculture suisse seront analysés dans ce chapitre.

Les enquêtes menées en Suisse ont mis l'accent surtout sur les exploitations individuelles ainsi que sur l'analyse d'une région de culture test. De ce fait, il n'est pas possible, dans ce résumé, de tirer des conclusions concernant les coûts et bénéfices cumulés au niveau national. De même, les études entreprises dans le cadre du PNR 59 et, par conséquent, ce chapitre se

limitent aux exploitations agricoles considérées comme telles. On ne saurait dès lors tirer formellement des conclusions au niveau du marché ou à celui des acteurs des secteurs de la transformation ou de la distribution situées en aval.

BÉNÉFICE POTENTIEL POUR L'AGRICULTURE SUISSE

Au niveau de toutes les cultures arables importantes en Suisse, les frais occasionnés par la protection des plantes (y compris les coûts pour la main-d'œuvre et les machines) représentent une part importante des frais globaux liés à l'agriculture. Cette situation laisse supposer que les PGM recèlent un certain potentiel économique. Il convient néanmoins d'observer que les problèmes rencontrés dans notre pays sont très hétérogènes, tant du point de vue spatial que temporel. Ainsi, dans le canton de Berne notamment, les ravages causés par la pyrale du maïs n'excèdent le seuil de dommage que certaines années et seulement dans certaines régions.^[3] Cela signifie que l'utilisation de maïs Bt résistant aux ravageurs ne serait pertinente que dans quelques régions du canton.

La culture commerciale de PGM en Suisse étant soumise à un moratoire, il n'est pas possible de recourir à des données empiriques pour l'analyse agro-économique. Pour cette raison, les avantages et désavantages des plantes de culture génétiquement modifiées pouvant convenir à la Suisse ont été analysés et quantifiés à l'aide de modèles au sein des projets menés à bien dans le cadre du PNR 59.

La liste suivante donne un aperçu des projets et des cultures qui y ont été examinées:

Les études du PNR 59 se limitent aux exploitations agricoles considérées comme telles. Il n'est pas possible d'énoncer des conclusions concernant les coûts et bénéfices accumulés au niveau national.

Projet 1: *Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM*^[4]

- Maïs résistant à des ravageurs
- Colza d'hiver tolérant aux herbicides
- Blé d'hiver résistant aux champignons
- Betterave à sucre tolérante aux herbicides

Projet 2: *Comparaison des PGM dans les systèmes agricoles conventionnels, intégrés et biologiques*^[5]

- Maïs résistant à des ravageurs
- Blé tolérant à des herbicides
- Colza tolérant à des herbicides
- Betterave à sucre tolérante à des herbicides, avec résistance additionnelle à la rhizomanie
- Pomme de terre résistante aux nématodes, aux doryphores ainsi qu'au mildiou

Augmentation du rendement

Sur la base d'expériences faites dans d'autres pays, il est admis dans le projet 1 que l'augmentation quantitative du rendement sera faible lors de l'utilisation de PGM (5%). Le projet 2, en revanche, part du principe qu'il n'y a pas d'augmentation du rendement (à l'exception du maïs grain et des pommes de terre biologiques). Pour les considérations qui suivent, cette situation ne joue toutefois qu'un rôle mineur, l'augmentation du rendement n'étant pas l'objectif primaire des PGM dans le cas de l'agriculture suisse, comme mentionné plus haut.

Economie de frais

Pour les exploitations agricoles individuelles, les économies de frais réalisables grâce à l'introduction de PGM seront bien plus significatives. Ainsi, le traitement aux ichneumonidés pour lutter contre la pyrale du maïs peut être supprimé grâce à la culture de maïs Bt. Selon le projet *Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM*, cette situation débouche sur une réduction substantielle des coûts pour la protection des plantes, de 215 à 100 francs par hectare, et des frais de main-d'œuvre légèrement plus bas. L'emploi de blé résistant aux champignons diminue de 20 pour cent les frais pour les fongicides. Les cultures tolérantes aux herbicides permettent d'utiliser un herbicide à large spectre comparativement bon marché, tel le glyphosate, ce qui conduit à des dépenses significativement inférieures pour la protection des plantes dans le cas du colza et de la betterave à sucre.^[4]

Au niveau du maïs grain, le projet 2 arrive à des conclusions similaires: la réduction des frais réalisée grâce à la suppression de la lutte contre la pyrale du maïs est estimée à 141 francs par hectare. En vertu de la tolérance aux herbicides, on peut s'attendre à une diminution supplémentaire des frais engendrée par la lutte simplifiée contre les plantes adventices.^[5] Au niveau d'autres cultures, l'atténuation de la lutte

Les avantages et désavantages des plantes de culture génétiquement modifiées pouvant convenir à la Suisse ont été analysés et quantifiés au moyen de modèles.

contre les ravageurs et la lutte simplifiée contre les plantes adventices abaissent également les frais.

D'un point de vue économique, l'introduction simultanée de PGM et d'autres pratiques agricoles, tel le semis direct, est également hautement

appréciable. Il en résulterait deux avantages: le semis direct est, d'une part, en mesure de contribuer à amoindrir le problème de l'érosion des sols. Il permet,

d'autre part, de réduire considérablement les frais liés à la main-d'œuvre et aux machines. Toutefois, à raison d'environ 3 pour cent de la surface totale de culture, le semis direct ne joue, à l'heure actuelle, qu'un rôle négligeable en Suisse. Cette situation peut, entre autres, être attribuée aux complications dans la gestion des plantes adventices qui en résultent. Ces difficultés sont cependant de nature à être aplanies par l'utilisation de plantes tolérantes aux herbicides et l'emploi d'her-

bicides à large spectre qui s'ensuit. Un attrait supplémentaire pour les agriculteurs, à même de les inciter à se convertir au semis direct. Des cultivateurs travaillant dans d'autres pays ont

en effet justifié l'utilisation de cultures tolérantes à des herbicides par cet effet gagnant-gagnant.^[2] On en conclura donc que

L'introduction simultanée de PGM et d'autres pratiques agricoles telles le semis direct est économiquement intéressante.

La culture de plantes résistantes à des ravageurs peut être considérée comme une sorte d'assurance contre les variations de revenu provoquées par des infestations de ravageurs.

l'introduction simultanée de cultures tolérantes à des herbicides et du semis direct est en mesure de garantir à l'agriculture helvétique de grands avantages économiques.^[4] Il n'est toutefois pas tenu compte du fait que sont disponibles dans certains

cantons des paiements directs pour la transition au semis direct. Ceux-ci rendraient encore plus attrayante la reconversion combinée aux PGM et au semis direct. Suivant l'hypothèse choisie,

l'importance effective des économies pouvant être réalisées grâce à l'utilisation du semis direct et d'herbicides à large spectre est toutefois jugée très différemment dans les deux études.

AVANTAGES SUPPLÉMENTAIRES

Outre l'augmentation du bénéfice moyen, la réduction de la dispersion du revenu, donc la réduction du risque, est également suscep-

tible de motiver l'agriculteur à recourir aux PGM. Ainsi, la culture de plantes résistantes à des ravageurs peut être considérée comme une sorte d'assurance contre les variations du revenu, provoquées par des

infestations de ravageurs.^[6] Des avantages non économiques sont également possibles, à savoir notamment une plus grande

flexibilité dans l'exploitation des terres arables et une diminution des pointes de travail et du stress. Les PGM permettraient de plus la production sur de plus grandes surfaces ainsi qu'une meilleure compatibilité avec une activité accessoire.^[5]

COÛTS DE LA CULTURE DE PGM ET DE LA COEXISTENCE

Les frais additionnels liés aux semences constituent un des éléments de coût les plus importants occasionnés par l'introduction de PGM. Les deux études sont d'avis que ces frais sont de 30 pour cent plus élevés pour les PGM que pour les semences conventionnelles. Bien que cette supposition soit basée sur des valeurs observées, il convient de considérer que ladite augmentation du prix varie très fortement en fonction de la demande, de la structure de l'offre et de la mise en place du cadre juridique.^[2]

Lorsque l'hypothèse est basée sur une faible augmentation quantitative du rendement engendrée par les PGM, l'input (p.ex. les engrais) ainsi que d'autres coûts variables (p.ex. les coûts de séchage) augmentent dans la même mesure. Dans le projet 1 *Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM*, il est, de plus, supposé que la culture de PGM interdit la participation au programme agro-écologique «Extensio». Or, une grande partie des producteurs helvétiques actuels de céréales et de colza touchent des contributions pour la production extensive. Une exclusion de ce programme

engendrerait de ce fait des coûts d'opportunité importants, donc des obstacles significatifs à la rentabilité de ces PGM.

D'éventuelles réglementations de la coexistence de variétés transgéniques et conventionnelles donnent également lieu à des frais pour les agriculteurs. Le projet *Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM* a examiné les dépenses induites par les neuf mesures suivantes de coexistence:

1. Une planification détaillée de la culture comprend, par exemple, l'autorisation, l'enregistrement, la documentation ainsi que l'information des exploitations agricoles avoisinantes.
2. Une distance de sécurité aux parcelles avoisinantes est censée empêcher la propagation des PGM. Les calculs ont été effectués pour des distances de 50 et 300 mètres.
3. Il est également possible d'aménager des zones tampon constituées de semences conventionnelles autour des cultures de PGM dans le but de créer une barrière supplémentaire pour le pollen transgénique.
4. Lorsqu'un respect des distances de sécurité n'est pas réalisable, des coûts supplémentaires résultent de l'examen d'échantillons de récolte des champs conventionnels avoisinants afin d'en exclure la contamination.
5. Les machines utilisées lors de la récolte doivent être nettoyées afin de couper court à une propagation de semences transgéniques dans l'environnement.

Les agriculteurs cultivant des plantes génétiquement modifiées pourraient être exclus du programme agro-écologique «Extensio». Cette situation représente un obstacle significatif pour la rentabilité des PGM.

6. Une sécurisation du transport est nécessaire afin de prévenir la dissémination de matériel de récolte au cours de cette étape.
7. Il est présumé que seuls quelques centres collecteurs prennent en charge du matériel de récolte transgénique, ce qui engendre des frais de transport plus élevés.
8. De façon à prévenir une pollinisation croisée de PGM avec d'autres plantes, il est nécessaire d'arrêter des mesures post-récolte et d'effectuer un contrôle de la repousse l'année suivante.
9. Une assurance adéquate est conclue dans le but de couvrir d'éventuels dommages.

Trois scénarios différents, «favorable», «moyen» et «défavorable», ont servi à déterminer les coûts de ces mesures. Plusieurs types d'hypothèses concernant des facteurs spécifiques à l'exploitation (p.ex. la grandeur de l'entreprise) et l'ampleur des obligations (p.ex. les distances de sécurité) sont à la base de ces scénarios. Se servant du blé d'hiver à titre d'exemple, le tableau 2.1

illustre pour les trois scénarios les coûts des mesures de coexistence mentionnées ci-dessus.

D'un point de vue économique, les frais de planification de la culture ainsi que l'examen des échantillons et les assurances sont d'importance particulière. Ce dernier point doit toutefois être relativisé dans le cadre des réglementations en matière de responsabilité civile valables en Suisse et définies dans la loi sur le génie génétique (article 30 et suivants): le producteur de semences sera tenu pour responsable, cela pour autant que l'agriculteur n'ait pas commis de faute grave (cf. chapitre 2.3).

Les calculs effectués dans le cadre du PNR 59 à l'aide d'un modèle multi-agent pour une région agricole dans le canton de Zurich démontrent que les coûts de la coexistence dépendent fortement de la structure du territoire observé, mais que ladite coexistence est en principe possible.^[7]

En accord avec les expériences faites dans d'autres pays, les calculs ont présumé des prix de vente identiques pour les plantes génétiquement modifiées et celles conventionnelles. Cela signifie qu'au niveau des prix de produits génétiquement modifiés, il n'existe pas de discrimination tout au long de la chaîne de création de valeur et de la commercialisation (de la production aux consommateurs, en passant par la distribution).

Les agriculteurs pionniers de la culture de plantes génétiquement modifiées sont soumis à des frais non susceptibles d'être exprimés en francs puisqu'ils sont tenus de fournir des informations et des explications.

Les obstacles érigés par l'opinion publique exercent une influence significative sur la décision d'un agriculteur de cultiver ou non des PGM.

Tableau 2.1: Coûts des mesures de coexistence, illustrés par l'exemple du blé d'hiver
(en francs par hectare et par an)

Mesure de coexistence	Scénario favorable	Scénario moyen	Scénario défavorable
1. Planification de la culture	22	86	198
2. Distances de sécurité	0	9	57
3. Zones tampon	2	10	25
4. Echantillons	0	0	190
5. Récolte	5	25	61
6. Sécurisation du transport	10	32	79
7. Distance de transport	0	0	111
8. Mesures post-récolte	2	5	15
9. Assurances	52	106	162
Total	93	274	899

Source: cf. liste des tableaux

Il convient également de mentionner des coûts supplémentaires non susceptibles d'être exprimés en francs que subissent en particulier les agriculteurs se lançant les premiers dans la culture de plantes génétiquement modifiées: ils sont astreints par la loi à fournir des informations et des explications, ce qui pourrait les retenir de faire le saut de la culture des PGM. Cela concorde avec une observation effectuée en Allemagne selon laquelle les obstacles dressés par l'opinion publique exercent une influence significative sur la décision d'un agriculteur de cultiver ou non des PGM.^[8]

LA CULTURE DE PGM SERAIT-ELLE PROFITABLE POUR LES AGRICULTEURS SUISSSES?

L'image obtenue en comparant les bénéfices et les coûts liés à l'utilisation de PGM est très contrastée: le scénario «moyen» du projet *Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM* démontre que les variétés génétiquement modifiées de colza d'hiver et de betteraves à sucre tolérantes aux herbicides débouchent sur des gains plus élevés. Le blé d'hiver résistant à des champignons réussit en revanche nettement moins bien que les variétés conventionnelles.

Les variétés génétiquement modifiées de colza d'hiver et de betterave à sucre tolérants aux herbicides sont garants de gains plus élevés. Le blé d'hiver résistant à des champignons s'en sort nettement moins bien que les variétés conventionnelles.

Tableau 2.2: Comparaison de la rentabilité de maïs conventionnel résistant aux ravageurs et tolérant aux herbicides

(en francs par hectare et par an)

	Conv.	Bt	TH	Commentaire
Prestations	4033	4226	4226	Recettes plus importantes grâce à des rendements plus élevés
Contribution à la surface	1680	1680	1680	Paielements directs généraux lorsque les PER sont fournies
Total des prestations	5713	5906	5906	
Semences	292	380	380	
Fertilisation	407	416	416	Frais d'engrais et autres coûts directs adaptés aux rendements plus élevés
Autres coûts spécifiques	729	765	765	
Protection des cultures	215	100	237	Le traitement contre les ichneumonidés est superflu dans le cas du maïs Bt
Fermage (terrain)	718	718	718	
Main-d'œuvre	832	819	739	Frais significativement plus bas pour la main-d'œuvre et les machines dans le cas du maïs TH (avec semis direct)
Machines	1319	1319	1021	
Autres frais généraux	800	800	797	
Frais de coexistence	0	274	274	
(en % des frais totaux)	(0 %)	(4,90 %)	(5,12 %)	Scénario «moyen»
Frais totaux	5312	5591	5347	
Bénéfice / perte	401	315	559	
Avantage des PGM par rapport aux plantes conventionnelles		-86	+158	

Source: cf. liste des tableaux

Se servant du maïs à titre d'exemple, le tableau 2.2 illustre les calculs effectués. Il fait apparaître que la culture de maïs résistant à des ravageurs ne présente pas d'avantage économique par rapport à la production conventionnelle. Le maïs tolérant aux herbicides, au contraire, conduit à un gain plus élevé, se montant à 158 francs par hectare. Il est avant tout dû à l'introduction simultanée du semis direct et aux économies de frais pour les machines et la main-d'œuvre qui en résultent. Pour toutes les cultures, les coûts liés aux mesures de coexistence sont très

faibles en comparaison avec les coûts totaux.

Le projet *Comparaison des PGM dans les systèmes agricoles conventionnels, intégrés et biologiques* aboutit à des résultats similaires. Dans le cas du maïs et du colza, les alternatives génétiquement modifiées augmentent le rendement. Pour ce qui est de la production conventionnelle de blé, de pommes de terre et de betteraves à sucre cependant, elles conduisent à des bénéfices plus faibles. Les variétés de pommes de terre génétiquement modifiées en particulier, pour autant qu'elles soient autorisées

dans ce contexte, permettraient des bénéfices plus élevés dans la production biologique.^[5] Il importe de tenir compte du fait que, dans cette étude, il a souvent été admis que les plantes génétiquement modifiées sont porteuses de caractéristiques combinées (p.ex. une résistance à des ravageurs et une tolérance aux herbicides) et qu'il n'a pas été tenu compte des frais de coexistence. Les deux études aboutissent néanmoins à des résultats semblables, ce qui indique que les hypothèses concernant les économies de frais possibles grâce à l'utilisation de PGM sont nettement plus prudentes dans l'étude d'analyse systématique de l'impact des PGM dans différents systèmes agricoles. Celle-ci démontre également que l'introduction des PGM dans une rotation complète des cultures, impliquant donc que l'évaluation ne porte pas sur les cultures séparées, conduit à des avantages économiques encore plus faibles.

Toutes les comparaisons indiquent que les économies de frais obtenues grâce à l'utilisation de PGM ainsi que les éventuelles recettes supplémentaires réalisées grâce à des pertes de rendement inférieures sont très limitées par rapport aux rentrées d'argent totales. Au regard de

l'ensemble du revenu d'une exploitation, l'avantage additionnel des PGM demeure relativement faible.^[7] Il n'excède, par exemple, jamais le montant qui revient à l'agriculteur par l'intermédiaire des paiements directs généraux. Ainsi, fournir les prestations écologiques requises (PER), auxquelles sont liés ces paiements directs, reste au centre de l'intérêt pour l'exploitant. Du point de vue économique, les PGM auraient donc peu d'importance pour l'agriculteur si leur culture n'était pas autorisée dans le cadre des PER. Il ne serait également pas rentable pour les exploitants de renoncer à la rotation des cultures telle qu'elle est exigée par les PER, même s'ils cultivent des PGM. Par conséquent, le danger que les PGM favorisent la monoculture est largement écarté grâce aux PER.^[5]

Sur la base de ces calculs et de l'hypothèse selon laquelle les PGM génèrent parfois un léger avantage économique, se pose la question de savoir si les agriculteurs seraient réellement disposés à changer de méthodes de culture. A cet effet, un sondage non représentatif a été effectué auprès de 61 agriculteurs du canton de Zurich. Environ 30 pour cent des personnes interrogées envisagent la culture de plantes génétiquement

Au regard du revenu total d'une exploitation, l'avantage additionnel des PGM demeure relativement faible. Il n'excède jamais le montant revenant au paysan grâce aux paiements directs généraux.

Le danger que les PGM induisent une tendance à la monoculture est largement écarté grâce aux PER.

modifiées. L'analyse des facteurs déterminant leur opinion concernant les PGM révèle que l'évaluation de l'attitude de leurs voisins face au sujet est particulièrement importante: lorsque les agriculteurs pensent que ces derniers sont prêts à utiliser des PGM, ils sont bien mieux disposés à en faire de même dans leur exploitation. Cette constatation souligne l'importance de l'opinion des voisins ou d'autres parties prenantes quand un agriculteur hésite à cultiver ou non des plantes génétiquement modifiées. La conviction que les PGM réduisent la charge de travail conduit aussi à une propension beaucoup plus nette des exploitants à la culture de celles-ci.^[9] L'évaluation par les agriculteurs des éventuels dommages à l'environnement est également déterminante. La volonté de cultiver des PGM diminue nettement lorsque les effets écologiques de celles-ci sont considérés négativement.

Au niveau de questions relatives à la coexistence, les résultats du sondage révèlent toutefois une attitude positive et un haut degré de tolérance des agriculteurs face aux PGM: 54 pour cent des personnes interrogées seraient prêtes à mettre volontairement à exécution des mesures de coexistence. De plus, 67 pour cent ont indiqué qu'ils seraient

disposés à participer à des groupes de travail locaux, dans le but de faciliter l'échange d'informations et les accords.

EFFETS DE VOISINAGE ET CULTURE COORDONNÉE

Les études présentées ici ne se basant pas sur le fruit d'observations, il convient de tenir compte de ce que tous les calculs reposent sur des présupposés (plausibles)

quant à des variations au niveau des coûts et bénéfices. De faibles modifications au niveau de ces hypothèses sont en mesure de faire passer d'un extrême à l'autre les déclarations en matière de rentabilité des PGM.

Cette situation vaut également pour des estimations spécifiques relatives aux mesures de coexistence (p.ex. l'assurance responsabilité civile) ainsi que pour les hypothèses concernant l'éventuelle intégration des PGM dans les programmes de paiements directs écologiques déjà en place (p.ex. «Extenso»). Il en ressort qu'une déclaration claire et universellement valable concernant la rentabilité des PGM n'est pas possible sur la base des études réalisées. L'applicabilité des résultats présentés ici concernant la rentabilité de la culture de PGM pour les agriculteurs suisses est en outre limitée par d'autres facteurs.

54 pour cent des agriculteurs interrogés au cours d'un sondage non représentatif seraient prêts à mettre volontairement à exécution des mesures de coexistence.

La mise en place coordonnée de zones de production de PGM est à même de réduire les frais de coexistence (et les problèmes).

Certains calculs ont, par exemple, été effectués en utilisant des chiffres d'exploitation moyens obtenus à l'aide de divers scénarios. Ils ne reproduisent que de manière partielle l'hétérogénéité importante en matière de problèmes et de structure de l'exploitation et des coûts. L'éventuel bénéfice de PGM étant toutefois très spécifique à chaque exploitation, ces analyses ne permettent pas de déterminer clairement la propension des agriculteurs à cultiver des plantes transgéniques. On peut plutôt s'attendre à ce que certaines exploitations fassent usage de PGM, alors que la culture de ces plantes ne serait pas rentable pour d'autres. Cette hypothèse est confortée par l'analyse des modèles qui démontre que même au sein d'une petite région de culture, la rentabilité des PGM peut être très hétérogène.^[7] A ce sujet, il convient de tenir compte du fait que l'utilisation de PGM est susceptible de susciter une certaine dynamique d'adoption: dû aux effets de voisinage mentionnés plus haut, la probabilité d'adoption par les voisins d'agriculteurs cultivant des PGM se révélera plus élevée, entre autres pour des raisons économiques. Car tout exploitant ayant un voisin recourant à des PGM profite également de frais de coexistence plus bas. La mise en place coordonnée de zones de production de PGM est donc à même de réduire les frais de coexistence (et les problèmes).

QUESTIONS EN SUSPENS

Il importe d'intégrer les aspects d'hétérogénéité et de dynamique d'adoption dans de futures analyses sur les «PGM dans l'agriculture helvétique». Un autre aspect critique concerne le choix des PGM. Bien que toutes les cultures arables d'intérêt pour la Suisse aient été prises en compte, le choix présenté dans l'étude *Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM* s'est limité aux résistances à des ravageurs et champignons ainsi qu'à la tolérance aux herbicides.^[4] La tendance globale montre pourtant que les caractéristiques combinées (stacked traits) sont toujours plus importantes. L'utilisation dans les calculs des auteurs d'une hypothèse se fondant notamment sur une résistance combinée à un herbicide et des ravageurs conduirait à une évaluation plus positive de la rentabilité des PGM. Par conséquent, de futures études devront attribuer nettement plus d'importance à l'intégration de traits combinés et aux possibilités à venir des PGM.

Il convient aussi de noter que les recherches effectuées dans le cadre du PNR 59 n'ont pas servi à analyser les répercussions possibles des PGM sur le marché ou à l'échelon des acteurs de la transformation et de la distribution situés en aval. Il importe donc d'intégrer ces effets dans de futures analyses.

Conclusions et recommandations

Conclusion: les analyses de la rentabilité révèlent que les économies de coûts constitueraient le bénéfice premier d'une éventuelle culture de PGM en Suisse.

Recommandation: il convient d'examiner les PGM non pas de manière isolée, mais en combinaison avec des aspects indirects tels que l'introduction simultanée du semis direct, puisqu'ils sont en mesure d'augmenter la rentabilité.

Conclusion: en raison de la dimension limitée de la production végétale en Suisse, les mesures de coexistence risquent de conduire à des frais supplémentaires pour les agriculteurs.

Recommandation: il est possible de réduire les frais de coexistence lorsque des groupes d'agriculteurs cultivant des PGM s'associent ou quand des régions à part sont créées pour la culture de ces plantes.

Conclusion: l'augmentation potentielle du revenu grâce à la culture de PGM n'excéderait pas les paiements directs résultant du respect des PER.

Recommandation: au niveau de la culture de PGM aussi, une adaptation des directives PER est à même de contribuer à garantir une production agricole durable du point de vue écologique, social et économique.

Conclusion: l'acceptation sociale, la structuration des mesures de coexistence ainsi que la pose des jalons de la future politique agricole sont des points essentiels qui déterminent l'intensité avec laquelle les PGM pourront être utilisés dans l'agriculture suisse.

Recommandation: au cours de l'évaluation politique du bénéfice économique des PGM dans l'agriculture helvétique, il importe de prendre en compte, en plus des perspectives de revenu des agriculteurs, les besoins de l'ensemble des acteurs tout au long de la chaîne de création de valeur et de la commercialisation.

LITTÉRATURE

- [1] James, C. (2011) Global Status of Commercialised Biotech/GM Crops: 2011. ISAAA Brief No. 43. ISAAA: Ithaca, NY, USA.
- [2] Finger, R., El Benni, N., Kaphengst, T., Evans, C., Herbert, S., Lehmann, B., Morse, S., Stupak, N. (2011) A Meta-Analysis on Farm-Level Costs and Benefits of GM Crops. Sustainability 3, 743-762.
- [3] Ott, S. (2009) Maiszünslerbonitur 2009. Service phytosanitaire du canton de Berne.
- [4] Albisser Vögeli G., Burose F., Wolf, D., Lips, M. (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnischveränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten. Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.
- [5] Tamm, L., Stolze, M., Oehen, B., Gessler, C., Speiser, B. (2011) Comparative sustainability assessment of the impact of GM plants in Swiss conventional, integrated and organic farming systems. Socio-economic impact of the use of GM crops – arable crops. Report, PNR 59.
- [6] Brookes, G., Barfoot, P. (2009) Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects 1996-2007. Outlooks on Pest Management, 20, 258-264.
- [7] Schweiger, J., Ferjani, A. (2010) Agentenbasierte Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von transgenen Kulturen anhand von Beispielbetrieben in einer Schweizer Ackerbauregion. YSEA 2010, 3-37.
- [8] Consmüller, N., Beckmann, V., Schleyer, C. (2009) The role of coordination and cooperation in early adoption of GM crops: The case of Bt maize in Brandenburg, Germany. AgBioForum 12, 45-59.
- [9] Schweiger, J., Ferjani, A. (2009) Determinanten einer potenziellen Anbaubereitschaft von transgenen Kulturen: Untersuchungsregion im Kanton Zürich. YSEA2009, 59-80.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

2.2 L'acquis des expériences réalisées au sein de l'Union européenne en matière de coexistence

L'UE poursuit une politique de coexistence avec étiquetage obligatoire de produits génétiquement modifiés excédant le seuil de mélange de 0,9%. Dans le cadre de la mise en œuvre de celle-ci, elle s'en tient toutefois au principe de subsidiarité qui implique que les Etats membres sont responsables de la législation spécifique et des directives en matière de coexistence. Cette situation a conduit à des réglementations nationales et/ou régionales variées. Les détracteurs de cette politique de coexistence et de sa mise en œuvre dans les Etats membres argumentent que les mesures proposées sont trop souvent injustifiables d'un point de vue scientifique, difficiles à réaliser, inconséquentes et démesurées, et que, dans bien des cas, elles peuvent donc être interprétées comme une prolongation du moratoire pourtant abrogé. Ces personnes plaident donc pour plus de flexibilité en tenant compte des conditions locales et pour une marge de manœuvre permettant des négociations et des accords facultatifs entre les agriculteurs concernés.

WIM VERBEKE

RÉGLEMENTATION DE LA COEXISTENCE DANS L'UNION EUROPÉENNE

Le libre choix des consommateurs et des producteurs constitue le moteur de la politique de coexistence de l'Union européenne (UE). Une condition déterminante pour la liberté de choix est l'existence, côte à côte, de plusieurs systèmes agricoles différents, donc la coexistence de formes agricoles se servant de plantes conventionnelles et de plantes génétiquement modifiées (PGM).^[1] Selon les recommandations de la Commission européenne du 23 juillet 2003, les agriculteurs peuvent choisir entre la culture par des méthodes conventionnelles, biologiques ou utilisant

des plantes génétiquement modifiées, en accord avec les normes légales concernant l'étiquetage et les standards de pureté.^[2] Dans l'UE, la réglementation en matière de coexistence n'inclut pas les questions de sécurité puisque la coexistence ne concerne que des variétés homologuées de plantes génétiquement modifiées.

Lors de la mise en œuvre des lignes directrices relatives à la coexistence, la Commission s'en tient au principe de subsidiarité, car la taille des entreprises, les formes de culture et la situation juridique sont très hétérogènes au sein des Etats membres de l'UE.^[3] La coexistence doit donc être réglée autant que possible par l'autorité située au

niveau le plus bas. Et chaque Etat membre est habilité à décider de mesures nationales de coexistence permettant d'empêcher la présence non désirée de composants génétiquement modifiés dans d'autres produits.^[4] L'agriculture étant un système ouvert, une certaine proportion de mélange fortuit est toutefois considérée comme inévitable.

Ces limites étant admises, quinze Etats membres ont adopté jusqu'en 2009 des législations spéciales concernant la coexistence,

tandis que trois autres ont annoncé à la Commission des ébauches de lois à ce sujet.^[4]

Afin d'assurer la coexistence de différents systèmes de culture, le droit actuel regroupe à la fois des directives en matière de coexistence

applicables ex ante ainsi que des réglementations ex post de la responsabilité.

Les directives de coexistence ex ante prescrivent des mesures préventives au niveau de l'exploitation visant à garantir le respect de la valeur seuil légale au-delà de laquelle l'étiquetage de la présence fortuite et techniquement inévitable de PGM homologuées dans des produits exempts de PGM est imposé.

Les réglementations ex post de responsabilité couvrent les questions de responsabilité et l'obligation d'indemnisation du dommage économique causé par un mélange fortuit.^[3] Dans le cas du maïs, par exemple, les sources potentielles de mélange

suyantes ont été identifiées: impureté des semences, mélange dans le semoir, pollinisation croisée avec des variétés génétiquement modifiées, mélange dans les machines servant à la récolte ou durant le transport, le séchage ou le stockage.^[2]

Dans l'UE, le seuil de tolérance est de 0,9% pour des traces fortuites ou techniquement inévitables d'OGM dans les denrées

Aucun Etat membre n'a signalé que les prescriptions existantes concernant la coexistence ne suffisent pas à garantir la séparation entre les cultures génétiquement modifiées et conventionnelles.

alimentaires et les fourrages, alors qu'il n'existe pas de valeur seuil officielle pour les semences.

Selon le droit de l'UE, les OGM ainsi que les aliments et les fourrages constitués d'OGM, élaborés à partir d'OGM ou contenant des OGM

sont à étiqueter en conséquence afin de garantir la liberté de choix au niveau du commerce de détail et du consommateur. La conséquence directe de cette directive est que les produits nécessitant un tel étiquetage seront isolés de ceux qui en sont exempts. Les produits devant être marqués ne peuvent plus être distribués avec un label écoproduits.

Lorsqu'un Etat membre est d'avis que la présence de traces d'OGM est susceptible de nuire économiquement aux acteurs du marché désireux de vendre des produits réputés exempts de technologie génétique, cet Etat a la possibilité de prescrire un seuil de mélange fixé plus bas, soit inférieur à la valeur seuil de 0,9%. Ce règlement est inclus dans une nouvelle recommandation de la

Commission qui a été approuvée le 13 juillet 2010. Celle-ci accorde aux Etats membres, dans le cadre de la coexistence, une plus grande flexibilité quant à la prise en compte de particularités régionales et nationales et de besoins locaux spécifiques.^[2]

COEXISTENCE DANS LA PRATIQUE

Le rapport de la Commission de l'UE adressé au Conseil et au Parlement européens concernant la coexistence de cultures génétiquement modifiées, conventionnelles et biologiques donne une vue d'ensemble de l'application pratique de la coexistence au sein de l'UE.^[4]

Le rapport rend compte des constatations suivantes:

- **Lois sur la coexistence:** quinze Etats membres ont approuvé des lois spécifiques concernant la coexistence. Trois autres ont annoncé à la Commission des ébauches de législations. Dans certains Etats membres, l'élaboration d'un cadre réglementaire n'est pas prévu dans un proche avenir, la culture de plantes génétiquement modifiées sur leur territoire étant considérée comme improbable. Dans quelques pays de l'UE, la compétence en matière de coexistence se situe au niveau régional.

Aucun Etat membre n'a signalé que les prescriptions existantes concernant la coexistence ne suffisent pas à garantir un niveau de séparation adéquat entre cultures génétiquement modifiées et conventionnelles.

- **Obligation d’informer:** dans la plupart des Etats membres, les agriculteurs cultivant des PGM ont le devoir d’informer les personnes suivantes: leurs voisins, leurs homologues avec lesquels ils partagent des machines agricoles, les propriétaires de terrains sur lesquels la culture de plantes est prévue et (dans trois Etats membres) les apiculteurs, dans un rayon donné autour du champ où sont cultivées des PGM.

Habituellement, le public est informé de la culture de plantes génétiquement modifiées au travers d’un registre public.

Quelques pays membres de l’UE exigent que les agriculteurs cultivant des PGM suivent un cours obligatoire de formation continue ou qu’ils prouvent être en possession de connaissances suffisantes pour la mise en pratique des mesures de séparation nécessaires.

Quelques exigent une consultation obligatoire des voisins, et parfois aussi leur accord écrit, en particulier pour ce qui a trait à la détermination de distances d’isolement.

- **Mesures de coexistence:** la plupart des Etats membres ont élaboré des mesures de coexistence visant à prévenir une proportion de PGM présentes fortuitement supérieure à la valeur seuil de 0,9%.

Illustration 2.1: Coexistence de formes agricoles avec et sans génie génétique



La plupart des Etats membres de l’UE ont élaboré des mesures de coexistence visant à prévenir une présence fortuite dépassant la valeur seuil de 0,9%. Certains d’entre eux aspirent à une présence fortuite aussi faible que possible. Source: cf. liste des illustrations

Des pays aspirent à une présence fortuite aussi ténue que possible. Pour le maïs, les distances d’isolement varient entre 25 et 600 mètres s’agissant des cultures conventionnelles et entre 50 et 800 mètres aux abords de champs de maïs en culture biologique, cela en fonction du degré de croisement que l’on souhaite tolérer.

Comme les croisements ne sont pas la seule cause possible de mélanges fortuits, les distances d’isolement sont habituellement définies de manière à

ce que leur taux reste inférieur à 0,5%, voire en dessous de 0,1%. Dans un Etat membre, les cultures génétiquement modifiées doivent même respecter une distance d'isolement à l'égard des apiculteurs locaux.

- **Responsabilité:** la responsabilité en cas de préjudice économique dû à des dommages causés à des cultures non génétiquement modifiées du fait de mélanges avec des OGM est soumise au droit civil, lequel relève de la compétence des Etats membres.

Toutes les juridictions nationales n'accordent, en vertu des règles ordinaires régissant la responsabilité civile, qu'une protection minimale lors de tels préjudices. Certains Etats ont introduit une responsabilité spécifique pour les dommages causés par les mélanges fortuits.

Presque tous les systèmes juridiques contiennent des directives pour le règlement des querelles entre voisins qui sont également applicables en cas de dommage économique dû à des mélanges fortuits avec des OGM.

Des produits d'assurance couvrant les risques liés aux mélanges fortuits ne semblent pas avoir fait leur apparition sur les marchés européens. Dans quatre Etats membres toutefois, une couverture d'assurance ou d'autres formes de garanties financières pour des dommages économiques potentiels sont requises par la loi ou peuvent être exigées de cas en cas.

Quelques Etats de l'UE ont créé des fonds d'indemnisation pour les dommages économiques subis du fait de mélanges fortuits avec des OGM. Ces fonds sont financés par une taxe perçue sur les cultures transgéniques.

Jusqu'à présent, aucune indemnité n'a été versée par de tels fonds, et aucun pays membre n'a fait état de cas de mélanges fortuits par-delà les frontières.

- **Zones protégées:** un grand nombre d'Etats membres exigent des procédures spécifiques dans les réserves naturelles ou y interdisent la culture de PGM.

Des régions dans lesquelles la culture de PGM pourrait être interdite pour des raisons socio-économiques n'ont pas encore été délimitées. Certaines régions se sont déclarées exemptes de génie génétique. Il s'agit toutefois d'une déclaration à caractère politique et non d'une interdiction ayant force obligatoire.

Dans quelques Etats membres, il est possible, par décision librement consentie de tous les agriculteurs impliqués, de définir des régions dans lesquelles sont cultivées exclusivement des variétés génétiquement modifiées d'une plante donnée ou, au contraire, uniquement des variétés non transgéniques. Un exemple d'une telle situation pourrait être une région productrice de semences en grandes quantités où les agriculteurs aspirent à un haut degré de pureté et à une présence aussi faible que possible d'OGM.

Dans son rapport, la Commission conclut que la culture de plantes génétiquement modifiées au sein de l'UE ne constitue encore qu'une niche dans la mesure où, à ce jour, un seul produit (maïs MON810) a été commercialisé, et ce dans des quantités très limitées. Environ les trois quarts du maïs génétiquement modifié produit dans l'UE provient d'Espagne, où cette plante couvre presque un quart de la surface de culture nationale de maïs grain.

Le peu d'expérience glané jusqu'ici ne fournit pas d'indications concrètes concernant des difficultés pratiques liées à l'introduction de cultures génétiquement modifiées dans l'agriculture de l'Union européenne. Des dommages économiques dus au non-respect des réglementations nationales de la coexistence ou engendrés par des réglementations inadéquates n'ont pas été signalés.

Il n'existe pas de preuve absolue que les différences juridiques entre les divers Etats membres sont déterminantes pour le choix des agriculteurs en faveur de ou contre la culture de PGM. Il semblerait que, dans ce contexte, d'autres critères jouent un rôle plus important: par exemple, la disponibilité de débouchés adéquats, l'évaluation régionale

variable des avantages et désavantages de PGM, ainsi que les réticences sociales.

Au regard de l'obligation faite aux Etats de l'UE d'adopter des lignes directrices régissant la coexistence de cultures de plantes de divers types, la Commission européenne a fondé en 2008 le Bureau européen pour la coexistence (ECoB). Celui-ci est chargé d'éla-

borer des règles de bonne pratique spécifiques aux plantes de culture pour des mesures techniques de coexistence. Parallèlement, il se penche également sur les possibilités de minimiser les problèmes transfrontaliers potentiels liés à la coexistence et élabore des recommandations pour les régions dont la structure agronomique et les conditions agricoles rendent difficile, à l'échelon de l'entreprise agricole, la coexistence pour une plante donnée.

Dans quelques Etats membres, il est possible de désigner des régions au sein desquelles ne sont cultivées que des PGM ou que des variétés non transgéniques d'une plante donnée.

Jusqu'à aujourd'hui, aucun dédommagement n'a été versé par un fonds d'indemnisation, et aucun pays membre n'a fait état de mélanges fortuits par-delà les frontières.

LA COEXISTENCE À L'EXEMPLE DU MAÏS

Prévention de mélanges fortuits

La première et jusqu'à présent unique publication de l'ECoB au sujet de la bonne pratique dans le domaine a été publiée en 2010 sous le titre de «Best Practice

Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming: 1. Maize crop production»,^[2]

Ce document donne une vue d'ensemble des règles, adoptées à l'amiable, concernant la bonne pratique pour la coexistence des maïs génétiquement modifié, conventionnel et biologique. Il est destiné à aider les Etats membres à élaborer ou épurer leur législation en matière de coexistence ou à adopter des normes facultatives pour la bonne pratique agricole.

Le document identifie en tant que point critique la présence de semences génétiquement modifiées dans des lots de semences non modifiées. Le rapport en conclut que la mesure de coexistence la plus souvent employée est l'isolement spatial des champs afin de limiter la pollinisation croisée. La distance d'isolement prônée pour maintenir le taux de mélange de maïs conventionnel et génétiquement modifié en dessous de la valeur seuil d'étiquetage obligatoire de 0,9% est de 50 mètres au maximum.

Dans le cas de champs se trouvant à proximité de terres en friche, le rapport recommande également de remplacer les distances d'isolement par des zones tampon sur lesquelles poussent du maïs non génétiquement modifié. Habituellement, de telles barrières de maïs réduisent plus efficacement le taux de fécondation fortuite que les distances d'isolement. Lors de la récolte et du traitement qui s'ensuit, les plantes poussant dans ces zones sont traitées comme du maïs transgénique.

D'autres mesures recommandées consistent en des barrières polliniques ou des périodes différentes de floraison pour les diverses variétés de maïs utilisées.

Coûts de la coexistence

Les coûts liés aux distances d'isolement dépendent souvent des conditions régionales. Un exemple de différences régionales est fourni par une analyse réalisée entre 2002 et 2004 et portant sur les données d'entreprises agricoles dans trois provinces espagnoles: suivant la province, l'impact de la culture de maïs Bt sur la marge brute allait d'une influence neutre à une augmentation de 122 euros par hectare et an^[5], cela grâce à des récoltes plus importantes et à une utilisation réduite de pesticides.

La publication de l'ECOB mentionne aussi les frais liés au nettoyage des machines:

- 38 euros pour un semoir
- 56 euros pour une moissonneuse-batteuse
- 1,5 euro pour une remorque ou un camion
- plus 7 euros par nettoyage pour la main-d'œuvre.

LES RÈGLES DE BONNE PRATIQUE

Suite à sa discussion concernant les études publiées et les résultats scientifiques disponibles, le groupe de travail technique de l'ECOB s'est mis d'accord sur les règles de bonne pratique suivantes:

- Les semences doivent respecter les critères de pureté de l'UE et être stockées séparément afin de minimiser le risque

Tableau 2.3: Distances d'isolement selon les recommandations du groupe de travail technique maïs de l'ECOB

Présence fortuite	Distances d'isolement recommandées		*La valeur seuil supérieure se base sur des essais en champ au cours desquels des échantillons ont été récoltés à une distance maximale de 250 mètres de la source de pollen. La distance estimée à laquelle la présence d'OGM ne devrait être décelée dans aucun des échantillons est de 500 mètres. Source: cf. liste des tableaux
	Maïs grain	Emploi de la plante entière	
0,1 %	De 105 à 250-500 mètres*	De 85 à 120 mètres	
0,2 %	De 85 à 150 mètres	De 50 à 65 mètres	
0,3 %	De 70 à 100 mètres	De 30 à 55 mètres	
0,4 %	De 50 à 65 mètres	De 20 à 45 mètres	
0,5 %	De 35 à 60 mètres	De 15 à 40 mètres	
0,6 %	De 20 à 55 mètres	De 0 à 35 mètres	
0,7 %	De 20 à 50 mètres	De 0 à 30 mètres	
0,8 %	De 20 à 50 mètres	De 0 à 30 mètres	
0,9 %	De 15 à 50 mètres	De 0 à 25 mètres	

d'une utilisation involontaire de variétés génétiquement modifiées et de mélanges avec des variétés conventionnelles.

- Il est possible d'éviter les croisements incontrôlés de maïs génétiquement modifié grâce à un isolement spatial ou temporel. La séparation spatiale est possible dans tous les Etats membres. La séparation temporelle, donc le décalage entre la floraison des plantes transgéniques et non transgéniques, dépend en revanche des conditions climatiques et se limite aux pays méditerranéens et à la Roumanie. Les recommandations concernant l'intervalle minimal entre les semailles varient entre 15 à 20 jours pour la Roumanie et 45 à 50 jours pour la Grèce.
- Les recommandations concernant les distances d'isolement à respecter lors de

la production de grains de maïs sont différentes de celles proposées pour l'utilisation des plantes entières. Les distances d'isolement suggérées pour des taux de présence fortuite d'OGM allant de 0,1 à 0,9% sont présentées dans le tableau 1.

- Les zones tampons sont considérées comme des mesures de coexistence adéquates. Il est recommandé de remplacer 2 mètres de distance d'isolation par 1 mètre de zone tampon.
- Lorsque des semences ou du matériel de récolte conventionnels sont mis en terre, récoltés, transportés ou stockés, il convient de nettoyer au préalable de manière appropriée l'ensemble des machines, moyens de transport et lieux de stockage ayant été en contact avec du matériel génétiquement modifié.

La coexistence en Suisse

En 2005 déjà, une étude d'Agroscope Reckenholz-Tänikon ART^[7] a démontré que, du point de vue scientifique, une coexistence de formes de production agricole avec et sans génie génétique est possible en Suisse. Elle nécessite toutefois des mesures techniques et organisationnelles ainsi qu'un échange d'informations et des accords entre voisins.

Les auteurs de l'étude recommandent que la coexistence s'inspire des principes de systèmes existants de respect de l'identité. De tels systèmes sont en place de longue date pour la production de semences et dans le cadre de cultures à caractéristiques spécifiques de qualité (p.ex. le maïs doux). En outre, des mesures techniques et organisationnelles sont à même de réduire le mélange de produits conventionnels et génétiquement modifiés.

Pour chaque culture, la coexistence dépend des propriétés biologiques des plantes, de la structure du paysage, des surfaces arables à disposition et de la densité de culture des plantes génétiquement modifiées. Il est donc indispensable d'arrêter des mesures de coexistence propres à chaque culture. Dans le cas du maïs et du colza, par exemple, la pollinisation de champs exempts de génie génétique par du pollen provenant de champs de PGM joue un rôle important. Pour ce qui est du blé, en revanche, ce risque est peu marqué dans la mesure où le blé est avant tout autofécondant. Il n'est donc guère susceptible de donner lieu à des croisements de ce genre.

Malgré toutes les précautions prises, il ne sera pas possible d'exclure complètement tout mélange. Les législateurs ont donc mis au point des valeurs seuils de tolérance et de déclaration. Celles-ci définissent la part en pourcentage de matériel génétiquement modifié tolérable dans les semences ainsi que dans les denrées alimentaires et les fourrages, et en dessous de laquelle un étiquetage spécial n'est pas requis. Les recommandations élaborées au cours de l'étude partent de PGM dans les aliments et les fourrages correspondant à la valeur seuil de déclaration de 0,9%, valable en Suisse et dans l'UE.

Une future réglementation de la coexistence dans notre pays doit clarifier les critères de pureté pour la production biologique et intégrée. Il est donc indispensable de décider s'il est possible de faire valoir juridiquement des valeurs seuils inférieures afin de déterminer s'il y a dommage économique pour des produits exempts de génie génétique lors de mélanges fortuits. De manière générale, une coexistence couronnée de succès requiert un respect mutuel de tous les acteurs et la volonté de donner à toutes les formes de production agricole les mêmes chances.

OLIVIER SANVIDO

Des machines et des lieux de stockage séparés minimisent le risque de mélanges fortuits.

Le groupe de travail concède que dans certaines régions caractérisées par des champs plus petits, allongés ou étroits, la mise en œuvre de ces recommandations pourrait s'avérer difficile. Des mesures alternatives sont préconisées, telle la communication entre les agriculteurs dans le but de minimiser les problèmes, y compris un accord facultatif concernant un étiquetage indiquant que la récolte contient des OGM, ainsi qu'un regroupement de champs avec le même système de culture.

La praticabilité de mesures de coexistence en rapport avec la culture de maïs en Suisse a été examinée par Sanvido et al.^[6] L'étude se base sur des données existantes concernant la taille des surfaces de culture de maïs et sur des analyses géostatistiques de prises de vue aériennes de surfaces agricoles. Les résultats ont démontré que les ressources spatiales permettraient sans autre de respecter les distances d'isolement nécessaires à la culture de maïs transgénique en Suisse. Toutefois, les auteurs recommandent également des accords entre les entreprises agricoles, pour le cas où des distances d'isolement de 50 mètres seraient définies dans des régions à haute densité de culture de maïs (cf. encadré).

LA COEXISTENCE DANS L'UE EST CRITIQUÉE

Les directives concernant la coexistence ont été critiquées et décrites comme constituant «un défi menaçant de paralyser la culture de PGM en Europe»^[3], le débat à ce sujet étant «ridiculement long»^[8] et les directives strictes qui en ont résulté représentant «une atteinte au bien-être social et une restriction des innovations dans l'agriculture européenne».^[9] Ramessar et al.^[8] déplorent que «même si une plante utile génétiquement modifiée parvient à satisfaire aux exigences d'une procédure d'homologation excessive, tout

agriculteur espérant cultiver cette plante doit ensuite négocier des directives de coexistence tortueuses, arbitraires et scientifiquement injustifiables».

Les auteurs qualifient la politique européenne en matière de coexistence de «paquet» de directives arbitraires et incohérentes, dépourvues de fondements scientifiques rationnels. Ces normes ne font que contrarier les cultivateurs de produits génétiquement modifiés, induisent le grand public en erreur et soumettent inutilement le commerce international à des exigences infiniment complexes. Le point central de la critique porte aussi sur les distances d'isolement imposées qui, selon Devos et al.^[3], ne satisfont pas aux quatre exigences essentielles suivantes:

Tout agriculteur désireux de cultiver des PGM est contraint à s'accommoder de directives arbitraires et scientifiquement infondées régissant la coexistence.

1. Elles sont, dans bien des cas, exagérées d'un point de vue scientifique.
2. Il est difficile de les mettre en œuvre sans compromettre la liberté de décision des agriculteurs, notamment dans les régions où le maïs représente une part considérable de la surface de culture ou dans celles où les champs de maïs sont petits et dispersés.
3. Elles sont incompatibles avec l'hétérogénéité de la taille des exploitations au niveau régional, mais aussi avec les caractéristiques de la distribution des champs et du paysage.
4. Elles sont disproportionnées par rapport à l'intérêt économique que représentent les gains potentiels que permet la culture de PGM ou de plantes conventionnelles, ou qu'assure l'octroi d'éventuelles primes calculées en fonction des conditions locales du marché.

Une réglementation flexible, tenant compte de l'environnement hétérogène de l'agriculture européenne, serait plus favorable à l'innovation et au bien-être social.

plantes génétiquement modifiées, ou que des plantes conventionnelles. Dans ce dernier cas, la région deviendrait une zone exempte de génie génétique. Sur la base de leur analyse économique, les auteurs préconisent une combinaison de directives ex ante et de réglementations ex post de la responsabilité. Ce modèle serait supérieur à celui ne présentant que des directives ex ante, sauf dans le cas extrême où les réglementations ex ante interdiraient complètement la culture de PGM.

Dans le même ordre d'idées, Devos et al. parlent de «l'ironie de la politique de coexistence adoptée par l'UE»: si, au départ, elle a contribué à l'abrogation du moratoire de l'UE sur les PGM, aujourd'hui, elle entrave la culture de PGM en imposant, en tant que mesure préventive principale, des distances fixes d'isolement.

RÉGLEMENTATIONS SOUPLES EXIGÉES

D'autres auteurs^[10] reprochent que les distances minimales prescrites par les ordonnances sur la coexistence dans la plupart des Etats membres de l'UE discriminent les petites entreprises agricoles. De ce fait, les régions dans lesquelles les exploitations et les champs sont en moyenne plus petits cultivent moins de plantes génétiquement modifiées et affichent pour cette raison une compétitivité à la baisse. Une solution pour de telles régions serait que l'ensemble des agriculteurs se mette d'accord pour ne cultiver que des

Les mesures de coexistence actuellement en vigueur dans l'UE confient la mise à exécution des procédures de séparation aux exploitations faisant usage de produits génétiquement modifiés. Cette réglementation fait peser sur les acteurs économiques innovants une responsabilité civile supplémentaire et entrave, selon Mosher et Hurburgh^[9], le développement de la prospérité et de l'innovation. Les répercussions négatives sur le bien-être social sont

imputables à l'excès de réglementations, à l'incertitude de la demande et, au niveau de la distribution, à un attrait impossible à mesurer pour les produits clairement différenciés. Les auteurs notent qu'une réglementation souple, tenant compte du contexte hétérogène dans lequel s'inscrit l'agriculture européenne, favoriserait l'innovation et le bien-être social.

Devos et al.^[3] aussi exigent de la flexibilité dans les directives ex ante concernant la coexistence. De telles mesures souples pourraient être adaptées aux conditions locales d'exploitation et de culture, seraient négociables entre agriculteurs et rendraient ainsi possible une coexistence régionale et économiquement adaptée.

Le projet européen SIGMEA^[11] recommande, lui aussi, que les mesures de coexistence soient souples et qu'elles respectent le principe de la proportionnalité. Il déconseille les prescriptions rigides et les grandes distances d'isolement. Dans le cadre de ce projet, diverses mesures pouvant être mises en œuvre localement ont également été élaborées. Elles tiennent compte de facteurs tels que ceux de la taille de l'entreprise et des champs, du rapport entre les plantes génétiquement modifiées et conventionnelles de la même espèce ainsi que de la commercialisation des récoltes.

EXPÉRIENCES FAITES AU PORTUGAL

Le Portugal dispose d'une réglementation complète concernant la coexistence, y compris des cours de formation continue, des

mesures strictes visant à prévenir des croisements et un fonds de dédommagement public.^[8] Le système présente néanmoins également une certaine flexibilité, telle qu'elle est exigée par ceux qui critiquent la politique de coexistence de l'UE.

Ainsi, les agriculteurs désirant cultiver du maïs génétiquement modifié doivent suivre des cours de formation continue obligatoires dans le but de s'informer sur la coexistence de cultures conventionnelles, biologiques et génétiquement modifiées. Le contenu des cours, organisés par les fournisseurs de semences ou les associations d'agriculteurs, est évalué et contrôlé par la direction générale de la production végétale du ministère de l'agriculture portugais.^[12] Les fermiers cultivant des PGM sont également astreints de déclarer aux autorités agricoles régionales la variété plantée, la surface, l'emplacement et les mesures de coexistence prévues, et d'informer par écrit leurs voisins les plus proches ainsi que les exploitations avec lesquelles ils partagent des machines agricoles. Ils sont également tenus de collaborer avec les autorités concernant toutes les mesures de contrôle et de surveillance, et de tenir un inventaire de leurs procédés de culture.^[13] Le droit portugais consacre aussi le principe d'une responsabilité ex post. Il institue un fond de dédommagement alimenté par une taxe de 4 euros sur le prix d'un sac standard de semences génétiquement modifiées. De plus, des amendes sont prévues pour les agriculteurs ne respectant pas les directives de coexistence. Il est intéressant de constater que la

plupart des fournisseurs de semences se sont déclarés prêts à rembourser les dégâts dus à des croisements fortuits ainsi qu'à des actes de vandalisme ou de destruction par des opposants au génie génétique.

Au Portugal, des distances d'isolement de 200 mètres avec des cultures conventionnelles et de 300 mètres avec des cultures biologiques de maïs comptent au nombre des mesures techniques de séparation. D'autres mesures consistent en des barrières, des zones tampon et la planification de cultures décalées dans le temps (au minimum 20 jours entre les périodes de

floraison). Par ailleurs, des directives régissent le maniement des semences et le stockage.

Une alternative aux distances d'isolement revêt la forme des cultures décalées dans le temps ou d'une zone tampon de 20

pour cent, pouvant servir en même temps de zone de protection pour la gestion des résistances de ravageurs. En conformité avec le droit portugais sur la coexistence, une seule commune (Lagos, Algarve) a été reconnue en tant que zone exempte de génie génétique. Quant à l'île de Madère, elle est la première région sans génie génétique de l'Union européenne.

Bien que le système de coexistence portugais soit plutôt complexe et strict, il permet, grâce aux accords facultatifs entre voisins, une certaine flexibilité dans les mesures d'isolement. Les mesures techniques

de séparation sont obligatoires mais peuvent être modifiées en fonction des conditions locales. Les directives portugaises offrent expressément l'opportunité de réduire les coûts de la coexistence au travers de coopérations telles que la formation de groupes d'agriculteurs en vue de créer des zones de culture pour la production exclusive de plantes génétiquement modifiées de la même variété. Des mesures de coexistence ne sauraient être adoptées qu'entre les agriculteurs dans la zone de culture et leurs voisins en dehors de cette zone. Des mesures complexes visant à prévenir les croisements fortuits et le dédoublement onéreux des installations agricoles peuvent être contournées grâce à une initiative collective de ce genre.^[8]

Une étude de cas de cinq exploitations appartenant à la même coopérative cultivant du maïs Bt montre qu'une réglementation de la coexistence, telle celle en place au Portugal, ne débouche pas forcément sur des frais de production plus élevés, pour autant que ces directives soient suffisamment flexibles.^[12] Concrètement, les membres de la coopérative pourraient se passer de distances d'isolement puisque les champs sont très proches les uns des autres et qu'il n'existe pas de voisins produisant du maïs par des méthodes conventionnelles ou biologiques.

Cette situation a réduit les frais ex ante de coexistence. En même temps, un fond de dédommagement, assumant les atteintes engendrées par des croisements fortuits et l'éventuelle destruction nécessaire des

Bien que le système de coexistence portugais soit complexe et strict, il permet, grâce aux accords facultatifs entre voisins, une certaine flexibilité dans les mesures d'isolement.

récoltes qui s'ensuivrait, a rendu beaucoup plus attrayante pour les agriculteurs la reconversion au maïs Bt. Le fait que la coopérative existait depuis plus de sept ans déjà et que ses membres se connaissaient bien et se faisaient confiance a facilité l'élaboration d'un accord facultatif. Somme toute, cette étude de cas démontre qu'une régulation ex ante flexible, combinée avec des réglementations ex post concernant la responsabilité, est à même d'exercer une influence positive sur la mise en œuvre efficace des directives de coexistence en Europe.

Se fondant sur cinq années d'expériences accumulées au Portugal, Quedas et Carvalho^[13] ont conclu que les cultivateurs de maïs portugais considèrent la coexistence comme étant praticable et que les mesures prévues sont appropriées. L'établissement facultatif de zones de culture a, en particulier, permis aux petites entreprises de se décider en faveur de la culture de variétés Bt de maïs. Toujours est-il que la part du maïs Bt dans la culture totale reste faible, celle-ci ne dépassant pas 4 pour cent.

Globalement, le Portugal apporte la preuve qu'une coexistence est possible dans une agriculture à relativement petite échelle. Face à l'avenir, toutefois, certains défis demeurent, et il convient de les étudier:

1. Les répercussions d'une politique favorisant les agriculteurs ne cultivant pas de plantes génétiquement modifiées. Des régimes de subventions, par exemple, peuvent entraver la conversion

aux PGM et la mise en place de zones de production. Cela conduit à discriminer les petites exploitations aspirant à une conversion à des cultures génétiquement modifiées.

2. L'intérêt croissant pour une agriculture respectueuse de l'environnement, associé à la disponibilité de cultures et de variétés tolérantes aux herbicides. Au vu de cet intérêt, de nouvelles questions se posent en rapport avec la coexistence.
3. De plus amples recherches s'imposent concernant la dynamique des populations d'insectes, les analyses coûts-bénéfices de la coexistence et l'élaboration de modèles permettant de déterminer le flux de gènes.

Les expériences accumulées au Portugal prouvent qu'une réglementation ex ante flexible, liée à des dispositions ex post précises, diminue les incertitudes et favorise la signature d'accords facultatifs entre agriculteurs voisins.

Dans l'ensemble, on peut conclure qu'une approche flexible favoriserait la mise en œuvre efficace des mesures de coexistence en Europe et qu'il serait ainsi possible de réconcilier la liberté de choix des consommateurs et des producteurs avec leurs préférences individuelles et le contexte économique.

Dans l'ensemble, on conclura qu'une approche flexible favoriserait la mise en œuvre efficace des mesures de coexistence en Europe.

Conclusions et recommandations

1. Les directives en matière de coexistence doivent être scientifiquement fondées, faciles à être mises en œuvre, consistantes, proportionnelles et flexibles.
2. Les directives en matière de coexistence ne sauraient discriminer les petites exploitations agricoles, ni menacer la liberté de choix des paysans ou remplacer simplement un moratoire.

LITTÉRATURE

- [1] Devos, Y., Demont, M., Dillen, K., Reheul, D., Kaiser, M. & Sanvido, O. (2009) Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 11-30.
- [2] Czarnak-Klos, M. & Rodriguez-Cerezo, E. (2010) European Coexistence Bureau Best Practice Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming: 1. Maize crop production. EUR 24509 EN. Seville: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- [3] Devos, Y., Demont, M. & Sanvido, O. (2008) Coexistence in the EU – return of the moratorium on GM crops? *Nature Biotechnology* 26: 1223-1225.
- [4] Commission of the European Communities (CEC) (2009) Report from the Commission to the Council and the European Parliament on the coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming. SEK(2009) 408. Brussels: Commission of the European Communities.
- [5] Gomez-Barbero, M., Berbel, J. & Rodriguez-Cerezo, E. (2008) Adoption and performance of the first GM crop introduced in EU agriculture: Bt maize in Spain. EUR 22778 EN. Seville: European Commission, Joint Research Centre.
- [6] Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M., Streit, B., Szerencsits, E. & Bigler, F. (2008) Definition and feasibility of isolation distances for transgenic maize cultivation. *Transgenic Research* 17: 317-335.
- [7] Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M., Streit, B., Szerencsits, E. & Bigler, F. (2005) Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik. *Schriftenreihe der FAL* 55. Agroscope FAL Reckenholz.
- [8] Ramessar, K., Capell, T., Twyman, R.M. & Christou, P. (2010) Going to ridiculous lengths – European coexistence regulations for GM crops. *Nature Biotechnology* 28: 133-136.
- [9] Mosher, G. & Hurburgh, C. (2010) Transgenic plant risk: coexistence and economy. *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food* 1: 639-642.
- [10] Beckmann, V., Soregaroli, C. & Wesseler, J. (2010) Ex-ante regulation and ex-post liability under uncertainty and irreversibility: Governing the coexistence of GM crops. *Eco* 4, 9.
- [11] Messéan, A., Squire, G., Perry, J., Angevin, F., Gomez, M., Townend, P., Sausse, C., Breckling, B., Langrell, S., Dzeroski, S. & Sweet, J. (2009) Sustainable introduction of GM crops into European agriculture: a summary report of the FP6 SIGMEA research project. *Oléagineux, Corps Gras et Lipides* 16: 37-51.
- [12] Skevas, T., Fevreiro, P. & Wesseler, J. (2010) Coexistence regulations and agriculture production: A case study of five Bt maize producers in Portugal. *Ecological Economics* 69: 2402-2408.
- [13] Quedas, M.F. & Carvalho, P.C. (2011) A quinquennium of coexistence in Portugal. Paper presented at: GMCC11, 26-28 October 2011, Vancouver, Canada.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

2.3 Conditions-cadres légales pour l'utilisation du génie génétique vert

La loi suisse sur le génie génétique, y compris certaines dispositions complémentaires figurant notamment dans la loi sur la protection de l'environnement, la loi sur la protection des animaux, la loi sur l'agriculture et la loi sur les denrées alimentaires, constitue l'ensemble normatif visant à protéger les êtres humains et l'environnement contre les risques liés au génie génétique vert. Toutefois, on notera que les dispositions législatives adoptées entre 1997 à 2003 ne régissent que très sommairement la coexistence de formes de production agricole avec et sans plantes génétiquement modifiées (PGM). C'est pourquoi le libre choix des consommateurs n'est pas suffisamment garanti. Dans le cadre du PNR 59, la recherche juridique a analysé la législation régissant le génie génétique dans le but de définir si celle-ci constitue un cadre réglementaire garant d'une sécurité suffisante pour la future coexistence de différentes formes d'agriculture ainsi que pour les consommateurs. Pour ce faire, elle a comparé les systèmes juridiques étrangers et examiné les dispositions de droit international et européen. Par ailleurs, elle a analysé les obligations fixées par la Constitution fédérale ainsi que la portée des normes législatives en vigueur.

RAINER J. SCHWEIZER
CHRISTOPH ERRASS
STEFAN KOHLER

COMPARAISON DE DIFFÉRENTS PAYS ET DE L'UNION EUROPÉENNE

Etats-Unis

Les Etats-Unis partent du principe que les organismes génétiquement modifiés (OGM) soumis à un contrôle des risques ne recèlent pas de dangers potentiels plus importants que d'autres produits. Aussi, ce pays soumet les produits génétiquement modifiés et non

génétiquement modifiés à un régime juridique identique, et il n'y existe aucune loi particulière régissant le génie génétique. En revanche, les tâches de contrôle sont confiées aux instituts et instruments existants.

Le système de normes régissant la biotechnologie («Coordinated Framework for Regulation of Biotechnology») de 1986 constitue le fondement du droit américain sur le génie génétique. On y définit pour l'essentiel le fonctionnement de la collaboration entre des instituts étatiques existants en matière de contrôle de produits biologiquement modifiés. La législation met l'accent sur un système de sanctions pour les infractions commises à l'encontre des mesures de contrôle. L'absence de réglementations spécifiques se ressent notamment au niveau de l'étiquetage des denrées alimentaires génétiquement modifiées. Au niveau de l'Union, les produits contenant des OGM ne sont en effet soumis à aucune

obligation d'étiquetage. Ils doivent simplement attirer l'attention sur les éventuels risques pour la santé engendrés par la consommation du produit concerné.

Des réglementations nationales explicites sur la coexistence font également défaut. En revanche, il existe de nombreux règlements privés et des normes propres aux Etats fédérés, qui relèvent des «Best Management Practices». Ces lacunes légales provoquent

L'égalité de traitement juridique des produits génétiquement modifiés ou non face à la certification conduit à une préférence pour la production de PGM aux Etats-Unis, en raison notamment de la forte influence de l'agro-industrie sur la procédure de contrôle.

des tensions, notamment en rapport avec les méthodes d'agriculture biologique. Le système de certification biologique des Etats-Unis, les «National Organic Program Standards» (NOP), ne se fonde pas sur le type d'organismes mais sur les processus: les produits ayant respecté

les étapes prescrites dudit processus ont le droit d'obtenir la certification, même dans le cas d'un mélange involontaire avec des OGM, et notamment avec des PGM. Toutefois, nombre d'acheteurs en gros privés et de chaînes de distribution se sont dotés de directives biologiques internes et vendent uniquement des produits «sans OGM». Ces derniers ne doivent toutefois pas contenir la moindre trace d'OGM involontaire. Par conséquent, ceux qui souhaitent écouler des produits «sans OGM» doivent veiller, par eux-mêmes et à leur propres frais, à ce qu'aucun mélange ne se produise avec des organismes génétiquement modifiés.

Illustration 2.2: Récolte de soja génétiquement modifié aux Etats-Unis



Les Etats-Unis n'ont pas édicté de réglementations nationales explicites sur la coexistence. En revanche, il existe de nombreux règlements privés ou adoptés par les Etats de l'Union qui relèvent des «Best Management Practices». Source: cf. liste des illustrations

L'égalité de traitement juridique, autrement dit l'inexistence de réglementations spéciales pour les plantes génétiquement modifiées, entraîne une préférence de fait pour la production d'organismes génétiquement modifiés en raison, également, de la forte influence de l'agro-industrie sur la procédure de contrôle appliquée. Ces derniers temps, le gouvernement de l'Union accorde cependant de plus en plus d'attention aux répercussions écologiques de la production de PGM.

Union européenne

L'Union européenne en tant que telle régit le génie génétique au travers de la «Directive relative à la dissémination»¹ et d'autres règlements², ces normes venant s'ajouter au système fermé des Etats membres. Le droit européen s'est notamment fixé comme objectifs de garantir des processus de production sûrs et transparents ainsi que des produits tout aussi fiables, la prise en compte des intérêts des consommateurs et la préservation de la production sans OGM.

En ce qui concerne la coexistence, une recommandation de la Commission³ a certes invité les Etats membres à promulguer des dispositions correspondantes, mais en aucun cas elle ne les y a contraints. Elle ne les a cependant pas autorisés à interdire, limiter ou empêcher, de quelque manière que ce soit, la mise en circulation d'OGM agréés. Jusqu'à présent, seule une petite moitié des Etats membres a promulgué des règles de coexistence. La loi européenne sur la protection de la nature autorise la création de zones protégées qui dépendent toutefois d'une étude d'impact sur l'environnement⁴ et non du refus politique de cultiver des PGM. Nombre de régions approuvent cependant ces interdictions locales de cultures d'organismes génétiquement modifiés et se sont rassemblées en une alliance de régions sans OGM, dont les principes sont notamment ancrés dans la «Charte de Florence» de 2005.

A l'avenir, les régions sans OGM seront très vraisemblablement autorisées au sein de l'Union européenne (UE) pour des raisons écologiques, mais également socio-économiques ou politico-régionales. En effet, le 13 juillet 2010, la Commission a proposé de nouvelles directives relatives à

la coexistence dans une recommandation⁵ invitant les Etats membres à réglementer la culture de plantes génétiquement modifiées (PGM) de manière à ce que différents systèmes agricoles, avec ou sans génie génétique, puissent coexister durablement. Elle autorise également les directives agricoles nationales permettant de diminuer nettement les seuils fixés pour l'étiquetage (0,9 % actuellement) pour les émissions fortuites et techniquement inévitables d'OGM. Ces directives prévoient également diverses possibilités de supprimer les «zones sans OGM».

En 2011, le Parlement européen a encore élargi la proposition de loi de la Commission concernant la marge de manœuvre des Etats membres et décidé, entre autres, que ces derniers devaient disposer du droit de limiter ou de proscrire la culture de PGM⁶. La décision du Parlement européen n'est toutefois pas encore définitive. Notons que certaines de ces évolutions juridiques européennes ne sont de loin pas jugées incontestables au regard des principes communautaires de la libre circulation des marchandises⁷ et des interdictions d'entraver la liberté des échanges commerciaux décrétées par l'OMC.

Dans sa réglementation du génie génétique, le droit européen s'est fixé comme objectifs la garantie de processus de production sûrs et transparents, la prise en compte des intérêts des consommateurs et la préservation de la production sans OGM.

L'Union européenne a fortement tendance à autoriser ses Etats membres à décider par eux-mêmes de supprimer leurs régions sans OGM.

Les décrets publiés jusqu'à présent par les Etats membres au sujet de la coexistence sont très hétérogènes, comme le montrent ci-après les exemples de différents pays.⁸

Autriche

La République fédérale d'Autriche ne dispose d'aucun pouvoir central global dans le domaine de l'utilisation du génie génétique vert, notamment parce que les Etats fédérés ont d'importantes compétences en matière de protection de l'environnement. Indépendamment de la loi fédérale sur le génie génétique, l'introduction de mesures

La République fédérale d'Autriche ne dispose d'aucun pouvoir central global dans le domaine de l'utilisation du génie génétique vert.

de coexistence adaptées relève en grande partie de la responsabilité des Etats fédérés.

En 2004, des recommandations nationales de coexistence ont été publiées sur la base desquelles tous les Länder, à l'exception du Vorarlberg, ont décidé de mettre en œuvre des réglementations de coexistence et ont promulgué à cet effet les «lois préventives sur le génie génétique» (Gentechnik-Vorsorgegesetz).

La loi préventive sur le génie génétique du Land de Carinthie (Kärntner Gentechnik-Vorsorgegesetz – K-GtVG)⁹ prévoit que chaque exploitant agricole mettant en culture des organismes génétiquement modifiés est soumis à une obligation de déclaration et d'autorisation. La dissémination de PGM n'est admise que si elle

ne pollue pas d'autres cultures, conformément à l'état des connaissances de la science et de la technique.¹⁰

Les exploitants cultivant des OGM sont tenus d'en aviser les propriétaires des parcelles attenantes aux leurs et de publier en plus ces informations dans l'organe spécialisé de la chambre d'agriculture («Der Kärntner Bauer») ainsi que dans un quotidien d'audience nationale.¹¹

Si un mélange involontaire se produit, l'autorité administrative de district peut contraindre l'exploitant agricole en cause à verser un dédommagement. Le système de responsabilité est toutefois subsidiaire. L'autorité administrative de district ne prend une décision que si les personnes concernées ne parviennent pas à un accord civil.¹²

République tchèque

La République tchèque fait partie des Etats où les cultures génétiquement modifiées sont autorisées depuis longtemps. Lors de la promulgation du règlement CE 1829/2003¹³ en 2003, la République tchèque se préparait à voir naître sa première culture de maïs génétiquement modifié. Afin de ne pas retarder la mise en culture, le pays a promulgué des dispositions de coexistence provisoires qui ne devaient réglementer la coexistence que pour cette culture de maïs imminente. La réglementation de coexistence définitive qui a été édictée en 2005 se base sur la loi sur l'agriculture¹⁴ ainsi que sur le décret d'application y afférent.¹⁵ D'autres dispositions figurent dans la loi

Illustration 2.3: Agriculture dans la région tchèque de Bohême



La République tchèque cultive des organismes génétiquement modifiés depuis longtemps déjà. La réglementation de coexistence tchèque présente une faible densité réglementaire comparativement à d'autres pays. Source: cf. liste des illustrations

sur le génie génétique¹⁶ qui, en plus de prévoir l'obligation pour le cultivateur d'organismes génétiquement modifiés d'établir un plan d'urgence, donnent un contenu concret aux responsabilités civiles.

La loi de coexistence tchèque impose aux cultivateurs de PGM d'informer leurs voisins ainsi que les autorités, de marquer leurs parcelles, de respecter les distances de sécurité et de conserver les données spécifiques à leur culture pendant cinq ans. Les distances de sécurité légales diffèrent selon les sortes de plantes et tiennent compte de

la présence ou non de cultures biologiques ou conventionnelles dans le champ voisin.

La réglementation de coexistence tchèque présente donc une faible densité réglementaire comparativement à celle d'autres pays. La surface des cultures de maïs génétiquement modifié a connu une croissance continue jusqu'en 2008. Depuis, elle recule à nouveau. La culture de pommes de terre génétiquement modifiées a même été totalement interrompue, ce qui, pourtant, n'est imputable à aucune nouvelle mesure politique ou législative.

France

En 2007, la culture de maïs génétiquement modifié (MON810) représentait dans l'Hexagone une surface de 21'147 hectares. Le pays a ainsi pris la deuxième place du classement des producteurs de PGM. Depuis 2008, les exploitants agricoles français ne cultivent cependant plus d'organismes génétiquement modifiés en raison d'une importante révision de la loi allant dans le sens d'une interdiction de la culture de maïs MON810¹⁷.

Les modifications légales apportées n'ont pas seulement engendré de nombreux changements dans la loi sur le génie génétique (p. ex. une restructuration de l'organisation institutionnelle, des modifications dans la procédure d'enregistrement, une amélioration du système pour informer l'opinion publique). Elles contiennent également, pour la première

fois, des dispositions quant à la coexistence. Cette dernière est régie comme sous-section de la loi sur le génie génétique dans le troisième titre du «Code de l'environnement» ainsi que dans le cinquième titre du «Code rural». Il ne

s'agit cependant que de règles fixant les compétences.¹⁸ Les dispositions d'exécution, encore à l'état de projet, ont été notifiées à l'UE.¹⁹ Celles-ci prévoient des distances de sécurité qui varient, certes, en fonction du type de culture, mais pas selon

le type de production du voisin (conventionnel ou biologique). Les exploitants agricoles doivent nettoyer les machines et les autres appareils qu'ils utilisent pour cultiver des PGM. Par ailleurs, les producteurs de PGM sont soumis à l'obligation de conserver pendant cinq ans les informations ayant trait à leur culture.

Les zones protégées de l'environnement et les producteurs qui peuvent demander une protection au travers d'une appellation d'origine (des exploitations dont la production est conforme à un label de qualité, telle une AOC) jouissent d'un droit de protection très large. Dans ces régions, la culture d'organismes génétiquement modifiés peut même être interdite.²⁰

Conformément au «Code rural»²¹, les exploitants agricoles qui souhaitent mettre des PGM en culture sont tenus d'aviser

l'autorité compétente ainsi que le voisinage proche de leur intention. Sur la base de ces informations, l'autorité compétente établit un registre foncier accessible au public via Internet. Cependant, étant donné qu'aucun exploitant agricole ne cultive

actuellement de plantes génétiquement modifiées en France, le registre fait état de la culture avant que la loi n'ait été modifiée.

En cas de mélange, la loi prévoit une responsabilité causale: l'exploitant agricole incriminé est responsable même s'il a

En 2007, la France disposait encore de grandes surfaces cultivées de maïs génétiquement modifié.

Suite à une révision de la loi et à l'interdiction de cultiver cette sorte de maïs, il n'existe plus aucune culture génétiquement modifiée.

respecté toutes les dispositions légales sur la coexistence. La responsabilité civile de l'agriculteur n'est cependant engagée que dans l'hypothèse où un mélange de cultures génétiquement modifiées avec des cultures non génétiquement modifiées a lieu sur des parcelles voisines également cultivées à la même période et dont l'exploitant se trouve dès lors contraint de déclarer ses produits comme étant génétiquement modifiés. Afin de garantir une couverture de responsabilité suffisante, chaque exploitant agricole d'OGM est tenu de présenter une promesse de garantie.²²

Danemark

Le Parlement danois a adopté en 2004 une loi-cadre, l'«Act on the Growing etc. of Genetically Modified Crops»²³, sur la base de laquelle le ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche a publié différentes mesures de coexistence contraignantes.²⁴

Conformément à ces lois, toutes les personnes participant au processus de production d'OGM ont besoin d'une autorisation. Chaque type de culture agricole est soumis à des dispositions régissant l'intervalle séparant deux mises en culture, les distances de sécurité minimales spécifiques ainsi que l'utilisation des semences et des cultures récoltées. Il est toutefois possible de s'écarter de ces dispositions en cas d'accords civils

conclus avec le voisinage. Les exploitants agricoles sont également tenus d'informer les autorités ainsi que leur voisinage des détails de leur culture de plantes génétiquement modifiées. De même, les propriétaires ou les utilisateurs de véhicules ainsi que les entreprises de transport ou d'autres personnes entrant en contact avec les cultures génétiquement modifiées ou qui transportent celles-ci pour le compte de l'exploitant agricole doivent recevoir des informations adéquates.

Si un mélange involontaire survient malgré le respect des dispositions légales, la responsabilité de l'Etat est engagée, bien que de manière restrictive. Celle-ci compense les dommages causés pendant la même période de culture via un fonds de responsabilité financé par les contributions de droit public des fournisseurs d'OGM. A l'heure actuelle, il n'existe encore aucune culture de PGM au Danemark, mais de nombreux agriculteurs ont déjà obtenu le certificat de capacité nécessaire pour exploiter ce type de produits.

République fédérale d'Allemagne

La révision de la loi sur le génie génétique (GenTG)²⁵ en 2008 a permis d'intégrer pour la première fois des dispositions de coexistence contraignantes dans ce décret. L'article 16b constitue la base de l'ordonnance allemande sur la

A l'heure actuelle, il n'existe encore aucune culture de PGM au Danemark, mais de nombreux agriculteurs ont déjà obtenu le certificat de capacité nécessaire pour exploiter ce type de produits.

Illustration 2.4: Ensemencement de blé génétiquement modifié

Les machines utilisées lors de l'essai in situ à Zurich-Reckenholz pour l'ensemencement de blé génétiquement modifié ont dû être nettoyées avec soin après leur utilisation. Les mesures de nettoyage des machines et des appareils entrés en contact avec des PGM font partie intégrante des réglementations de coexistence de la plupart des pays.

Source: cf. liste des illustrations

de 150 mètres autour de la culture sont considérées comme faisant partie du voisinage; pour les cultures biologiques, ce périmètre s'étend même à 300 mètres.

Préalablement à l'ensemencement ou à la plantation, le cultivateur de PGM est également tenu de demander à l'autorité compétente, selon la législation du Land, ou à un autre service mandaté par la législation de ce dernier, si et, le cas échéant, dans quelle mesure des conditions d'utilisation spéciales sont applicables pour protéger des écosystèmes particuliers, l'environnement ou certains secteurs géographiques.

La culture de PGM nécessite de respecter des distances minimales de sécurité. Au regard d'une clause générale, l'ordonnance sur la production de plantes génétiquement modifiées prévoit que les disséminations involontaires d'organismes génétiquement

coexistence (ordonnance sur la production de plantes génétiquement modifiées).²⁶ Ce règlement impose à tous les cultivateurs d'OGM d'informer leur voisinage de cette culture ainsi que des points suivants: le nom et la parcelle de l'exploitant agricole, la taille de la surface cultivée, le type de plantes ainsi que la désignation et l'identificateur unique ultérieur de la modification génétique. Pour la culture de maïs, les personnes se trouvant dans un périmètre

modifiés dans les parcelles appartenant à un autre cultivateur soient limitées au strict minimum par le recours à des techniques adaptées pour toutes les mesures d'exploitation, récolte incluse. Par ailleurs, le producteur est tenu de nettoyer avec soin le matériel, les machines et les appareils employés pour la mise en culture, la récolte, le stockage ou le transport de semences, de plants ou de produits de récolte génétiquement modifiés avant que ceux-ci ne soient

utilisés pour des semences, des plants ou des produits de récolte non génétiquement modifiés.²⁷ A la fin de la culture de PGM, il est nécessaire de surveiller la pousse de plants spontanés sur la surface cultivée et, au besoin, d'éliminer ces derniers.

Les dispositions ayant trait à la protection du voisinage peuvent être annulées avec l'accord de ce dernier. Il convient d'aviser l'autorité compétente de tels arrangements. Pour que cette dernière soit en mesure de mieux remplir sa fonction de surveillance, les cultivateurs sont soumis à l'obligation d'établir des rapports et d'archiver ceux-ci. Les dispositions relatives à la responsabilité occupent une place centrale. Les mélanges involontaires survenant malgré le respect des dispositions de coexistence légales peuvent également donner droit à une indemnisation. Le code civil allemand (Bürgerliches Gesetzbuch – BGB) garantit un droit à l'indemnité au propriétaire d'une parcelle si celui-ci doit supporter une nuisance locale essentielle à laquelle des mesures acceptables d'un point de vue économique ne peuvent pas mettre un terme et qui l'empêche d'exploiter sa parcelle ou nuit au rendement de celle-ci au-delà de l'acceptable.²⁸

Italie

En Italie, la législation relative à la coexistence relève du domaine de compétence des régions. C'est la raison pour laquelle la cour constitutionnelle a déclaré contraire à la constitution la loi²⁹ promulguée par le gouvernement italien contenant des directives sur la coexistence pour toutes les régions.³⁰ Etant donné qu'il est possible de cultiver des PGM depuis le jugement, nombre de régions (comme le Piémont, le Tyrol du Sud et la Toscane) ont décrété une interdiction provisoire de cultiver des PGM.

Un comité d'experts et de représentants de toutes les régions italiennes, le «Comitato in materia di coesistenza tra colture transgeniche, convenzionali e biologiche», a proposé des mesures de coexistence spécifiques informelles pour les cultures de maïs, de colza et de soja. Celles-ci sont très larges et englobent l'ensemble du processus de production. Outre la création d'un système d'information, le comité a proposé l'introduction d'une procédure d'autorisation pour l'exploitation d'OGM ainsi que la création d'un fonds de responsabilité pour compenser les dommages engendrés par des mélanges involontaires. Les propositions du comité sont certes nombreuses, mais elles

La loi allemande sur le génie génétique garantit une indemnité même en cas de mélanges involontaires.

En Italie, la législation relative à la coexistence relève du domaine de compétence des régions. C'est la raison pour laquelle la loi promulguée par le gouvernement en matière de coexistence a été déclarée anticonstitutionnelle.

nant des directives sur la coexistence pour toutes les régions.³⁰ Etant donné qu'il est possible de cultiver des PGM depuis le jugement, nombre de

transgeniche, convenzionali e biologiche», a proposé des mesures de coexistence spécifiques informelles pour les cultures de maïs, de colza et de soja. Celles-ci sont très larges et englobent l'ensemble du processus de production. Outre la création d'un système

ne sont pas particulièrement détaillées. Les régions doivent donc décider de la manière d'appliquer une mesure conformément à la loi.

La plupart des régions italiennes se sont prononcées contre la culture de plantes génétiquement modifiées. Aujourd'hui, il existe ainsi plusieurs interdictions régionales de cultiver des plantes génétiquement modifiées, qui sont certes prévues comme des dispositions provisoires mais qui ont le caractère de moratoires sur le plan politique. La

loi régionale du Tyrol du Sud sur les organismes génétiquement modifiés dans l'agriculture³¹ ne constitue qu'un exemple de ces dispositions. Initialement, cette interdiction de cultiver était limitée dans le temps, mais cette restriction a été levée en 2011. Nul ne sait quand les premiers moratoires seront remplacés par des réglementations techniques sur la coexistence.

Espagne

L'Espagne est le seul Etat européen à commercialiser, depuis plusieurs années et dans une mesure appréciable, des plantes génétiquement modifiées. Les agriculteurs espagnols ont commencé à cultiver du maïs Bt résistant aux insectes (MON810) en 1998. Dans les régions fortement infestées par la pyrale du maïs, la culture de maïs génétiquement modifié semble s'être imposée comme une solution économiquement

attrayante. En 2011, la surface cultivée de maïs génétiquement modifié s'élevait ainsi, dans le pays, à 97'325 hectares.

Malgré les efforts accomplis depuis 2004, l'Espagne n'est toutefois pas encore parvenue à édicter une réglementation nationale contraignante sur la coexistence. En pratique, les agriculteurs suivent donc les re-

commandations (informelles) des fabricants de semences et notamment celles de l'Union nationale des producteurs de semences (Asociación Nacional de Obtenetores Vegetales). Ces recom-

mandations prévoient le respect d'une distance de sécurité de 20 mètres avec le champ voisin. Les exploitants agricoles peuvent également semer une bordure de plantes non-OGM, servant de zone tampon. Ces deux mesures ne sont toutefois pas utiles si l'exploitant agricole du champ voisin ne procède pas à l'ensemencement dans la même période (deux à quatre semaines). De plus, il convient de veiller à ne pas mélanger les semences génétiquement modifiées aux semences conventionnelles, ainsi que de nettoyer systématiquement les machines après la récolte.

Les communautés autonomes espagnoles (régions) disposent également de compétences en matière de législation relative au génie génétique. Leur capacité à réglementer la coexistence n'est toutefois pas claire. Pour l'heure, aucune communauté autonome n'a édicté de dispositions

sur la coexistence. La communauté du Pays basque a certes promulgué en 2009 une loi pour réglementer la coexistence, laquelle prévoyait une autorisation émanant des autorités pour la culture d'OGM, des mesures visant à éviter les contaminations et les mélanges, ainsi qu'une inspection par les autorités.³² Celle-ci a cependant été abrogée en 2010 par le gouvernement national pour vices de procédure.

Portugal

Le Portugal connaît une culture croissante de plantes génétiquement modifiées, et notamment de maïs Bt MON810. En 2011, la surface cultivée s'élevait à 7'723 hectares.

En 2005, le pays est l'un des premiers Etats de l'UE à édicter une loi³³ introduisant des réglementations sur la coexistence. Conformément à celle-ci, les cultivateurs de plantes génétiquement modifiées doivent se soumettre à une formation obligatoire. Ils sont également tenus d'informer aussi bien les autorités régionales que le voisinage de leur culture. La loi prévoit un nombre précis de rangées de culture possibles ainsi que des distances minimales de sécurité que les agriculteurs doivent obligatoirement respecter.

Les cultivateurs définiront également différentes périodes de floraison pour les PGM et pour les semences conventionnelles.

Afin d'éviter tout mélange avec des semences conventionnelles, il leur est demandé d'étiqueter clairement les emballages, de les conserver séparément et de les fermer avec précaution. Ils doivent également s'engager à nettoyer minutieusement les machines après chaque utilisation. En ce qui concerne les cultures résistantes aux insectes de plantes génétiquement modifiées, le cultivateur est tenu aussi d'aménager des zones de protection pour les cultures conventionnelles. Celles-ci représenteront au moins 20 pour cent de l'ensemble de la surface cultivée existante.

A chaque achat, les vendeurs de semences doivent informer les agriculteurs sur les fondements légaux en vigueur en matière de coexistence au moyen d'une notice préalablement contrôlée par l'autorité compétente. En outre, ils s'engagent à déclarer chaque vendeur d'OGM aux autorités régionales.

En cas de transgressions des dispositions légales sur la coexistence, les personnes et les exploitations concernées risquent des amendes pouvant aller respectivement jusqu'à 3'700 et 44'800 euros. Les autorités régionales et nationales assument principalement les fonctions de contrôle et de surveillance des obligations décrites ci-dessus.

La réglementation portugaise en matière de coexistence exige, entre autres choses, que les cultivateurs de PGM se soumettent à une formation obligatoire.

PRESCRIPTIONS DU DROIT INTERNATIONAL ET EUROPÉEN

Droit international

Au regard du droit international, la réglementation sur la coexistence relève du droit commercial. Sont notamment déterminants l'Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce (GATT)³⁴, l'Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires (SPS)³⁵ et l'Accord sur les

obstacles techniques au commerce (OTC).^{36[1]}

Ces derniers statuent, entre autres choses, sur la règle du traitement préférentiel qui dispose que les produits étrangers identiques («Like Products») doivent être traités comme les produits

correspondants nationaux. Il est impossible de dire avec certitude si des produits génétiquement modifiés et non génétiquement modifiés sont considérés comme identiques en raison de l'absence de décisions à ce sujet de la part des autorités de règlement de litige compétentes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC).^{[2][3][4][5]} Et même s'il s'agissait de produits identiques, il existe, dans certaines conditions, des motifs de justification qui autoriseraient malgré tout une telle inégalité de traitement. Nous pensons donc qu'il est difficile de savoir quelles prescriptions distinguent la législation de l'OMC d'une réglementation suisse sur la coexistence.

La réglementation ouverte et en partie contradictoire ne permet pas de prédire l'influence qu'aurait un contentieux de l'OMC sur la réglementation suisse relative à la coexistence.

Droit de l'Union européenne

N'étant pas membre de l'UE, la Suisse n'est en principe pas tenue de respecter la loi sur le génie génétique de l'Union européenne, pour autant qu'aucun accord bilatéral ne l'y oblige sur certains points, comme l'Accord de libre-échange. Mais notre pays peut certainement s'en inspirer et il est également très intéressé à un échange continu d'expérience avec l'UE et ses Etats membres (p. ex. dans des comités de coordination, comme COEX-NET). En outre, la Suisse y voit non seulement un intérêt au regard de l'échange intense de marchandises avec l'UE, mais également un engagement à ne pas entraver la circulation des marchandises dans la loi fédérale sur les entraves techniques au commerce.³⁷ Sous réserve qu'il soit possible de faire valoir des intérêts de sécurité, écologiques, économiques ou culturels, comme c'est le cas pour la protection de l'intégrité des organismes vivants, requise par la Constitution. En outre, la loi fédérale sur l'application du génie génétique au domaine non humain (loi sur le génie génétique, LGG)³⁸ impose au Conseil fédéral de tenir compte des relations commerciales avec l'étranger.³⁹ Par ailleurs, la Suisse, et notamment dans les régions limitrophes du pays, a un intérêt, relevant du droit de voisinage, à trouver un accord avec les quatre Etats membres de l'UE ainsi qu'avec l'Etat de l'EEE qu'est la Principauté de Liechtenstein qui l'entourent et qui souhaitent tous une protection rigoureuse de la production de plantes non génétiquement modifiées.

ANALYSE DU DROIT EN VIGUEUR EN SUISSE

Fondements

L'exploitation du génie génétique est essentiellement déterminée par la loi sur le génie génétique (LGG). Par organisme génétiquement modifié, la LGG entend tout organisme dont le matériel génétique a subi une modification qui ne se produit pas naturellement, ni par multiplication ni par recombinaison naturelle.⁴⁰ C'est la raison pour laquelle les processus dont l'être humain est, certes, responsable, mais qui n'interviennent pas directement dans le matériel génétique, comme l'insémination artificielle, la culture de sélection ou la pollinisation manuelle, ne relèvent pas du domaine d'application de la LGG. L'exploitation d'OGM est soumise à autorisation en vue de protéger les êtres humains, les animaux, l'environnement, la diversité biologique⁴¹ ainsi que les productions d'organismes non génétiquement modifiés⁴² et de respecter l'intégrité des organismes vivants.⁴³ Il est obligatoire d'obtenir une autorisation pour les activités en systèmes fermés, les disséminations expérimentales et la mise en circulation à des fins non commerciales.

La réglementation sur la coexistence de la loi sur le génie génétique

Jusqu'à présent, la coexistence est réglementée dans la norme de base par l'art. 7 ainsi que, ponctuellement, par les art. 15, 16 et 17 de la LGG ainsi que par les art. 8 et 9 de l'ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (ODE). Indirectement, la régle-

mentation sur la coexistence est également garantie, entre autres, par le droit de la responsabilité civile, conformément à l'art. 30, et par les dispositions pénales de l'art. 35 LGG.

L'art. 7 LGG s'intitule *Protection d'une production exempte d'organismes génétiquement modifiés ainsi que du libre choix des consommateurs*.

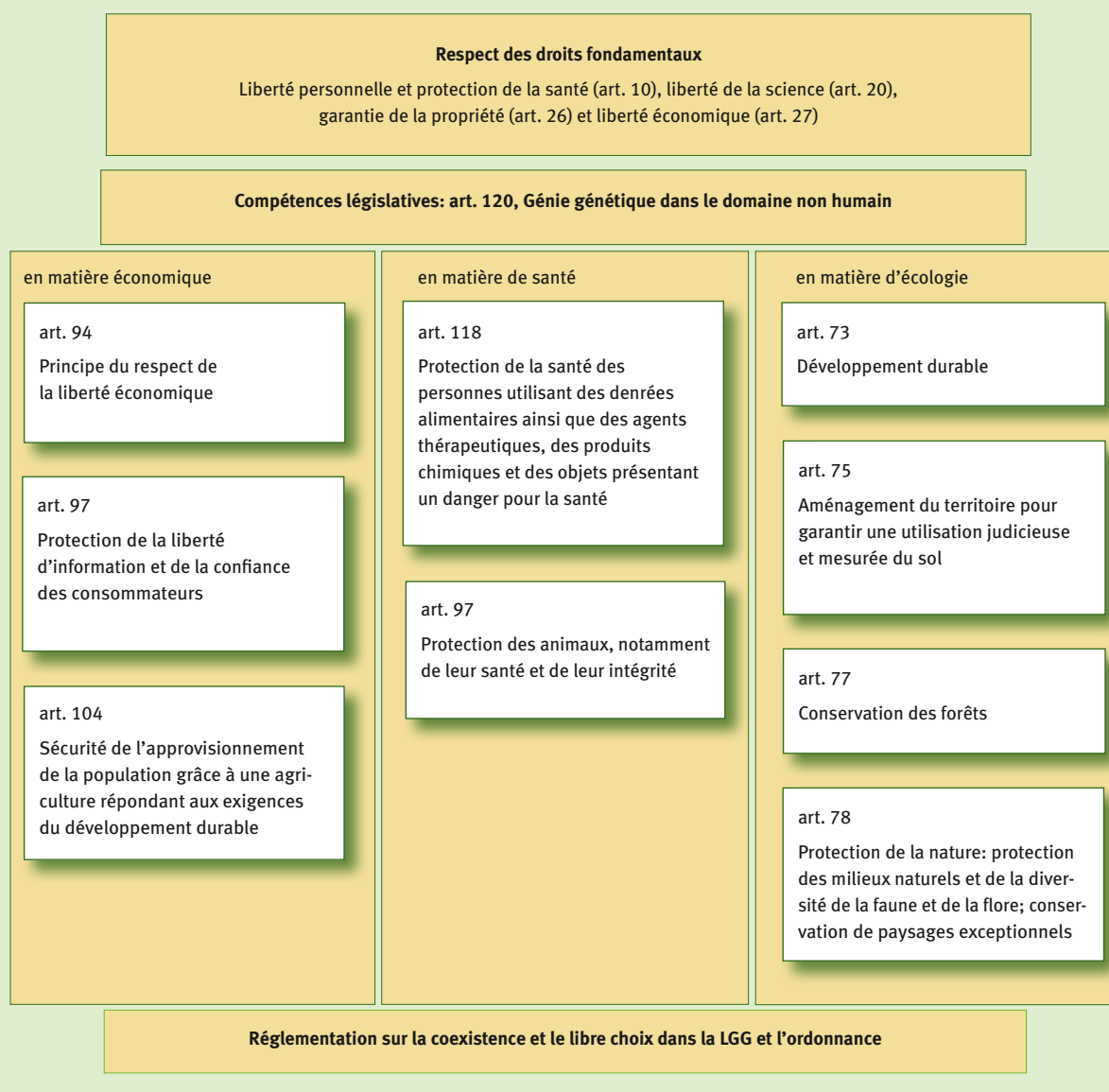
Quiconque utilise des organismes génétiquement modifiés doit veiller à ce que leurs métabolites et leurs déchets ne portent pas atteinte à une production exempte d'organismes génétiquement modifiés ni au libre choix des consommateurs.

Cet article protège les deux biens juridiques que sont la liberté de production et le libre choix des consommateurs, l'un des objectifs de protection servant également l'autre. L'article se contente de fixer l'objectif sans formuler la moindre mesure à prendre. Il prévoit une obligation préventive de vigilance, au sens du principe de précaution⁴⁴ afin d'éviter de nuire, même de manière involontaire, à la production et aux produits sans OGM. L'obligation de vigilance n'englobe pas seulement les cultures et les produits du même type (une semence A génétiquement modifiée par rapport à une semence B non génétiquement modifiée), mais toutes les applications du génie génétique dans la production. De plus, les métabolites et les déchets d'OGM ne doivent pas non plus nuire à la production et aux produits sans OGM.

Une « nuisance » définit un acte ayant un effet économique négatif. Il convient donc de formuler des mesures empêchant les mélanges de produits génétiquement modifiés

Illustration 2.5: Les bases légales d'une réglementation sur la coexistence en Suisse

La Constitution fédérale contient de nombreuses normes qui ne concernent qu'en partie l'application du génie génétique au domaine non humain. Celles-ci forment la base pour l'élaboration de la réglementation sur la coexistence dans la loi sur le génie génétique et de l'ordonnance sur la coexistence. Source: cf. liste des illustrations



et non génétiquement modifiés. Si un tel mélange se produit malgré le respect des dispositions en la matière, celui-ci est éventuellement autorisé dans la mesure et pour autant qu'il ne nuise pas à la production exempte d'OGM à court ou à long terme. Mais le législateur doit encore préciser à partir de quel moment le seuil d'admissibilité est atteint. Ce concept est également à la base de la réglementation sur la désignation, conformément à l'art. 17 LGG.

Constitution et droit international

A l'instar de toute règle de droit, l'art. 7 LGG doit être conforme au droit constitutionnel et au droit international. La Constitution fédérale contient de nombreuses normes concernant, au moins en partie, l'application du génie génétique au domaine non humain. Les articles de la Constitution suivants sont déterminants pour la coexistence exigée par l'art. 7 LGG ainsi que pour le libre choix:

- Art. 120 Cst. Génie génétique dans le domaine non humain

Du point de vue économique:

- Art. 104 Cst. Agriculture;
- Art. 97 Cst. Protection des consommateurs;
- Art. 94 Cst. Principe de la liberté économique.

Du point de vue écologique:

- Art. 75 Cst. Aménagement du territoire;
- Art. 77 Cst. Protection des forêts;
- Art. 78 Cst. Protection de la nature et de la biodiversité.

Du point de vue de la santé:

- Art. 118 Cst. Denrées alimentaires, agents thérapeutiques et produits chimiques bons pour la santé;
- Art. 80 Cst. Protection des animaux.

Il convient également de tenir compte du développement durable (art. 2, 73 et 104 Cst.), auquel le législateur doit cependant encore donner un contenu concret.⁴⁵ Et chaque réglementation est appelée à respecter les droits fondamentaux, notamment le droit à la vie, à la santé et à la liberté personnelle (art. 10 Cst.), la liberté de la science (art. 20 Cst.), la garantie de la propriété (art. 26 Cst.) et la liberté économique (art. 27 Cst.).

La mission du législateur

L'art. 120 Cst. entend protéger les êtres humains et l'environnement contre les abus en matière de génie génétique. Cela inclut, entre autres, la protection de la propriété et, partant, l'obligation de ne pas «nuire» aux produits exempts d'organismes génétiquement modifiés avec des organismes génétiquement modifiés. De même, la garantie d'une indemnité doit tenir compte des particularités du génie génétique, et notamment de ses répercussions à long terme. Il ne s'agit certes pas de protéger l'évolution naturelle et non influencée, mais la possibilité pour l'évolution de devenir partie intégrante de la diversité biologique.

L'article traitant de l'agriculture dans la Constitution fédérale⁴⁶ est essentiel pour le génie génétique, car il revendique

la sécurité de l'approvisionnement de la population en denrées alimentaires répondant aux exigences du développement durable, ainsi que la protection des ressources naturelles et l'entretien du paysage rural. Pour ce faire, une surface minimale d'assolement est nécessaire. Afin de permettre une rotation des cultures, il faut également plusieurs plantes cultivées. Une diversification minimale est donc indispensable. C'est la raison pour laquelle il est judicieux de planter, à long terme, des plantes non génétiquement modifiées à côté de plantes génétiquement modifiées.

La compétence de la Confédération de légiférer sur les principes ayant trait à l'**aménagement du territoire**⁴⁷ se révèle ainsi pertinente. Celui-ci relève de la responsabilité des cantons et doit prendre en compte, en particulier, les **réserves naturelles**.⁴⁸ La Confédération ne saurait légiférer sur les aménagements du territoire nationaux, mais elle est susceptible d'influencer l'aménagement du territoire cantonal par l'intermédiaire de plans sectoriels. Ainsi, il existe déjà un plan sectoriel sur les surfaces d'assolement. Et la Confédération pourrait tout aussi bien créer un plan sectoriel pour les zones exemptes d'OGM.

La **protection des consommateurs**⁴⁹ protège toujours tous les consommateurs finals. Le cultivateur est ainsi également considéré comme un consommateur final sur le marché des semences. C'est la raison pour laquelle les prescriptions de déclaration⁵⁰ ainsi que l'obligation d'informer les acheteurs⁵¹, conformément à la loi sur le génie

génétique, peuvent également s'appuyer sur cette compétence de la Confédération.

Le **principe de la liberté économique**⁵² est pertinent, car il prévoit que seules des mesures conformes à ce principe sont de nature à limiter la liberté économique. Seraient non conformes à ce principe les mesures qui ne feraient pas que provoquer mais viseraient à créer une inégalité concurrentielle. Les mesures contraires au principe ne sont admises que si elles s'appuient sur la Constitution fédérale. Dans le domaine du génie génétique non humain, seule l'agriculture est concernée.

Protection des droits fondamentaux

Certains aspects de divers droits fondamentaux sont importants pour l'utilisation du génie génétique et pour l'application de la LGG. Il convient de veiller à ce que, dans de nombreux cas, les producteurs d'organismes génétiquement modifiés et ceux d'organismes non génétiquement modifiés puissent invoquer les mêmes droits fondamentaux (la garantie de la propriété ou la liberté économique, par exemple). Le droit à la liberté personnelle protège toutes les libertés jugées comme des manifestations élémentaires de l'épanouissement de la personnalité.⁵³ Cela inclut aussi l'aspiration à être en bonne santé et à pouvoir se nourrir. La liberté de la science protège la recherche orientée sur les organismes génétiquement modifiés, mais également celle sur la culture biologique. Dans le cadre de la réglementation sur la coexistence, elle est susceptible d'être revendiquée lors de disséminations expérimentales.

De même, le droit à la propriété⁵⁴ peut être valablement invoqué lorsque des droits réels et d'autres droits patrimoniaux, tels les droits contractuels des cultivateurs ou les droits de propriété intellectuelle de producteurs, sont limités. Mais il existe aussi d'autres normes ancrées dans la Constitution qui ne limitent pas la garantie constitutionnelle de la propriété⁵⁵ mais la concrétisent. Cela est aussi valable pour le mandat donné au législateur concernant le génie génétique⁵⁶, par exemple. La liberté économique comprend également la liberté d'exercer une profession ainsi que les domaines liés à l'activité professionnelle, comme le libre choix des moyens de production. De même, il convient de respecter l'égalité de traitement des concurrents directs.

Répartition des réglementations entre la loi sur le génie génétique et les ordonnances

Selon la Constitution fédérale, il appartient à la Confédération d'édicter les dispositions importantes fixant des règles de droit sous la forme de lois fédérales au sens formel.⁵⁷ Les autres dispositions peuvent être édictées par voie d'ordonnances, autrement dit être confiées par le législateur au Conseil fédéral. Cette délégation doit cependant être encadrée dans ses grandes lignes par une loi fédérale et, dans le cas qui nous occupe, par la loi sur le génie génétique. Mais le Conseil fédéral est habilité à édicter de sa propre

initiative de simples prescriptions d'exécution s'inscrivant dans la concrétisation de mandats législatifs⁵⁸. Ainsi, en vertu de la loi sur le génie génétique, il lui serait possible de donner un contenu concret au terme juridique imprécis de «production exempte d'organismes génétiquement modifiés» dans

Les conditions-cadres légales pour l'utilisation du génie génétique vert en Suisse doivent, d'une part, être promulguées dans la loi sur le génie génétique et peuvent, d'autre part, être édictées par le Conseil fédéral sous forme de règlements.

le cadre de l'ordonnance d'exécution. Toutefois, pour déterminer le niveau de protection et les mesures nécessaires à sa réalisation, un mandat donné expressément par la loi est indispensable. Or, manifestement, l'art. 7 LGG ne satisfait pas encore aux principes

constitutionnels en matière de délégation. Par exemple, si les voisins d'un producteur de PGM voyaient leurs droits fondamentaux être enfreints en raison de certaines obligations définies uniquement par un règlement, le Tribunal fédéral déclarerait en l'état actuel des choses que la loi sur le génie génétique ne comprend aucune disposition autorisant à édicter de telles obligations.⁵⁹ Il en va de même pour les restrictions à la liberté économique et à la garantie de la propriété découlant de la délimitation par l'autorité de zones exemptes d'OGM et pour les peines administratives et autres sanctions, toutes dispositions devant être prévues par la loi. En d'autres termes, une simple ordonnance fixant la réglementation relative à la coexistence ne saurait être reconnue légalement et ne pourrait pas être mise en œuvre.

Conclusions et recommandations

Globalement, en matière de coexistence entre différentes formes de production végétales et animales, la Constitution fédérale suisse exige à la fois de l'ordre et le respect de l'égalité de traitement. Il en résulte ce qui suit:

1. La Suisse doit veiller à ce que sa loi sur le génie génétique soit compatible avec la réglementation européenne, comme l'exige l'art. 16, al. 6 LGG.
2. La répartition des compétences en matière de pouvoir réglementaire entre ce qui relève de la loi, d'une part, et des ordonnances, d'autre part, doit être respectée, en particulier aussi aux fins de protéger les droits fondamentaux des producteurs et consommateurs.

NOTES

- 1 La directive 2001/18/CE du Parlement européen et du Conseil du 12 mars 2001 relative à la dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés dans l'environnement et abrogeant la directive 90/220/CEE du Conseil, JO CE L 106/1 du 17 avril 2001.
- 2 Règlement (CE) n° 1829/2003 du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2003 concernant les denrées alimentaires et les aliments pour animaux génétiquement modifiés, JO CE L 268/1 du 18 octobre 2003; règlement (CE) n° 1830/2003 du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2003 concernant la traçabilité et l'étiquetage des organismes génétiquement modifiés et la traçabilité des produits destinés à l'alimentation humaine ou animale produits à partir d'organismes génétiquement modifiés, etc., JO CE L 268/24 du 18 octobre 2003, ainsi que le règlement n° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91, JO L 189/1 du 20 juillet 2007.
- 3 Recommandation de la Commission du 23 juillet 2003 établissant des lignes directrices pour l'élaboration de stratégies nationales et de meilleures pratiques visant à assurer la coexistence des cultures génétiquement modifiées, conventionnelles et biologiques (2003/556/CE).
- 4 Directive 92/43/CEE, JO CE L 206/7 du 22 juillet 1992, et directive 79/409/CEE, JO CE L 103/1 du 25 avril 1979.
- 5 Recommandation de la Commission du 13 juillet 2010 établissant des lignes directrices pour l'élaboration de mesures nationales de coexistence visant à éviter la présence accidentelle d'OGM dans les cultures conventionnelles et biologiques (2010/C200/01).
- 6 Décision législative du Parlement européen du 5 juillet 2011 sur la proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant la directive 2001/18/CE en ce qui concerne la possibilité pour les Etats membres de restreindre ou d'interdire la culture d'OGM sur leur territoire (COM(2010)0375 – C7-0178/2010 – 2010/0208(COD)).
- 7 Art. 34 de la Version consolidée du traité sur le fonctionnement de l'Union européenne (TFUE), JO UE C 115/47 du 9 mai 2008.
- 8 OGM: le Parlement en faveur d'un droit national pour interdire les cultures. Communiqué de presse du Parlement européen du 5 juillet 2011.
- 9 Loi relative à la réglementation des mesures de précaution concernant le génie génétique (loi du Land de Carinthie relative aux précautions concernant le génie génétique – K-GtVG; LGBl. n° 5/2005 et modifiée en dernier lieu par LGBl. n° 77/2005).
- 10 § 3 al. 1 K-GtVG.
- 11 § 6 let. a K-GtVG.
- 12 § 12 K-GtVG.
- 13 Règlement (CE) n° 1829/2003 du Parlement européen et du Conseil du 22 septembre 2003 concernant les denrées alimentaires et les aliments pour animaux génétiquement modifiés, JO CE JO L 268/1 du 18 octobre 2003, qui amende la directive 2001/18/CE avec l'art. 43.
- 14 Loi sur l'agriculture n° 441/2005.
- 15 Règlement n° 89/2006.
- 16 Loi n° 78/2004.
- 17 Arrêté du 5 décembre 2007 suspendant la cession et l'utilisation de maïs MON810, JORF n° 0283 du 6 décembre 2007, page 19748, texte n° 22. Jugement de la Cour de justice de l'Union européenne du 8 septembre 2011 dans les affaires jointes C-58/10 à C-68/10.
- 18 Art. L. 663-2.
- 19 Arrêté du [] relatif aux conditions techniques de mise en culture, de récolte, de stockage et de transport des végétaux génétiquement modifiés (http://ddata.over-blog.com/xxxyyy/1/39/38/37/minagri_arrete_coexistence_janvier2012.pdf)
- 20 Art. L. 335-1 Code de l'environnement.
- 21 Art. L. 663-1 Code rural.
- 22 Art. L. 663-4 al. 3 Code rural.
- 23 Act No. 436 of 9 June 2004, Executive Order on Compensation for Losses due to Certain Occurrences of Genetically Modified Material.

- 24 No. 1170 of 7 December 2005, Order on the cultivation etc. of genetically modified crops; No. 220 of 31 March 2005, Order on the cultivation etc. of genetically modified crops.
- 25 Gentechnikgesetz (GenTG), dans sa version publiée le 16 décembre 1993 (BGBl. I p. 2066).
- 26 Verordnung über die gute fachliche Praxis bei der Erzeugung gentechnisch veränderter Pflanzen (Gentechnik-Pflanzenerzeugungsverordnung – GenTPfEV), du 7 avril 2008 (BGBl. I p. 655).
- 27 §§ 8 et 9 GenTPfEV.
- 28 § 906 al. 2.
- 29 Legge 28 gennaio 2005, n° 5, avec modifications dans le Decreto-Legge, 22 novembre 2004, n° 279.
- 30 Sentenza 116/2006 della Corte Costituzionale, 17 mars 2006.
- 31 Loi régionale sur les OGM dans l'agriculture du 16 novembre 2006, n° 13.
- 32 Decreto 93/2009, de 21 de abril, por el que se regula la coexistencia de los cultivos modificados genéticamente con los convencionales y ecológicos.
- 33 Decreto Lei n° 160/2005.
- 34 Accord du 15 avril 1994 instituant l'Organisation mondiale du commerce, RS 0.632.20, Annexe 1A.1 Accord général sur les tarifs douaniers et le commerce de 1994 (GATT).
- 35 Annexe 1A.4 Accord sur l'application des mesures sanitaires et phytosanitaires. (SPS).
- 36 Annexe 1A.6 Accord sur les obstacles techniques au commerce (OTC).
- 37 Loi fédérale du 6 octobre 1995 sur les entraves techniques au commerce (LETC), RS 946.51, not. art. 16a.
- 38 RS 814.91.
- 39 Par ex. art. 17 al. 5 et 6 LGG.
- 40 Art. 5 al. 2 LGG. En font également partie les plantes cisgènes, cf. annexe 1 de l'ordonnance sur l'utilisation d'organismes dans l'environnement (ordonnance sur la dissémination dans l'environnement, ODE) du 10 septembre 2008 (RS 814.911).
- 41 Art. 6 LGG.
- 42 Art. 7 LGG.
- 43 Art. 8 LGG.
- 44 Art. 2 LGG.
- 45 L'art. 103 Cst. (politique structurelle) n'est pas une base, car il vise la consolidation économique et non la diversité d'une branche de l'économie.
- 46 Art. 104 Cst.
- 47 Art. 75 Cst.
- 48 Art. 78 Cst.
- 49 Art. 97 Cst.b
- 50 Art. 17 LGG.
- 51 Art. 15 LGG.
- 52 Art. 94 Cst.
- 53 Art. 10 al. 2 Cst.
- 54 Art. 26 Cst.
- 55 Art. 26 Cst.
- 56 Art. 120 Cst.
- 57 Art. 164 al. 1 Cst.: appartient en particulier à cette catégorie les dispositions fondamentales relatives à la restriction des droits fondamentaux et d'autres droits constitutionnels; aux droits et aux obligations des personnes; à la qualité de contribuable, à l'objet des impôts et au calcul du montant des impôts; aux tâches et aux prestations de la Confédération; aux obligations des cantons lors de la mise en œuvre et de l'exécution du droit fédéral; à l'organisation et à la procédure des autorités fédérales.
- 58 Art. 182 al. 2 Cst.
- 59 Sur la pratique du Tribunal fédéral en matière de délégation de compétences législatives, cf. ATF 128 I 113 p. 122.

LITTÉRATURE

- [1] Kohler, S. (2011) Koexistenzregelungen der Schweiz. Übersicht des internationalen und europäischen Rahmens, in: Dahinden, M., Kohler, S., Suter, C. (Hrsg.), Koexistenz und Forschungsfreiheit als Nagelprobe für die Grüne Gentechnologie, Zurich, 29-37.
- [2] Böckenförde, M. (2003) Grüne Gentechnik und Welthandel. Das Biosafety-Protokoll und seine Auswirkungen auf das Regime der WTO, Berlin/Heidelberg/New York 2004, 391ff.
- [3] Loosen, K. (2005) Das Biosafety-Protokoll von Cartagena zwischen Umweltvölkerrecht und Welthandelsrecht, Diss. Düsseldorf, Berlin, 124.
- [4] Epiney, A., Waldmann, B., Oeschger, M., Heuck, J. (2011) Die Ausscheidung von gentechnikfreien Gebieten in der Schweiz de lege lata et de lege ferenda, Zurich/Saint-Gall, N 21.
- [5] Kerschner, F., Wagner, E. (2003) Koexistenz zwischen Gentechnik, Landwirtschaft und Natur – Rechtliche Rahmenbedingungen, Vienne, 97.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

Plantes biogènes: des plantes génétiquement modifiées pour l'agriculture biologique

Une nouvelle génération de plantes génétiquement modifiées est en développement. En y regardant de plus près, il apparaît qu'elles présentent de l'intérêt pour une agriculture durable, et qu'à l'avenir «bio» et «génétiquement modifié» ne seront plus forcément en contradiction.

Les méthodes de génie génétique ont fait de grands progrès ces dernières années, et nous sommes aujourd'hui capables de développer des plantes génétiquement modifiées (PGM) grâce à des techniques bien différentes de celles utilisées jusqu'à présent. Je propose ici des procédés pour la production de plantes génétiquement modifiées compatibles avec les principes de l'agriculture biologique. Afin de les distinguer des PGM mises au point jusqu'ici, je les nommerai ci-après «plantes biogènes». Ces dernières étant issues des techniques de modification génétique les plus récentes (détails, cf. chapitre 4.3), les réserves importantes émises contre l'utilisation du génie génétique ne sont plus justifiées. Les plantes biogènes ne sont, en particulier, plus porteuses de gènes de résistance à des antibiotiques ou à des herbicides qui impliquent l'utilisation de produits chimiques dans l'agriculture. Une autre caractéristique de ces plantes est qu'un croisement de propriétés transgéniques avec d'autres plantes de culture ou les formes sauvages correspondantes est exclu.

Les plantes biogènes sont produites au moyen de quatre méthodes différentes de manipulation génétique:

- **Mutagenèse ciblée:** une séquence d'ADN déterminée est mutée au moyen d'une nucléase spécifique. Cette modification est comparable à l'apparition de mutations ponctuelles par des processus spontanés ou par des agents mutagènes. Mais elle a lieu en un point du génome choisi par le chercheur et est déterminée par la spécificité de la nucléase utilisée. Au sens étroit du terme, ces plantes biogènes ne sont pas des organismes génétiquement modifiés (OGM), car elles ne contiennent pas de gènes étrangers.
- **Cisgénèse:** cette modification génétique consiste en l'introduction de gènes provenant d'espèces pour lesquelles un échange naturel de gènes

Gerhart U. Ryffel

Professeur émérite, Institut de biologie cellulaire
Université de Duisbourg-Essen (Allemagne)

avec la plante cible est possible. Dans ce procédé, un gène, y compris sa séquence de contrôle (promoteur et terminateur), est introduit dans un site prédéterminé du génome. La structure originale du gène, avec les séquences régulatrices avoisinantes, reste inchangée. Les modifications génétiques de ce type sont comparables à l'introduction d'un gène au moyen d'un transposon naturel, un processus très fréquent au sein du monde végétal, mais conduisant à l'intégration du gène dans un site qui n'est pas prédéterminé.

Comme le gène introduit par cisgénèse provient d'une plante qui échange de toute façon des gènes avec le receveur, ce transfert artificiel de gènes pourrait aussi avoir lieu dans la nature. Contrairement au processus naturel, les segments de gènes introduits et le site d'intégration sont déterminés de manière précise par le chercheur.

- **Intragenèse:** ce procédé ressemble à la cisgénèse par le fait que ne sont transférées que des séquences génétiques issues de plantes qui échangent naturellement des gènes. Contrairement à la cisgénèse, la transgénèse suppose l'introduction d'une construction génétique qui n'existe pas dans la plante d'origine. Ladite construction contient des éléments provenant de différents gènes et qui ont été assemblés artificiellement: ainsi, le promoteur, le gène (qui code la protéine) et le terminateur, par exemple, peuvent être issus de trois gènes différents. En principe, de telles plantes intragéniques sont susceptibles de se former naturellement, mais il est très improbable que les différents éléments s'associent exactement de cette manière.
- **Transgénèse avec des plantes stériles:** dans cette technique, il s'agit d'une introduction de gènes issus d'espèces avec lesquelles il n'y a

normalement pas d'échanges de gènes. Le gène introduit est appelé transgène. Les plantes transgéniques portent donc des gènes étrangers à l'espèce et représentent donc des combinaisons qui ne se trouvent pas dans la nature.

Lorsqu'on n'emploie que des plantes stériles pour la transgénèse, donc des plantes ne pouvant être fécondées et ne produisant pas de pollen fonctionnel, une transmission du transgène à d'autres plantes peut être empêchée. Contrairement aux plantes transgéniques plus anciennes, ces nouvelles plantes ne contiennent pas non plus de gènes de résistance à des antibiotiques car, comme dans l'intragenèse, le transgène est introduit sans un tel gène de sélection.

Il est possible de générer artificiellement la stérilité des plantes transgéniques biogènes de plusieurs manières différentes: s'agissant des plantes qui se multiplient végétativement et pour lesquelles la semence n'est pas d'utilité agricole (la pomme de terre, par exemple), l'élimination des gènes essentiels à la production de graines et de pollen provoque une stérilité irréversible. Concernant les plantes dont les graines sont importantes pour l'exploitation agricole (par exemple, le maïs), les plantes sont modifiées de manière à permettre une formation de graines sans fécondation (asexuée). On appelle cette multiplication asexuée l'apomixie. Elle existe naturellement dans quelques centaines d'espèces (notamment l'épervière ou le pissenlit). En revanche, pour les plantes utiles à l'agriculture, ces propriétés apomictiques doivent être induites artificiellement. De plus, un gène essentiel à la formation du pollen est détruit, dans le but d'éviter la fécondation d'autres plantes par le pollen des plantes apomictiques transgéniques.

Les plantes biogènes sont en accord avec les principes de l'agriculture biologique.

Ces plantes apomictiques stériles forment donc des graines capables de germer et peuvent se reproduire végétativement pendant des générations. Mais elles ne sont pas en état de transmettre le transgène à des plantes cultivées ou sauvages avec lesquelles un échange de gènes est normalement possible. Par conséquent, l'évasion du transgène dans la biosphère est exclue.

Les techniques de mutagenèse ciblée ainsi que la cisgenèse et l'intragenèse constituent aujourd'hui des méthodes bien rodées susceptibles d'être appliquées dans l'immédiat. La transgenèse, en revanche, n'est actuellement pas encore établie. Beaucoup de travail de recherche fondamentale sera encore nécessaire avant que des plantes modifiées puissent être développées grâce à cette technique.

Compatibilité avec l'agriculture biologique

Une analyse plus précise de ces plantes biogènes quant à leur compatibilité avec les principes de l'agriculture biologique débouche sur les résultats suivants:

- **Innocuité pour la santé:** les plantes cisgéniques et intragéniques ne contiennent que des agents qui sont naturellement présents dans ces plantes. Des produits nouveaux se forment dans les plantes transgéniques stériles, et leur innocuité pour la santé doit être rigoureusement testée. Le risque de ces plantes transgéniques est comparable à celui qui est encouru lorsqu'une plante, qui n'avait jusqu'à ce jour pas été consommée par l'être humain, est introduite en tant que nouvel aliment.
- **Mélanges:** les plantes biogènes résolvent aussi le problème de la contamination du miel par des gènes étrangers; les plantes cisgéniques et

intragéniques contiennent des gènes qui peuvent normalement être échangés au sein de l'espèce concernée. Les plantes transgéniques stériles en tant que source de contamination sont exclues puisqu'elles ne produisent pas de pollen. Une tolérance zéro est donc possible.

- **Impact sur l'environnement:** comme les plantes biogènes ne contiennent pas de résistance à un herbicide, des répercussions négatives causées par les herbicides sur l'environnement mais aussi sur les agriculteurs n'est pas à craindre. Des gènes naturels de résistance à des maladies des végétaux (par exemple, le mildiou de la pomme de terre) ayant été introduits dans les plantes, on peut même se passer d'agents additifs, tel le cuivre, utilisés dans l'agriculture biologique – ce qui permet parfois même d'aboutir à un bilan écologique plus favorable.
- **Biodiversité:** la biodiversité n'est pas plus fortement influencée par l'utilisation de plantes biogènes que ce n'est le cas lors de la lutte biologique contre les ravageurs. Parfois, il est même possible d'obtenir un bilan meilleur, par exemple lorsqu'un gène de résistance n'est présent que dans les plantes biogènes, permettant ainsi de renoncer au traitement à la toxine Bt qui tue également des insectes sur les plantes avoisinantes.
- **Utilisation d'engrais:** le recours à des plantes biogènes ne requiert pas d'engrais chimiques et est donc compatible avec une agriculture durable.
- **Croisements:** lorsqu'un croisement de plantes de culture cisgéniques ou intragéniques avec d'autres formes de culture ou les formes sauvages correspondantes a lieu, il s'agit d'un échange de gènes dans les limites naturelles. Les plantes biogènes étant stériles, les transgènes ne sauraient être transmis à d'autres plantes.

La propagation incontrôlée de transgènes à des espèces parentes est ainsi exclue. Cela signifie donc qu'une coexistence entre plantes biogènes et plantes conventionnelles est possible.

- **Monopole:** il est concevable que des plantes biogènes qui ne portent pas de transgènes soient soumises à un contrôle moins sévère, puisque leur potentiel de risque est plus faible. Cela conduirait à une procédure d'autorisation bien plus simple,

de nature à faciliter une production et une commercialisation régionales et à restreindre la dominance des entreprises multinationales.

Du fait de ces propriétés, les plantes biogènes respectent les principes de l'agriculture biologique. Ce qui signifie que le slogan «bio = sans génie génétique» a perdu de sa pertinence par rapport aux plantes biogènes.

Exemples de plantes biogènes en développement pouvant être intéressantes pour l'agriculture biologique en Suisse

Pomme de terre biogène pour la production d'adhésifs	Par mutagenèse ciblée, le gène GBSS de la pomme de terre est inactivé. La pomme de terre ne produit plus d'amylose, laquelle n'est pas souhaitée dans la production d'adhésifs. Contrairement à la variété Amflora, autorisée dans l'UE, cette pomme de terre biogène ne contiendrait ni gène de résistance à un antibiotique ni ADN étranger. ^[1]
Pomme de terre biogène résistante au mildiou	La résistance au mildiou, provenant d'une variété sauvage de pomme de terre mexicaine, est introduite par cisgenèse ou intragenèse. L'agent infectieux (<i>Phytophthora infestans</i>) est capable de s'adapter très rapidement. De ce fait, deux gènes de résistance différents sont introduits afin de rendre plus difficile le contournement de la résistance. Comme la pomme de terre sauvage peut être croisée avec la variété cultivable, les limites de l'espèce ne sont pas franchies. Contrairement à la variété «Fortuna», la pomme de terre génétiquement modifiée qui sera commercialisée par BASF dans les années à venir, la pomme de terre produite par la technologie biogène ne contient pas de gènes de sélection étrangers à l'espèce. ^[2]
Maïs biogène porteur d'une résistance à la pyrale du maïs	La toxine Bt provenant de la bactérie du sol <i>Bacillus thuringiensis</i> est introduite par transgenèse. En recourant à un gène d'origine bactérienne, les limites de l'espèce sont franchies. On utilise donc des plantes de maïs apomictiques stériles dans le but d'éviter un croisement avec du maïs conventionnel. Ce maïs biogène se différencie ainsi du maïs Bt produit par Monsanto, dont la culture est actuellement autorisée dans l'UE. ^[3]

LITTÉRATURE

[1] Ryffel GU (2010) Making the most of GM potatoes. Nat Biotechnol 28: 318.

[2] Storck T, Böhme T, Schultheiss H (2011) Fortuna et al. Status and perspectives of GM approaches to fight late blight. Paper presented at the EuroBlight Workshop, 9-12 Oct. 2011, Saint Petersburg, Russia. www.euroblight.net

[3] Ryffel GU (2011) Dismay with GM maize. A science-based solution to public resistance against genetically modified crops that could be compatible with organic farming. EMBO Rep 12: 996-999.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

Le développement durable: pierre de touche du génie génétique

Le rejet du génie génétique par les agriculteurs biologiques se base sur le principe de précaution. Pourtant, les technologies modernes et une agriculture écologiquement sensée ne doivent pas, d'emblée, être en contradiction. Le développement durable est le facteur déterminant.

Le gouvernement suisse a fait deux pas décisifs en matière de politique agricole: d'une part, en 1992, lorsqu'il a découplé le soutien aux paysans des quantités produites, et, d'autre part, en 1998, quand il a lié ce soutien à des performances écologiques minimales. Ces changements, qui ont débouché sur une manière de régler les problèmes sensiblement différente, ont reçu le soutien des organisations de protection de l'environnement, des animaux et des consommateurs ainsi que celui des agriculteurs biologiques. Ces groupements se sont par la suite engagés de façon constructive en participant à la mise au point du système des paiements directs au sein du Parlement et en lançant l'initiative populaire «Paysans et consommateurs – pour une agriculture en accord avec la nature».

Par la suite, des méthodes de culture plus favorables à l'environnement, telles que l'agriculture biologique et la production IP Suisse s'étendant sur l'ensemble de l'exploitation, ont pu se développer. Les agriculteurs ont recommencé à apprécier les éléments improductifs du paysage tels que les haies, les arbres fruitiers haute-tige et les bandes fleuries, et la tendance à l'industrialisation dans l'utilisation des terres et l'élevage d'animaux a pour le moins pu être freinée. Cette tendance a été renforcée par la demande croissante des consommateurs en denrées alimentaires produites en accord avec la nature. Aujourd'hui, vingt ans plus tard, presque la moitié de toutes les exploitations agricoles suisses ont adopté l'une ou l'autre de ces méthodes de culture.

L'UE, en revanche, peine toujours à lier les paiements directs aux agriculteurs à des prestations «vertes» qui profitent au public. Et au niveau international, tous les efforts d'écologisation véritable de l'agriculture ont échoué. Trop d'écologie dans l'agriculture nuit à court terme aux affaires, de l'avis d'une partie de l'industrie agricole. Même la Suisse est

Urs Niggli

Directeur de l'Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL)

Frick

confrontée à un dilemme concernant sa politique agricole. Car elle exporte tout simplement une partie de ses charges écologiques, en faisant cultiver à l'étranger des céréales et des protéagineux pour le bétail.

Cela signifie que, malgré toutes les déclarations d'intention contraires, notre manière de nous alimenter et l'agriculture globale ne sont pas durables.

Le rapport sur l'état des écosystèmes, publié en 2005 par 400 scientifiques, montre que 60 pour cent des prestations fournies

par les écosystèmes et nécessaires à la survie de l'humanité ont été détruites.^[1] Chaque année, selon les estimations de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et de David Pimentel, spécialiste de l'érosion à l'Université de Cornell,

de 5 à 10 millions d'hectares de terres agricoles sont perdues pour la production.^[2] La Suisse aussi participe à cette dégradation des sols en important des fourrages.

Dans cette situation, le «business as usual» ne constitue pas une véritable option, ce qui a, entre autres, été clairement déclaré dans un rapport du Conseil mondial de l'agriculture (International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development IAASTD) publié en 2008 par 200 experts. En même temps, ce rapport exige un changement radical d'orientation dans la recherche agronomique et le conseil agricole.^[3] Mais les experts sont d'accord sur le fait que ce grand défi de l'humanité nécessite des mesures éminemment complexes. Certaines technologies, telle la sélection grâce au génie génétique, n'y joueront qu'un rôle subordonné.

Le terme de «durabilité» a été créé au XVIII^e siècle déjà, dans le contexte de la sylviculture. A l'origine, il signifiait «capacité absolue de régénération» de la ressource forêt. Dans l'agriculture, le concept de l'exploitation durable suscite l'intérêt depuis le rapport de l'ex-premier ministre norvégienne Gro Harlem Brundtland présenté en 1987. Cela parce que, dans les années 1970 déjà, on était conscient du fait que les ressources naturelles telles le sol,

la biodiversité et l'eau sont limitées. Mais malheureusement, jusqu'à présent, on a négligé de mettre en œuvre de manière aussi systématique la capacité de régénération des ressources naturelles dans l'agriculture que cela est le cas pour la forêt. L'appauvrissement de l'agriculture,

le recul de la biodiversité ainsi que l'érosion et l'imperméabilisation des sols se poursuit sans retenue. Et il en résulte des coûts pour la société qui sont calculés toujours plus précisément par les économistes spécialisés dans l'environnement.^[4]

La faute au génie génétique?

C'est ce développement inquiétant qui nourrit le scepticisme des citoyens et consommateurs critiques envers le génie génétique, car cette technologie est devenue le symbole d'une agriculture qui ne veut pas ou ne peut pas se réorienter.

Pourtant, il se peut que l'évaluation trop généralisée déclarant que le génie génétique n'est pas compatible avec une agriculture durable soit trop simple. Ainsi, la simplification de la rotation des cultures et la dominance de quelques cultures ne ménageant

souvent pas les sols, telles le soja, le maïs et le colza, n'a que peu à faire avec le fait que ces cultures ont été génétiquement modifiées. Cette situation résulte plutôt de la demande énorme en fourrages bon marché pour une production animale qui permet de proposer lait, viande et oeufs à des prix toujours plus bas et en quantités toujours plus grandes. Et c'est aussi la soif d'énergie de notre société qui encourage les monocultures de maïs, de canne à sucre et de colza pour la production de carburants.

La disparition de milliers de petits et moyens sélectionneurs de plantes et producteurs de semences n'a que peu

à voir avec le génie génétique, mais bien plutôt avec un processus d'élimination entre les entreprises. Il s'ensuit qu'aujourd'hui plus de la moitié des semences propriétaires provient des quatre entreprises les plus concurrentielles.^[5] Une interdiction du génie génétique ne permettra pas d'enrayer ce développement. Car du point de vue économique, il s'agit en grande partie de phénomènes classiques d'échec du marché qui doivent être corrigés par une politique de concurrence.

La diversité: un facteur clé

La biodiversité est un des éléments clé du développement durable de l'agriculture. Elle commence au niveau de la structure à petite échelle et s'étend à la biodiversité dans les champs et les sols, en passant par la diversité des activités opérationnelles de familles paysannes. La diversité génétique des plantes et animaux dont font usage les agriculteurs est également importante. Toutefois, celle-ci n'est pas créée par les grands monopoles de la sélection animale et

végétale, mais plutôt par les innombrables petits et moyens sélectionneurs et propagateurs. La diversité résout également d'autres problèmes écologiques tels que l'érosion des sols, de par le fait que des plantes très variées, à profondeur d'enracinement et à couverture différentes, se partagent le sol.

C'est à ce niveau qu'intervient l'agriculture biologique. Elle attache une grande importance à la diversité dans les fermes et le paysage. Les agriculteurs biologiques acceptent de proposer délibérément des rendements moins élevés, mais misent sur un rapport optimal entre les ressources employées et

le rendement réalisé.^[6] Et ces mêmes agriculteurs réduisent consciemment l'utilisation des éléments de production agricoles les plus importants, tels que le pétrole, le phosphore et l'eau, vu le fait que dans moins d'une génération ces ressources seront rares et très coûteuses. Des facteurs de production potentiellement nuisibles à l'environnement tels que les engrais achetés ou les pesticides sont réduits à un minimum. Le concept de la suffisance, qui signifie que les ressources limitées ne doivent être employées que parcimonieusement, est essentielle à une agriculture durable.

Les agriculteurs biologiques sont incontestablement sur la bonne voie économique. En contrepartie du soutien public, ils mettent à disposition des biens publics tels que les effets positifs pour l'environnement ou la protection des animaux. La disposition des consommateurs à payer un prix plus élevé pour des produits respectueux de l'environnement est un attrait additionnel pour les agriculteurs.

La biodiversité est un des éléments clé du développement durable de l'agriculture.

Technique et écologie ne sont pas contradictoires

L'agriculture biologique tire parti des développements techniques, tout en restant critique. Les doutes généraux des agriculteurs biologiques face à certaines nouvelles technologies se basent exclusivement sur le principe de la prévoyance. Et ils reflètent l'expérience faite que les structures et pratiques durables sont souvent sacrifiées à cause de nouvelles technologies. De fait, l'élan effréné du marché de ce dernier siècle a conduit à une monotonie industrielle croissante: des machines et des champs plus grands, des entreprises fortement spécialisées, une dégradation du paysage ou une forte diminution de la diversité des plantes utiles et des animaux de rente; une uniformité catastrophique pour l'écologie.

Pourtant, je crois qu'il serait possible de retransformer les systèmes agricoles simplifiés en des systèmes complexes, grâce à des innovations dans les domaines des sciences et des technologies agricoles, à l'utilisation futée des technologies les plus modernes et à la création de conditions-cadres appropriées. Je pense, par exemple, à la possibilité de cultiver, soigner et récolter rationnellement des séquences de plantes et de cultures mixtes, à petite échelle, au moyen d'engins très petits guidés par caméra ou satellite, ménageant les sols et ayant accès à des banques de données ou des instruments diagnostiques miniaturisés. Il existe probablement des exemples similaires pour une utilisation judicieuse de certaines applications issues du génie génétique ou de la nanotechnologie. Sur la base de possibilités comme celles-ci, des interdictions fondamentales de certaines technologies, telles une interdiction du génie génétique, seraient à remplacer par une analyse coût-bénéfice critique et spécifique au produit.

Mais afin de dissiper le scepticisme envers le génie génétique, il faut une profession de foi claire en faveur d'une agriculture diversifiée et écologique, qui inclut un grand nombre d'acteurs, aussi en amont et en aval de la chaîne de production.

Le développement durable est le trou de l'aiguille par lequel doit passer le génie génétique afin d'être accepté.

LITTÉRATURE

- [1] Millennium Ecosystem Assessment: www.maweb.org
- [2] Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, R. Blair (1995) Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science* 267, 1117-1123.
- [3] Rapport du Conseil mondial de l'agriculture (2008) International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development IAASTD: www.agassessment.org
- [4] TEEB (2010) The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB: www.teebweb.org
- [5] ETC (2008) Who Owns Nature? Corporate Power and the Final Frontier in the Commodification of Life: ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration). Ottawa, CA, USA.
- [6] Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried P. and Niggli, U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

3. Santé et société



3.1 Aspects sanitaires de plantes génétiquement modifiées ayant un intérêt pour la Suisse

La question de savoir si les plantes génétiquement modifiées (PGM) représentent un risque pour la santé en général et pour l'être humain en particulier est un thème vivement discuté depuis le début de la dissémination et de la commercialisation de PGM. Bien que les possibilités théoriques d'une atteinte à la santé existent, un tel danger n'a jusqu'à présent pas pu être prouvé.

KAROLINE DORSCH-HÄSLER

KARIN HOFFMANN-SOMMERGRUBER

Ce chapitre se base sur une étude de littérature étendue qui a été effectuée dans le cadre du PNR 59 et a été publiée sous le titre *d'Etude de littérature Santé*.

NOUVELLES GÉNÉRATIONS DE PLANTES GÉNÉTIQUEMENT MODIFIÉES

Les PGM de la première génération ont été développées dans le but de les munir d'une résistance à un herbicide, à des maladies ou des ravageurs. Les PGM de la deuxième génération, en revanche, sont modifiées au niveau de leurs composants. Il s'agit soit d'améliorer leur valeur nutritive (en augmentant par exemple la concentration en acides gras insaturés ou en vitamines), soit d'éliminer des composants indésirables (notamment des allergènes ou des toxines végétales). Les PGM de la troisième génération, pour leur part, servent de producteurs de substances pharmaceutiques et de matières premières industrielles (renouvelables). Alors que pour les PGM de la première génération, le nombre de gènes étrangers introduits était limité et leur construction connue depuis relativement longtemps, la variété et le nombre de nouvelles constructions pour la deuxième et la troisième génération ont fortement augmenté dans le passé plus récent. Pour cette raison, les données récoltées au cours d'examen de PGM de la première génération et concernant les risques éventuels liés à la santé sont très nombreuses. Les examens similaires de PGM de la deuxième et de la troisième génération sont en revanche beaucoup moins abondants. Les PGM de première génération commercialisées aujourd'hui contiennent des gènes bactériens, viraux ou végétaux qui augmentent la résistance à des herbicides, des attaques par des

ravageurs ou des maladies virales. Le développement de l'évaluation nationale et internationale de la sécurité, y compris l'évaluation de risques de toxicité pour l'être humain et les animaux, a eu lieu au cours des vingt dernières années, parallèlement au développement de ces PGM.

En résumé, on peut affirmer que, jusqu'à présent, aucun effet négatif sur l'être humain et l'animal n'a pu être décelé. Par contre, quelques effets positifs sont reconnus.

Tolérance à un herbicide

L'utilisation de PGM tolérantes à des herbicides permet une application réduite et ciblée de produits chimiques et provoque de ce fait une atteinte plus faible à l'environnement que ce n'est le cas dans la culture conventionnelle (cf. chapitre 1.1). Parmi les agriculteurs indiens et chinois, le nombre d'intoxications dues à des pesticides a bel et bien diminué suite à une réduction de l'utilisation des pesticides.^[2]

Résistance à des ravageurs

Afin d'augmenter la résistance à un ravageur, c'est le plus souvent un gène provenant de la bactérie *Bacillus thuringiensis* qui, codant pour une protéine de la famille des protéines Cry, est introduit dans la plante. Ces protéines sont connues depuis longtemps dans leur fonction de toxine

L'aspect santé au sein du PNR 59

En raison de la quantité considérable de données dans la littérature scientifique au sujet des effets de plantes génétiquement modifiées commercialisées sur la santé, il n'est pas étonnant qu'aucune requête pour un projet adéquat visant à examiner des aspects nouveaux dans ce domaine n'ait été déposée. Afin de mettre à disposition, malgré tout, des informations pertinentes à ce sujet, les connaissances actuelles ont été compilées dans le cadre d'une vaste étude de littérature. Elle rassemble et évalue de manière critique plus de 1000 sources ayant pour la plupart été publiées ces vingt dernières années.^[1]

Risques potentiels de denrées alimentaires génétiquement modifiées

- L'assimilation d'ADN étranger ainsi que son intégration dans des cellules mammifères constituent des risques potentiels liés aux denrées alimentaires génétiquement modifiées souvent cités. Il a été prouvé que l'ADN dans les aliments, autant l'ADN propre qu'étrangère à l'espèce, est dégradé en petits fragments par la digestion. Ainsi, des fragments du gène Bt ont été retrouvés autant dans le sang que dans le lait de chèvre lors d'une étude d'alimentation avec ces animaux. Toutefois, l'intégration de l'ADN de plantes génétiquement modifiées dans le génome animal est très improbable et n'a pas été prouvé expérimentalement.^[1]
- Dans une plante génétiquement modifiée, non seulement le gène étranger mais aussi la modification génétique elle-même sont susceptibles de provoquer des effets secondaires involontaires, de nature à conduire à des risques pour la santé humaine. D'autres dangers potentiels pourraient provenir de composants modifiés résultant de modifications métaboliques dans les PGM.
- Des risques spécifiques sont liés aux plantes pharmaceutiques cultivées en plein champ, puisqu'elles produisent des substances actives qui agissent sur l'être humain et l'animal. Elles ne doivent en aucun cas se mélanger à des plantes cultivées à des fins alimentaires. Ces risques peuvent être évités grâce à une culture des plantes pharmaceutiques en serre ou au moyen de cultures de cellules végétales dans des réacteurs.

qui agit spécifiquement contre des ravageurs se nourrissant de plantes utiles. Pour cette raison, ces toxines ont été épanchées sur de grandes surfaces agricoles (y compris les cultures biologiques). Certaines plantes génétiquement modifiées produisent elles-mêmes cette protéine Bt, ce qui permet de réduire considérablement les attaques par les ravageurs. La toxicité

de ce groupe de protéines se limite à certains arthropodes cibles (coléoptères, diptères, papillons). Un effet toxique sur l'être humain et d'autres mammifères n'est pas connu.^[3]

Il a en revanche été démontré que les plantes fabriquant la protéine Bt ont un effet positif indirect sur la santé animale et humaine, car une contamination par certains poisons produits par des champignons (mycotoxines) a lieu souvent parallèlement à l'attaque par un ravageur qui se nourrit de plantes. Ces substances ont un effet neurotoxique sur l'animal et l'être humain. Ainsi, des cas de maladie grave chez des animaux ont été décrits après l'exposition à des fourrages contaminés.

Les produits de PGM synthétisant la protéine Bt sont beaucoup plus faiblement contaminés par des mycotoxines que les produits végétaux conventionnels et se révèlent donc potentiellement moins nocifs à la santé.

Résistance aux antibiotiques

Lors de la production de cellules ou d'organismes génétiquement modifiés, des gènes marqueurs sont introduits en même temps que les gènes cibles – typiquement un gène de résistance à un antibiotique (ARMG). Cela permet de sélectionner les cellules et organismes qui ont incorporé avec succès

le gène étranger. Cette sélection a lieu en laboratoire, et ces ARMG ou des gènes marqueurs alternatifs peuvent être éliminés par la suite. Alors que cette manière de procéder est appliquée en cas de production de nouvelles PGM, les gènes de résistance à des antibiotiques sont toujours présents dans certaines PGM plus anciennes se trouvant encore dans le commerce.

Des gènes de résistance sont présents naturellement dans l'environnement, indépendamment des méthodes de génie génétique. Mais actuellement, ils se propagent très rapidement. La raison en est l'utilisation excessive ou incorrecte d'antibiotiques dans la médecine humaine et vétérinaire. Pourtant, il reste à clarifier si, en rapport avec les PGM par l'intermédiaire d'un transfert horizontal de gènes, l'utilisation accrue de gènes marqueurs de résistance aux antibiotiques (avant tout à la néomycine, la kanamycine et la streptomycine – des antibiotiques à spectre étroit dans la médecine) conduit à une augmentation des résistances. Si tel est le cas, cette situation conduirait à une multiplication des pathogènes résistants, soit un risque pour la santé, surtout pour des patients gravement malades.

L'Autorité européenne de sécurité des aliments (EFSA) a réalisé une étude afin d'examiner la possibilité d'un tel transfert de gènes. Jusqu'à présent, le transfert

d'ARMG de plantes génétiquement modifiées à des bactéries, dans des conditions naturelles, n'a pas pu être prouvé. Théoriquement aussi, un transfert de gènes entre des plantes et des bactéries n'est guère possible, car la similarité des séquences d'ADN n'est pas assez élevée.

Basé sur les données disponibles, l'EFSA juge que le risque d'une résistance accrue aux antibiotiques provoquée par des PGM n'est donc pas pertinente.^[4]

Allergies

Les nouvelles PGM sont modifiées du point de vue de leurs composants de manière à devenir une alternative plus saine que les variétés conventionnelles ou à répondre aux exigences de consommateurs ayant des besoins spéciaux, telles les personnes souffrant d'allergies alimentaires. Pour ces individus, des denrées génétiquement modifiées pauvres en allergènes peuvent représenter un complément raisonnable à leur alimentation, car il n'existe, jusqu'à présent, pas d'immunothérapie causale pour les allergies alimentaires. Actuellement, le seul moyen de contourner la souffrance est d'éviter les aliments qui déclenchent l'allergie.

Il convient de noter que seulement 2% de toutes les familles connues de protéines contiennent des allergènes alimentaires^[5] (cf. encadré). Il est toutefois possible de diminuer la production de protéines allergènes

Un transfert de gènes de résistance aux antibiotiques de PGM à des bactéries, sous conditions naturelles, n'a jusqu'à présent pas pu être prouvé.

Pois et haricots ne sont pas identiques

Une protéine spéciale, l'inhibiteur de l'alpha-amylase (aAI), peut protéger les plantes contre les ravageurs qui s'en nourrissent. Un groupe de recherche australien a introduit le gène pour cette protéine provenant du haricot (*Phaseolus vulgaris*) dans le pois (*Pisum sativum*).^[6] Au cours d'une expérience avec des souris, les chercheurs ont ensuite examiné si la consommation de la protéine issue du pois génétiquement modifié a des effets pathogènes ou immunogènes (de l'asthme ou d'autres symptômes similaires seraient concevables). Un effet immunogène renforcé a été observé, mais pas une allergénicité accrue du pois aAI transgénique. La cause en a été attribuée à de petites différences chimiques, appelées motifs de glycosylation, qui existent entre les protéines aAI du pois et du haricot. On aurait toutefois pu se passer de ces expériences avec des souris si les évaluations concernant la sécurité avaient été faites selon les recommandations de l'EFSA et du Codex Alimentarius. Si une comparaison de la séquence d'acides aminés de la protéine génétiquement modifiée avec les séquences d'allergènes connus avait été effectuée avant le nourrissage des souris, on aurait très vite décelé la similarité de l'aAI avec un allergène connu de la cacahuète (41% d'homologie dans la séquence, à une valeur seuil de 35%). Des tests avec des sérums de patients souffrant d'allergies n'ont pas non plus été réalisés.

Ces études avec des souris ont fait débat dans les milieux spécialisés en ce qui concerne les résultats et leur interprétation. Par précaution, la commercialisation de cette variété de pois transgénique n'a pas été poursuivie.

Toutefois, en 2011, un groupe de recherche international est parvenu à démontrer dans une étude complémentaire que les protéines aAI du haricot et du pois ont des effets immunogènes et allergènes semblables.^[7] Les différences chimiques entre les deux protéines découvertes au cours de l'essai de nourrissage ont été confirmées, mais elles étaient comparables à la variabilité qui existe entre différentes variétés de haricots. Conclusion: aucun risque spécifique au génie génétique n'a été décelé dans les pois génétiquement modifiés.

Cet exemple prouve d'une part que l'application des recommandations internationalement reconnues (Codex Alimentarius, EFSA) peut fournir des informations importantes pour l'évaluation des risques. D'autre part, il atteste – comme le démontre déjà l'exemple de la coccinelle à deux points cité dans le chapitre 1 – que des résultats scientifiques contradictoires doivent être vérifiés soigneusement et indépendamment, notamment en rapport avec leur capacité d'être reproduits et appliqués à d'autres systèmes.

Les résultats publiés exigent d'être évalués au moyen de recommandations internationalement reconnues et, en cas de doute, d'être soumis à un examen détaillé et comparatif se basant sur l'état actuel des connaissances.

dans une plante ou même de la bloquer complètement. A l'aide de la technologie dite de dsRNAi (cf. chapitre 4.3), les allergènes présents dans la pomme, la cacahuète, le riz, la tomate et le soja ont été réduits avec succès.

La coeliaquie

La coeliaquie, ou entéropathie sensible au gluten, est une autre affection allergique qui touche environ 1% cent de la population européenne. Elle est causée par des protéines présentes dans le blé et d'autres céréales. L'absorption de la protéine appelée gliadine provoque des inflammations intestinales chroniques qui conduisent à une malabsorption et un ralentissement du développement chez les enfants en bas âge. La coeliaquie est incurable, et il ne reste aux patients qu'à éviter de manière systématique et à vie ces céréales ainsi que leurs dérivés. Ici aussi, il a été possible de réduire l'expression des gliadines dans le cas du blé au moyen de la technologie dsRNAi. Comme il s'agit d'un produit de niche, on se demandera toutefois si ce blé sera mis un jour sur le marché.

Functional food

Les plantes génétiquement modifiées développées afin de devenir des «functional foods» devraient produire en plus grandes quantités certains composants tels que

des vitamines ou des fibres alimentaires, considérés comme favorables à la santé ou permettant d'éviter certaines maladies. Un des exemples les plus fréquemment cités est le «Golden Rice», développé par Ingo Potrykus et ses collaborateurs à l'EPFZ. Ce riz génétiquement modifié produit de la provitamine A et a été conçu pour lutter contre la carence en vitamine A, prédominante dans une grande partie de la population asiatique, et les graves maladies qu'elle engendre (cf. chapitre 4.4). D'autres projets de recherche dans le domaine des «functional foods» tentent de modifier certains processus métaboliques s'agissant de plantes afin de produire des substances favorisant la santé; des exemples en sont la surexpression de phytoestrogènes, la

production d'acides gras insaturés et la synthèse modifiée d'amidon dans les plantes.

A une exception près, ces produits n'ont pas encore été commercialisés. Ils doivent être soumis à des évaluations

plus approfondies concernant leur sécurité. Il faudra vérifier en particulier si la modification de certaines voies métaboliques ne provoque pas de changements graves dans d'autres processus métaboliques. La culture commerciale d'une variété de soja à contenu amélioré en acides gras est autorisée aux Etats-Unis, au Canada et au Mexique depuis 2010 en tant qu'aliment et fourrage.

Les nouvelles PGM sont modifiées du point de vue de leurs composants de manière à constituer une alternative plus saine pour les personnes souffrant d'allergies alimentaires.

Plantes pharmaceutiques

Il convient également de mentionner les plantes, cultures de cellules végétales ou algues qui produisent des protéines d'intérêt médical (par exemple, des anticorps, des facteurs de croissance ou des vaccins) grâce à des modifications génétiques, bien qu'elles aient un rapport différent à la santé humaine que les plantes alimentaires ou fourragères génétiquement modifiées.

Le premier anticorps animal a été produit dans une plante de tabac voilà vingt-deux ans.^[8] Ce genre de production présente, d'une part, un avantage économique par rapport à la fabrication de protéines étrangères dans des cultures de cellules animales, puisque les plantes et les cellules végétales nécessitent des milieux de culture plus simples et moins coûteux et se servant de la lumière du soleil comme source d'énergie. En même temps, certains risques sont supprimés par l'utilisation de plantes pharmaceutiques: elles ne sont pas contaminées par des virus d'origine animale, tel que cela peut être le cas dans les cultures de cellules animales. Et elles ne sauraient produire d'oncogènes. De plus, de très hautes concentrations de la protéine recherchée ont été obtenues dans certaines expériences.

Jusqu'à présent, toute une série de protéines animales d'intérêt médical ont été fabriquées par des méthodes de génie

génétique. Elles sont équivalentes aux mêmes protéines issues de la production animale en ce qui concerne leur repliement, leur glycosylation et d'autres caractéristiques.^[8] Certains de ces produits transgéniques ont également été testés lors d'essais cliniques. Cependant, rares ont été les produits autorisés jusqu'à présent: un anticorps pour la prophylaxie de la carie dentaire et quelques protéines utilisées dans la recherche et le diagnostic (par exemple, la lactoferrine produite dans le riz et la trypsine dans le maïs). La mise sur le marché d'un médicament contre

la maladie de Gaucher, une affection héréditaire rare, a été autorisée en date du 1^{er} mai 2012. Un vaccin contre le virus à l'origine de la maladie de Newcastle (le pathogène d'une maladie hautement contagieuse des

poules) a été homologué, mais n'est pas encore en vente. Les plantes pharmaceutiques constituent encore une nouveauté, et il pourrait encore se passer un moment avant que de tels médicaments puissent réellement s'affirmer sur le marché. Dans le cadre du PNR 59 aussi, deux approches à la production de molécules d'intérêt médical dans des cellules végétales ont été examinées: des plantes de tabac dites transplastomiques qui fabriquent un vaccin contre le virus IH et le virus de l'hépatite C, et une algue verte qui produit un vaccin oral pour les poissons. Dans les deux cas, la protéine

La culture commerciale d'une variété de soja à contenu amélioré en acides gras à but alimentaire est autorisée aux Etats-Unis, au Canada et au Mexique.

recherchée a pu être produite, bien qu'en faibles quantités encore. Concernant le vaccin oral provenant d'algues vertes, il a pu être démontré que les truites supportent bien l'algue génétiquement modifiée en tant qu'aliment, et qu'aucun effet négatif n'a pu être observé. Le vaccin n'a toutefois pas encore conféré une protection (cf. chapitre 2.1).

Dans l'UE, des réglementations concernant l'autorisation de médicaments issus de plantes pharmaceutiques ont été promulguées en 2006.¹ L'ébauche d'une loi correspondante existe aux États-Unis, alors qu'en Suisse, il n'y a pas encore de réglementation spécifique qui complique l'enregistrement de tels médicaments.

ÉVALUATION DES RISQUES

Les organismes génétiquement modifiés ne sont autorisés, en Suisse comme ailleurs, qu'après une évaluation sévère de leur sécurité. Le Codex Alimentarius – une organisation intergouvernementale qui harmonise les normes alimentaires au niveau international et qui est financée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) – et l'EFSA (Autorité européenne de sécurité des aliments) ont établi une approche comparative pour l'évaluation des risques. Celle-ci

exige que les modifications attendues et inattendues des PGM soient examinées en comparaison avec le type sauvage. Selon ce «concept de familiarité», la plante transgénique doit être aussi sûre que la plante de culture correspondante cultivée de longue date, dont les risques pour l'environnement, l'être humain et l'animal sont bien connus.

Du point de vue des composants, la PGM sera identique à la plante de contrôle conventionnelle

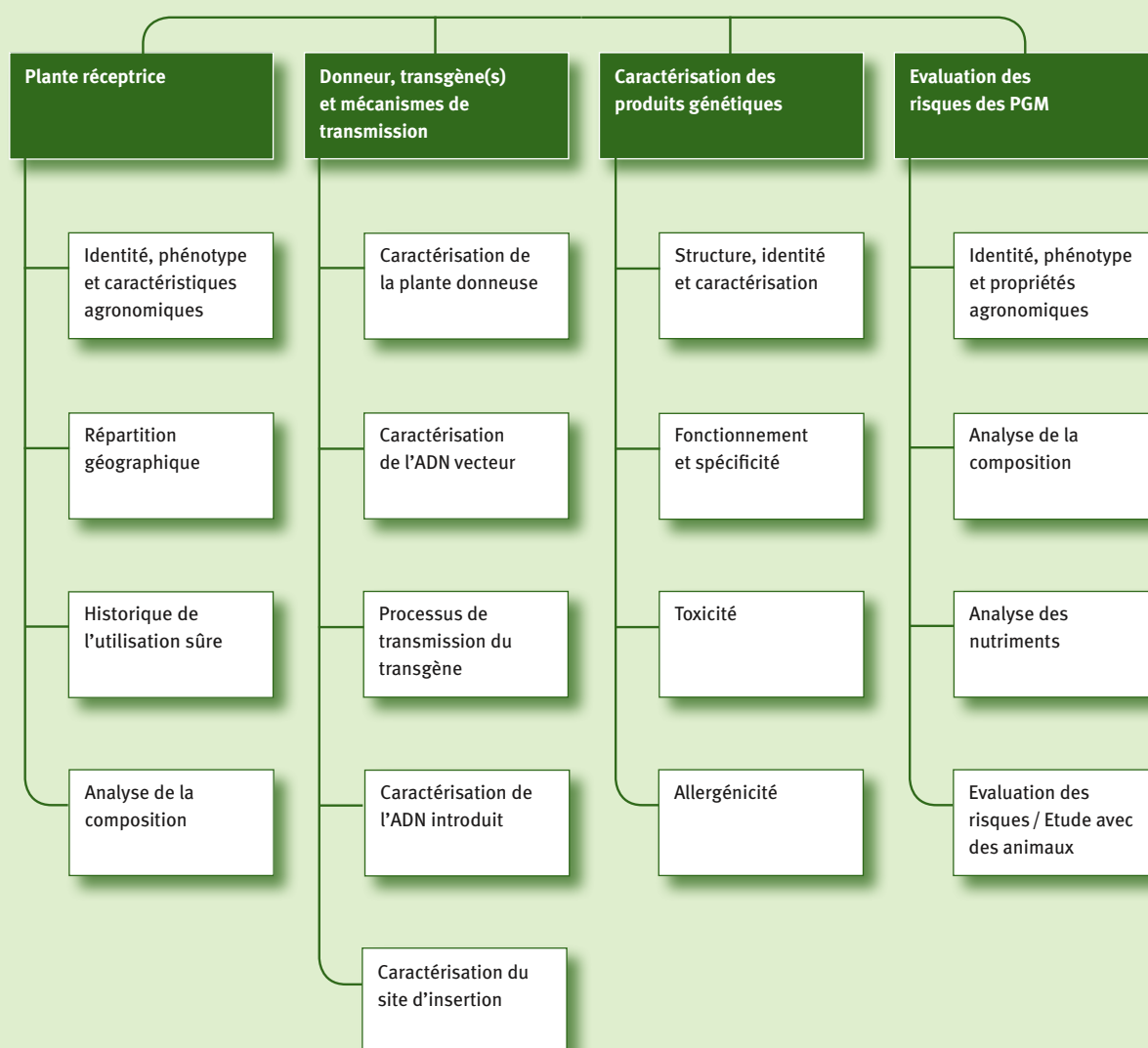
à l'exception du gène introduit (concept d'équivalence substantielle ou analyse comparative de sécurité).^{[9][10]}

Dans ce contexte, il est également important de considérer l'aspect des «novel foods», qui implique que les connaissances sur les plantes utiles telles que la pomme de terre ou le maïs sont bien plus grandes que celles de variétés de légumes ou de fruits nouvellement introduites à l'image du liseron d'eau ou du kiwi.

Le schéma de l'examen des risques pour l'environnement, qui est également exigé dans l'UE, est exposé dans le chapitre 1.1 et présente l'évaluation de dangers éventuels pour la santé de l'être humain et de l'animal. Ici ne seront traités que les aspects de la santé humaine. En résumé, une plante génétiquement modifiée peut être autorisée

- lorsque la PGM est aussi sûre que la plante de contrôle conventionnelle.

Illustration 3.1: Analyse de sécurité en matière de santé humaine



Les caractéristiques des plantes génétiquement modifiées sont analysées comparativement à celles des plantes conventionnelles de contrôle afin d'évaluer d'éventuels dommages pour la santé humaine. Cette analyse nécessite des données fondées concernant les nouveaux éléments et propriétés des PGM. Source: cf. liste des illustrations

- lorsque des données solides et en quantités suffisantes sont disponibles afin de permettre une évaluation de la sécurité selon les critères scientifiques.

Lors d'une demande d'autorisation pour une plante génétiquement modifiée, le requérant doit fournir une série de données scientifiques. L'illustration 3.1 résume schématiquement le cahier des charges qui sert de base pour l'analyse de la sécurité de PGM en rapport avec la santé humaine.

L'allergénicité et la toxicité d'aliments enregistrés en vue de leur autorisation doivent notamment être testées au moyen de méthodes scientifiques, et une comparaison détaillée avec les plantes de contrôle concernant la composition nutritionnelle sera effectuée. Dans la plupart des cas, les résultats d'essais d'alimentation sont également fournis.

Ces dernières années, des technologies permettant, par exemple, de répertorier l'ensemble des protéines (proteomics) ou des métabolites (metabolomics) et de comparer une PGM avec sa contrepartie isogénique ont aussi été développées.^{[11][12]} Avant que ces méthodes ne puissent être appliquées, elles devront avoir été standardisées et internationalement entérinées. Elles complètent les méthodes analytiques existantes et ne les remplacent pas.

Alors que les méthodes mentionnées plus haut entrent en jeu avant l'autorisation d'une PGM, l'introduction d'un programme dit «post-market monitoring programm» est également envisageable.

Celui-ci enregistre les réactions indésirables et inattendues de consommateurs hautement sensibles. La mise en pratique et la faisabilité de cette méthode ne sont

toutefois pas encore clarifiés. L'établissement d'un bureau d'enregistrement central qui fonctionne de manière semblable au registre sur les effets secondaires de médicaments est concevable. Au préalable, il est nécessaire

de développer des méthodes permettant de tracer et d'identifier les aliments qui déclenchent des allergies et de déterminer des marqueurs de référence valables.

En Suisse, les conditions pour l'autorisation d'aliments génétiquement modifiés sont définies dans l'ordonnance sur les denrées alimentaires génétiquement modifiées (SR 817.022.51). La liste des questions équivaut à celles du Codex Alimentarius et de l'EFSA.

Un «post-market monitoring programm» permettrait de surveiller les réactions inattendues de consommateurs hautement sensibles, par analogie avec les effets secondaires de médicaments.

Conclusions et recommandations

1. Au cours des vingt dernières années, le développement de l'évaluation nationale et internationale de la sécurité, y compris l'évaluation des risques toxiques potentiels pour l'être humain et l'animal, a eu lieu parallèlement au développement des PGM de la première génération. Jusqu'à présent, aucun effet négatif sur la santé de PGM commercialisées n'est connu.
2. Pour les PGM de la troisième et quatrième générations, un grand nombre de produits géniques différents sont utilisés. Il s'agit donc d'adapter l'évaluation de la sécurité (concept de familiarité de d'équivalence) et, éventuellement, de l'élargir en tenant compte des méthodes analytiques les plus récentes, afin d'y inclure le génome/le transcriptome, le protéome et le métabolome.
3. Il convient de remettre en question les modèles animaux recommandés quant à leur actualité et leur valeur informative concernant les questions d'éventuelle toxicité et immunogénicité, et de se demander quelles méthodes alternatives sont à utiliser.
4. Une possibilité pour l'identification d'éventuels effets négatifs différés de PGM et de leurs produits serait la mise sur pied d'un «post-market monitoring».
5. En plus de l'utilisation de PGM comme source d'aliments et de fourrages, leur emploi dans la production de substances actives pharmaceutiques a également gagné en importance. Dans ce contexte, il est nécessaire d'adapter les exigences de sécurité spécifiques aux plantes pharmaceutiques conformément aux exigences de bonne pratique de fabrication pour les substances pharmaceutiques.
6. La Suisse possède l'expertise scientifique dans le domaine des plantes pharmaceutiques. Il importe de se demander dans quelle mesure notre pays, en tant que centre scientifique, innovateur et producteur, peut se permettre de ne pas participer au développement international dans ce secteur. Une mise à disposition continue de ressources adéquates pour la recherche dans ce domaine dépend en particulier des décisions politiques.

NOTES

- 1 Doc. réf.: EMEA/CHMP/BWP/48316/2006

LITTÉRATURE

- [1] Hoffmann-Sommergruber, K. Dorsch-Häsler, K. (2011) Medical issues related to GM-plants of relevance for Switzerland. Vdf, Zurich, 2012.
- [2] Kouser, S. Qaim, M. (2011) Impact of Bt cotton on pesticide poisoning in smallholder agriculture: A panel data analysis. *Ecological Economics* 70(11), 2105-2113.
- [3] US Environmental Protection Agency, EPA, 2001, Oct 15: Biopesticides Registration Action Document (BRAD) – *Bacillus thuringiensis* Plant-Incorporated Protectants.
- [4] EFSA (2009) Consolidated presentation of the joint Scientific Opinion of the GMO and BIOHAZ Panels on the «Use of Antibiotic Resistance Genes as Marker Genes in Genetically Modified Plants» and the Scientific Opinion of the GMO Panel on «Consequences of the Opinion on the Use of Antibiotic Resistance Genes as Marker Genes in Genetically Modified Plants on Previous EFSA Assessments of Individual GM Plants». *The EFSA Journal* (2009) 1108, 1-8.
- [5] Radauer, C., Bublin, M., Wagner, S., Mari, A., Breiteneder, H. (2008) Allergens are distributed into few protein families and possess a restricted number of biochemical functions. *J Allergy Clin Immunol. Apr*;121(4), 847-52.e7.
- [6] Prescott, V. E., Campbell, P. M., Moore, A., Mattes, J., Rothenberg, M. E., Foster, P. S., Higgins, T. J., Hogan, S. P., (2005) Transgenic expression of bean alpha-amylase inhibitor expression in peas results in altered structure and immunogenicity. *J Agri Food Chem*; 53, 9023-9030.
- [7] Campbell, P. M., Reiner, D., Moore, A. E., Lee, R.-Y., Epstein, M. M., Higgins, T. J. V. (2011) Comparison of the α -amylase inhibitor-1 from common bean (*Phaseolus vulgaris*) varieties and transgenic expression in other legumes—post-translational modifications and immunogenicity. *J Agric Food Chem.*; 59, 6047-6054
- [8] Paul, M., Ma, J. K.-C. (2011) Plant-made pharmaceuticals: Leading products and production platforms. *Biotechnology and Applied Biochemistry* 58 (1), 58-67.
- [9] Codex Alimentarius (2009) Foods derived from modern biotechnology. Second Edition. Codex Alimentarius Commission, Joint FAO/WHO Food Standards Programme, Second Edition (Rome).
- [10] EFSA (2011) EFSA Panel on Genetically Modified Organisms. Guidance for risk assessment of food and feed from genetically modified plants. Scientific opinion. *EFSA Journal* 9(5), 2150.
- [11] Shewry, P. R., Baudo, M., Lovegrove, A., Powers, S., Napier, J. A., Ward, J. L., Baker, J. M., Beale, M. H. (2007) Are GM and conventionally bred cereals really different? *Trends Food Sci Tech* 18, 201-209.
- [12] EFSA (2010) EFSA Panel on Genetically Modified Organisms. Scientific Opinion on the assessment of allergenicity of GM plants and microorganisms and derived food and feed. *EFSA Journal* 8(7), 1700.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

3.2 Opinion, consommation, communication et acceptation

L'acceptation du génie génétique en Suisse dépend du comportement des consommateurs et des votants. Le génie génétique échoue pour des raisons financières si les consommateurs ne sont pas disposés à acheter des denrées alimentaires génétiquement modifiées. De plus, les votants déterminent les conditions-cadres légales pour le développement et l'utilisation de nouvelles technologies. En Suisse, ces processus de décision sont fortement influencés par la démocratie directe. Il importe donc de mieux comprendre les choix faits devant les étalages des magasins et au moment de remplir son bulletin de vote.

MICHAEL SIEGRIST
THOMAS BERNAUER

Pour ce chapitre, les résultats de la recherche effectuée au sein du PNR 59 ont été résumés par Michael Siegrist et Thomas Bernauer. Suit un extrait de *l'étude de littérature Société, économie agricole et coexistence* par Joachim Scholderer.

ACCEPTATION DE NOUVELLES TECHNOLOGIES

Le génie génétique vert doit lutter contre les problèmes d'acceptation, car la population associe des risques diffus à cette technologie. Parallèlement, les consommateurs peinent à discerner le bénéfice éventuel offert par les denrées alimentaires génétiquement modifiées. Non seulement les études du PNR 59, mais aussi un grand nombre de recherches internationales parviennent à cette conclusion. Cependant, dans le domaine alimentaire, le manque d'acceptation à l'égard des nouvelles technologies ne se limite pas au génie génétique vert.^[1] De façon générale, l'acceptation de nouvelles technologies en matière d'alimentation est faible. Qu'il s'agisse de l'irradiation d'aliments ou de l'emploi d'agents conservateurs, une partie des consommateurs y perçoit des risques inutiles et une absence d'utilité pratique. Il ne peut toutefois pas être question d'un rejet général de la technologie par la population suisse. Les consommateurs sont prêts à recourir à des technologies nouvelles telles qu'Internet ou les smartphones, car ces innovations présentent un bénéfice direct.

Au sein du public, les risques liés au génie génétique vert sont souvent discutés, parfois âprement. L'industrie et la science affrontent ces débats en transmettant des connaissances scientifiques, et tentent

ainsi d'influencer la perception des risques de la population. Un mode d'action qui n'est pas très prometteur.

Car, justement, au niveau de la perception de risques inconnus, le manque de connaissances joue un rôle moins important que les émotions et les impulsions qui déterminent ce que nous craignons. De plus, bénéfices et risques ne sont pas évalués indépendamment les uns des autres. Lorsqu'un bénéfice important d'une technologie est identifié, les risques seront automatiquement perçus avec moins d'acuité. Si, au contraire, aucun bénéfice clair n'a été reconnu, des risques mêmes faibles sont perçus comme étant trop élevés.

L'ATTITUDE DES CONSOMMATEURS VIS-À-VIS DU GÉNIE GÉNÉTIQUE VERT

Comment prenons-nous des décisions?

Plusieurs domaines des sciences sociales tentent d'expliquer les processus décisionnels humains. Un modèle souvent utilisé part du principe qu'il faut distinguer entre deux systèmes de prise de décision^[2]: un système basé sur l'expérience et un autre de type analytique.

- Dans le **système basé sur l'expérience**, les impulsions et les émotions jouent un rôle central. La réalité y apparaît sous forme d'images concrètes, de métaphores et d'histoires. Les associations,

Dans le contexte de la perception de risques inconnus, le manque de connaissances joue un rôle moins important que les émotions et les impulsions.

et les impulsions qui y sont liées, déterminent notre crainte ou non au sujet de nouvelles technologies.

- Avec le **système analytique**, nous avons besoin de beaucoup de temps pour prendre une décision. La réalité est reproduite sous forme de symboles abstraits, de mots ou de chiffres. La logique et l'évidence jouent un rôle important dans la prise de décision. Le système analytique permet une évaluation plus précise des risques sur lesquels nous devons nous pencher.

La plupart des consommateurs ne peuvent pas se fier au **système analytique** lorsqu'ils prennent leurs décisions; il en va d'ailleurs de même pour les scientifiques quand ils se trouvent dans le rôle du consommateur.

Dans le cadre du PNR 59, les connaissances en matière de génie génétique ont été déterminées à l'aide d'un sondage par écrit distribué aléatoirement à 830 personnes en Suisse alémanique. Les résultats font apparaître que les connaissances de la population de notre pays sur le thème du génie génétique sont très faibles.^[3] Ainsi, seulement 49 pour cent des personnes interrogées

La plupart des consommateurs ne sont pas en mesure de se déterminer avec logique sur la base de chiffres et de faits lorsqu'ils sont appelés à prendre des décisions.

ont su donner la réponse exacte («faux») à la déclaration suivante: «Lors de la consommation de denrées alimentaires génétiquement modifiées, les gènes nouvellement

introduits peuvent être transférés au génome humain.» Dans la littérature, on présume souvent que le génie génétique est perçu comme un risque parce que des gènes d'organismes très différents y sont combinés. Il est donc surprenant que seule une petite proportion des sondés était en état d'évaluer correctement l'affirmation suivante: «Il n'est pas possible de transférer des gènes animaux à des plantes.» Seulement 13 pour cent ont répondu «faux» (réponse correcte), alors que 28 pour cent ont répondu «juste» et 59 pour cent «je ne sais pas».

Concernant l'utilisation du génie génétique proprement dit aussi, les personnes interrogées n'avaient que peu de connaissances. Seulement 33 pour cent d'entre elles ont donné la bonne réponse («faux») à la déclaration «Il n'est pas encore possible de produire des vaccins par des méthodes de génie génétique».

Il se peut pourtant que les connaissances ne soient pas si importantes que cela, car le sondage a révélé que celles des consommateurs en matière de génie génétique n'ont pas d'influence particulière sur l'acceptation de la technologie. Ainsi, les personnes mieux informées n'avaient pas automatiquement une perception plus positive ou plus négative de cette technologie. On ne saurait donc s'attendre à ce que la transmission de savoir biologique en général ou de connaissances supplémentaires sur le

génie génétique en particulier permette d'augmenter l'acceptation du génie génétique par la population.

Faute de connaissances, la plupart des consommateurs doivent se fier au système basé sur l'expérience lors de leurs évaluations du génie génétique. Dans ce contexte, les images et métaphores suggérées par le terme «génie génétique» jouent un rôle important. Une étude effectuée dans le cadre du PNR 59 montre qu'il ne s'agit pas simplement de craintes ou de malaises. Les personnes participant à l'étude ont

été priées de citer les idées leur venant spontanément à l'esprit lorsqu'on évoque le «génie génétique».^[4] Étonnamment, les personnes questionnées ont mentionné plus souvent des images inspirées par l'agriculture et la production de denrées alimentaires, et procédé à beaucoup moins d'associations en rapport avec la médecine. De plus, les participants au sondage étaient priés d'évaluer chaque association sur une échelle allant de

Illustration 3.2: Champ d'essai de blé génétiquement modifié à Pully près de Lausanne



Le génie génétique éveille des craintes au sein de larges couches de la population, surtout lorsque les expériences sont effectuées dans les alentours immédiats. Source: cf. liste des illustrations

«très positive» à «très négative». La valeur moyenne de ce classement affectif a été considérée comme neutre dans la mesure où environ la moitié des participants au sondage ont spontanément associé le génie génétique à quelque chose de positif tandis que l'autre moitié nourrissait des représentations négatives à son endroit. Et ces associations spontanées ont exercé ensuite une influence sur les décisions hypothétiques d'achat. Plus les

Si aucun bénéfice clair n'est reconnu pour une technologie, même de faibles risques sont perçus comme étant trop élevés.

Illustration 3.3: Préférences des consommateurs pour les aliments génétiquement modifiés



Les consommateurs doivent pouvoir percevoir un bénéfice direct dans un produit, sans quoi celui-ci n'aura pas de succès. Source: cf. liste des illustrations

associations étaient positives, plus ces personnes se disaient prêtes à acheter des denrées alimentaires génétiquement modifiées.

Les diverses applications du génie génétique sont perçues différemment par les consommateurs. Ainsi, les applications présentant un bénéfice manifeste pour le consommateur sont jugées plus positives que celles pour lesquelles le consommateur ne reconnaît pas d'utilité directe. Concrètement, le bénéfice des applications médicales est jugé plus élevé et les risques plus bas que ce n'est le cas pour les applications non médicales. De ce fait, l'acceptation des

applications dans le domaine de la médecine est d'autant plus élevée.

Selon les études effectuées dans le cadre du PNR 59, la Suisse a encore et toujours à lutter contre des problèmes d'acceptation dans ce domaine.

Mais les consommateurs sont également sceptiques envers d'autres nouvelles technologies alimentaires inconnues, car les produits alimentaires naturels, confectionnés sans l'intervention de technologies, sont perçus comme étant idéaux. Dans la perspective de Monsieur tout le monde, les produits génétiquement modifiés ne sont donc pas des «produits naturels».^[5] De nombreux consommateurs ne réalisent pas que derrière la sélection traditionnelle se cache

également une technologie complexe. Il convient de réaliser que, lors de l'achat de denrées alimentaires, les habitudes et les aspects émotionnels jouent un rôle décisif. Les tabous alimentaires influencent ce que nous mangeons ou ne mangeons pas. Ils varient d'une culture à l'autre, et il est difficile de déceler des fondements rationnels pour les tabous liés à la nourriture. Mais des facteurs émotionnels, qui ne se laissent pas influencer par des informations, jouent certainement un rôle important dans cette situation.

Comment réagissent les consommateurs face aux produits génétiquement modifiés?

La disposition des consommateurs à acheter des produits génétiquement modifiés a été examinée dans le cadre d'une étude de marché du PNR 59.^[6] Du pain de maïs a été vendu lors du marché hebdomadaire dans plusieurs villes suisses. Les consommateurs avaient le choix entre du pain fabriqué à partir de maïs biologique, conventionnel ou génétiquement modifié.

Le prix du pain élaboré à partir de maïs transgénique variait.

Selon le jour de vente, le prix du produit génétiquement modifié était plus bas que, égal à ou plus élevé que celui du produit conventionnel. Les consommateurs ont acheté le plus souvent le pain biologique, et le moins souvent le pain contenant du maïs génétiquement modifié. Il reste qu'en moyenne, 23 pour cent des consommateurs ont choisi le pain de maïs génétiquement modifié. Une fois la décision d'achat prise, un sondage a été effectué. Celui-ci montre que la curiosité des consommateurs représentait une raison importante d'acheter le pain fabriqué à partir de maïs génétiquement modifié. Cette étude ne permet donc de ne tirer que des conclusions de portée limitée quant au nombre de consommateurs prêts

à acheter à plusieurs reprises le produit génétiquement modifié. Mais l'avantage de cette étude – contrairement à beaucoup d'autres similaires – est que les consommateurs ont dû prendre une décision d'achat réelle et non pas hypothétique.

Comme mentionné plus haut, toutes les études sur le génie génétique vert révèlent que l'acceptation par les consommateurs n'est que faiblement déterminée par des

risques réels. L'utilité perçue est bien plus décisive.^[3] Cela signifie que si les consommateurs perçoivent un avantage supplémentaire, ils sont prêts à acheter de tels

produits. Est-ce qu'un prix plus bas représente un tel avantage supplémentaire?

Les sondages effectués dans le cadre du PNR 59 et des études de marché montrent qu'une partie des consommateurs choi-

sissent la variante génétiquement modifiée si le prix leur semble adéquat. Ainsi, il a pu être démontré dans l'étude avec le pain contenant du maïs transgénique qu'il y a un rapport (bien que faible) entre le prix et le nombre de pains

de maïs génétiquement modifié vendus.^[7] Le sondage auprès d'un échantillon représentatif de la population fournit un résultat semblable: la propension des consommateurs à payer a été analysée dans le cadre de

Pour le consommateur moyen, les produits génétiquement modifiés ne sont pas des «produits naturels».

Pour que le consommateur choisisse des denrées alimentaires génétiquement modifiées, il faut que leur prix soit plus avantageux que celui de denrées conventionnelles.

L'initiative pour un moratoire

Le titre officiel de l'initiative en faveur d'un moratoire était «Initiative populaire fédérale pour des aliments produits sans manipulations génétiques». Du fait de l'acceptation de cette dernière, la Constitution fédérale a été complétée comme suit: «L'agriculture suisse n'utilise pas d'organismes génétiquement modifiés durant les cinq ans qui suivent l'adoption de la présente disposition constitutionnelle. Ne pourront en particulier être importés ni mis en circulation: a. les plantes, les parties de plantes et les semences génétiquement modifiées qui peuvent se reproduire et sont destinées à être utilisées dans l'environnement à des fins agricoles, horticoles ou forestières; b. les animaux génétiquement modifiés destinés à la production d'aliments et d'autres produits agricoles.» En mars 2010, le parlement a décidé de prolonger le moratoire jusqu'en 2013. Le 26 septembre 2012, il l'a prolongé une nouvelle fois, cela jusqu'à la fin 2017.

situations hypothétiques d'achat.^[4] Il s'est avéré que la volonté d'acheter une plaque de chocolat était nettement plus faible dans le cas du produit génétiquement modifié que dans le cas du produit conventionnel. Ainsi, le test de vente, tout comme les décisions hypothétiques montrent que le prix de denrées alimentaires génétiquement modifiées doit être plus bas que celui de denrées conventionnelles pour que le consommateur choisisse la variante génétiquement modifiée.

Comparativement au reste de l'Europe, la Suisse est relativement sceptique à l'égard du génie génétique (cf. illustration 3.4).^[8]

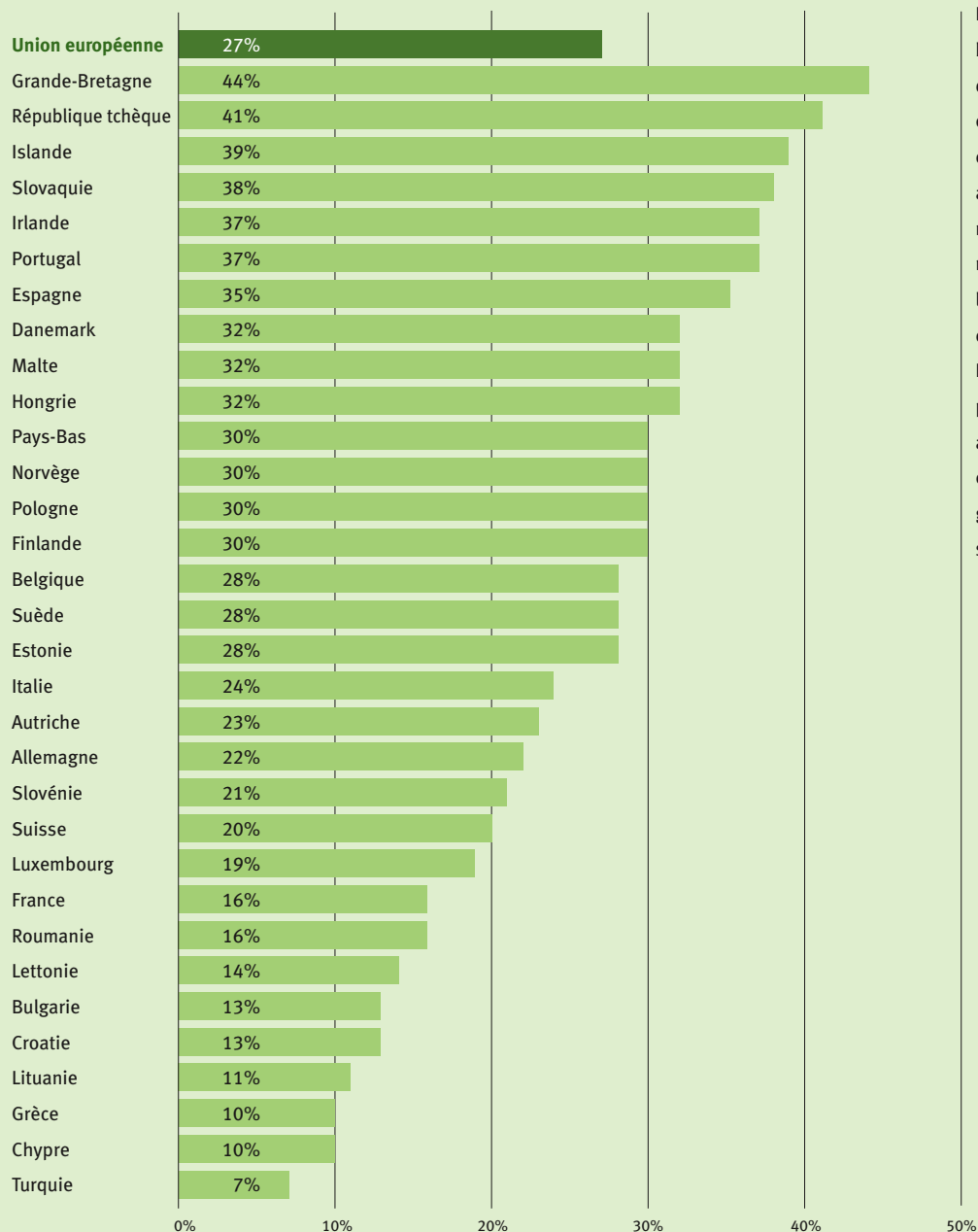
Mais en ce qui concerne les raisons de cette méfiance, les parallèles sont multiples avec notre continent: les hommes sont plus favorables au génie génétique dans l'agriculture que les femmes; des personnes ayant un niveau d'éducation plus élevé ne sont pas forcément plus favorables au génie génétique; l'appartenance à une religion plutôt qu'à une autre n'exerce pas non plus d'influence; les connaissances sur le génie génétique sont relativement faibles, et des écarts au niveau des connaissances acquises ne semblent guère avoir d'effet sur l'acceptation. La différence la plus importante entre l'Europe et la Suisse est que, dans l'ensemble, en Europe, les personnes plus jeunes sont plus favorables au génie génétique que celles plus âgées. En Suisse, les personnes plus âgées y sont plus favorables.

L'ATTITUDE DES VOTANTS VIS-À-VIS DU GÉNIE GÉNÉTIQUE VERT

Jusqu'à présent, l'initiative pour un moratoire (cf. encadré) est la décision politique la plus importante concernant le génie génétique vert. Elle a été acceptée le 27 novembre 2005 par environ 56 pour cent des votants et par la majorité des cantons, comme l'exige toute initiative constitutionnelle (de fait, tous les cantons ont adopté le projet).^[9]

L'analyse Vox, effectuée traditionnellement après une votation populaire, révèle des points intéressants concernant cette décision.^{[10][11]} Un élément qui attire particulièrement l'attention est le fait qu'une

Illustration 3.4: Acceptation de l'encouragement des denrées alimentaires génétiquement modifiées



Dans le sondage Euro-baromètre, les personnes questionnées ont évalué la déclaration suivante: «Le développement de denrées alimentaires génétiquement modifiées doit être encouragé.» Le graphique regroupe les réponses «absolument d'accord» et «plutôt d'accord». En Suisse, 20 pour cent des participants au sondage approuvent l'encouragement des denrées alimentaires génétiquement modifiées.

Source: cf. liste des illustrations

part appréciable des votants avaient mal compris le texte soumis au vote: en déposant un non dans l'urne, environ 13 pour cent des personnes ayant rejeté l'initiative croyaient prendre position contre le génie génétique, mais ont en fait voté contre un moratoire. Le taux d'acceptation réel se situe donc clairement en dessus de 60 pour cent. On remarquera également qu'environ 68 pour cent des votants croyaient qu'il s'agissait,

dans cette votation, de s'exprimer pour ou contre une interdiction générale des produits génétiquement modifiés. Seulement un tiers des votants étaient bien informés sur les détails concrets de l'initiative.

Le comportement lors de la votation a manifestement été influencé par l'échelle des valeurs individuelle des citoyens. Lorsque des thèmes complexes leur sont soumis, les votants tendent à passer moins de temps à s'informer et à faire leurs choix selon les recommandations du parti politique dont ils se sentent proches. Toutefois, dans le cas de l'initiative «Stop OGM», un tel alignement sur l'opinion des partis ne s'est que rarement produit, ce qui explique la divergence entre l'opinion majoritaire au sein du parlement et du gouvernement, d'une part, et l'opinion publique, d'autre part. Un sympathisant sur deux de l'UDC et du PDC ne s'est pas tenu aux recommandations du parti. La plupart des sympathisants du PS et du PLR, en revanche, ont suivi la ligne proposée.

Les valeurs des individus ont joué un rôle décisif dans ces divergences. La position fondamentale à l'endroit du système économique et, en particulier, à l'égard des interventions de l'Etat a exercé une influence déterminante. Les partisans des interventions étatiques étaient plutôt favorables à l'initiative, les partisans de l'économie de marché plutôt contre. La manière dont les votants eux-mêmes se situaient

sur une échelle politique gauche-droite a donc eu un impact important sur le comportement lors de la votation.

Environ 20 pour cent des personnes qui ont voté «oui» se considéraient comme étant radicalement opposées au génie génétique.

Environ 30 pour cent de celles ayant voté pour l'initiative ont pris leur décision sur la base d'une évaluation de l'utilité: elles étaient d'avis que les variétés d'aliments conventionnels ont davantage de goût et qu'elles sont plus saines. Les opposants à l'initiative s'inquiètent surtout des répercussions négatives sur la recherche. Dans le sondage, les déclarations suivantes ont été les plus souvent avancées: «une pause est nécessaire afin de clarifier certaines questions» et «une agriculture exempte de génie génétique préserve la diversité naturelle des plantes et des animaux». Toutefois, plus de 80 pour cent des personnes interrogées sont favorables à la liberté de choix entre produits génétiquement modifiés et produits conventionnels.

L'opinion publique demeure ambivalente, voire négative depuis la votation de 1998 concernant l'initiative pour la protection génétique.

Dans une certaine mesure, l'âge et la langue ont également joué un rôle au niveau de la décision prise lors de la votation. La majorité des votants retraités se sont exprimés contre l'initiative. Plus fortement que dans d'autres tranches d'âge, leur motivation semblait être une certaine crainte des répercussions négatives pour la recherche. Les votants francophones étaient plus souvent favorables à l'initiative. En conséquence, l'initiative a obtenu environ 10 pour cent de voix supplémentaires en Suisse romande et au Tessin qu'en Suisse allemande (63,5 pour cent de oui en Suisse romande contre 52,7 pour cent en Suisse allemande). Curieusement, dans le cadre de cette votation, le sexe n'a pas eu d'influence sur le comportement, bien que les femmes soient généralement plus critiques vis-à-vis du génie génétique que les hommes.

Les opinions sur le génie génétique vert sont-elles stables?

Dans le projet *Le génie génétique vert présenté au public*, un sondage représentatif a permis d'évaluer si l'opinion publique exprimée lors de la votation de 2005 a évolué depuis lors.^[12] Les résultats montrent que l'opinion publique demeure ambivalente, voire négative depuis la votation concernant l'initiative pour la protection génétique qui a eu lieu en 1998. Les opinions se divisent en trois catégories distinctes: environ 30 pour cent des sondés sont favorables au génie génétique, 36 pour cent sont ambivalents et 34 pour cent s'y opposent. Une majorité de 54 pour cent approuve la

prolongation du moratoire (qui a ensuite été ratifiée par le parlement). Même parmi les partisans du génie génétique, 46 pour cent étaient favorables à ladite prolongation. Comparativement à d'autres thèmes tels que la crise économique, la question du génie génétique ne revêt actuellement guère d'importance dans l'esprit de la population suisse.

Dans quelle mesure peut-on se fier aux résultats de sondages?

Dans le cas de décisions politiques, on ne saurait se fier aux résultats de sondages que lorsque les opinions sont plus ou moins stables. Il se pourrait que les personnes sondées n'aient pas d'opinion précise sur le génie génétique. Elles choisiraient alors une réponse plus ou moins au hasard. Mais il est aussi concevable que, du fait que la question du génie génétique est débattue depuis tellement longtemps sur la place publique, la plupart des personnes interrogées ont une opinion stable et n'éprouvent donc pas de difficulté à répondre raisonnablement aux questions posées. Dans le projet *Légitimité, émotions, confiance et acceptation des plantes génétiquement modifiées*, la perception de l'utilité et des risques de diverses applications du génie génétique a été mesurée chez les mêmes personnes en 2008 et en 2010. Il s'est avéré que la perception, autant de l'utilité que des risques, est restée très stable au cours de ces deux années. Ces données indiquent donc que les personnes sondées ont une opinion relativement stable au sujet du génie génétique.

Les votants en tant que consommateurs

Le projet *Préférences aux aliments génétiquement modifiés dans le cadre d'expériences de marketing direct en Suisse* a examiné le rapport entre la disposition à acheter un pain contenant du maïs génétiquement modifié et le comportement lors de la votation sur l'initiative pour un moratoire.^[7] Les résultats font apparaître clairement qu'il n'y a pas de rapport entre le comportement lors de votations et celui au moment de l'achat. Néanmoins, ce résultat ne surprend pas, car les rôles de votants et de consommateurs sont différents.

Leurs décisions sont influencées par des critères différents.

Le comportement à l'achat était conditionné par le prix du produit,

car celui-ci était clairement indiqué par les chercheurs. Pour le votant, en revanche, le prix des denrées alimentaires ne constituait pas un point central. Les doutes concernant le brevetage d'organismes vivants et l'influence plus prononcée des producteurs de semences peuvent également influencer le comportement lors de votations. Le goût, la curiosité ou le prix jouent par contre un rôle important dans le comportement à l'achat.

Les différences entre le comportement à l'achat et lors de votations ne sont pas seulement pertinentes s'agissant de génie génétique, mais se retrouvent aussi dans d'autres domaines de l'agriculture. Par exemple, concernant le comportement lors de votations sur l'élevage d'animaux,

les facteurs éthiques jouent un rôle important, alors qu'en cas d'achat de viande, ce sont souvent des facteurs économiques qui prennent le dessus.

L'INFLUENCE DE GROUPES D'INTÉRÊT

Les groupes d'intérêt tentent d'influer directement les décisions politiques grâce au lobbying exercé auprès de preneurs de décision politiques ou indirectement par l'intermédiaire des médias. Ils cherchent ainsi à influencer l'opinion publique. Les groupe-

ments favorables au génie génétique, pour leur part, renvoient surtout au progrès scientifique et à la signification économique de la technologie afin d'atteindre le

même but. Les personnes critiques envers une technologie ou s'y opposant soulignent les risques pour l'environnement et la santé. Dans le projet *La technologie génétique verte présentée au public*, les activités et arguments de divers groupes d'intérêt ont été examinés au moyen de sondages en ligne et d'interviews (illustration 3.4).

Le résultat le plus probant de ce projet est que le débat entre les différents camps est pour l'heure largement épuisé et qu'une certaine fatigue se fait sentir dans ce contexte. Les arguments pour et contre sont, dans une large mesure, connus et les fronts clairement définis. Comme l'a déjà montré l'analyse Vox s'agissant de l'initiative pour un moratoire, les fronts ne sont

Pour l'heure, le débat entre les différents camps est largement épuisé.

Illustration 3.5: Arguments pour et contre



L'illustration présente les principaux arguments développés à propos des organismes génétiquement modifiés (OGM). Ils sont rangés en pour et contre, et selon le degré de désaccord. Le rejet des OGM s'intensifie à mesure que l'on descend dans le tableau. Exemple d'interprétation: l'argument comme quoi le génie génétique vert menace «l'ordre naturel» est avancé par les opposants, mais se heurte à une forte résistance de la part des partisans.

Source: cf. liste des illustrations

pas définis par le schéma politique gauche-droite, même si cette ligne de démarcation est importante dans la formation de l'opinion individuelle. L'Union suisse des paysans (USP), par exemple, est plutôt critique envers le génie génétique, alors que le camp politique bourgeois est plutôt bien intentionné à l'égard de cette technologie.^[13]

L'épuisement du débat n'est toutefois pas seulement dû à la manière dont la discussion est menée. Un point essentiel est également le fait qu'en Suisse une culture commerciale de PGM n'est pas en vue dans les prochaines années et que l'industrie alimentaire ne propose pour ainsi dire plus de produits génétiquement modifiés.

LE RÔLE DES MÉDIAS

Le projet *La technologie génétique verte présentée au public* a examiné la couverture médiatique du sujet grâce à l'analyse de contenu quantitative de plus de 500 articles de presse. Il a été tenu compte de journaux publiés en Suisse alémanique et en Suisse romande. De plus, une vingtaine de reportages de SF DRS ainsi que des interviews de journalistes ont été examinés à l'aide d'une analyse de contenu qualitative.

Les résultats font apparaître que la couverture médiatique était relativement continue mais, dans l'ensemble, plutôt clairsemée. Elle a atteint son apogée en 2005

(votation concernant l'initiative pour un moratoire). Pourtant, ce dernier, qui était censé créer un espace de temps permettant une réflexion plus approfondie sur l'utilité et les risques du génie génétique vert, n'a pas conduit à un débat plus poussé au sein des médias. Le plus souvent, les reportages traitent d'aspects politiques, tels la question du moratoire ou des essais de dissémination, ainsi que de questions touchant la régulation de la coexistence.

Les groupes d'intérêt les plus importants, avec leurs arguments pour et contre le génie génétique, ont un accès relativement bien équilibré aux médias. Autant les représentants du pouvoir exécutif et législatif que ceux de la science, des ONG et des organisations agricoles y sont présents, avec leurs points de vue. Étonnamment, l'industrie agro-alimentaire est moins présente. Sur 380 arguments analysés dans les médias, 58 pour cent sont critiques envers le génie génétique. De tels avis sont avant

tout exprimés par les ONG et les représentants des agriculteurs. L'agro-industrie et la majorité des scientifiques présentent des arguments favorables au génie génétique. Cependant, parmi les scienti-

fiques, on observe une part non négligeable (27 pour cent) d'arguments critiques. Les représentants du pouvoir exécutif (y compris les offices fédéraux) sont à 40 pour cent plutôt critiques et à 60 pour cent

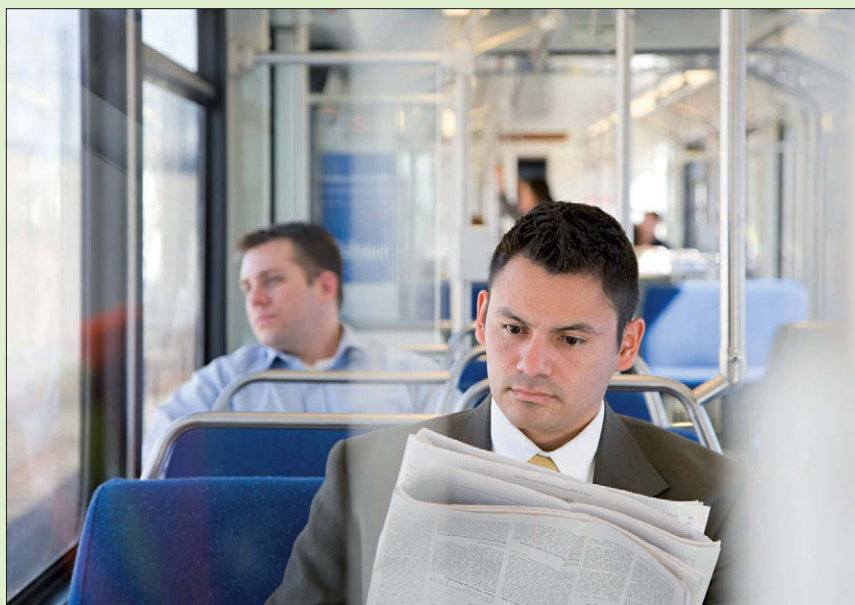
Les médias s'intéressent plus aux aspects politiques et moins aux aspects scientifiques ou agronomiques du génie génétique vert.

plutôt positifs envers le génie génétique vert. Parmi les membres de partis ou du parlement qui ont exprimé leur opinion dans les reportages, 39 pour cent étaient positifs et 61 pour cent critiques. Les contenus les plus importants ont trait aux chances sur le marché (le renoncement au génie génétique vu comme un avantage pour une agriculture pratiquée au sein d'exploitations de petite taille), à la praticabilité (coexistence dans une agriculture fragmentée), la place de recherche suisse (effets négatifs dus à des restrictions

ou à l'interdiction du génie génétique vert) ainsi qu'à la liberté de choix des consommateurs. Dans l'ensemble, l'étude juge favorablement la couverture du génie génétique vert par les médias: elle se révèle, pour l'essentiel, différenciée et équilibrée. Elle est toutefois plus fortement orientée vers les aspects politiques et moins vers ceux scientifiques ou agronomiques du sujet. Les médias ne prennent donc pas parti pour l'une ou l'autre position dans le débat, mais semblent plutôt se déterminer par rapport au climat (préssumé) régnant dans le monde de la politique et au sein de la société. Des

interviews de professionnels des médias concernant l'évaluation de leur rôle et leur manière de travailler confirment ce résultat. Les journalistes interrogés se servent rarement de l'outil du commentaire, mais permettent plutôt à des représentants d'opinions différentes de donner leur avis. A cet effet, les professionnels œuvrant dans le domaine de la science poursuivent souvent une stratégie autre que celle adoptée par les journalistes actifs dans le secteur politique. Les premiers se réfèrent de préférence aux sources scientifiques et défendent plutôt une opinion favorable au génie génétique,

Illustration 3.6: L'opinion publique et le génie génétique vert



La couverture du génie génétique vert par les médias suisses est, dans l'ensemble, différenciée et équilibrée. Source: cf. liste des illustrations

alors que les seconds se fient plus volontiers aux ONG et aux organisations payannes et sont les tenants d'une ligne plutôt critique envers le génie génétique.

Ces résultats prouvent donc que l'allégation souvent exprimée selon laquelle la couverture du génie génétique vert par les médias est superficielle, accrocheuse et négative ne saurait être confirmée.

LE RÔLE DE L'ÉCOLE

Un manque d'expérience pratique et de connaissances est-il responsable de la faible acceptation du génie génétique vert? Le projet *Génie génétique dans les écoles* a examiné si les expériences pratiques de génie génétique vert et une introduction au modèle de réflexion éthique conduisent à un autre comportement en termes de réflexion et d'argumentation s'agissant du génie génétique.

Actuellement, les écoliers suisses n'ont guère la possibilité d'acquérir une expérience directe dans le domaine du génie génétique vert. Ils n'ont pas l'occasion de travailler sur le sujet en laboratoire ou dans le cadre des cours de biologie, et des produits génétiquement modifiés, sous forme de denrées alimentaires, ne sont pas en vente

dans les magasins. Dans ces conditions, il est difficile pour les écoliers de se forger une opinion indépendante en matière de génie génétique vert.

Pour cette raison, le projet *Génie génétique dans les écoles* a examiné les effets d'une expérience pratique du génie génétique vert en combinaison avec de plus amples connaissances concernant des modèles de réflexion éthiques/philosophiques et socio-économiques. Des impacts possibles consisteraient en un intérêt accru pour le sujet, de plus amples connaissances, ainsi qu'une volonté plus forte de remettre en question des jugements moraux largement répandus et d'atteindre une plus grande indépendance dans la vision personnelle.

Dans ce but, le groupe de recherche a effectué des études d'intervention dans douze classes gymnasiales. Les interventions consistaient en des travaux de laboratoire impliquant des méthodes de génie génétique et en la communication aux élèves de modèles de réflexion éthico-philosophiques et socio-économiques leur permettant de discuter et, à terme, d'évaluer des thèmes qui font débat dans la société. Deux groupes expérimentaux ont travaillé en laboratoire. Depuis lors, l'un d'eux a suivi une formation dans le

En Suisse, les élèves n'ont guère la possibilité d'acquérir une expérience directe dans le domaine du génie génétique vert.

Après les interventions, les élèves possédaient plus de connaissances et d'arguments pour et contre le génie génétique.

domaine des modèles de réflexion éthico-philosophiques et socio-économiques. Un groupe de contrôle n'a fait ni l'un ni l'autre, mais est également devenu, dans la phase suivante de l'étude d'intervention, un groupe expérimental. De cette manière, il est possible de déterminer comment les élèves débattent du génie génétique vert après les interventions et comment ils le jugent.

La principale constatation de l'étude est, qu'après l'intervention, les gymnasiens possèdent davantage de connaissances dans le domaine du génie génétique vert, qu'ils font montre d'un plus grand intérêt pour le sujet et qu'ils sont capables d'exprimer davantage d'arguments en faveur de ou contre cette technologie. Toutefois, leur attitude fondamentale envers le génie génétique n'a pratiquement pas changé. Cette constatation correspond aux résultats des sondages évoqués ci-dessus. Contrairement à l'hypothèse exprimée par les chercheurs au début du projet, les élèves participant à l'expérience n'ont, après l'intervention, que très faiblement dévié de leurs concepts, parfois simplistes, exprimés lors de la discussion et de l'évaluation du génie génétique vert. L'hypothèse que de telles interventions pourraient contribuer à la formation d'une opinion plus indépendante n'a donc pas été confirmée. De toute évidence, l'attitude des jeunes vis-à-vis du génie génétique vert est relativement imperméable à l'expérience pratique

ainsi qu'à un plus de connaissances concernant les possibilités d'évaluation éthico-philosophiques et socio-économiques. Jusqu'à présent, aucune explication n'a été fournie concernant cette situation.

Ces résultats ne doivent pas être pris pour argent comptant, car ce projet de recherche a dû affronter de graves problèmes pratiques. D'une part, de nombreux gymnases n'étaient pas disposés à participer à l'étude d'intervention pour des questions d'horaires, mais souvent aussi pour des raisons idéologiques. D'autre part, il s'est avéré qu'il était difficile de contrôler le flux d'informations entre les groupes expérimentaux et les groupes de contrôle, ce qui a probablement contribué à une certaine dilution de l'effet d'intervention.

La confiance joue un rôle central dans l'acceptation des essais de dissémination.

LE RÔLE DE LA COMMUNICATION LORS DES ESSAIS EN CHAMP

Le moratoire a été introduit afin de mieux pouvoir évaluer les bénéfices et les risques du génie génétique vert. Des essais en champ menés avec des plantes génétiquement modifiées ont, pour cette raison, été effectués dans le cadre du PNR 59. Ces essais de dissémination ont été réalisés à Zurich-Reckenholz et à Pully. Sur les deux sites, ces projets ont donné lieu à des manifestations de protestation avant le début des essais et à des déprédations pendant les expériences. En juin 2008, des dommages

ont été causées à des essais de dissémination à Zurich-Reckenholz. En juin 2009, des récipients contenant des liquides phytotoxiques ont été jetés dans les champs d'essai à Pully. Malgré ces incidents, les essais de dissémination se sont, dans l'ensemble, déroulés calmement. Ces événements, cependant, ont nécessité qu'environ 1,26 franc supplémentaire par franc dépensé pour la recherche a dû être déboursé pour la protection des essais et la mise en œuvre de conditions posées par l'Etat.^[14]

Dans le contexte de ces essais, le projet *Légitimité, émotions, confiance*

et acceptation des PGM a déterminé les facteurs qui exercent une influence favorable sur l'acceptation d'essais de dissémination de plantes génétiquement modifiées. A cet effet, les réactions de personnes directement affectées résidant aux alentours du champ d'essai à Zurich-Reckenholz ont été examinées.

Les habitants qui sont d'avis que l'industrie alimentaire et les chercheurs actifs dans le domaine du génie génétique sont honnêtes et soucieux de la santé et de l'environnement présentent un taux d'acceptation plus élevé que les individus moins confiants. La perception de la légitimité de la procédure de décision et du résultat de cette décision exerce également une influence positive sur l'acceptation. L'impression qu'il a été suffisamment tenu compte des préoccupations du grand public constituait un facteur essentiel

pour l'acceptation des essais. On pourrait donc croire que la légitimité n'est importante qu'aux yeux des personnes pour lesquelles le génie génétique ne constitue pas un thème majeur. Mais tel n'était pas le cas. Même parmi les opposants au génie génétique, un processus considéré comme légitime a conduit à une plus forte acceptation des essais de dissémination. Ces résultats soulignent le rôle d'une bonne stratégie de communication.

Toutefois, l'information est non seulement importante pour que la population considère la décision comme légitime et afin qu'elle puisse

développer sa confiance dans les acteurs impliqués. L'information est également une tâche imposée par la loi aux autorités et aux scientifiques participant aux essais de dissémination. Autant la loi sur le génie génétique (LGG) que l'ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (ODE) contiennent de nombreuses directives et exigences concernant la communication. Le projet *Concepts relatifs à l'accomplissement de l'information publique conformément à la LGG* a examiné pourquoi les consignes imposées par la loi ne sont qu'insuffisamment mises en pratique. L'analyse des lois et une enquête auprès de représentants de l'administration, des sciences et de diverses commissions ont fourni un résultat clair: les mandats d'information ne sont pas formulés assez précisément et insuffisamment

Des consignes légales supplémentaires sont nécessaires afin d'améliorer la communication des autorités avec le grand public. Parallèlement, il importe toutefois d'éviter un excès de réglementation.

perçus comme étant praticables. Les auteurs de l'étude en concluent que des normes légales supplémentaires sont nécessaires afin d'améliorer la communication des autorités avec le grand public. Parallèlement, il importe toutefois d'éviter un excès de réglementation. Car un dialogue réussi entre la science et le public ne dépend pas en premier lieu des dispositions légales, mais plutôt de l'intérêt de la population et de la disposition et de la capacité des scientifiques à mener une discussion avec celle-ci.

L'ATTITUDE DES CONSOMMATEURS EUROPÉENS À L'ÉGARD DU GÉNIE GÉNÉTIQUE VERT

JOACHIM SCHOLDERER

Depuis ses débuts, le génie génétique a été source de conflits. Dans les années 1970, le débat sévissait au sein de la science elle-même. Ce n'est qu'au cours de la décennie suivante, lorsque les premières applications furent prêtes à être commercialisées que la discussion s'est étendue à des cercles plus larges de la société.

C'est aussi à ce moment-là qu'a débuté la recherche sociologique sur l'acceptation du génie génétique.^[15] En 1985, le «Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag» et le ministère néerlandais de l'éducation et de la science ont effectué leurs premiers sondages. Le conseil danois de la technologie a suivi en 1987, et le ministère britannique de l'économie en 1991. La même année, l'Union européenne effectuait sa première enquête Eurobaromètre sur la biotechnologie.

Historique des opinions publiques

Aujourd'hui encore, les enquêtes Eurobaromètre fournissent le tableau le plus complet des attitudes de citoyens et consommateurs européens à l'égard du génie génétique.^[8] Le sondage, répété tous les trois ans depuis 1991, montre que l'acceptation sociale du génie génétique est passé par quatre phases différentes.

- Au début des années 1990, les opinions des citoyens européens étaient largement neutres.
- Le débat public intense qui a lieu vers la fin des années 1990 a contribué à une attitude de plus en plus négative.
- Durant les années du moratoire sur toute nouvelle autorisation d'organismes génétiquement modifiés (1999 à 2004), le génie génétique n'a plus guère fait parler de lui, et les opinions des citoyens européens se sont à nouveau neutralisées.
- Depuis, on observe une divergence. Dans les Etats membres de l'UE où la coexistence a fait l'objet de débats particulièrement controversés (p.ex. en Allemagne ou en Autriche) qui ont conduit à des interdictions de culture, la majorité des citoyens exprime une opinion négative vis-à-vis du génie génétique. Dans les Etats membres de l'UE dans lesquels le débat sur la coexistence a été plus ouvert (p.ex. en

Dans les Etats membres de l'UE où la coexistence a fait l'objet de débats particulièrement controversés conduisant à des interdictions de culture, la majorité des citoyens affiche une attitude négative vis-à-vis du génie génétique.

Au sein des Etats membres de l'UE dans lesquels le débat sur la coexistence a été plus ouvert et où des plantes génétiquement modifiées sont cultivées, les opinions s'avèrent plus neutres, voire majoritairement positives.

Illustration 3.7: «Produit à partir de tomates génétiquement modifiées»



En 1996, en Grande-Bretagne, Sainsbury's a fait de la publicité pour des boîtes de purée de tomates élaborée à partir de tomates génétiquement modifiées. Soumis à de fortes critiques, le distributeur a, par la suite, retiré le produit contenant des tomates à maturation retardée. Depuis 2003, l'étiquetage de produits génétiquement modifiés est obligatoire en Europe. Étonnement, cela n'a pas eu d'influence sur les ventes des articles. Source: cf. liste des illustrations

Espagne) et où des plantes génétiquement modifiées sont toujours cultivées, les attitudes sont en revanche beaucoup plus neutres, voire majoritairement positives.

Comment les citoyens européens se représentent-ils le génie génétique?

Des études scientifiques détaillées sur la structure d'attitudes critiques envers le génie génétique ont montré que la notion du génie génétique est relativement abstraite dans l'esprit des Européens. La plupart

des gens ne font guère de distinction entre les différentes applications. C'est plutôt le génie génétique en soi qui provoque un malaise diffus. Cette technologie est considérée comme une intervention contre nature dans l'intégrité d'organismes.

Les opinions critiques à l'endroit du génie génétique font partie d'un système complexe d'attitudes universellement négatives envers le progrès: des études empiriques démontrent qu'il existe une haute corrélation avec les opinions concernant

l'environnement et la nature, le progrès technologique ainsi que la fiabilité des acteurs et institutions dans le domaine du génie génétique et de sa régulation.^[16]

Les risques perçus au sens strict tels que les craintes concernant la toxicité, l'allergénicité ou la propagation incontrôlée de plantes génétiquement modifiées ne jouent qu'un rôle mineur dans l'opinion des citoyens européens.

LES OPINIONS CONCERNANT LE GÉNIE GÉNÉTIQUE SONT IMPERMÉABLES AU CHANGEMENT

Il est apparu que les attitudes critiques envers le génie génétique sont particulièrement imperméables aux tentatives d'exercer une influence par le biais de la communication. Toutes les études menées jusqu'à présent et consistant en une tentative de prise d'influence sur les opinions concernant le génie génétique, grâce à des stratégies propres à la communication de masse, n'ont eu aucun effet.^[17]

Cette situation n'étonne pas si l'on considère les attitudes vis-à-vis du génie génétique comme faisant partie d'un vaste système d'opinions critiques à l'endroit du progrès en général: la couverture par les médias, la publicité, les brochures de relations publiques ou les débats publics constituent tout simplement des

moyens de communication trop ponctuels et superficiels, incapables d'influencer durablement les valeurs fondamentales des citoyens.

LE CITOYEN ET LE CONSOMMATEUR NE FERAIENT QU'UN?

Alors que le génie génétique est perçu avant tout comme une technologie, les produits qui en sont issus sous une forme ou une autre sont pratiquement absents de l'esprit des citoyens européens. De ce fait, les positions à l'égard du génie génétique devraient avant tout être interprétées comme des opinions sur la recherche et la politique agricole et non pas en tant

qu'avis des consommateurs sur les produits. En conséquence, des études économétriques visant à analyser les ventes de produits contenant des composants génétiquement modifiés avant et après l'entrée en vigueur de l'étiquetage

obligatoire n'ont pas mesuré d'effet.^[18] En réalité, ce n'est que dans des expériences portant sur la propension des consommateurs à acheter des produits dont les composants génétiquement modifiés sont signalés de manière beaucoup plus visible que ne l'exige le droit européen sur les denrées alimentaires qu'une baisse a pu être observée.^[19]

Les articles de presse, la publicité, les brochures de relations publiques ou les débats publics sont trop ponctuels et superficiels, et s'avèrent incapables d'influencer l'échelle des valeurs des citoyens.

Conclusions et recommandations

En vertu de la recherche sociologique effectuée dans le cadre du PNR 59, il convient de formuler les recommandations suivantes:

1. Des activités supplémentaires dans le domaine de la communication ne sont pas nécessaires. Le manque d'acceptation n'est dû ni à des connaissances insuffisantes ni à une couverture médiatique déséquilibrée.
2. Des applications du génie génétique procurant au consommateur suisse un bénéfice clair et substantiel pourraient contribuer à augmenter l'acceptation de cette technologie.
3. Les prescriptions légales en matière de politique d'information concernant les essais de dissémination doivent être formulées plus clairement afin que les autorités et les scientifiques sachent ce qu'ils sont tenus de communiquer et comment cette information doit être transmise.

LITTÉRATURE

- [1] Frewer, L. J., Bergmann, K., Meertens, R., Rowe, G., Siegrist, M., Vereijken, C. (2011) Consumer response to novel agri-food technologies: Implications for predicting consumer acceptance of emerging food technologies. *Trends Food Sci Tech*, 22, 442-456.
- [2] Slovic, P., Finucane, M. L., Peters, E., MacGregor, D. G. (2004) Risk as analysis and risk as feelings: Some thoughts about affect, reason, risk, and rationality. *Risk Analysis*, 24, 311-322.
- [3] Connor, M., Siegrist, M. (2011a) Factors influencing peoples' acceptance of gene technology: The role of knowledge, health concerns, naturalness, and social trust. *Sci Commun*, 32, 514-538.
- [4] Connor, M., Siegrist, M. (2011b) The power of association: Its impact on willingness to buy GM food. *Hum Ecol Risk Assess*, 17, 1142-1155.
- [5] Rozin, P. (2006) Naturalness judgments by lay Americans: Process dominates content in judgments of food or water acceptability and naturalness. *Judgment and Decision Making*, 1(2), 91-97.
- [6] Aerni, P., Scholderer, J., Ermen, D. (in press) How would Swiss consumers decide if they had freedom of choice? Evidence from a field study with organic, conventional and GM corn bread. *Food Policy*.
- [7] Aerni, P. (2011) Do political attitudes affect consumer choice? Evidence from a large-scale field study with genetically modified bread in Switzerland. *Sustainability*, 3, 1555-1572.
- [8] Gaskell, G., Stares, S., Allansdottir, A. (2010) Europeans and biotechnology in 2010: Winds of Change? Brussels: European Commission, Directorate General for Research.
- [9] Page d'accueil Office fédéral de la statistique: www.bfs.admin.ch
- [10] GfS. (2005) Wachsender Nein-Anteil zum Arbeitsgesetz, stabiler Ja-Anteil zur gentechfrei-Initiative. Berne.
- [11] Hirter, H., Linder, W. (2005) Analyse der eidgenössischen Abstimmungen vom 27. November 2005. Bern: Universität Bern, Institut für Politikwissenschaft.
- [12] Bonfadelli, H. (2011) Bestandsaufnahme zur (Wissenschafts-) Kommunikation im Bereich Biotechnologie mit Fokus auf Grüne Gentechnik. Gutachten für das Projekt «Kommunikation neuer Technologien: Biotechnologie» der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.
- [13] Bonfadelli, H., Meier, W. A. (Eds.) (2010) Grüne Gentechnologie im öffentlichen Diskurs. Interessen, Konflikte und Argumente. Konstanz: UVK.
- [14] Bernauer, T., Tribaldos, T., Luginbühl, C., Winzeler, M. (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. *Transgenic Res*, 20, 1227-1234.
- [15] Scholderer, J. (2005) The GM foods debate in Europe: History, regulatory solutions, and consumer response research. *J Publ Aff* 5, 263-274.
- [16] Frewer, L. J., Lassen, J., Kettlitz, B., Scholderer, J., Beekman, V., Berdal, K. G. (2004) Societal aspects of genetically modified foods. *Food Chem Toxicol*, 42, 1181-1193.
- [17] Scholderer, J., Frewer, L. J. (2003) The biotechnology communication paradox: Experimental evidence and the need for a new strategy. *J Consum Policy*, 26, 125-157.
- [18] Marks, L.A., Kalaitzandonakes, N., Vickner, S. (2004) Consumer purchasing behavior toward GM foods in Europe. In R. Evenson & V. Santaniello (Eds.), *Consumer acceptance of biotech foods* (pp. 23-39). Wallingford: CABI.
- [19] Dannenberg, A. (2009) The dispersion and development of consumer preferences for genetically modified food – A meta-analysis. *Ecol Econ* 68, 2182-2192.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

Errements et tourments – la formation universitaire dans les sciences moléculaires du végétal

La formation universitaire est un bien précieux de notre société, car la prospérité d'un pays dépend à maints égards de ses têtes pensantes. Il est donc nécessaire de former la relève au vu de l'état actuel de la science. Il n'y a pas de raison pourquoi cela ne devrait pas également être le cas pour les sciences moléculaires du végétal et la biotechnologie végétale.

Au vu du conflit sociétal en rapport avec l'application de la biotechnologie végétale, on peut, à juste titre, se demander si la Suisse tire un profit raisonnable des investissements consentis dans ce domaine de la formation. A peu d'exceptions près, on est autorisé à répondre aujourd'hui d'emblée «non».

Ce problème est dû, entre autres, à une polarisation de la société perceptible jusque dans la formation scolaire. Lorsque je découvre ce que les étudiants de premier semestre ont entendu sur les bancs d'école à propos des plantes transgéniques, je constate que leur savoir est mince et leur vision plutôt négative.

A quoi cela tient-il? D'un côté, cette situation est certainement due au fait que des connaissances erronées ont été répandues au travers de documents mis à disposition avec empressement par des organisations de défense de l'environnement et qui auraient même été utilisés pour l'enseignement. Soit dit en passant,

la présentation soignée de ces documents contraste avec le manque de professionnalisme de leur contenu. D'un autre côté, force est de constater que des demi-vérités à fondement pseudo-scientifique sur la biotechnologie végétale

Pour une grande partie du public, le rejet du génie génétique végétal représente une des banalités d'une attitude politiquement correcte.

ont aussi été véhiculées par des politiciens de tous bords. Leurs points de vue, exprimés notamment sous la forme de condamnations molles d'actes de vandalisme perpétrés contre des essais en plein champ financés par le secteur public, n'ont pas manqué de marquer profondément les esprits. Tout cela a contribué à ce que, pour une grande partie de l'opinion, le rejet sans nuance du génie génétique végétal relève des idées reçues et du politiquement correct. Des avis jugés légitimes, non seulement au regard de la morale, mais encore prétendument à celui de la science.

Christian Hardtke

Directeur du Département de biologie moléculaire végétale
Université de Lausanne

Même les formateurs cèdent

Cet état de fait pousse même certains de mes collègues, dans les hautes écoles, à éviter si possible le sujet de la biotechnologie végétale, ce qui est douteux pour la formation. Lorsque je m'efforce, en tant que formateur, outre l'enseignement des aspects biotechnologiques, de corriger les informations erronées, l'étonnement de bien des étudiants est grand, et l'incrédulité encore plus importante. Pourquoi? Parce que ces efforts sont réduits à néant par un relativisme sévissant dans les universités, qui réduit un point de vue basé sur des faits expérimentalement prouvés à une opinion au même titre que beaucoup d'autres.

Il ne faut donc pas s'étonner que la plateforme de communication scientifique de mon université, par exemple, érige en héros l'auteur d'artéfacts expérimentaux sur la soi-disant toxicité de plantes transgéniques dans le cadre d'une exposition pour le grand public. Un désarroi supplémentaire est provoqué par les propos tenus par certains collègues qui, en règle générale, ne se consacrent pas au thème de la biotechnologie végétale dans leur recherche. La cacophonie est complétée par des tentatives de chercheurs en lettres de placer le monopole d'interprétation au-dessus des connaissances en sciences naturelles. De manière générale, on constate que les chercheurs actifs dans le domaine de la biologie végétale ne sont que rarement consultés. Il s'ensuit qu'une discussion objective et précise concernant les multiples applications du génie génétique au domaine végétal, justifiée sous l'angle socio-économique, reste tout simplement sur le carreau, bien qu'elle soit nécessaire du point de vue scientifique.

Les étudiants réagissent

Bien évidemment, les étudiants suisses ne restent pas insensibles à ce désaccord public et à cette méfiance dont souffrent les chercheurs en biologie végétale. On ne peut donc pas leur en vouloir s'ils choisissent souvent, après le cycle d'étude de base, d'autres sous-disciplines de la biologie pour leurs diplômes ultérieurs. Il en découle que la biologie végétale ne recrute pratiquement que des étudiants suisses qui ont un intérêt particulier pour les fondements de la génétique et de la biologie du développement. En même temps, l'afflux des étudiants étrangers reste intact. Car, étonnamment, la recherche fondamentale helvétique en biologie végétale et dans certains cas aussi la biotechnologie végétale sont malgré tout encore et toujours à la pointe mondiale. Mais on peut à juste titre se demander si cela sera encore le cas dans une à deux générations d'étudiants.

Perte de compétences

Personnellement, je crains que non seulement la biologie végétale appliquée mais aussi la recherche fondamentale se laissent peu à peu affecter par cette situation. A l'heure actuelle, la recherche fondamentale en biologie végétale jouit encore d'un grand pouvoir d'attraction, mais elle devra aussi à l'avenir pouvoir maintenir sa position dans la compétition internationale pour les plus grands talents suisses et internationaux. Cela devient de plus en plus difficile, car des pays tels que les Etats-Unis, la Chine ou aussi certains Etats européens continuent à

développer de manière offensive les sciences végétales moléculaires, y compris les applications de celles-ci.

Semblable perte de vitesse de la Suisse dans ce secteur est encore accentuée par un manque, à peu d'exceptions près, de liens avec le domaine appliqué. Alors que la collaboration avec l'industrie est explicitement encouragée et exigée dans d'autres disciplines, le contraire est vrai pour la recherche végétale en Suisse.

Manque de postes de travail spécialisés en Suisse

Cette situation se répercute sur les perspectives professionnelles. Les presque quarante doctorants et post-doctorants qui ont été formés dans notre département à Lausanne ces sept dernières années ont trouvé sans problème des postes de travail stables – environ la moitié dans le secteur public, l'autre moitié dans l'industrie. Mais ceux qui désiraient se consacrer directement à la biotechnologie végétale étaient confrontés à un choix très restreint. Concrètement, un bon quart de nos diplômés travaillent aujourd'hui dans l'industrie suisse, mais seulement deux de ces personnes se consacrent à la biotechnologie végétale. Par contraste, pratiquement tous les diplômés du quart œuvrant dans l'industrie étrangère sont employés dans ce secteur.

Il faut interpréter ce fait comme étant la conséquence de l'exode de l'industrie agricole moderne vers l'étranger dans le cadre du rejet de la biotechnologie végétale; une situation pour le moins alarmante.

Débat ancien, nouveaux défis

Il est également inquiétant de voir que, dans notre pays, on discute encore des bénéfices de plantes transgéniques qui ont été créées voilà bientôt trente ans, alors qu'ailleurs la technologie qui est à l'origine de ces plantes a fortement évolué. Par exemple, l'introduction précise de transgènes minimisés ou la production ciblée de mutations désirables à l'aide d'étapes transgéniques intermédiaires rendent maintenant possible une utilisation efficace de la diversité génétique naturelle pour l'amélioration et l'adaptation de plantes de culture ayant fait leurs preuves. Il n'est toutefois pas étonnant que les contributions de la Suisse à ce nouveau développement soient limitées. La recherche perd progressivement du terrain dans ce domaine; à peu d'exceptions près, l'enseignement n'aborde plus les techniques les plus récentes; les spécialistes vont travailler ailleurs. En conséquence, la Suisse tend à tomber dans une dépendance totale à l'égard de la production alimentaire mondiale d'une part et de l'évaluation de produits biotechnologiques d'autre part.

Il me semble important de mentionner que cette situation aura aussi des répercussions sur les chances de succès de produits biotechnologiques non transgéniques. La question est de savoir si nous pouvons nous permettre cela.

Je réponds catégoriquement «non», car la croissance démographique globale place la sécurité du ravitaillement au centre des priorités sociales. L'agriculture doit devenir plus intensive mais aussi plus durable, ce qui ne sera probablement possible qu'en

faisant usage de toutes les méthodes disponibles – y compris les méthodes de génie génétique. Afin de surmonter ce défi, il faut une relève talentueuse qui, à mon avis, ne se laissera passionner pour ce domaine que si nous refusons de nous laisser influencer par la tendance sociale prêchant une prétendue durabilité idéologiquement motivée. Nous devons intégrer les étudiant(e)s dans une discussion sans tabous concernant les meilleures solutions, en incluant explicitement les possibilités biotechnologiques. En même temps, il est nécessaire d'attacher une plus grande importance à la toile de fond historico-culturelle dans le cadre d'un enseignement interdisciplinaire. Cela signifie que nous devons, par exemple, communiquer que les plantes de culture ne sont pas réellement «naturelles» puisqu'elles ont été génétiquement sélectionnées depuis des milliers d'années; ou que l'approvisionnement alimentaire actuel de la Suisse ne serait pas possible sans une importation massive d'aliments, de l'ordre de sa propre surface de culture.

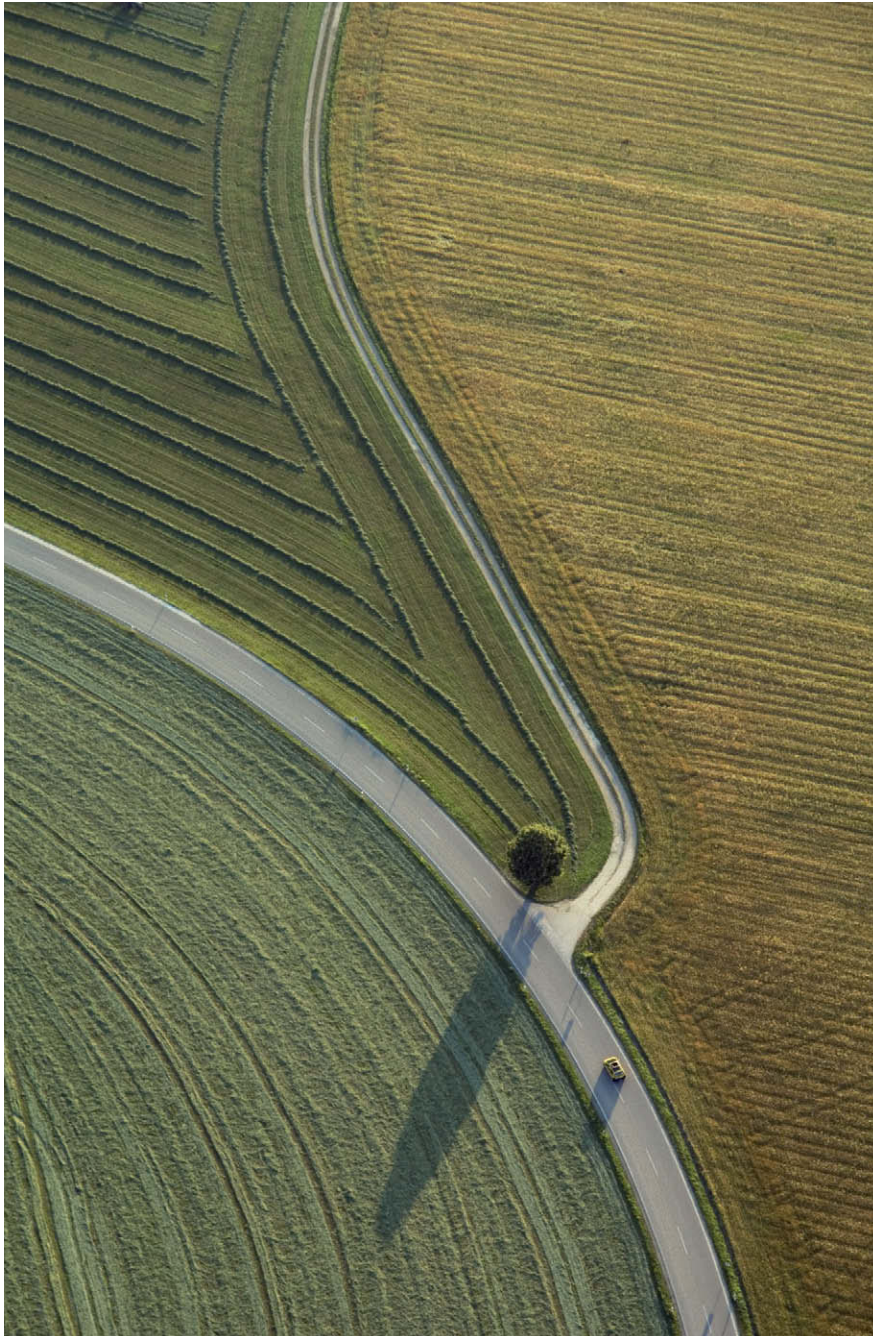
Au bout du compte, il est nécessaire de renforcer toute la gamme de la recherche fondamentale et appliquée dans le domaine des sciences végétales, afin de maintenir et de développer la compétence professionnelle dans le pays. Ce n'est qu'ainsi que la recherche redeviendra attractive pour les étudiants et que suffisamment de personnel de haute volée sera disponible pour les secteurs public et privé.

«Qu'il s'agisse d'ingénieurs visionnaires, d'inventeurs astucieux ... ou de scientifiques entreprenants: ce pays en a trop perdu pour des raisons futiles.»

Markus Spillmann

éditorial, Neue Zürcher Zeitung, 13.01.2012

4. Avenir



4.1 Expériences tirées d'essais en champ dans le cadre du PNR 59

Les essais en plein champ effectués dans le cadre du PNR 59 par un consortium de onze groupes de recherche sont les essais de dissémination de plantes génétiquement modifiées (PGM) les plus importants réalisés jusqu'à présent en Suisse. Trois ans durant (de 2008 à 2010), les chercheurs ont analysé du blé transgénique dans deux sites différents. Les exigences imposées aux participants étaient particulièrement élevées s'agissant de la communication, de la logistique et de l'exécution technique, ainsi qu'en ce qui concernait les procédures légales et les questions de protection et de sécurité des essais. Suite aux expériences conduites dans le cadre de ces projets de recherche, une amélioration des conditions-cadres pour de futurs essais en champ avec des plantes génétiquement modifiées s'impose.

BEAT KELLER

CONDITIONS-CADRES DU PROJET DE RECHERCHE

La loi régissant actuellement le génie génétique (LGG) est entrée en vigueur en 2004. L'ordonnance révisée sur la dissémination dans l'environnement (ODE) a été promulguée sur la base de cette loi. Les essais en champ avec du blé génétiquement modifié réalisés dans le contexte du PNR 59 étaient les premières et jusqu'ici les seules expériences soumises dès leur début à la LGG. Elles représentent donc un cas exemplaire important.

Les chercheurs ont examiné du blé transgénique qui, en serre, présentait une résistance accrue à l'oïdium quant à son utilité et ses risques spécifiques pour l'environnement.^[1] Ils ont effectué leurs études dans le cadre de huit projets coordonnés dans deux sites différents. Les essais à Zurich-Reckenholz ont duré trois ans. A Pully, ils n'ont duré que deux ans en raison de retards dus à des recours.

Même si, depuis l'entrée en vigueur de la LGG, ces expériences sont jusqu'à présent restées les uniques essais en champ avec des plantes génétiquement modifiées sur le territoire helvétique, plusieurs groupes de recherche suisses ont mené à bien à l'étranger d'autres essais pendant la même période.

Les problèmes rendant difficiles des essais en champ avec des PGM en Suisse sont de deux natures différentes:

1. La **procédure d'autorisation** représente une charge considérable en argent et en temps. Cela parce que les autorités concernées ont défini un très vaste cercle

de parties potentiellement concernées, auxquelles est accordée la possibilité de prendre position dans le cadre de la procédure. Ainsi, même une opposition et des plaintes guère justifiées sont susceptibles de ralentir considérablement la procédure d'autorisation. Semblable situation complique la planification dont l'importance est primordiale pour les projets de recherche et peut avoir des conséquences graves, car les projets sont en général limités dans le temps (p.ex. à trois ans dans le cadre du Fonds national suisse).

2. Le **coût** des essais de dissémination proprement dits est également exorbitant. Aux dépenses consenties pour la demande d'autorisation et les conseils juridiques indispensables en matière de procédures d'autorisation, d'opposition et de recours s'ajoutent les frais de mise en œuvre des consignes de sécurité dictées par les autorités et pour la protection des essais contre les actes de vandalisme.

Depuis l'entrée en vigueur de la loi sur le génie génétique en 2004, des groupes de recherche suisses ont effectué plusieurs essais avec des PGM à l'étranger.

PLANIFICATION ET GESTION DES ESSAIS EN PLEIN CHAMP

Lors de la mise au concours du programme, le Comité de direction du PNR 59 a fait observer que le cadre temporel du programme ne permet pas le développement

de nouvelles PGM et que, de plus, des essais impliquant des PGM mises au point plus tôt favorisent la collaboration de différents groupes de recherche. En quête de PGM pour d'éventuels projets au sein du PNR 59, plusieurs groupes ont constaté que les entreprises qui vendent des variétés génétiquement modifiées à l'étranger ne sont pas intéressées à mettre leur matériel à disposition de projets de recherche en Suisse, où un moratoire sur le génie génétique est en vigueur. Par conséquent, ne sont entrées en ligne de compte que des PGM qui avaient été mises au point dans le cadre de la recherche fondamentale publique. Ainsi, du blé transgénique développé à l'EPF Zurich et à l'Université de Zurich et présentant, en serre, une résistance améliorée à l'oïdium a été choisi pour les essais en champ.

Onze groupes de recherche ont uni leurs forces au sein d'un projet commun sous le nom de «Consortium blé», lequel visait à examiner le plus en détail possible tant les propriétés agronomiques que les répercussions potentielles du blé transgénique sur l'environnement. La formation d'un consortium constituait non seulement un pas judicieux d'un point de vue technique lié à la recherche elle-même, mais s'avérait indispensable au vu de facteurs externes. Car les investissements pour la procédure

légale d'autorisation, la protection des essais et la communication auraient excédé de loin les capacités de chaque groupe de recherche pris séparément.

Au sein du consortium, avec un Comité de direction composé de cinq personnes et recevant un soutien pour la coordination technique et scientifique (230 pour cent de poste au total), les investissements pour les projets ont pu être répartis de manière raisonnable. Le comité était chargé non seulement de diriger le consortium, mais aussi de coordonner les travaux scientifiques, d'assurer la communication dans les deux sites d'essai et de représenter le consortium vis-à-vis des tiers.

Au cours de la procédure de choix du site pour les essais, il s'est avéré qu'il serait le plus simple d'effectuer les expériences dans les instituts de recherche d'Agroscope, sites de la recherche publique suisse en matière d'agriculture. Comme les champs d'essai devaient également se trouver à proximité des universités et de l'EPF Zurich, le choix s'est porté sur les emplacements d'Agroscope à Zurich-Reckenholz et à Pully. Tôt dans le processus de planification, le consortium, sous la direction d'Agroscope, a informé les habitants du voisinage concernant le projet.

Les investissements consentis pour la procédure légale d'autorisation, la protection des essais et la communication auraient excédé de loin les capacités de chaque groupe de recherche.

PROCÉDURE D'AUTORISATION

Afin de satisfaire à la complexité structurale et biologique de l'essai, le Consortium blé a soumis trois requêtes séparées, sur recommandation de l'Office fédéral de l'environnement (OFEV), l'autorité compétente dans ce contexte.

La durée de trois ans de l'expérience, l'existence de deux sites et les différentes plantes utilisées ont rendu complexes la préparation de la requête. Ainsi, il a fallu une année-personne pour rédiger le dossier de requête. A cela s'ajoutaient les travaux de laboratoire nécessaires à la caractérisation des plantes avant soumission de la demande.

Après soumission de cette dernière, le 16 avril 2007, l'OFEV, en tant qu'autorité directrice, d'autres offices fédéraux concernés (OVF¹, OFSP², OFAG³), les autorités cantonales (des cantons de Zurich et Vaud), ainsi que les deux commissions d'experts impliquées (CENH⁴, CFSB⁵) ont sollicité des informations supplémentaires, parfois détaillées. De plus, les chercheurs ont été contraints de prendre position concernant de nombreuses oppositions. Finalement, le 3 septembre 2007, l'OFEV a délivré une autorisation conditionnelle des essais pour trois ans.

Par la suite, l'OFEV a remis à jour, chaque année, la situation légale en prenant les décisions nécessaires. Il en est résulté un enchevêtrement de règlements concernant la préparation, l'exécution et le suivi des expériences.

A Zurich-Reckenholz, il n'y a eu que deux recours contre les essais. Le site de Pully, en revanche, a dû faire face à 27 recours. Sur la base de critères géographiques (les opposants doivent habiter à une distance maximum de 1000 mètres autour de l'essai) et d'autres critères restrictifs (pas de droit de

recours fondé sur un but idéal accordé aux organisations), l'OFEV a reconnu la qualité de partie dans six cas à Pully, bien que la distance de 1000 mètres ne soit pas scientifiquement fondée. Dans sa décision, l'OFEV a qualifié le gé-

nie génétique de «nouvelle technologie recelant des dangers difficilement prévisibles» et a interprété de manière très large le «critère lié au fait d'être concerné» en tant que condition de la qualité pour agir. Une telle interprétation s'appuyait sur un arrêt du Tribunal fédéral rendu en 2003. Toutefois, le Consortium blé estime qu'après dix ans de plus d'expérience dans le domaine du génie génétique végétal, il y aurait lieu de revoir aussi bien l'évaluation des «dangers difficilement prévisibles» que celle du «critère lié au fait d'être concerné». Après le rejet de leur recours par l'OFEV qui a autorisé

Après soumission de la demande, les offices et commissions impliqués ont sollicité des informations supplémentaires détaillées. De plus, les chercheurs ont été contraints de prendre position concernant de nombreuses oppositions.

L'interprétation de l'OFEV qualifiant le génie génétique de «nouvelle technologie recelant des dangers difficilement prévisibles» est à revoir.

les essais en champ, les opposants de Pully, auxquels la qualité de parties a été reconnue, ont saisi le Tribunal administratif fédéral. En novembre 2008, ce dernier a rejeté le recours sur tous les points, ce qui a permis de lancer les essais sur le terrain à Pully, mais avec un an de retard. La haute cour ne s'est toutefois pas prononcée sur le point de savoir si une distance de 1000 mètres constitue un critère adéquat pour reconnaître la qualité de partie. Si ce rayon est maintenu, il est prévisible que les essais de dissémination donneront systématiquement lieu à des recours, car tous les sites expérimentaux rattachés aux institutions de recherche agronomique sont situés dans des agglomérations, ce qui implique l'existence de nombreux voisins dans un rayon de 1000 mètres.

En résumé, il convient de retenir que l'extrême complexité de la procédure a obligé les requérants à faire appel à des conseils juridiques spécialisés. Les procédures, à commencer par celle de recours, engendrent des frais importants pour de multiples raisons, dont la rareté des décisions juridiques, la formulation imprécise de la loi sur le génie génétique et la reconnaissance large de la qualité de partie aux habitants du voisinage.

COMMUNICATION

Outre la communication avec les riverains et les communes concernées pendant la procédure d'autorisation, requise par la LGG, la communication au cours des essais représentait également une tâche très exigeante. A cet effet, le Consortium blé a créé deux postes à temps partiel.

Entre la publication de la requête d'autorisation et la fin de la première saison de culture, l'intérêt des médias a été très grand et s'est traduit

par environ 200 reportages sur les essais en plein champ et 26 interviews. L'année suivante, un nombre semblable d'articles et d'interviews ont paru en Suisse romande, la première année des essais à Pully. Après publication des résultats vers la fin du projet, une présence accrue dans les médias – environ 40 interviews – a également été observée.

Afin de faciliter la compréhension des essais et de leur contexte, le Consortium blé a offert sur son site Internet, pendant les trois ans qu'ont duré les expérimentations, outre les contacts directs avec les médias, diverses activités et du matériel spécifique à différents groupes cible.

- Site Internet www.consortium-ble.ch

Il est à prévoir que les essais de dissémination donneront toujours lieu à de nombreux recours si le critère du rayon de 1000 mètres est maintenu pour la reconnaissance de la qualité de partie.

A raison de 80 participants répartis sur trois ans, l'intérêt du grand public pour les visites guidées était moins important qu'attendu.

- 20 communiqués de presse publiés lors d'événements clé tels qu'autorisation des essais, semailles, récolte et publication de résultats (en collaboration avec la direction du PNR 59)
- Environ 80 visites guidées sur le terrain pour écoliers et autres groupes intéressés (1325 personnes au total), ainsi que des visites guidées publiques
- Exposition publique à Agroscope et parcelles de démonstration en bordure des champs d'essai
- Préparation de matériel scolaire
- Organisation et réalisation de deux journées publiques d'information, ayant compté chacune environ 200 participants

A raison de 80 participants répartis sur trois ans, l'intérêt du grand public pour les visites guidées était moins important qu'attendu par le consortium. En revanche, l'intérêt de représentants de la recherche, d'écoles, de personnes issues de la politique, d'autorités et de l'industrie était, chaque année, très grand. Pour ces groupes, le consortium a organisé des visites qui étaient la plupart du temps conçues sur mesure. Outre ces activités de communication, le consortium était par moment très occupé à réagir à des requêtes et postulats au sein du conseil communal de la Ville de Zurich, des parlements des cantons de Zurich et Vaud, ainsi qu'au niveau fédéral.

Ces interventions qualifiaient plus ou moins explicitement les essais d'inutiles et dangereux, et exigeaient qu'ils soient interrompus ou que leur autorisation soit rejetée. Les réponses aux différents points de la critique, aux questions et aux appréhensions, la clarification des contextes et la rédaction de prises de position à ce sujet ont par conséquent fait perdre un temps énorme aux chercheurs.

SÉCURITÉ BIOLOGIQUE ET PROTECTION DE L'ESSAI

Dans le cadre de l'essai, une série de mesures de biosécurité ont été prises afin d'empêcher toute apparition de blé génétiquement modifié en dehors du terrain d'essai prédéterminé. Soit les requérants du Consortium blé avaient déjà proposé ces mesures lors de leur demande de dissémination, soit l'OFEV les leur avait dictées

dans le cadre de l'autorisation. La mise en œuvre desdites mesures était régulièrement contrôlée par un groupe d'accompagnement, dont la composition avait été définie par l'OFEV, et n'a pas

donné lieu à des plaintes. Jusqu'à présent, le monitoring par le consortium n'a pas décelé la présence de plantes génétiquement modifiées en dehors du champ d'essai. On peut donc conclure que les dispositifs visant à empêcher la propagation de PGM ont été efficaces. Ils étaient toutefois éminemment

Jusqu'à présent, le monitoring par le consortium n'a pas décelé de plantes génétiquement modifiées en dehors du champ d'essai.

Bien des mesures imposées ont nécessité un travail considérable, sans toutefois contribuer à la biosécurité ou à produire des résultats qui n'étaient pas déjà connus.

complexes. Dans leur rapport final, les membres du Consortium blé ont donc demandé aux autorités compétentes si

les mesures adoptées avaient, dans tous les cas, été appropriées au but poursuivi. Après trois ans d'essais, ils étaient d'avis que les mesures suivantes suffisent à garantir la sécurité biologique d'un tel essai avec du blé:

- Instruction de toutes les personnes participant aux essais (plus de 220 individus au total)
- Développement d'un plan d'urgence en vue d'événements exceptionnels (tels que de fortes précipitations après les semailles)
- Semis de couverture (large de 2 à 3 mètres) et distance de 5 mètres jusqu'au champ de blé suivant
- Protection du champ d'essai contre les ravages causés par les oiseaux
- Mise en place d'une clôture autour du terrain expérimental afin d'empêcher l'intrusion de personnes non autorisées ou d'animaux
- Nettoyage minutieux des machines utilisées pour les semailles
- Mesures de sécurité prises lors du transport de matériel végétal susceptible de se multiplier
- Etiquetage de tous les échantillons, si nécessaire avec l'inscription «génétiquement modifié»

Les actions suivantes ont demandé plus d'un mois de travail, sans toutefois contribuer à la biosécurité ou à produire des résultats qui n'étaient pas déjà connus de la littérature scientifique:

- Analyse de croisements avec des plantes réceptrices dont les semences sont utilisées à des fins alimentaires, cela au moyen d'échantillons aléatoires prélevés dans le semis de couverture et un rayon de 200 mètres
- Enregistrement et signalisation à l'OFEV de toutes les cultures de céréales dans un rayon de 500 mètres, et inventaire du déroulement de la floraison
- Récolte effectuée à la main
- Récolte et destruction du semis de couverture dans une usine d'incinération des déchets

De plus, une série de mesures ont nécessité un investissement de une à quatre semaines de travail, tout en ne contribuant que très peu ou pas du tout à la biosécurité. Une analyse détaillée de celles-ci et de leurs effets a été réalisée à l'attention du groupe consultatif de l'OFEV.

VANDALISME

Au total, les essais en plein champ ont été la cible de trois actions de destruction. Cependant, jusqu'à présent (23 janvier 2012), aucune plainte n'a été déposée et aucun jugement n'a été rendu par le ministère public ou des tribunaux. L'acte de vandalisme du 13 juin 2008 à Zurich-Reckenholz, perpétré

Illustration 4.1: Des frais énormes engendrés par les mesures de sécurité



Les essais de dissémination avec du blé transgénique ont suscité des protestations telles qu'une manifestation pacifique menée par «Greenpeace» devant le terrain d'essai. Des actes de vandalisme ayant toutefois été perpétrés sur les deux sites, les mesures de sécurité ont dû être massivement renforcées, générant ainsi des frais considérables. Source: cf. liste des illustrations

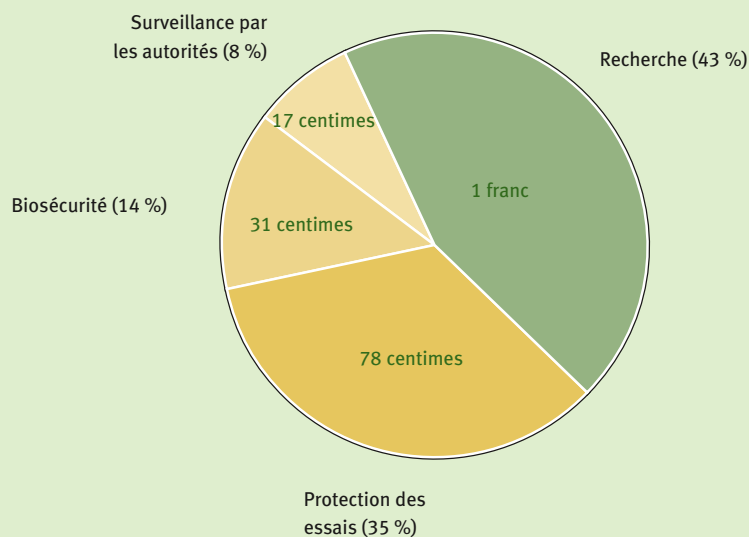
par des individus masqués, a occasionné des dégâts s'élevant à plusieurs centaines de milliers de francs et a détruit les résultats d'une année entière de recherche de plusieurs projets. Les deux actions à Pully n'ont occasionné que peu de dommages dans des parcelles expérimentales et n'ont pas provoqué de dégâts matériels, à part la contamination d'une petite surface avec environ dix litres de produits chimiques. Pour cette raison, en 2009 et 2010, la protection des essais a été renforcée grâce à un gardiennage 24 heures sur 24, d'une

observation intensifiée au moyen de caméras et de détecteurs de mouvement, d'une clôture double et d'un système de mise en alerte rapide. Toutes ces mesures ont induit des dépenses considérablement plus élevées pour la sécurité, lesquelles ont dû être couvertes par un crédit spécial du PNR 59.

FRAIS DE SÉCURITÉ ET DE PROCÉDURES LÉGALES

Outre les dépenses pour les projets de recherche eux-mêmes, les essais en champ avec des plantes génétiquement modifiées

Illustration 4.2: Parts respectives des frais pour les essais en champ



Parts respectives de la recherche, de la protection des essais, de la biosécurité et de la surveillance par les autorités par rapport aux frais totaux des essais en champ du Consortium blé. Pour chaque franc investi dans les projets de recherche en soi, 78 centimes supplémentaires ont été déboursés pour la protection contre le vandalisme, 31 centimes pour la sécurité biologique et 17 centimes pour la surveillance par les autorités. Les frais de biosécurité sont dus essentiellement aux conditions posées par l'OFEV, lesquelles n'ont pas été proposées par les requérants.

Source: cf. liste des illustrations

ont occasionné, dans trois domaines, des frais supplémentaires qui n'apparaissent pas dans des projets normaux de recherche biologique et agronomique:

- Frais pour la préparation de la requête: 300'000 francs
- Frais légaux liés à la procédure d'autorisation: 150'000 francs
- Frais pour la sécurité biologique et la protection des essais contre des actions de destruction: 2'127'000 francs

D'autres dépenses sont occasionnées par le monitoring des surfaces d'essai, exigé dans l'autorisation de dissémination.

Ce monitoring dure au minimum jusqu'en 2012, donc bien au-delà des essais en soi et du PNR 59 en général. Ces frais ne sont pas couverts par les crédits des projets.

Une analyse détaillée des coûts des essais de dissémination a été publiée.^[2] Elle fait apparaître que pour chaque franc dépensé pour les projets de recherche en soi, 1,26 franc supplémentaire a été déboursé pour la protection des expériences sur le terrain, la sécurité biologique et la procédure d'autorisation, y compris le travail des autorités compétentes en la matière (cf. illustration 4.2).

NÉCESSITÉ DE SITES D'ESSAI PROTÉGÉS

Les trois actions de destruction des essais en champ du PNR 59 avec du blé prouvent qu'il convient d'accorder une haute priorité à la protection des essais contre de telles actions. Les mesures de protection appliquées avec succès en 2009 et 2010 définissent le standard nécessaire pour que de futurs essais en champ avec des PGM puissent être effectués sans perturbation. Ainsi, il sera également possible de calculer, de manière relativement exacte, les coûts pour de futurs projets, ce qui n'avait pas encore été le cas préalablement au PNR 59. Ces frais sont significativement plus élevés que le budget moyen de recherche pour des projets dans les domaines de la biologie et de l'agronomie.

Les travaux du consortium ont donc donné naissance à la proposition que la Confédération mette à disposition de la recherche végétale suisse, en tant qu'infrastructure de base, des sites dits «Protected Sites», soit des sites protégés pour les essais en champ avec des PGM. Cette initiative vise à sauvegarder, en Suisse, ce domaine de la recherche et

le gain en connaissances qui lui est lié. Semblable infrastructure de recherche comprendrait la protection des essais au moyen de mesures techniques (clôture, gardiennage, surveillance, alarme), la mise en œuvre des mesures assurant la sécurité

biologique de l'environnement et aussi la mise à disposition d'un encadrement agronomique. Selon les calculs faits par le Consortium blé, il faut s'attendre, pour un «Protected Site», à des dépenses annuelles d'environ 500'000 francs

pour un essai sur six mois impliquant des cultures arables telles que les céréales d'été, la betterave à sucre, le maïs ou la pomme de terre (700'000 francs pour des essais durant toute l'année). A cela s'ajoutent des frais uniques de mise en place du «Protected Site» s'élevant à environ 400'000 francs. L'existence d'un «Protected Site» permettrait de soulager considérablement le budget de projets impliquant des essais en champ et assurerait un avantage concurrentiel, tout au moins au niveau européen.

Pour chaque franc dépensé pour les projets de recherche en tant que tels, 1,26 franc supplémentaire a été déboursé pour la protection des essais, la sécurité biologique et la procédure d'autorisation.

Des sites protégés pour les essais en champ de PGM sont de nature à sauvegarder la recherche nationale dans le domaine des plantes et permettent un gain en termes de connaissances ainsi que de compétences pour le futur monitoring.

Conclusions et recommandations

Vu les conditions actuelles prescrites par la loi sur le génie génétique et l'ordonnance sur la dissémination dans l'environnement, ainsi que la manière habituelle de financer les projets de recherche en Suisse, on peut partir du principe que, dans le cadre de la recherche publique, des essais en champ avec des plantes génétiquement modifiées ne seront plus effectués après la clôture du PNR 59. Afin de garantir la survie de ce domaine de la recherche, des changements sont nécessaires dans la réglementation et la pratique:

1. **Simplification des procédures d'autorisation:** la procédure légale d'autorisation doit être simplifiée et inclure la possibilité d'une autorisation générale.^[3]
2. **Limitation des possibilités de faire opposition:** il importe de trouver des moyens d'empêcher que des plaintes visiblement infondées puissent retarder de plusieurs années des projets de recherche scientifique.
3. **Conditions spécifiques pour chaque culture:** les conditions pour la sécurité biologique sont différentes d'une culture à l'autre. Au cours de la procédure d'autorisation en vue d'essais de dissémination, elles doivent donc être définies en collaboration avec les institutions responsables desdits essais, cela afin de permettre une réglementation aussi adéquate et spécifique à la culture que possible.
4. **Faibles investissements pour la communication:** la communication requise pendant la procédure d'autorisation n'a suscité que peu d'intérêt. Dans la pratique, elle peut être réduite.
5. **Création de sites de recherche protégés:** en Suisse, la mesure la plus urgente pour la réalisation de futurs essais en champ avec des plantes génétiquement modifiées est la création de sites de recherche dits «Protected Sites», qui soient à l'abri d'actes de vandalisme. Les groupes de recherche individuels ne peuvent envisager des projets impliquant des essais en champ que si le secteur public met à disposition et finance des sites protégés, en tant qu'infrastructure de base. Cette requête a récemment été prise en compte par le Conseil fédéral dans son message relatif à l'encouragement de la formation, de la recherche et de l'innovation pour les années 2013 à 2016.

NOTES

- 1 Office vétérinaire fédéral (OVF)
- 2 Office fédéral de la santé publique (OFSP)
- 3 Office fédéral de l'agriculture (OFAG)
- 4 Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH)
- 5 Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB)

LITTÉRATURE

- [1] Foetzki, A., Winzeler, M., Boller, T., Felber, F., Gruissem, W., Keel, Ch., Keller, B., Mascher, F., Maurhofer, M., Nentwig, W., Romeis, J., Sautter, Ch., Schmid, B., Bigler, F. (2011) Freilandversuche mit gentechnisch verändertem Weizen mit Mehлтаuresistenz. *Agrarforschung Schweiz* 2, 446-453.
- [2] Bernauer, T., Tribaldos, T., Luginbühl, C., Winzeler, M. (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. *Transgenic Res.* 20, 1227-1234.
- [3] Hettich, P., Walther, S. (2011) Schutz (vor) der Gentechnologie - Plädoyer für einen Perspektivenwechsel. In Lorandi, F., Staehelin, D. (Hrsg.) *Innovatives Recht. Festschrift für Ivo Schwander* Zürich: Dike, 65-86.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

4.2 Perspectives de la législation suisse en matière de génie génétique

L'un des principaux objectifs assignés à la loi sur le génie génétique est de garantir la préservation des formes traditionnelles de production agricoles et forestières en cas de culture parallèle de plantes génétiquement modifiées (PGM). La Suisse ne s'est pas encore dotée d'une réglementation sur la coexistence qui soit à la fois fiable et applicable à long terme. A cet égard, le PNR 59 propose des mesures concrètes touchant la coexistence des formes de production ainsi que la liberté de choix des consommateurs. Il exige aussi que des correctifs précis soient apportés aux dispositions régissant la communication entre les autorités et les particuliers directement concernés ou autres cercles d'intéressés. Or, il ne sera guère possible d'introduire ces modifications législatives indispensables d'ici au mois de novembre 2013 lorsqu'interviendra la fin du moratoire en cours sur les autorisations. Certes, si l'idée d'une brève prolongation de ce dernier ne paraît pas inconcevable, en revanche, une interdiction durable de tout octroi d'autorisation impliquerait une modification de la Constitution fédérale.

RAINER J. SCHWEIZER, CHRISTOPH ERRASS,
STEFAN KOHLER, HERBERT BURKERT ET URS GASSER

ETAT DE SITUATION EN 2012

Dans son message du 1^{er} juillet 2009¹, le Conseil fédéral a proposé aux Chambres fédérales de prolonger pour trois années supplémentaires le moratoire de cinq ans sur l'utilisation du génie génétique dans l'agriculture² approuvé par le peuple et les cantons le 28 novembre 2005. Le 19 mars 2010, soit un an plus tard, l'Assemblée fédérale a adopté une modification de la loi sur le génie génétique (LGG) de 2003³ prévoyant une prolongation du moratoire jusqu'au 27 novembre 2013.⁴ Les autorités délivrant les autorisations ont justifié la nécessité de cette modification législative notamment par un besoin impérieux de sécurité du droit. Elles ont fait savoir qu'elles attendaient du PNR 59 qu'il permette un développement de connaissances nouvelles sur l'utilisation de plantes génétiquement modifiées (PGM) et fournisse des données pour l'établissement d'une réglementation sur la coexistence. Celle-ci devrait garantir durablement et de manière fiable tant une production agricole non génétiquement modifiée que le recours à une production génétiquement modifiée dans l'agriculture, l'horticulture et la sylviculture.

Aujourd'hui, le cadre normatif au niveau du droit international et du droit européen dans lequel une réglementation suisse sur la coexistence serait appelée à s'inscrire est désormais clarifié. Il en va de même de la question de la portée des règles existantes régissant des aspects ponctuels (cf. chapitre 2.3). Toujours est-il que notre pays ne dispose pas

OBJECTIFS ASSIGNÉS À UNE RÉGLEMENTATION SUR LA COEXISTENCE

La réglementation sur la coexistence doit garantir la possibilité de cultiver des produits agricoles de manière conventionnelle en toute sécurité parallèlement à la production de PGM, ainsi que la faculté pour les consommateurs de choisir librement entre des produits obtenus par des techniques différentes.^[1] Ces objectifs assignés à la réglementation sur la coexistence traduisent des préoccupations de politique agricole et forestière ainsi que de politique de la consommation. D'autres objectifs également à viser sont le maintien de la biodiversité,⁵ la préservation de ressources génétiques conservées grâce à la tradition ou particulièrement dignes d'être protégées (en vertu de divers accords internationaux) ainsi que, de manière générale, la garantie d'un développement durable de la production végétale en Suisse.

encore d'une réglementation solidement ancrée et applicable durablement fixant les conditions de la coexistence de différentes formes de production. A cet égard, les propositions du projet *Conditions-cadres légales pour l'utilisation du génie génétique vert* sont censées apporter une contribution importante. Par ailleurs, le deuxième projet de recherche à caractère juridique *Concepts relatifs à l'accomplissement de l'information publique conformément à la loi sur le génie génétique* formule également des propositions pour chacune des autres modifications de la LGG, lesquelles sont supposées améliorer systématiquement le travail d'information des autorités en cas d'utilisation d'organismes génétiquement modifiés (OGM). Enfin, il existe d'autres lacunes ou insuffisances de la LGG auxquelles il y a lieu de remédier et sur lesquelles l'attention doit encore être attirée.

MESURES POSSIBLES DE RÉGLEMENTATION DE LA COEXISTENCE

Insuffisance de la réglementation en vigueur

La réglementation actuelle de la coexistence, telle qu'elle est fixée par la LGG et l'ordonnance sur la dissémination dans l'environnement (ODE), est insuffisante (cf. chapitre 2.3). Il y manque, par exemple, des bases légales autorisant la soumission de ceux qui mettent en circulation des OGM à des obligations en matière de garantie de la qualité et de contrôle, ou encore consacrant des obligations de coopération entre producteurs voisins s'agissant de l'information. Les principes fondamentaux énoncés à l'art. 9 ODE ne s'appliquent toutefois, selon l'al. 6 dudit article, qu'à titre subsidiaire dans la mesure où les normes divergentes de la loi sur l'agriculture ou de celle sur les denrées alimentaires priment.

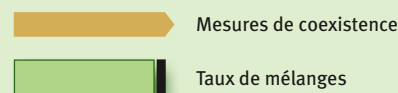
Du fait du moratoire⁶, des cas de coexistence réglementée n'ont aucune chance d'exister. Aussi, il n'a jamais été possible d'établir jusqu'ici dans quelle mesure la réglementation rudimentaire prévue est concrètement praticable et applicable.

Par ailleurs, la législation en vigueur sur la coexistence contient des dispositions dépourvues de base légale suffisante, telles celles relatives à l'obligation des producteurs de garantir la qualité de leurs produits génétiquement modifiés et celles ayant trait à l'obligation de s'organiser afin d'assurer une commercialisation séparée des produits génétiquement modifiés et ceux qui ne le sont pas.

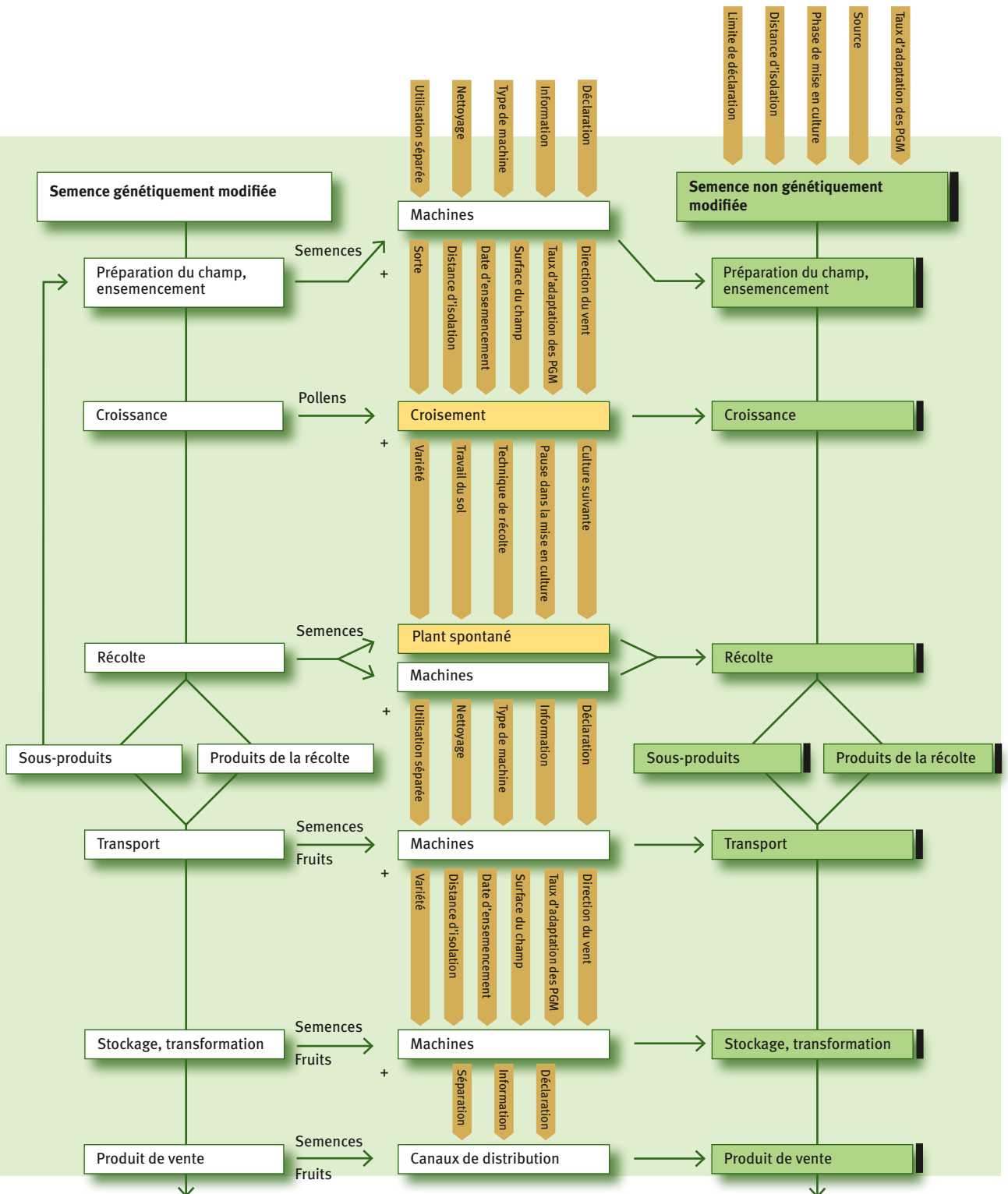
Illustration 4.3: Modes d'entrée des OGM

Lorsque des produits agricoles sont obtenus et commercialisés sans OGM, les portes d'entrée pour des OGM n'en demeurent pas moins multiples pour autant. Une réglementation sur la coexistence devrait prévenir au maximum les mélanges à différents niveaux. C'est la raison pour laquelle les producteurs de PGM sont soumis à des obligations spécifiques.

Légende



Source: cf. liste des illustrations



Délimitation de zones exemptes d'OGM

Afin de protéger la production ne recourant pas au génie génétique, la législation suisse consacre à l'art. 7 LGG un principe de diligence en matière de traitement à réserver aux OGM. Cette disposition, qui revêt le caractère d'une clause générale, n'autorise toutefois pas la délimitation de zones sans OGM pour garantir la coexistence entre plantes utiles génétiquement modifiées et celles qui ne le sont pas. La délimitation de telles zones exigerait l'adoption de normes fédérales au niveau législatif, les détails étant susceptibles d'être concrétisés par voie d'ordonnance. Ce n'est en effet qu'à cette condition seulement qu'une coexistence durable est concevable à l'échelon du pays. Pour ce faire, la Confédération dispose d'une base constitutionnelle suffisante tant que l'objectif est d'assurer la sécurité des êtres humains, des animaux, de l'environnement et de sauvegarder la diversité génétique.¹ En outre, il est possible de s'appuyer sur l'art. 104 Cst. pour promouvoir des méthodes de production spécifiques (notamment afin de protéger la culture biologique et intégrée).

Pour établir le contenu d'une telle réglementation, les devoirs des cantons en matière d'aménagement du territoire prescrits et réglementés par la Confédération, offrent une solution toute trouvée, bien qu'un pilotage, avec ou sans plan sectoriel pour les zones exemptes d'OGM, soit à prendre en considération. La réglementation relative à la délimitation de zones sans OGM et les interdictions d'utiliser des semences génétiquement modifiées imposées aux propriétaires qu'implique ladite délimitation doivent constituer des mesures appropriées pour la sauvegarde de l'intérêt public (la coexistence) mais aussi inéluctable (le moyen le moins contraignant au sens de la proportionnalité de la mesure). De plus, elles ne doivent pas restreindre de manière exorbitante les droits fondamentaux² des propriétaires fonciers et des exploitants agricoles. En particulier, des interdictions d'utilisation qui ne feraient aucun distinguo selon les espèces cultivées et les sites concernés pourraient, dans certains cas, être jugées disproportionnées. Aussi, la réglementation fédérale devrait prévoir une base légale pour l'octroi de dérogations.

A noter que la délimitation de zones exemptes d'OGM ne devrait pas entrer en conflit avec les règles de l'OMC – dont la pertinence peut d'emblée être niée en raison du fait que la mesure se rapporte par nature à la production – ni avec le droit de l'Union européenne. Certes, la législation secondaire de la Communauté ne prévoit pas la délimitation de telles zones, mais la question n'est pas encore réglée de manière définitive, et les Etats membres jouissent d'une large marge de manœuvre. Fondamentalement, de telles mesures de délimitation devraient être conciliables avec la libre circulation des marchandises³ compte tenu de la possibilité qu'il y a de les justifier notamment par des arguments fondés sur la protection de la santé et de la vie d'êtres humains, d'animaux ou de végétaux, pour autant que ceux-ci soient jugés pertinents.

ASTRID EPINEY

NOTES ¹ Art. 120 ainsi que 74, 76-78 Cst.

² Art. 26 et 27 Cst.

³ Art. 34 TFUE

Enfin, il n'existe aujourd'hui aucune base légale pour la délimitation de zones exemptes d'OGM en tant que mesure de coexistence.^[2]

OBLIGATIONS DES PRODUCTEURS DE PGM

Les législations suisse et étrangère sur la coexistence consacrent diverses obligations pour les producteurs de plantes génétiquement modifiées. Celles-ci sont généralement définies spécifiquement pour chaque PGM. En Suisse, il est du ressort du législateur de fixer les obligations auxquelles doivent être soumis les producteurs de plantes génétiquement modifiées, qu'il s'agisse de l'agriculture, de l'horticulture ou de la sylviculture.^[3]

La garantie de la coexistence commence avec la production des semences et des plants. Pour cela, il faut que les parcelles affectées à l'exploitation d'organismes génétiquement modifiés⁷ respectent des distances de sécurité suffisantes. Ces distances de sécurité doivent être plus importantes que celles prévues pour la production d'organismes non génétiquement modifiés dans la mesure où les semences et les plants se trouvent au tout début de la chaîne de production et qu'une contamination ou un mélange intervenant à ce stade aurait des répercussions sur l'ensemble du processus de production.

Dès lors, quiconque cultive des plantes génétiquement modifiées doit être tenu au respect de règles spécifiques sur la manière correcte d'utiliser⁸ des organismes génétiquement modifiés et les produits obtenus.⁹ A cet égard, l'information des voisins et de toute autre personne ou organisation impliquée dans la production et la commercialisation des produits récoltés, en particulier au niveau de leur entreposage, revêt une importance primordiale.

Le respect de distances de sécurité est également capital. Celles-ci sont dictées par le fait que les risques de croisement diminuent avec l'éloignement. A noter que

En cas d'utilisation d'OGM, l'information des voisins ainsi que de toute autre personne ou organisation impliquée dans la production et la commercialisation des produits récoltés revêt une importance primordiale.

les distances à respecter pourront varier selon le type de culture pratiquée sur la parcelle voisine (conventionnelle ou biologique), dans la mesure où l'application d'une norme raisonnable en la matière n'empêcherait pas tout risque de contamination

par des organismes génétiquement modifiés. Plus les cultures d'OGM sont éloignées d'une production biologique, plus le risque d'une contamination diminue. Certes, les seuils de tolérance en vigueur en Suisse sont les mêmes pour les produits conventionnels et biologiques, mais la situation pourrait changer si des exigences spéciales s'agissant de la production biologique ou écologique¹⁰ étaient introduites.

A l'inverse, une réduction des distances de sécurité serait concevable, par exemple, dans l'hypothèse d'une installation de trappes à pollen. De même, la pratique de cultures spécifiques pourrait réduire le risque de croisements. Il est ainsi possible de cultiver des plantes génétiquement modifiées présentant un faible risque de croisements au bord d'une parcelle. En outre, la réglementation de la coexistence devra être adaptée au gré des différences que présentent les diverses espèces et variétés génétiquement modifiées, notamment sous l'angle de la probabilité d'un croisement. Ainsi, dans le cas du colza génétiquement modifié, le risque de croisements avec des plantes sauvages ou des plantes cultivées est particulièrement élevé. A l'inverse, un croisement avec le maïs est certes possible avec d'autres variétés de plantes cultivées, mais pas avec des plantes sauvages apparentées, faute d'exister.

Si, sur la même parcelle, une culture de plantes conventionnelles succède à une variété génétiquement modifiée, un risque de repousses spontanées menace: les plantes génétiquement modifiées cultivées une année auparavant peuvent pousser à travers

les cultures non génétiquement modifiées nouvellement ensemencées dans la mesure où des graines sont susceptibles de survivre longtemps dans le sol et de germer après plusieurs années.^{[4][5]} Pour éviter une telle situation, il est concevable de définir des périodes transitoires à respecter avant de lancer une production d'organismes non génétiquement modifiés. Durant cette période de transition, le producteur concerné continuera à déclarer ses produits comme «génétiquement modifiés». Par la suite, il restera astreint à surveiller les repousses spontanées sur la parcelle et, le cas échéant, à les éliminer. Une rotation des cultures correcte est également de nature à contribuer à la prévention des repousses spontanées.

Aussi est-il nécessaire d'imposer une obligation de surveillance et d'élimination des repousses spontanées, notamment parce que ces dernières sont de nature à coloniser les champs voisins ou de se croiser avec des plantes cultivées par un nouvel exploitant de la parcelle. Par ailleurs, le cultivateur de PGM est tenu d'informer un éventuel nouvel exploitant ou acheteur de la parcelle des risques potentiels de repousses spontanées.

La réglementation de la coexistence devra être adaptée au gré des différences que présentent les diverses espèces et variétés génétiquement modifiées, notamment sous l'angle de la probabilité d'un croisement.

La forte variation des conditions de culture dans les différentes zones climatiques de Suisse rend nécessaire l'établissement de normes spécifiques selon les sites en matière de PGM.

Illustration 4.4: Production de semences à Rheinau, dans le canton de Zurich



La stricte séparation des flux des produits pour éviter tout mélange est une procédure très lourde. Les producteurs de semences, comme Sativa Rheinau AG, qui propose, entre autres, des semences de céréales aux exploitations biologiques, en estiment le coût exorbitant. Source: cf. liste des illustrations

Si les mêmes machines et véhicules de transport sont utilisés pour la production de plantes tant génétiquement modifiées que conventionnelles, ceux-ci devront être nettoyés à fond avant tout usage pour la production exempte d'OGM. Il conviendra également de séparer les sites de stockage pour les différentes récoltes ainsi que pour les déchets ou le compost. On relèvera qu'une séparation stricte est difficilement praticable quand on sait que près de 40 pour cent des agriculteurs suisses sont affiliés à des organisations d'utilisation

communautaire de machines et que près de 22 pour cent sont membres de cercles ou de coopératives d'exploitation de matériel agricole.^[6]

Etant donné que les conditions de culture varient fortement selon les zones climatiques en Suisse, il conviendrait d'établir en matière de culture de plantes génétiquement modifiées des normes spécifiques pour les divers sites.^[7] A cet égard, il y aurait lieu d'exiger des producteurs d'organismes génétiquement modifiés souhaitant approvisionner des exploitants en Suisse qu'ils

mettent au point les directives nécessaires conformément aux obligations légales qui leur incombent dans le domaine de l'information.^{11 [1]}

Parmi les prescriptions mentionnées concernant la coexistence, certaines ont uniquement pour objet la protection du voisin direct, telles les normes en matière de distances à respecter avec les parcelles voisines. En principe, des voisins peuvent déroger à ces prescriptions par accords mutuels pour autant que ces arrangements tiennent compte des objectifs assignés à la réglementation sur la coexistence. En particulier, les règles visant également la protection des tiers ou de l'environnement ne souffrent aucune dérogation.

CRÉATION DE ZONES EXEMPTES DE GÉNIE GÉNÉTIQUE

A notre avis, le législateur fédéral devra préciser les conditions à respecter quant à la date à partir de laquelle des zones exemptes d'OGM pourront être délimitées. Semblables périmètres sont indispensables pour sauvegarder des paysages remarquables tels que réserves naturelles, biotopes, marais et prairies de valeur, mais aussi pour maintenir la biodiversité, comme le prévoit déjà l'art. 8 ODE, notamment. Par ailleurs, la constitution de zones exemptes d'OGM doit permettre de protéger la production de semences et de plants pour lesquels tout mélange avec des organismes génétiquement modifiés¹² est à éviter ou de garantir le maintien de

surfaces d'assolement dans des régions données.¹³ Enfin, certains cercles du monde de la politique agricole songent à créer des zones exemptes d'OGM afin de garantir une production de haute qualité respectueuse de la nature et signalée comme telle. Ainsi, il est quasiment impossible de produire du miel dépourvu d'organismes génétiquement modifiés en dehors d'une zone exempte d'OGM.¹⁴ Dès lors, force est de constater que les raisons spécifiques invoquées à l'appui d'une demande de création d'une zone exempte d'OGM sont déterminantes pour son autorisation. La Confédération ou un canton pourra arrêter une telle mesure si celle-ci sert un objectif ancré dans la loi. Dans tous les cas, il conviendra de respecter les droits des exploitants agricoles concernés et la sécurité du droit.

GARANTIE DU LIBRE CHOIX DES CONSOMMATEURS

La réglementation de la coexistence ne saurait se limiter à des mesures prises au stade de la production sur la parcelle. Elle doit concerner également la commercialisation des produits. Ainsi, l'art. 7 LGG exige que des produits dépourvus d'OGM puissent toujours être proposés sur le marché dans le cadre et à l'issue de tout processus de production et de transformation. C'est la raison pour laquelle il convient de séparer strictement le flux des marchandises génétiquement modifiées de celui des produits non génétiquement modifiés pendant les opérations de stockage, de

transport et de transformation. De même, il est impératif de respecter les directives spécifiques concernant la documentation et la traçabilité ainsi que celles ayant trait à l'information des consommateurs.¹⁵

Garantie de la séparation des flux des produits: par «flux des produits», il faut comprendre les opérations de manutention des produits de la récolte jusqu'au stade de la vente. Les étapes présentant le plus grand risque de mélanges sont les transbordements.^{18]} C'est ici qu'il convient notamment de veiller à prévenir tout phénomène

de ce genre grâce à des mesures ciblées et à une organisation rigoureuse. Les usines de transformation et les distributeurs suisses ont commencé très tôt à développer et introduire des procédures de séparation efficaces dans le cadre de l'assurance-qualité.^{19]} Ils ont pu s'appuyer sur les expériences déjà réalisées en matière de séparation de flux de produits biologiques en utilisant, par exemple, des collecteurs, des bacs de transport spéciaux et des procédures de transbordement spécifiques.

Dans le détail, il est recommandé de mettre au point des mesures de séparation des flux des produits dans les domaines suivants:

- transport;
- stockage des semences et des plants, ainsi que des produits récoltés et de ceux transformés;
- toute opération de transformation.

Une séparation efficace des flux des produits exige toutefois, selon les circonstances, d'importants moyens financiers ainsi que des mesures organisationnelles et structurelles étendues.

Or, seul un contrôle très serré des procédures est susceptible de garantir que l'objectif de séparation totale des flux des produits du champ jusqu'au stade du produit fini soit parfaitement atteint. De la culture à la commercialisation des produits, en passant par leur stockage et leur transformation, assurer la sépara-

tion des produits conventionnels de ceux génétiquement modifiés requiert en effet la mise en œuvre de mesures adéquates et une documentation exhaustive. Dans ce contexte, la garantie de la traçabilité a un rôle déterminant à jouer.

Obligations en matière de documentation et de traçabilité: une coexistence maîtrisée dans les phases de transformation et de commercialisation n'est possible qu'au travers de mesures particulières en matière de traçabilité des OGM. Cette dernière permet une prévention des risques en aval de la production¹⁶ qui, bien entendu, a des répercussions sur le processus de production. Par «traçabilité», on entend la possibilité de remonter toutes les étapes de la chaîne de fabrication et de distribution de produits génétiquement modifiés mis en circulation. Un tel suivi nécessite une documentation détaillée des étapes

La séparation des flux des produits est en lien étroit avec la problématique de la garantie de la traçabilité.

successives de la chaîne de production et de commercialisation. En principe, à chaque étape, seule devrait être documentée l'étape précédente et la suivante.

Cependant, dans la mesure où des informations sur l'ensemble de la chaîne de création de valeur peuvent également être exigées, il y a lieu de recourir, par exemple, à un identificateur unique spécifique¹⁷ ou un système de lettre

de voiture électronique. Cette mesure est garante de la possibilité de contrôler intégralement le cheminement suivi par des OGM durant leur transformation et de rap-

peler à bref délai d'éventuels produits défectueux. La documentation et la traçabilité sont des conditions nécessaires pour séparer les flux de produits et permettre leur étiquetage. Afin de prévenir ou de réduire au maximum les risques de mélanges, des analyses et des contrôles

des processus sont à effectuer régulièrement afin de garantir le respect des seuils autorisés à cet égard.

Ces mesures considérées comme essentielles ne vont toutefois pas sans poser des problèmes: d'une part, il y a lieu de se demander si seuls les produits contenant des OGM ou constitués totalement ou

partiellement d'OGM doivent être contrôlés et étiquetés, ou si les produits exempts d'OGM mais qui ont été fabriqués à partir d'OGM ou avec des OGM ne nécessitent pas, eux aussi, d'être contrôlés et documentés. Par ailleurs, la traçabilité et la stricte séparation des canaux de production et de commercialisation se révèlent être une entreprise compliquée et dispendieuse, notamment lorsque des cargaisons entières d'aliments pour animaux de différentes origines sont importées de l'extérieur de l'UE. Les directives en matière de traçabilité sont très coûteuses pour le commerce et pour l'industrie manufacturière, même si ces secteurs peuvent exploiter à fond les technologies de l'information. Enfin, les consommateurs exigeant une transparence totale, celle-ci doit donc leur être garantie à tout prix.

Problèmes d'étiquetage: en droit européen, le système d'étiquetage des denrées alimentaires et des aliments pour animaux repose sur une obligation d'étiqueter se rapportant au procédé de production utilisé.^[10] Autrement dit, pour l'étiquetage de données se rapportant au génie génétique sur des denrées alimentaires ou des aliments destinés aux animaux, la question de la preuve de l'existence d'ADN ou de protéines transgéniques dans de tels produits ne compte plus. L'important, au contraire, est de savoir si un aliment, respectivement un ingrédient alimentaire sont composés d'organismes génétiquement modifiés¹⁸ ou encore s'ils ont été obtenus à partir d'OGM.¹⁹ Par conséquent, il est décisif de savoir si, au cours de la fabrication et de la

La garantie de la séparation des flux des produits et de la traçabilité peut se révéler très onéreuse, mais elle est indispensable.

Un système de traçabilité et d'étiquetage fondés sur les produits plutôt que sur les processus serait plus pratique dans la mesure où il s'appuie sur une preuve scientifique irréfutable. De plus, sa mise en œuvre est plus aisée et moins onéreuse.

transformation d'un produit, des procédés faisant appel au génie génétique ont été mis en œuvre. Ainsi, en matière d'étiquetage d'OGM et de traçabilité, on est passé, au sein de l'UE, de l'étiquetage du produit à l'étiquetage du processus et de la provenance. Semblable manière de faire est probablement propre à renforcer la confiance des consommateurs mais elle limite la valeur accordée aux analyses.

Jusqu'à présent, la Suisse a opté pour ce système s'agissant de l'étiquetage des denrées alimentaires et aliments pour animaux. En revanche, pour celui des produits phytosanitaires, engrais, biocides, semences et autres moyens de production, elle s'aligne sur le principe de la détection d'ADN étranger résultant de modifications génétiques. A l'évidence, le PNR 59 considère cette ligne politique choisie pour les denrées alimentaires et les aliments pour animaux comme problématique.

Un système de traçabilité et d'étiquetage fondé exclusivement sur les produits serait plus pratique dans la mesure où il fournit une preuve scientifique fiable. De plus, sa mise en œuvre est plus aisée et moins onéreuse.

Problèmes des seuils: exiger un étiquetage lors de tout constat de contamination, également si cette dernière est minime, involontaire ou inévitable, serait impraticable. C'est pourquoi, dans les droits suisse et européen, des seuils sont fixés pour l'étiquetage: en cas de traces d'organismes génétiquement modifiés présentes dans des organismes ou produits

non génétiquement modifiés, cela dans des quantités inférieures au seuil légal, un étiquetage est admis malgré la contamination, à condition toutefois que cette dernière ait été involontaire ou se soit révélée inévitable techniquement. Le problème principal posé par les seuils d'étiquetage en vigueur réside dans leur fixation éminemment variable, certains étant nettement trop généreux. Ces écarts s'expliquent selon toute probabilité par le fait que les seuils ont été définis à des périodes différentes par des services multiples dans le but de résoudre des problèmes divers eux aussi.

Conditions pour un étiquetage négatif: les producteurs comme les consommateurs ont intérêt à ce que des produits fabriqués sans recours au génie génétique soient étiquetés en tant que tels. Cependant, en pratique, il est très difficile d'obtenir une production totalement exempte d'OGM ou de garantir une absence totale de ces derniers. Aussi, les conditions auxquelles est autorisé l'étiquetage négatif «produit sans recours au génie génétique» revêtent une importance décisive. Pour sa part, l'UE entend les harmoniser.

L'obligation d'étiquetage est supprimée lorsque les traces d'OGM ne dépassent pas un certain seuil et que la contamination est involontaire ou inévitable techniquement. En pareil cas, la coexistence est réputée être encore juridiquement garantie.

Un étiquetage négatif de produits fabriqués sans organismes génétiquement modifiés est peu pertinent, car il est impossible de garantir l'absence totale d'OGM.

Or, une telle harmonisation des dispositions dans les Etats membres impliquerait d'abaisser le seuil commun en vigueur pour l'étiquetage – 0,9 pour cent d'OGM admis dans les denrées alimentaires et les aliments

La loi actuelle sur le génie génétique permet tout au plus d'édicter une réglementation minimale. En particulier, elle ne saurait constituer la base légale d'un régime juridique fiable en matière de coexistence.

pour animaux – à un taux aberrant économiquement parlant.²⁰ Quant à nous, nous estimons qu'un étiquetage négatif est à éviter même s'il répond à un besoin des producteurs et surtout aux souhaits des consommateurs dont la majorité

réclame une absence totale d'OGM. Une telle exigence étant impossible à satisfaire, mieux vaudrait renoncer à l'étiquetage négatif.

DIVERSES PROPOSITIONS DE RÉGLEMENTATION DE LA COEXISTENCE DANS LE CADRE DE LA LGG

Comme mentionné précédemment, l'art. 7 LGG est une simple norme énonçant un but à viser («Zielnorm») qui permet tout au plus d'édicter une réglementation minimale. En particulier, il ne saurait constituer la base légale d'un régime juridique fiable en matière de coexistence, cela pour deux raisons:

- La Constitution fédérale exige que les normes importantes de droit fédéral soient ancrées dans une loi fédérale.²¹
- De plus, il convient de respecter les principes constitutionnels applicables aux restrictions apportées aux droits fondamentaux.²² Une réglementation efficace de la coexistence et une séparation

stricte des flux des produits, telles qu'elles sont réclamées pour des raisons de politique agricole et de politique de la consommation, porteraient inévitablement atteinte à la liberté économique et à la garantie de la propriété. Autrement dit, il en résulterait de graves atteintes aux droits fondamentaux requérant l'existence d'une base légale dans la LGG.

Certes, les dispositions en vigueur contenues dans la loi sur le génie génétique²³ et dans des ordonnances spéciales²⁴ offrent quelques points d'ancrage pour ce qui a trait à l'étiquetage, mais aussi à la séparation des flux des produits²⁵ s'agissant de la traçabilité et de la documentation à établir. A noter que, globalement, seules de rares mesures touchant la coexistence et le flux des produits ont une base légale dans la LGG.

Pour notre part, nous estimons que l'art. 7 LGG doit rester une norme énonçant un but à viser («Zielnorm») en matière de réglementation de la coexistence. Toutefois, nous plaignons en faveur d'une modification rédactionnelle en vertu de laquelle différentes formes de production n'engendrant aucun risque de pertes devraient pouvoir exister parallèlement. Par ailleurs, il ne devrait pas être question de «coexistence» dans la LGG et dans les règlements d'exécution²⁶, mais d'existence parallèle de différentes formes de production.

Au-delà de la norme définissant le but à viser («Zielnorm»), à l'instar de l'art. 7 LGG, cette loi doit contenir une délégation de compétences au Conseil fédéral énoncée

en des termes très larges pour garantir l'existence parallèle de différentes formes de production. Enfin, la LGG doit être encore complétée par quelques dispositions fondamentales supplémentaires:

- La passation d'accords entre producteurs de produits génétiquement modifiés et producteurs de produits non génétiquement modifiés dans les secteurs agricole et horticole ainsi que dans l'économie implique un mandat, respectivement une autorisation prévus par la LGG.
- Il appartient au législateur fédéral de se prononcer sur la question fondamentale suivante: seuls les produits contenant des traces d'OGM sont-ils à soumettre à des exigences particulières en matière de traçabilité, de documentation et d'étiquetage? Ou, dans un souci d'euro-compatibilité, faut-il prévoir que tous les processus de production impliquant le recours à des organismes génétiquement modifiés fassent l'objet d'une mise en œuvre séparée, d'une documentation et d'un étiquetage spéciaux?
- Une autre question fondamentale doit être tirée au clair: s'agissant de la gestion de la coexistence dans le cadre des opérations de transformation et de distribution notamment, faut-il laisser les acteurs économiques concernés la régler eux-mêmes au travers du management de la qualité et d'une organisation qu'ils mettraient sur pied ou convient-il de fixer les mesures et contrôles à effectuer par des dispositions détaillées arrêtées par voie d'ordonnance?

- Le législateur fédéral doit déterminer dans quelles conditions la Confédération ou les cantons peuvent délimiter certaines zones exemptes d'OGM, cela de leur propre initiative ou à la demande de particuliers. Une chose est sûre, à savoir qu'il est inacceptable, au regard de la Constitution, que des cantons déclarent l'ensemble de leur territoire zone exempte d'OGM, comme certains l'ont déjà fait en tant que manifestation d'un choix politique. Le législateur fédéral ne doit admettre de telles zones d'exclusion que pour tenir compte de la satisfaction de besoins officiellement reconnus de protection ou d'encouragement exigeant l'interdiction du génie génétique vert que pour un laps de temps donné dans un périmètre clairement délimité.^[2]

Pour que la réglementation concernant la coexistence soit efficace, il se peut, selon les circonstances, que d'autres modifications de la loi se révèlent nécessaires sur des points particuliers:

- La réglementation actuelle de la responsabilité civile,²⁷ avec ses principes rigoureux en matière de responsabilité du producteur et le privilège accordé aux exploitants agricoles, est à modifier dans le sens de l'élargissement de l'action récursoire qui doit pouvoir être intentée également contre les personnes et exploitations ayant violé, intentionnellement ou par négligence, les dispositions sur la coexistence. Mais il convient surtout de prévoir une responsabilité

pour les dommages patrimoniaux dans la mesure où une modification génétique n'est considérée ni biologiquement ni juridiquement comme un dommage matériel, mais tout au plus comme une perte patrimoniale subie dans le cas de producteurs biologiques.

- Il convient de prévoir des dispositions pénales adéquates pour assurer le respect de la réglementation sur la coexistence: les peines administratives actuelles de la LGG pèchent par manque de nuances.

MODIFICATIONS DES DISPOSITIONS DE LA LGG RÉGISSANT L'INFORMATION

La LGG est un excellent exemple de normes administratives modernes qui s'appuient dans une très large mesure sur

l'outil administratif de l'«information»: l'administration essaie d'atteindre les objectifs qui lui sont assignés essentiellement en se renseignant sur l'objet à gérer, en veillant à faire preuve d'une grande transparence dans son action ainsi qu'en recourant à des sources de savoirs externes adéquates ou

en contribuant à leur développement. Elle se considère elle-même comme une organisation en apprentissage permanent, met en règle générale les données et les contenus

qu'elle recueille à la disposition du public et s'engage dans des processus de transmission de l'information. Une telle action de l'administration fondée sur la communication a toute sa place dans un domaine comme le génie génétique caractérisé par une grande complexité et qui, tout en recelant un énorme potentiel positif, entraîne aussi des changements profonds au sein de la société et de l'économie au niveau existentiel et conceptuel. Par ailleurs, ce domaine n'a pas de certitudes tirées de l'expérience à proposer sur lesquelles l'administration pourrait s'appuyer. Au contraire, elle est souvent confrontée à des controverses politiques et scientifiques qui l'obligent à agir alors que les questions à traiter évoluent à une cadence élevée. Dans une pareille situation, la ressource administrative «information» se révèle être essentielle pour maîtriser des tâches d'une importance cruciale mais où l'incertitude domine. A cet égard, la LGG, avec son orientation fondamentale, a valeur d'exemple et prépare l'avenir.^[11]

Le projet *Concepts relatifs à l'accomplissement de l'information publique conformément à la loi sur le génie génétique* entrepris dans le cadre du PNR 59 ne se borne pas à révéler diverses lacunes dans la pratique actuelle des autorités en matière d'information. Il avance aussi des propositions concrètes sur la manière dont les fondements légaux pour la communication et l'information assurées par l'autorité pourraient être conçus de façon fonctionnelle et appropriée.^[12]

La loi suisse sur le génie génétique accorde beaucoup d'importance à l'information et à la communication entre les acteurs, soit les autorités, les auteurs de demandes et le public intéressé. Le contenu des dispositions est toutefois mince et les processus d'information sont partiellement mélangés.

Les principales recommandations s'agissant des corrections à apporter aux dispositions du droit suisse sur le génie génétique dans le domaine de l'information sont résumées ci-après.

L'échange d'informations a sa source dans la LGG. Il s'agit des échanges:

- entre les autorités et le public;
- entre la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB) et la Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH), ainsi qu'entre ces commissions et les autorités décisionnelles et le public;
- entre les autorités et les auteurs de demandes dans les différentes procédures de décision et de recours prévues.

Malgré toute la place qu'elle réserve à la communication, la LGG se caractérise, il est vrai, par des modèles de réglementation éminemment traditionnels des procédures d'information ainsi que par une multitude déconcertante de dispositions traitant de cet aspect. Ce constat incite à émettre les recommandations centrales suivantes:

- Les éléments de réglementation de l'information fondés sur la procédure administrative traditionnelle appliquée à l'occasion de décisions sur des demandes, des autorisations et des recours doivent être distingués plus nettement de l'aménagement au niveau juridique des flux d'information et des activités de communication visant le public.

- Les normes en matière d'information fondées sur la procédure administrative se sont toujours inscrites jusqu'ici dans un ensemble de droits et d'obligations des parties et sont privilégiées à juste titre en tant que telles.
- En revanche, les normes touchant l'information du public à propos de telles procédures administratives (conformément à l'art. 18 LGG et à l'art. 54 ODE) ne doivent pas être confondues avec les informations destinées aux parties, dans la mesure où on doit leur accorder moins de poids.

Les recommandations ci-après concernent les normes juridiques relatives aux canaux d'information à l'intention du public et qui, malheureusement, ne sont que peu développées dans la LGG et les ordonnances. Certes, les contenus de l'information sont décrits sommairement. Mais il manque des données sur ce qui est à communiquer, quand et sous quelle forme, sur la manière d'initier le dialogue avec le public et la façon dont la circulation de l'information en sens contraire, soit entre les citoyens et les autorités, doit être aménagée. Aussi recommande-t-on d'étouffer les dispositions en vigueur régissant la manière dont les autorités et les deux commissions importantes communiquent avec le public:

- Il y a lieu de prévoir que cette communication doive aller au-delà des rapports périodiques, et que les autorités et les commissions soient autorisées à nouer

un dialogue plus étroit avec le public et les milieux intéressés en recourant aux moyens de communication modernes.

- Il est recommandé en particulier que l'on attribue davantage de moyens à la CFSB et à la CENH afin de permettre à ces organismes de se consacrer plus intensément à leurs tâches d'information et de communication d'importance cruciale, cela parallèlement à leur activité de conseil exercée auprès des autorités fédérales. On pourrait concevoir de mettre à leur disposition des infrastructures organisationnelles et technique qu'elles utiliseraient en commun.

De manière générale, il ressort des travaux réalisés dans le cadre du PNR 59 que les dispositions régissant l'information et la communication²⁸ méritent d'être clarifiées et précisées. La satisfaction de cette exigence est très importante pour la future mise en œuvre de la législation suisse sur le génie génétique.

FACILITER LA RECHERCHE SUR LE GÉNIE GÉNÉTIQUE DANS LE DOMAINE NON HUMAIN

Les chercheurs font valoir à intervalles réguliers que le droit régissant le génie génétique fixe des limites très étroites aux disséminations expérimentales. Le fait

qu'en Suisse les procédures standardisées d'autorisations ne sont pas routinières sauf pour ce qui concerne les organismes génétiquement modifiés en milieu clos joue certainement un rôle à cet égard. Le monde de la recherche exige que l'on examine la possibilité d'octroi facilité d'autorisations et que l'on puisse disposer de terrains d'essai spécifiques pour réaliser des disséminations expérimentales et qui soient protégés contre le vandalisme.^[13] Dans le nouveau message sur la

recherche, cette dernière requête est prise en compte au travers de l'allocation de fonds spéciaux pour le maintien d'un terrain d'essai protégé (protected site) créé dans le cadre du PNR 59.^[14] Il n'en demeure pas moins que l'octroi d'autorisations générales pour la réalisation d'expérimentations sur un tel terrain d'essai n'est guère possible au regard du droit dans la mesure où l'art. 120 Cst. exige que les risques spécifiques liés aux divers OGM soient évalués de cas en cas. En revanche, de telles autorisations globales seraient susceptibles d'être examinées pour des expérimentations de divers types réalisées avec les mêmes PGM. Dans le cadre de l'art. 14 LGG, des procédures simplifiées de notification et d'autorisation pour la réalisation de disséminations expérimentales avec certains OGM seraient parfaitement envisageables. Enfin, il suffirait

A l'avenir, il sera possible d'envisager des procédures simplifiées de notification et d'autorisation pour procéder à des disséminations expérimentales. Une clarification des obligations en matière d'information facilitera nettement les procédures.

aussi de clarifier les obligations en matière d'information existant dans le contexte des procédures d'autorisation pour faciliter nettement les procédures relatives aux disséminations expérimentales.

QUELLE SUITE ENVISAGER À L'ÉCHÉANCE DU MORATOIRE?

Les considérations émises plus haut résument les réformes à apporter au droit régissant le génie génétique au niveau de la loi et des ordonnances. Les services fédéraux en charge de l'agriculture et de la protection de l'environnement condenseront les principaux projets de réforme dans un projet de révision législative destiné à être soumis à une procédure de consultation à fin 2012 ou au début 2013. Ensuite, le Conseil fédéral fera procéder à une mise au net des modifications législatives approuvées. Dans ce contexte, tout porte à croire que le Conseil fédéral arrêtera, dans les limites où la loi actuelle l'y autorise, les principaux changements à apporter par voie d'ordonnances avant même la fin du moratoire prévue le 27 novembre 2013. Sitôt après, il devrait soumettre aux Chambres fédérales un message contenant des propositions de modifications législatives.

On peut supposer qu'avant même la fin du moratoire, le Conseil fédéral soumettra aux Chambres un message formulant des propositions de réforme de la LGG.

Dans sa teneur actuelle, la Constitution fédérale n'autorise pas un moratoire à long terme pour la mise en circulation d'OGM.

Au cours de la session de printemps 2012, une motion demandant une nouvelle prolongation du moratoire a été déposée au Conseil national.²⁹ En automne de la même année, les Chambres ont donné leur aval à sa prorogation jusqu'en 2017. Toutefois, un gel à long terme des autorisations de mise en circulation d'OGM n'est pas admissible au regard de l'art. 120 de la Constitution fédérale, déterminant en la matière. Et même si cette dernière autorise que certaines mesures de protection et d'encouragement soient adoptées en faveur de productions non génétiquement modifiées, elle entend néanmoins consacrer globalement le principe d'une existence parallèle de divers types de production végétale et animale qui soient réglementés sur une base égalitaire.³⁰

A noter cependant qu'une prolongation du moratoire pour une durée d'un an par exemple – une mesure souhaitable pour la mise en place définitive d'un régime de coexistence – paraît admissible au regard du droit constitutionnel.

Mais si une prolongation de plus longue durée était réclamée par le monde politique, une modification de la Constitution se révélerait indispensable.

Conclusions et recommandations

1. Les dispositions en matière d'information prévues par le droit suisse sur le génie génétique doivent être corrigées afin d'instaurer dans ce domaine un ordre fixant des priorités claires. Il convient pour cela de tenir compte des points suivants:
 - Les éléments de réglementation de l'information fondés sur la procédure administrative traditionnelle appliquée à l'occasion de décisions sur des demandes, des autorisations et des recours doivent être distingués nettement de l'aménagement au niveau juridique de l'information et de la communication visant le public.
 - Les normes régissant les informations diffusées au public à propos de procédures administratives ne seront pas confondues avec celles applicables aux informations destinées aux parties, le poids à accorder aux premières informations étant moindre.
 - Il convient d'étoffer les dispositions en vigueur régissant la manière dont communiquent avec le public les autorités et les deux commissions importantes que sont la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique (CFSB) et la Commission fédérale d'éthique pour la biotechnologie dans le domaine non humain (CENH). Il y a lieu de prévoir que cette communication doit aller au-delà des rapports périodiques, et que les autorités et les commissions soient autorisées à nouer un dialogue plus étroit avec le public et les milieux intéressés en recourant aux moyens de communication modernes.
 - Il conviendrait que davantage de moyens soient attribués à la CFSB et à la CENH afin de permettre à ces organismes de se consacrer plus intensément à leurs tâches d'information et de communication d'importance cruciale, cela parallèlement à leur activité de conseil exercée auprès des autorités fédérales. On pourrait concevoir de mettre à leur disposition des infrastructures organisationnelles et techniques qu'elles utiliseraient en commun.

2. Il serait possible de simplifier les procédures d'autorisation pour des disséminations expérimentales sur des terrains d'essai sécurisés (protected sites) au travers des mesures suivantes:
 - Clarification des obligations en matière d'information pour les procédures d'autorisation.
 - Octroi d'autorisations générales pour des expérimentations de divers types réalisées avec les mêmes PGM.
 - Procédures simplifiées de notification et d'autorisation pour des disséminations expérimentales avec certains OGM.

NOTES

- 1 FF 2009 4887
- 2 Art. 197, ch. 7 Constitution fédérale
- 3 RS 814.91
- 4 Art. 37a Délai de transition pour la mise en circulation d'organismes génétiquement modifiés. Aucune autorisation ne peut être délivrée pour la mise en circulation, à des fins agricoles, horticoles ou forestières, de plantes et de parties de plantes génétiquement modifiées, de semences et d'autre matériel végétal de multiplication génétiquement modifiés ou d'animaux génétiquement modifiés. D'ici à cette date, le Conseil fédéral édicte les dispositions d'exécution nécessaires.
- 5 Art. 8 Convention sur la biodiversité. Convention du 5 juin 1992 sur la diversité biologique (RS 0.451.43)
- 6 Art. 37a LGG
- 7 Art. 14a de l'ordonnance du 7 décembre 1998 sur la production et la mise en circulation du matériel végétal de multiplication (Ordonnance sur le matériel de multiplication, RS 916 151) en relation avec l'ordonnance du DFE du 7 décembre 1998 sur les semences et les plants des espèces de grandes cultures, de cultures fourragères et de cultures maraîchères (Ordonnance du DFE sur les semences et plants, RS 916 151.1)
- 8 L'art. 5, al. 4 LGG entend par utilisation «toute opération impliquant des organismes, notamment leur production, leur dissémination expérimentale, leur mise en circulation, leur importation, leur exportation, leur détention, leur emploi, leur entreposage, leur transport et leur élimination».
- 9 Art. 9, al. 1 ODE
- 10 Comme il en va déjà au sein de l'Union européenne, par exemple: cf. l'art. 4, al. a lit. iii et art. 9, al. 1 du règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91
- 11 Art. 15, al. 1 LGG
- 12 Art. 27a et 163 de la loi sur l'agriculture
- 13 Art. 26 et 30, al. 1 de l'ordonnance sur l'aménagement du territoire du 28 juin 2000 (OAT; RS 700.1)
- 14 Jugement de la CJCE du 7 décembre 2010, affaire C-442/09
- 15 Les auteurs remercient Isabelle Wildhaber, professeure assistante et Dr en droit, pour son soutien à la rédaction de ce paragraphe.
- 16 Au sens de l'art. 2, al. 1 LGG
- 17 Art. 9, al. 4 et 5 ODE
- 18 Au sens de l'art. 2, ch. 5 du règlement (CE) n° 1829/2003 concernant les denrées alimentaires et les aliments pour animaux
- 19 JO n° L 268 du 18 octobre 2003, p. 1 ss.
- 20 Art. 26b b (nouveau), proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil modifiant la directive 2001/18/CE en ce qui concerne la possibilité pour les Etats membres de restreindre ou d'interdire la culture d'OGM sur leur territoire
- 21 Art. 164, al. 1 Cst.
- 22 Art. 36, al. 1 Cst.
- 23 Art. 17 LGG
- 24 Art. 10 ODE, art. 7 ODAIM
- 25 Art. 21 et 21a de l'ordonnance du 26 mai 1999 sur la production et la mise en circulation des aliments pour animaux (Ordonnance sur les aliments pour animaux; RS 16.307); art. 14 et 50 de l'ordonnance sur les denrées alimentaires et les objets usuels du 23 novembre 2005 (RS 817.02); art. 8-10 de l'ordonnance du DFI du 23 novembre 2005 sur les denrées alimentaires génétiquement modifiées (ODAIM) (RS 817.022.51); art. 9, al. 4 et 5 ODE
- 26 Le terme fait essentiellement référence à la production de plantes naturelles et non à l'utilisation d'OGM ou d'organismes non génétiquement modifiés.
- 27 Art. 30 LGG
- 28 Art. 18, 22 al. 4, 23 al. 5 et 26 al. 2 LGG
- 29 12.3028 – Motion déposée au Conseil national par Markus Ritter «Maintenir le moratoire limité dans le temps sur l'utilisation des OGM»
- 30 Message relatif à la modification de la loi sur le génie génétique (Prolongation du moratoire sur les OGM dans l'agriculture) du 1er juillet 2009, FF 2009 4887, 4909

LITTÉRATURE

- [1] Errass, Ch. (2006) Öffentliches Recht der Gentechnologie im Ausserhumanbereich. Berne 2006, 238 ss., 253 ss.
- [2] Epiney, A., Waldmann, B., Oeschger, M., Heuck, J. (2011) Die Ausscheidung von gentechnikfreien Gebieten in der Schweiz de lege lata et de lege ferenda. Zurich 2011, 126 ss., 131 ss.
- [3] Sanvido, O., Widmer, F., Winzeler, M., Streit, B., Szerencsits, E., Bigler, F. (2005) Koexistenz verschiedener landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik. Schriftenreihe der FAL 55, Agroscope FAL Reckenholz.
- [4] Nowack Heimgartner, K., Bickel, R., Pushparajah Lorenzen, R., Wyss, E. (2002) Sicherung der gentechnikfreien Bioproduktion, Eintrittswege gentechnisch veränderter Organismen, Gegenmassnahmen und Empfehlungen. Berne 2002, 89.
- [5] Müller, W. (2002) GVO freie Bewirtschaftungsgebiete: Konzeption und Analyse von Szenarien und Umsetzungsschritten. Endbericht. Strobl, 20 ss.
- [6] Möhring, A., Anken, T., Lauber, S. (2007) Relevanz der überbetrieblichen Zusammenarbeit in der Landwirtschaft. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- [7] Schlatter, Ch., Oehen, B. (2004) Gentechnik in der Landwirtschaft. Räumliche Aspekte der Koexistenz in der Schweiz. FiBL.
- [8] Wenk, N., Stebler, D., Bickel, R. (2001) PROGNOSES. Synthèse: Séparation des OGM dans les filières des denrées alimentaires.
- [9] Nowack, K., Wüthrich, K., Oehen, B. (2006) Entwicklung der GVO-Verunreinigungen in biologischen und konventionellen Lebens- und Futtermitteln im Zeitraum von 2000 bis 2005. Mitt. Lebensm. Hyg. 97, 466-477.
- [10] Wildhaber, I. (2009) Stand des europäischen und deutschen Gentechnikrechts im Frühjahr 2009. Jusletter du 11 mai 2009, notes en marge 7 ss.
- [11] Burkert, H., Gasser, U. (in press) Informationsfunktionale Analyse der informationsbezogenen Normen des Gentechnikgesetzes und seines normativen Umfeldes.
- [12] Schweizer, R. J., Bürgi, G., Burkert, H., Gasser, U., Meier, W., Bächler, J., Stütz, J. (in press) Concepts on the implantation of public information in line with the Gentechnology Law: Harmonising political or ethical concerns, requirements of the law and scientific findings.
- [13] Hettich, P., Walter, S. (2011) Schutz (vor) der Gentechnologie. In Lorandi, F., Staehelin, D. (éd.) Innovatives Recht. Festschrift für Ivo Schwander. Zurich: Dike, 65, en partic. 78 ss.
- [14] Message relatif à l'encouragement de la formation, de la recherche et de l'innovation pendant les années 2013 à 2016 du 22 février 2012. FF 2012 2857, 3038 f.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

4.3 Nouvelles techniques génétiques pour la sélection de plantes

Les nouvelles techniques génétiques recèlent un potentiel exceptionnel pour la sélection de plantes et la biotechnologie végétale, lequel est lié aux possibilités d'introduire de manière ciblée des mutations ou des gènes dans une plante, de modifier l'activité de certains gènes ou de produire des descendants génétiquement identiques à partir d'une plante isolée. Bien que certains de ces procédés recourent au génie génétique, dans la plupart des cas une modification génétique n'est plus présente dans les plantes prévues pour la culture. Au vu des nombreuses possibilités d'application des nouvelles techniques, il paraît raisonnable de faire, avant leur mise en œuvre, une présentation publique des bases scientifiques et des avantages, et de fournir des explications concernant les conditions-cadres légales. Cela permettrait d'augmenter l'acceptation par la population^[1], faute de quoi les réticences risquent de limiter fortement les excellentes perspectives de ces techniques.

WILFRIED WACKERNAGEL

INCITATION AU DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES TECHNIQUES

Le génie génétique est une démarche biomoléculaire susceptible d'être mise en œuvre dans de nombreux domaines. Il a révolutionné tant la recherche fondamentale que la recherche appliquée en biologie, en médecine, en biotechnologie, en pharmacologie ainsi que dans l'agriculture et la production de denrées alimentaires. Parallèlement aux différents domaines d'application, toute une série de nouvelles techniques génétiques pour la sélection de plantes ont été développées ces dernières années. Dans ce contexte, un mobile important est l'accélération des processus de sélection. Mais de nouvelles technologies pourraient également contribuer à contourner la problématique du génie génétique, laquelle se caractérise par une procédure d'autorisation éminemment complexe pour les nouveaux organismes génétiquement modifiés (OGM) et le risque d'une forte opposition à leur commercialisation. Une solution à ce problème consiste à recourir au génie génétique pour le développement de nouvelles lignées de plantes agricoles, de

manière à ce que celles produites selon cette méthode, ou leurs fruits, ne soient pas des plantes génétiquement modifiées (PGM).

CLASSIFICATION D'OGM: PRODUIT OU PROCÉDÉ

Pour chaque nouvelle technique génétique, il importe de déterminer auparavant si le procédé de fabrication et le produit relèvent des directives de l'UE concernant l'utilisation d'OGM.^{[2][3]} L'introduction de ces directives vise à protéger contre les dangers éventuels auxquels pourrait exposer le matériel héréditaire contenu dans l'OGM. Ces risques doivent être pris en considération, car dans l'OGM, le matériel génétique étranger se trouve dans un nouveau contexte, ce qui rend impossible une prédiction définitive de l'effet de cette information génétique. Les directives de l'UE règlent donc le maniement d'organismes portant en permanence du matériel génétique étranger ayant été introduit par génie génétique. En 2007 déjà, des membres des «Competent Authorities» (l'autorité délivrant les autorisations pour les OGM, pour leur dissémination et leur commercialisation) de certains pays de

Dans le cadre du développement de nouvelles lignées de plantes agricoles, le génie génétique peut être utilisé de façon à ce que les plantes produites, ou leurs fruits, ne soient pas génétiquement modifiés.

En 2007 déjà, les autorités compétentes de certains pays de l'UE ont proposé qu'une série de nouvelles techniques génétiques soient examinées quant à leur classification dans les directives de l'UE.

l'UE ont proposé qu'une série de nouvelles techniques génétiques soient définies et examinées quant à leur classement dans les directives de l'UE, en particulier dans le contexte de la sélection de plantes. A cette fin, le «New Techniques Working Group» (NTWG), comprenant deux experts de chaque pays membre de l'UE, a été fondé en 2008. Les experts ont entamé leur travail le 15 décembre 2008 à Bruxelles lors d'une première réunion. L'activité du NTWG s'est terminée en décembre 2011 avec le «Final Report». Dans ce dernier, le NTWG a pris position concernant divers aspects des techniques et des produits en relation avec

Dans la classification qui détermine si un organisme est génétiquement modifié ou non, le produit final est déterminant, et non pas les étapes intermédiaires du procédé.

les directives de l'UE. Il fait observer que du nouveau matériel génétique introduit dans des cellules ne conduit à un OGM que si ce matériel se réplique effectivement et est transmis à la descendance. Si cela n'est pas le cas, la cellule ou l'organisme n'est pas un OGM. De plus, le NTWG est d'avis qu'un organisme non génétiquement modifié peut également descendre d'un OGM avec ADN étranger intégré lorsque l'ADN étranger a manifestement été supprimé. De tels descendants ne présentent donc pas le risque associé au génie génétique classique et ne sont par conséquent pas soumis aux consignes régulatrices des directives de l'UE. Le produit final est donc déterminant, et non pas les étapes intermédiaires du procédé.

Un autre point important est que seuls les «vrais» OGM sont susceptibles d'être identifiés grâce à leur ADN recombinant. Une telle capacité est indispensable pour un monitoring réussi. Des plantes qui ont été créées au moyen de certaines des nouvelles techniques et qui ne contiennent que passagèrement de l'ADN étranger ne se différencient en revanche pas de leurs plantes d'origine ou de variantes naturelles du type sauvage.

De plus – partant du principe que l'ARN n'est pas du matériel génétique pour les organismes cellulaires – les experts du NTWG ont déterminé que lors d'un transfert d'ARN recombinant dans des cellules, il ne s'agit pas d'une production d'OGM.

NOUVELLES TECHNIQUES GÉNÉTIQUES À POTENTIEL D'APPLICATION

Les nouvelles techniques et les possibilités d'application sont exposées ci-dessous et sont complétées par l'évaluation du NTWG en ce qui concerne les directives de l'UE.

Mutagenèse dirigée par des oligonucléotides

Il est possible de créer des mutations ponctuelles ciblées en introduisant de courtes séquences d'ADN dans des cellules. Ces fragments d'ADN, appelés oligonucléotides, comportent de 20 à 100 nucléotides et sont choisis en fonction de la région cible dans le génome.^{[4][5]}

Il existe plusieurs variantes de cette technique. Elles permettent d'introduire différents oligonucléotides dans les cellules:

Illustration 4.5: Le tabac, cible de nouvelles méthodes de génie génétique



La mutagenèse se servant d'oligonucléotides est apte à être utilisée pour des plantes utiles telles que le tabac, le colza, le maïs et autres. La méthode est considérée comme étant une variante de la mutagenèse classique, et les plantes ainsi sélectionnées ne sont donc pas transgéniques. Source: cf. liste des illustrations

- Oligonucléotides d'ADN qui diffèrent de la séquence cible par quelques nucléotides
- Oligonucléotides composés de fragments d'ADN et d'ARN (oligonucléotides chimériques)
- Oligonucléotides qui forment de l'ADN à trois brins avec la séquence cible
- Oligonucléotides d'ARN qui diffèrent de la séquence cible par quelques nucléotides
- Oligonucléotides portant un groupe chimique capable de provoquer une

mutation (p.ex. une substance radioactive qui, en se désintégrant, est susceptible de causer une rupture du double brin)

Les détails des mécanismes cellulaires qui conduisent à la mutation ne sont pas connus pour chaque oligonucléotide. Alors que les oligonucléotides d'ADN provoquent des mutations par l'échange d'une nouvelle séquence, les séquences d'ADN triple brin constituent, de par leur structure, un point d'attaque pour les enzymes cellulaires de réparation de l'ADN. Vraisemblablement,

des mutations ponctuelles ou de petites délétions ou insertions apparaissent alors au cours de la réparation par combinaison non homologue d'extrémités d'ADN. Il est concevable que les oligonucléotides d'ARN servent de modèle pour les mécanismes de réparation de l'ADN et conduisent ainsi à des mutations.

La mutagenèse au moyen d'oligonucléotides a déjà été appliquée avec succès dans diverses plantes de culture telles que le colza, le maïs, le tabac, le riz et le blé. La technique est également étudiée en rapport avec la production de nouvelles lignées de bétail ou de thérapies géniques avec des cellules humaines. Dans cette technique, l'oligonucléotide sert de mutagène spécifique au site, et les experts du NTWG ont donc jugé qu'il s'agit d'une variante de la mutagenèse classique.

La technique des nucléases à doigts de zinc

Ces techniques permettent l'introduction ciblée de différentes mutations dans un génome. Les nucléases à doigts de zinc (ZFN) sont des enzymes qui consistent en deux domaines différents: le domaine contenant ce qu'on nomme les doigts de zinc se lie à une séquence spécifique de nucléotides, alors que le domaine enzymatiquement actif est capable de scinder l'ADN. Ainsi, ces enzymes provoquent une rupture du brin d'ADN situé à côté de leur point d'attache sur l'ADN. Lorsque deux enzymes s'attachent à des brins opposés, elles sont capables de produire une rupture du double brin entre leurs deux points d'attache.

Dans un grand génome (p.ex. végétal, animal ou humain), une paire appropriée d'enzymes est en état de reconnaître une séquence qui n'est présente qu'une seule fois.^[6] Les nucléases à doigts de zinc sont mises en œuvre de différentes manières:

- Soit des cellules sont transformées avec un plasmide incapable de se répliquer et portant le gène pour la ZFN. Ce gène est exprimé passagèrement, puis est perdu.
- Soit les cellules sont transformées avec de l'ARN messager codant pour la ZFN.
- Il est également possible d'introduire de la protéine ZFN purifiée directement dans la cellule (p.ex. par électroporation).

La rupture du double brin provoquée par la ZFN est en mesure d'occasionner une modification génétique de trois manières différentes:

- Nucléase à doigts de zinc-1 (ZFN-1): le processus de réparation de la rupture du double brin conduit à des modifications d'une paire de bases ou à de petites insertions ou délétions au niveau du point de rupture. Cette méthode permet de produire des mutations ponctuelles en un endroit spécifique du génome.
- Nucléase à doigts de zinc-2 (ZFN-2): un oligonucléotide, dont la séquence est semblable à la région autour du double brin rompu, est introduit dans une cellule en même temps que les ZFN. Il est ainsi possible d'introduire de manière ciblée à l'endroit de la rupture une mutation ponctuelle grâce à la divergence entre les séquences.

- Nucléase à doigts de zinc-3 (ZFN-3): un grand brin d'ADN, composé de milliers de paires de bases, est introduit dans la cellule en même temps que les ZFN. Ce brin d'ADN contient un gène étranger encadré de deux séquences qui sont identiques aux extrémités d'ADN se trouvant à l'endroit de la rupture du double brin. Ainsi, le gène étranger est intégré, par recombinaison, directement au site de la rupture du double brin.

Les différentes techniques ZFN servent à inactiver des gènes, à introduire des mutations spécifiques, à incorporer de nouveaux gènes ou à produire de grandes délétions préalablement définies. L'incorporation d'ADN étranger ou propre dans le génome peut être effectuée de manière ciblée et sans répercussions négatives sur les gènes déjà présents. La technique ZFN a déjà été mise en œuvre avec succès dans la plante modèle *Arabidopsis thaliana* ainsi que dans le tabac et le maïs. Elle a également été utilisée dans des cellules mammifères et des animaux tels que les poissons zébrés, les drosophiles, les rats et les nématodes.

Les experts du NTWG étaient d'avis que les techniques ZFN-1 et ZFN-2 sont des techniques de mutagenèse. Les organismes produits par ce biais sont donc exclus des directives de l'UE. La technique ZFN-3, en revanche, par l'intégration d'un segment d'ADN provenant d'un organisme ne pouvant être croisé, conduit

incontestablement à un organisme génétiquement modifié et est donc soumise aux directives.^{[6][7]}

Cisgenèse et intragenèse

La cisgenèse décrit la modification génétique d'une plante réceptrice au moyen d'un ou de plusieurs gènes issus de cette même plante ou d'une plante capable de se croiser avec la plante réceptrice.^[8] Dans la cisgenèse, le gène inaltéré est introduit

dans le nouveau génome avec ses introns et ses éléments de contrôle.

Le transfert du gène est effectué de manière à ce qu'aucun grand fragment d'ADN étranger ne reste dans la plante réceptrice.

Dans l'intragenèse, l'ADN transféré est une fusion de fragments d'ADN, de combinaisons de segments de gènes ou de gènes avec des éléments de contrôle étrangers. Tout comme dans la cisgenèse, l'ADN provient de la même plante ou d'autres plantes capables d'être croisées avec celle-ci.^[9]

La cisgenèse et l'intragenèse se prêtent à l'amélioration de plantes utiles par l'intégration de gènes de résistance contre des champignons ou d'autres pathogènes qui ont été extraits de plantes sauvages. Les lignées de pommes de la variété Gala produites dans le projet *Pommes résistantes à la tavelure* du PNR 59 sont un exemple de cisgenèse.

La cisgenèse parvient au même résultat que les méthodes de croisement classiques. Les avantages consistent toutefois en ce que l'objectif de sélection est plus rapidement atteint et que toute l'information génétique restante de l'organisme récepteur est conservée.

Ces fruits sont résistants à la tavelure du pommier grâce au transfert du gène de résistance d'une pomme sauvage. Dans le processus, toutes les propriétés désirables de la variété Gala ont été conservées.^[10]

En principe, la cisgenèse atteint le même but que les méthodes de

croisement classiques. Les avantages sont toutefois que l'objectif de sélection est plus rapidement atteint et que toute l'information génétique restante de l'organisme récepteur est conservée. De plus, grâce à la

cisgenèse et l'intragenèse, l'introduction de gènes indésirables par croisement, telle qu'elle survient dans la sélection classique, est contournée. Aujourd'hui, cette nouvelle technique de sélection est appliquée non seulement aux arbres fruitiers mais aussi aux céréales et aux plantes ornementales.

Dans l'évaluation des experts du NTWG, de courtes séquences de nucléotides d'environ dix paires de bases qui, parfois, restent présentes dans le génome récep-

teur après le transfert des gènes, ne sont pas synonyme d'introduction d'ADN étranger puisque de telles séquences sont de toute manière occasionnellement présentes dans un génome. Des fragments d'ADN d'une

longueur de plus de 20 paires de nucléotides sont cependant rangés parmi les séquences étrangères. Souvent, la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* est utilisée pour les transferts de gènes dans les plantes. Selon l'évaluation des experts du NTWG, la séquence du vecteur bactérien qui demeure dans la nouvelle plante après le transfert du gène n'est toutefois pas de l'ADN étranger lorsque de telles séquences se rencontrent naturellement dans le génome de la plante ou dans le génome de plantes qui sont susceptibles d'être croisées avec la plante expérimentale.

Méthylation d'ADN dirigée par l'ARN pour la régulation de gènes (RdDM)

Lorsqu'il importe de désactiver certains gènes dans une plante, par exemple afin de modifier son comportement lors de la floraison, il est possible d'inactiver des régions promotrices par méthylation ciblée de l'ADN.^{[11][12]}

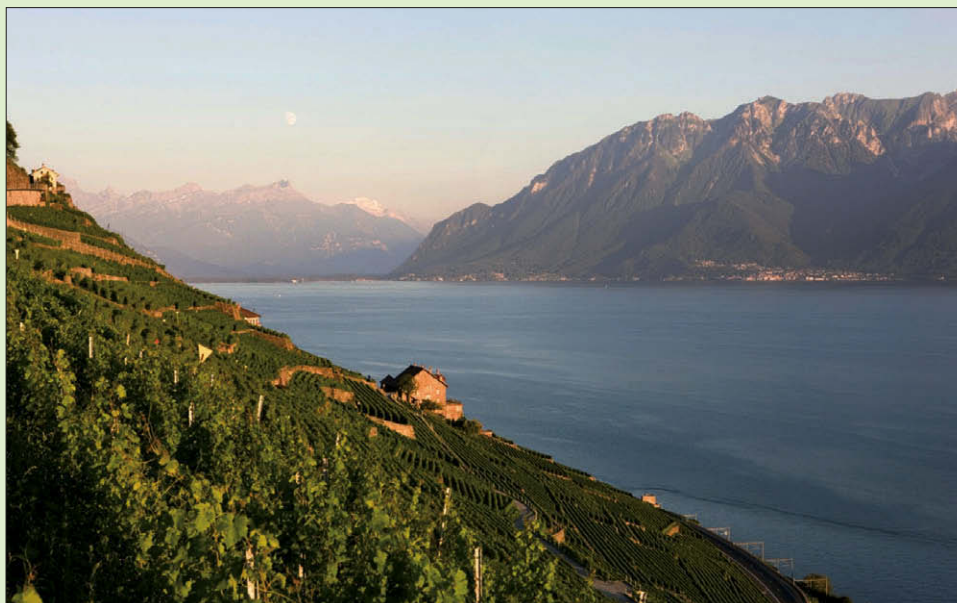
Cette dernière opération et l'inactivation de gènes font partie des systèmes naturels inhérents aux processus de régulation cellulaires végétaux et animaux. Le motif de méthylation modifié persiste dans la

prochaine génération. Pour la méthylation ciblée d'un promoteur, un double brin d'ARN portant la même séquence que le promoteur en question est introduit dans la cellule. Des enzymes propres à la cellule

De courtes séquences de nucléotides d'environ dix paires de bases qui, parfois, restent présentes dans le génome récepteur après le transfert des gènes ne sont pas considérées comme une introduction d'ADN étranger.

La méthylation de l'ADN et l'inactivation de gènes comptent au nombre des systèmes naturels inhérents aux processus de régulation cellulaires végétaux et animaux.

Illustration 4.6: L'importante région viticole du Lavaux, sur les rives du lac Léman



Les vignes sont généralement constituées d'un rameau greffé sur un porte-greffe. A l'avenir, le rameau ou le porte-greffe pourraient être génétiquement modifiés. Le choix du porte-greffe et du rameau – transgénique ou non – détermine si la plante créée est jugée génétiquement modifiée ou non. Source: cf. liste des illustrations

méthylent ensuite la séquence du promoteur appartenant au génome de la plante et identique à l'ARN introduit. Ce procédé est disponible autant pour les cellules mammifères que végétales. Lorsqu'une plante complète est régénérée à partir de la cellule végétale unique, le motif de méthylation est maintenu pendant plusieurs générations. Cette méthode permet d'inactiver un gène choisi, sans qu'une seule paire de nucléotides ne soit échangée dans l'organisme. Cette technique a déjà été testée avec la plante modèle

Arabidopsis thaliana. Actuellement, le procédé est en passe d'être étendu à d'autres plantes.^[13]

Greffage sur des porte-greffes

Une méthode qui se révèle importante est la modification génétique de plantes dont n'est ensuite utilisée que la souche portant les nouvelles propriétés. Lorsque du riz non transgénique est greffé sur un porte-greffe génétiquement modifié, il est, par exemple, possible de générer une résistance du rameau à un ravageur ou une production

Illustration 4.7: Récolte de choux en Suisse



Une transformation génétique à l'aide du «floral dip» pourrait être appliquée à la production du chou. Cette technique n'est toutefois mise en œuvre que dans la recherche portant sur une plante modèle. Source: cf. liste des illustrations

accrue de fruits sur des sols sursalés.^[14] Le greffage sur porte-greffes génétiquement modifiés est, entre autres, appliqué avec succès dans le cas des cucurbitacées, des arbres fruitiers et de la vigne. Il a été prouvé que seuls des produits métaboliques, des cytokines ou de l'ARN sont transportés de la racine vers le rameau, et non pas des gènes chromosomiaux.^[15] Il convient de se demander si de telles plantes chimériques doivent être considérées comme des OGM. Etant donné que le porte-greffe est capable de former un rameau pouvant à son tour produire du

pollen et des fruits génétiquement modifiés, cette plante est clairement génétiquement modifiée. En revanche, les experts du NTWG ont déterminé que les fruits, semences ou pollens du rameau non modifié ne sont pas génétiquement modifiés. Ceux-ci ne portent pas de transgène et ne sont par conséquent en aucun cas capable de conduire à des plantes transgéniques. Lorsque, inversement, un rameau transgénique est greffé sur un porte-greffe non transgénique, la plante entière, y compris son pollen et ses fruits, sont classifiés comme génétiquement modifiés.

«Reverse breeding»

Alors que dans la sélection classique de variétés hybrides deux lignées de départ appropriées sont croisées dans le but d'obtenir l'hybride désiré, la nouvelle méthode procède inversement. Un hybride présentant les caractéristiques désirées est sélectionné. A partir de cette plante unique, le cultivateur génère, par l'intermédiaire de multiples étapes, deux plantes parentes dont le croisement crée à nouveau des hybrides.^{[16][17]} Ce procédé est utilisé dans la sélection commerciale. D'autres méthodes destinées à produire de telles lignées parfaitement homozygotes pour la sélection de variétés hybrides ont été publiées récemment.^[18]

Agroinfiltration et «floral dip»

Les bactéries de l'espèce *Agrobacterium tumefaciens* sont naturellement capables de transférer un fragment de leur ADN à des cellules végétales. Cette faculté est exploitée pour introduire des morceaux d'ADN portant un gène spécifique dans des cellules végétales. Dans la plante, le gène dirige ensuite la production d'une protéine désirée. Pour ce procédé, le gène choisi est introduit dans l'ADN de l'agrobactérie. Une partie de la plante, par exemple une feuille, est ensuite infiltrée par une suspension d'agrobactéries. Grâce au transfert d'ADN, une forte expression du gène, localement

limitée dans le tissu végétal, est obtenue sans que l'ADN soit intégrée de manière stable dans le génome de la plante. Les avantages de cette méthode sont sa rapidité, sa simplicité et l'expression élevée du gène. Ainsi, il est possible de produire et d'isoler très rapidement et en grandes quantités une protéine dans la plante. Ou

alors des constructions génétiques particulières peuvent être testées quant à leur expression dans différents végétaux.

Dans une autre application du procédé, du tissu végétal contenant des cellules germinales

(p.ex. des fleurs) est soumis à une infiltration avec la bactérie («floral dip»). Des embryons transformés de manière stable en sont ensuite isolés. Cette méthode constitue actuellement la procédure standard pour la transformation de la plante modèle *Arabidopsis thaliana* et elle a également fait ses preuves dans le cas du colza, du chou et d'autres plantes utiles.

En matière de classification dans les directives de l'UE, les agrobactéries génétiquement modifiées sont des OGM. Concernant la question de savoir si les plantes dont les feuilles ont été soumises à l'agroinfiltration sont à considérer comme des OGM, les avis étaient partagés au sein du NTWG. Les experts tombaient toutefois d'accord qu'en absence d'ADN intégré de façon stable, les descendants de cette plante ne sont pas des PGM.

En revanche, les descendants isolés après le «floral dip» et présentant de l'ADN intégré sont indéniablement des PGM. La production commerciale de substances biologiques de haute valeur par agroinfiltration, notamment dans le tabac, est déjà pratiquée.

Biologie synthétique

Au départ, cet ensemble de nouvelles techniques devait être traité par le NTWG sous le nom de «biologie synthétique».

Ce terme mal défini sous-entend des objectifs, procédés et applications très variés, et inclut, entre autres, la construction de circuits biorégulateurs qui réagissent à des stimulations externes. Il comprend également la synthèse de protocellules, d'une part porteuses de propriétés de cellules vivantes, mais d'autre part privées de répllication autonome. Un autre objectif est la conception de cellules minimales pouvant ensuite être pourvues de voies métaboliques

artificielles, dans le but de synthétiser de nouvelles biomolécules. Celles-ci peuvent être utilisées dans la pharmacie, en tant que source d'énergie ou comme matériel d'emballage.

Au sein de la biologie synthétique, la synthèse de gènes, de groupes de gènes, de combinaisons inédites de gènes et de génomes entiers représente un domaine im-

portant. La substitution d'un génome microbien par un génome artificiellement synthétisé a récemment été réalisée.^[19] Cette nouvelle technique permet aussi de produire de nouveaux acides nucléiques présentant un code génétique modifié ou des

bases inédites, et débouche sur des possibilités d'application très variées dans la biotechnologie. C'est pour cette raison que, parmi ces nouvelles techniques, le terme

restrictif de «synthetic genomics» a été choisi dans un premier temps.

Selon les directives de l'UE, la synthèse de nouveaux génomes et leur transfert dans une autre cellule produisent manifestement un OGM, à condition que les cellules portant le nouveau génome soient capables de se répliquer. Lorsque

l'acide nucléique synthétisé est introduit dans un compartiment qui ne se réplique pas et se révèle incapable de transmettre cette molécule à une cellule vivante, il ne s'agit manifestement pas d'une cellule

Grâce au transfert d'ADN au moyen des agrobactéries, une forte expression localement limitée du gène est obtenue dans le tissu végétal, sans que l'ADN soit intégré durablement dans le génome de la plante.

La «biologie synthétique» offre de multiples possibilités d'application dans la biotechnologie. Selon les directives de l'UE, cette technique débouche clairement sur un OGM lorsque les cellules nouvellement synthétisées sont capables de se répliquer.

et donc pas d'un OGM tel que défini par les directives de l'UE. Jusqu'à présent, une application commerciale de la «biologie synthétique» n'est pas connue.

LE STATUT OGM DES NOUVELLES TECHNIQUES

Les nouvelles techniques font usage des acides nucléiques de manières différentes. On distingue quatre catégories de procédés.

1. Des acides nucléiques courts, synthétisés in vitro, sont introduits dans des cellules où ils sont capables de provoquer des mutations ponctuelles, sans toutefois être intégrés génomiquement (exemple: mutagenèse dirigée par des oligonucléotides). Il ne s'agit pas d'une technique soumise aux directives de l'UE puisque les oligonucléotides utilisés ne sont pas du matériel génétique au sens du terme défini par ces directives. Officiellement, les organismes génétiquement modifiés ne sont pas des OGM puisque les mutants obtenus par mutagenèse sont explicitement exclus des directives de l'UE.
2. La présence passagère de molécules recombinantes d'ADN dans des cellules est un état intermédiaire qui se rencontre dans plusieurs techniques. Cependant, l'ADN n'est pas intégré dans le génome et il ne se réplique pas par lui-même. Il ne sert qu'à former transitoirement certaines enzymes (p.ex. la ZFN-1 et la ZFN-2) ou des molécules d'ARN (p.ex. dans la RdDM). Dans le sens défini par les directives de l'UE, ces

cellules intermédiaires ne sont pas des OGM, du fait de l'absence de réplication des molécules recombinantes et du non-transfert durable d'information aux cellules descendantes. En fin de procédure, il n'y a plus d'ADN recombinant dans ces organismes. Le génotype (ZFN-1, ZFN-2) ou le phénotype (RdDM) des plantes a toutefois été modifié à souhait.

3. Dans un ensemble de techniques, un OGM est créé dans un premier temps, mais l'ADN intégré est supprimé plus tard par croisement («reverse breeding») ou par excision locale de gènes étrangers dans le génome (cis-génèse). La plante finale est dépourvue d'ADN recombinant. Ces organismes ne sont pas des OGM.
4. Certaines techniques produisent des organismes modifiés génétiquement de manière durable. Il s'agit d'organismes produits par la technique ZFN-3, de plantes greffées pourvues d'un porte-greffe transgénique ainsi que d'organismes présentant un nouveau génome créé synthétiquement. Ces techniques, ou les organismes qui en résultent, sont clairement soumis aux directives de l'UE, à l'exception des descendants de plantes de riz greffées sur un porte-greffe transgénique.

On distingue quatre catégories de nouvelles techniques. Une seule d'entre elles produit des organismes modifiés génétiquement de manière durable qui doivent être évalués selon les directives de l'UE. Il n'empêche que dans la compréhension générale, toutes les techniques sont qualifiées de «génie génétique».

Conclusions et recommandations

1. Il n'existe pas de raison scientifique d'évaluer différemment les plantes utiles produites par des méthodes classiques et celles produites par des procédés de génie génétique. Il importe que le produit lui-même (donc la plante) et non pas la technologie utilisée pour sa création soit au premier plan de l'évaluation des risques. En tant que produit biologique, les lignées génétiquement modifiées, tout comme de nouvelles lignées sélectionnées par des méthodes classiques, sont à évaluer sous l'angle de leur tolérance par l'homme, l'animal et l'environnement, et doivent être adaptées aux concepts agronomiques en place.
2. Grâce aux techniques génétiques les plus récentes, les différences entre les plantes sont minimes, voire absentes. Selon les directives de l'UE, les produits de ces nouvelles techniques ne sont pas des OGM. A l'avenir, il doit être tenu compte de cette situation lors de l'évaluation d'essais de dissémination et dans le cadre de la déclaration des denrées.
3. Au vu des multiples possibilités d'application des nouvelles techniques, il paraît raisonnable de communiquer publiquement, avant toute mise en œuvre, les bases scientifiques et leurs avantages, et d'en expliquer les conditions-cadres légales. Semblable démarche est propre à encourager leur acceptation, sans quoi les réticences, notamment concernant la parenté supposée ou effective avec le génie génétique, risquent de limiter fortement les excellentes perspectives de ces techniques en matière de sélection végétale.
4. Au cours des dernières années, la sélection végétale moderne a évolué de manière extrêmement rapide. Des plantes de culture génétiquement modifiées combinant plusieurs caractéristiques différentes sont aujourd'hui disponibles, et leur utilisation gagne en importance. Si l'on retient les bases valables pour la Suisse, on constate qu'une résistance combinée à un herbicide et à une maladie conduirait à une rentabilité significativement meilleure des PGM. A l'avenir, il convient d'évaluer la signification économique des PGM pour la Suisse en se servant de plantes développées récemment et portant de nouveaux traits combinés.

LITTÉRATURE

- [1] Kuzma, J., Kokotovich, A. (2011) Renegotiating GM crop regulation. *EMBO Reports* 12, 883-888.
- [2] Official Journal of the European Communities (1990) Council Directive 90/219/EC on the contained use of genetically modified micro-organisms. *OJ L* 117, 1-14.
- [3] Official Journal of the European Communities (2001) Council Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing. *OJ L* 106, 1-39.
- [4] Simon, P., Cannata, F., Concordet, J.P., Giovannangeli, C. (2008) Targeting DNA with triplex-forming oligonucleotides to modify gene sequence. *Biochimie* 90, 1109-1116.
- [5] Storici, F. (2008) RNA-mediated DNA modifications and RNA-templated DNA repair. *Curr Opin Molec Therapeutics* 10, 224-230.
- [6] Urnov, F.D., Rebar, E.J., Holmes, M.C., Zhang, H.S., Gregory, P.D. (2010) Genome editing with engineered zinc finger nucleases. *Nat Rev Genet* 11, 636-646.
- [7] ZKBS (2011) Allgemeine Stellungnahme der ZKBS zur Verwendung der Zinkfinger-Nuklease-Technik 1 (ZFN-1). *Az.* 6790-10-103.
- [8] Jacobsen, E., Schouten, H.J. (2007) Cisgenesis strongly improves introgression breeding and induced translocation breeding of plants. *Trends Biotechnol* 25, 219-223.
- [9] Rommens, C.M. (2007) Intragenic crop improvement: combining the benefits of traditional breeding and genetic engineering. *J Agric Food Chem.* 55, 4281-4288.
- [10] Vanblaere, T., Szankowski, I., Schaart, J., Schouten, H., Flachowsky, H., Broggini, G.A., Gessler, C. (2011) The development of a cisgenic apple plant. *J Biotechnol* 154, 304-311.
- [11] Baev, V., Naydenov, M., Apostolova, E., Ivanova, D., Doncheva, S., Minkov, I., Yahubyan, G. (2010) Identification of RNA-dependent DNA-methylation regulated promoters in *Arabidopsis*. *Plant Physiol Biochem* 48, 393-400.
- [12] Law, J.A., Jacobsen, S.E. (2010) Establishing, maintaining and modifying DNA methylation patterns in plants and animals. *Nat Rev Genet* 11, 204-220.
- [13] Schmitz, R.J., Zhang, X. (2011) High-throughput approaches for plant epigenomic studies. *Curr Opin Plant Biol* 14, 130-136.
- [14] Ghanem, M.E., Albacete, A., Smigocki, A.C. et al (2011) Root-synthesized cytokinins improve shoot growth and fruit yield in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *J Exp Bot* 62, 125-140.
- [15] Stegemann, S., Bock, R. (2009) Exchange of genetic material between cells in plant tissue grafts. *Science* 324, 649-651.
- [16] Dirks, R., van Dun, K., de Snoo, C.B. et al (2009) Reverse breeding: a novel breeding approach based on engineered meiosis. *Plant Biotechnol J* 7, 837-845.
- [17] Wijnker, E., van Dun, K., de Snoo, B. et al. (2012) Reverse breeding in *Arabidopsis thaliana* generates homozygous parental lines from a heterozygous plant. *Nature Genetics, Nat Genet* 44, 467-470.
- [18] Chan, S.W.L. (2010) Chromosome engineering: power tools for plant genetics. *Trends Biotechnol* 28, 605-610.
- [19] Gibson, D.G., Glass, J.I., Lartigue, C. et al (2010) Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. *Science* 329, 52-56.

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

Signification du génie génétique vert pour la sécurité alimentaire dans les pays du tiers monde

La biotechnologie végétale peut contribuer significativement à la résolution de problèmes alimentaires pressants à l'échelle mondiale. Toutefois, les conditions d'autorisation pour les produits génétiquement modifiés sont bien plus sévères que pour d'autres denrées. Cette situation soulève des questions morales.

Le génie génétique dit «vert» a été développé dans le but de permettre à l'homme de résoudre des problèmes pratiques en mettant à profit des connaissances scientifiques en biologie moléculaire et en génétique. Ce développement a été rendu possible grâce à une collaboration étroite entre la recherche universitaire et privée, entre les secteurs public et privé. Depuis la commercialisation de soja transgénique par l'entreprise Monsanto, une opposition de plus en plus forte et radicale s'est manifestée contre le génie génétique en Europe.

Ainsi, le génie génétique vert a acquis la réputation d'être une technologie au service des grandes

Le génie génétique vert a la réputation d'être une technologie au service des grandes entreprises agronomiques multinationales.

entreprises agronomiques multinationales qui soumettent l'approvisionnement alimentaire mondial au monopole de quelques entreprises seule-

ment. Ces craintes ont été renforcées par le brevetage de produits, le rachat de sociétés de participation et d'entreprises semencières de taille moyenne ainsi que la concentration sur un petit nombre d'entreprises

actives à l'échelle internationale.

Le public croit que les organisations non gouvernementales ne défendent pas d'intérêts propres.

Au vu de cette situation, le lobby anti-génie génétique a pu convaincre sans peine les

médias, des politiciens et le grand public qu'il était moralement indispensable de mettre un terme à cette évolution. Dans cette lutte contre le génie génétique, les moyens les plus efficaces ont consisté en une régulation légale spécifique concernant

Ingo Potrykus

Professeur émérite, sciences végétales
EPF Zurich

l'utilisation de plantes transgéniques, la diffusion par les médias de scénarios de risques hypothétiques, le vandalisme lors de disséminations ainsi que l'obtention de soutiens financiers pour les campagnes anti-génie génétique. De plus, les scientifiques qui défendaient la technologie se faisaient discréditer et décrire comme étant «des assistants complaisants des entreprises agrobiotechnologiques multinationales». En revanche, le public croit volontiers que les organisations non gouvernementales ne défendent pas d'intérêts propres et que leurs déclarations sont par conséquent plus crédibles. Les médias, les politiciens et le public n'étant pas en état de déterminer quelle opinion reflète la vérité, il se développe très rapidement un marché d'experts qui ne disposent pas de qualifications scientifiques suffisantes.

Pourtant, toute personne en quête d'informations exemptes d'idéologie devrait reconnaître que les académies scientifiques sont les meilleurs garants de l'impartialité des connaissances.

L'étude des publications d'académies scientifiques sur le thème des «plantes transgéniques» révèle une image qui ne pourrait guère différer plus fortement de l'opinion publique. Un exemple parmi tant d'autres illustrant ce décalage entre les connaissances scientifiques et l'opinion publique est une publication de l'Académie pontificale des sciences.^[1] Elle est le résultat d'une semaine d'étude au Vatican qui a eu lieu en mai 2009 sur le thème «Plantes transgéniques pour la sécurité alimentaire dans le contexte du développement international». N'ayant ici que la possibilité d'en faire un résumé très sommaire, je renvoie à la traduction allemande d'un condensé facilement accessible.^[2]

- L'évolution démographique, le changement climatique et la diminution des ressources agricoles menacent fortement la sécurité alimentaire au futur.

- L'utilisation responsable de plantes transgéniques peut contribuer à écarter cette menace.
- Il n'existe pas de facteurs inhérents à la technologie qui rendent les plantes ou les aliments génétiquement modifiés peu sûrs ou dangereux.
- Appliqué de manière appropriée et responsable, le génie génétique est susceptible de favoriser considérablement l'augmentation de la productivité agricole et la qualité des denrées alimentaires.
- L'histoire de l'amélioration génétique des plantes de culture représente un continuum de techniques de plus en plus précises et prédictibles.
- Le bénéfice exceptionnel tiré de la technologie a maintes fois été prouvé dans la pratique.
- Les plantes génétiquement modifiées peuvent être d'une grande importance pour les petits paysans et les éléments vulnérables de populations rurales pauvres, en particulier les femmes et les enfants.
- Le génie génétique est de nature à réduire le recours à des méthodes de préparation du sol dommageables et dispendieuses d'énergie, tout en augmentant la biodiversité.
- Les effets prévisibles du changement climatique nécessitent la mise en œuvre du génie génétique conjointement avec d'autres techniques de sélection.
- Les procédures de régulation coûteuses doivent être remplacées par des procédures scientifiquement justifiables.
- Les efforts actuellement en cours dans la recherche universitaire et visant la génération de

«Il en résulte un impératif moral de faire profiter à grande échelle les couches pauvres et défavorisées de la population des avantages du génie génétique.»

Académie pontificale des sciences

variétés améliorées grâce à des techniques de génie génétique méritent le plus grand soutien.

- Le défi nécessite des solutions urgentes. Une aide qui n'a pas été fournie en temps utile ne saurait plus être rattrapée par la suite.
- Il en résulte un impératif moral de faire profiter à grande échelle les couches pauvres et défavorisées de la population des avantages du génie génétique, d'améliorer leur niveau de vie et leur santé et de protéger leur environnement.

Les répercussions négatives considérables que sont susceptibles d'avoir la réglementation en vigueur et les activités des opposants au génie génétique sur la vie et la santé de millions de pauvres dans les pays en voie de développement peuvent être démontrées à l'aide d'un projet qui ne poursuit que des intérêts publics et humanitaires.

Le projet «Golden Rice»

Entre 1991 et 1999 à l'EPF de Zurich, nous avons posé les bases scientifiques pour un riz contenant plus de provitamine A, en collaboration avec l'Université de Fribourg-en-Brisgau (D). Le projet a été financé au moyen de fonds publics. Le but était de contribuer à une réduction de la carence en vitamine A dans les couches pauvres de la population, dont l'alimentation dépend essentiellement du riz. L'approvisionnement en vitamine A est problématique pour environ 190 millions d'enfants et 19 millions de femmes enceintes. Finalement, nous avons développé le riz dit «Golden Rice» qui contient de la provitamine

A en quantités suffisantes à contrecarrer la carence en vitamine A de ces personnes – au moyen d'une demi-tasse de riz par jour, dans le cadre de l'alimentation normale.^[3] Présentement, il est prévu de mettre des variétés de «Golden Rice» gratuitement à disposition d'agriculteurs de subsistance aux Philippines dès 2013. Suivront le Bangladesh en 2014, l'Inde et le Vietnam en 2015, et l'Indonésie et la Chine d'ici 2016.

L'étude des publications d'académies scientifiques sur le thème des plantes transgéniques révèle une image qui ne pourrait guère différer plus fortement de l'opinion publique.

Les obstacles sont considérables

Une percée scientifique, si bonne soit-elle, est sans valeur tant qu'il n'en résulte pas un produit accessible aux nécessiteux. Malheureusement, nous avons dû apprendre, au cours des douze dernières années, ce que signifie vouloir mettre à disposition, en tant que bien public, un produit génétiquement modifié. Les leçons tirées de ce projet sont les suivantes:

- Le secteur public n'a ni l'expérience, ni la compétence, ni les moyens de développer un produit génétiquement modifié. Afin de résoudre ce problème, il est conseillé d'avoir recours à des «partenariats public-privé» tels que ceux adoptés pour le «Golden Rice».
- En raison des conditions et des exigences imposées par la loi, le développement d'un produit génétiquement modifié demande dix à douze ans de plus que celui d'un produit comparable sans recours au génie génétique.
- Les coûts du développement et de la dérégulation d'un produit génétiquement modifié sont dix fois plus élevés que ceux engendrés par la mise

au point d'un produit sans génie génétique. Ces frais se sont élevés à 20 millions d'euros pour le «Golden Rice».

- Il résulte de cette situation que, pour des raisons de coûts et de temps, les institutions publiques ou les petites et moyennes entreprises ne sont plus en mesure de développer des produits génétiquement modifiés. Par conséquent, le génie génétique n'est économiquement intéressant que pour la résolution de problèmes permettant de réaliser un retour sur investissement de plus de 35 millions d'euros.
- Le grand potentiel de la technologie pour résoudre des problèmes pressants d'intérêt public ne peut pas se déployer tant que la régulation juridique en place est maintenue.
- Le «Golden Rice» est l'exception qui confirme la règle. Il s'agit d'un produit réalisé par la collectivité, autrement dit un bien appartenant à tous et servant à la résolution d'un problème collectif. Mais on ne pourra pas escompter une nouvelle fois un soutien aussi généreux de la part de fondations et du secteur privé.
- Rien qu'en Inde, le «Golden Rice» a le potentiel de sauver chaque année environ 40'000 enfants de la cécité et de la mort; le chiffre se monterait à plusieurs centaines de milliers pour l'ensemble des pays cités plus haut. La régulation juridique pour les plantes génétiquement modifiées est responsable d'un retard de plus de dix ans pris dans la mise en œuvre de ce projet et, dès lors aussi, de la mort et de la cécité de millions de personnes.

LITTÉRATURE

- [1] Potrykus, I., Ammann, K. (2010) Transgenic Plants for Food Security in the Context of Development. Proceedings of a study week of the Pontifical Academy of Sciences. New Biotechnol. 27(5), 443-717.
- [2] Transgene Pflanzen für die Ernährungssicherung im Kontext der internationalen Entwicklung. Forum Grüne Vernunft e.V. La brochure (en allemand) peut être commandée gratuitement par e-mail à l'adresse: info@gruenevernunft.de ou téléchargée en français sous: www.ask-force.org
- [3] Site Internet du projet «Golden Rice»: www.goldenrice.org

La liste de la littérature et les liens correspondants se trouvent sur le CD ci-joint.

LISTE DES PROJETS

278

Nom du projet	Titre du projet
Adhérence de protéines Bt à des surfaces de sol minérales et organiques	Adhérence des protéines Cry transgéniques à des surfaces de sol minérales et organiques: conséquences sur le destin et l'activité biologique de produits transgéniques dans l'environnement
Analyse coûts-bénéfices de la légalisation d'OGM	Coexist: analyse du coût de la coexistence des plantes génétiquement modifiées dans les exploitations de culture suisses
Comparaison des PGM dans les systèmes agricoles conventionnels, intégrés et biologiques	Analyse comparative systématique de l'impact des plantes génétiquement modifiées sur les systèmes agricoles suisses conventionnels, intégrés et biologiques
Comportement écologique du blé transgénique	Le comportement écologique du blé transgénique et non transgénique dans divers environnements abiotiques et biotiques
Concepts relatifs à l'accomplissement de l'information publique conformément à la LGG	Concepts relatifs à l'accomplissement de l'information publique conformément à la LGG: harmonisation des réserves sociopolitiques, réglementations juridiques et connaissances scientifiques
Conséquences écologiques du transfert de transgènes du blé vers une graminée sauvage apparentée	Conséquences génétiques et écologiques de l'introggression de blé transgénique dans une plante sauvage apparentée, <i>Aegilops cylindrica</i> : une expérience en champ
Dynamique de population des champignons mycorhiziens parmi les fraises	Dynamique de population des champignons mycorhiziens à arbuscule parmi les fraises transgéniques et leurs espèces sauvages apparentées
Ecologie et analyse moléculaire du blé génétiquement modifié	Résistance à l'oïdium et autres champignons nuisibles. Comportement en plein champ et analyse moléculaire du blé génétiquement modifié ayant deux gènes d'orge

Direction du projet

<p>Prof. Dr René Schwarzenbach Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik EPF Zurich</p>	<p>Dr Michael Sander Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik EPF Zurich</p>
--	--

Dr Stefan Mann
 Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
 Tänikon, Ettenhausen

Dr Lucius Tamm
 Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL)
 Frick

Prof. Dr Bernhard Schmid
 Institut für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften
 Universität de Zurich

Prof. Dr Rainer J. Schweizer
 Rechtswissenschaftliche Abteilung
 Universität de St.-Gall

PD Dr François Felber
 Musée et jardins botaniques cantonaux
 Université de Lausanne

Prof. Dr Andres Wiemken
 Botanisches Institut
 Université de Bâle

<p>PD Dr Christof Sautter Institut für Pflanzenwissenschaften EPF Zurich</p>	<p>Dr Fabio Mascher-Frutschi Agroscope Changins-Wädenswil ACW Nyon</p>
---	---

Nom du projet	Titre du projet
Etude de littérature Ecologie et risques	Synthesis and overview studies to evaluate existing research and knowledge on biological issues on GM plants of relevance to Swiss environments
Etude de littérature Santé	Medical issues related to genetically modified plants of relevance to Switzerland
Etude de littérature Société, économie agricole et coexistence	Genetically Modified Crop Production: Social Sciences, Agricultural Economics, and Costs and Benefits of Coexistence
Evaluation des effets sur l'environnement des plantes génétiquement modifiées	Evaluation des effets sur l'environnement des plantes génétiquement modifiées: critères écologiques et éthiques de décision pour la régulation
Fonction du gène de résistance à l'oïdium dans le blé génétiquement modifié	Analyse de la fonction du gène de résistance Pm3 dans le blé transgénique
Fondements des objectifs de protection dans le traitement des plantes génétiquement modifiées	Fondements des objectifs de protection dans le traitement des plantes génétiquement modifiées
Fraises transgéniques et leurs parentes sauvages	Fraises transgéniques et leurs parentes sauvages – un modèle possible pour une extermination par hybridation
Génie génétique dans les écoles (partie A)	Politique suisse de formation et technologie bio-agraire: le défi de rendre les élèves aptes à un propre jugement moral

Direction du projet

<p>Prof. Dr Detlef Bartsch Membre du Comité de direction du PNR 59 Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit Berlin (D)</p>	<p>Dr Jeremy Sweet Membre du Comité de direction du PNR 59 Conseiller en environnement et en recherche Cambridge (UK)</p>
---	---

<p>Dr Karoline Dorsch-Häsler Membre du Comité de direction du PNR 59 Ancien membre de la Commission fédérale d'experts pour la sécurité biologique Ittigen</p>	<p>Prof. Dr Karin Hoffmann-Sommergruber Membre du Comité de direction du PNR 59 (jusqu'en août 2007) Institut für Pathophysiologie Université de Vienne (A)</p>
---	--

<p>Prof. Dr Joachim Scholderer Membre du Comité de direction du PNR 59 Département de marketing et statistique Aarhus School of Business (DK)</p>	<p>Prof. Wim Verbeke Membre du Comité de direction du PNR 59 Département d'économie agricole Université de Gand (B)</p>
---	---

<p>Dr Franz Bigler Agroscope Reckenholz-Tänikon ART Zurich</p>	<p>Prof. Dr Klaus Peter Rippe Ethik im Diskurs Zurich</p>
---	--

<p>Prof. Dr Beat Keller Institut für Pflanzenbiologie Université de Zurich</p>	
---	--

<p>PD Dr Daniel Ammann daniel ammann consulting dacon Zurich</p>	<p>Ing. dipl. Hans Bohnenblust Ernst Basler + Partner AG Zollikon</p>
---	--

<p>Prof. Dr Andreas Erhardt Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz Université de Bâle</p>	
--	--

<p>Prof. Dr Fritz Oser Département des sciences de l'éducation Université de Fribourg</p>	
--	--

Nom du projet	Titre du projet
Génie génétique dans les écoles (partie B)	Politique suisse de formation et technologie bio-agraire: le défi de rendre les élèves aptes à un propre jugement moral
Impact des plantes transgéniques sur la fertilité des sols	L'impact des plantes transgéniques sur la fertilité de sols ayant divers historiques de gestion de culture
Influence du blé génétiquement modifié sur la décomposition de la biomasse par les organismes du sol	Influence de la culture de blé génétiquement modifié sur la décomposition de la biomasse génétiquement modifiée par les arthropodes du sol et les annélides
Influence du blé génétiquement modifié sur les bactéries du sol	Influence du blé génétiquement modifié sur la diversité et sur la fonction des bactéries du sol contribuant à la croissance des plantes
Influence du blé génétiquement modifié sur les réseaux alimentaires des insectes	Influence du blé transgénique sur les insectes herbivores et les réseaux alimentaires des insectes
Interaction des champignons mycorhiziens avec le blé transgénique	Interaction des champignons mycorhiziens à arbuscule avec le blé transgénique et non transgénique
Interactions du maïs Bt avec l'écosystème du sol	Interactions multitrophiques d'un maïs transgénique <i>Bacillus thuringiensis</i> (Bt) avec l'écosystème du sol
Le génie génétique vert présenté au public	Le génie génétique vert présenté au public
Légitimité, émotions, confiance et acceptation des PGM	Légitimité, émotions, confiance et acceptation des plantes génétiquement modifiées

Direction du projet

Dr Philipp Aerni
Institut für Umweltentscheidungen
EPF Zurich

Dr Paul Mäder
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL)
Frick

Prof. Dr Wolfgang Nentwig
Institut für Ökologie und Evolution
Universität de Berne

Dr Monika Maurhofer
Institut für Integrative Biologie
EPF Zurich

Dr Christoph Keel
Département de microbiologie fondamentale
Université de Lausanne

Dr Jörg Romeis
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART
Zurich

Prof. Dr Thomas Boller
Botanisches Institut
Universität de Bâle

Dr Claudia Zwahlen
Institut de biologie
Université de Neuchâtel

Prof. Dr Ted Turlings
Institut de biologie
Université de Neuchâtel

Prof. Dr Heinz Bonfadelli
Institut für Publizistikwissenschaft
und Medienforschung (IPMZ)
Universität de Zurich

Prof. Dr Michael Siegrist
Institut für Umweltentscheidungen
EPF Zurich

Nom du projet	Titre du projet
Mise en œuvre de la régularisation juridique concernant l'utilisation de PGM dans la production végétale	Coexistence de la production de plantes avec et sans technique génétique – possibilités de régularisation juridique et réalisation dans la pratique (projet de coexistence)
Modèle de prédiction des contaminations dans les semences	La pureté de la semence en tant qu'une des clés de la détermination de valeurs limites appropriées pour une coexistence opérationnelle
Pommes résistantes à la tavelure	Des pommes génétiquement modifiées rendues résistantes à la tavelure uniquement avec des gènes de pomme
Préférences aux aliments génétiquement modifiés dans le cadre d'expériences de marketing direct	Préférences aux aliments génétiquement modifiés dans le cadre d'expériences de marketing direct en Suisse: la question du vendeur joue-t-elle un rôle?
Transmission de transgènes du blé vers des espèces sauvages apparentées	Potentiel de transmission de séquences transgéniques du blé vers les espèces sauvages apparentées <i>Aegilops sp.</i>
Travail de terrain et logistique de l'essai en champ avec du blé génétiquement modifié	Travail de terrain et logistique
Vaccin produit dans le tabac	Plantes génétiquement modifiées utiles à la Suisse: développement et production d'une plante GM tenant compte des doutes et besoins de la Suisse
Vaccination de poissons avec des algues vertes transgéniques	Vaccination de poissons avec des transformants chloroplastiques de <i>Chlamydomonas</i> exprimant des antigènes bactériens

Direction du projet

Prof. Dr Rainer J. Schweizer
Rechtswissenschaftliche Abteilung
Universität de Saint-Gall

Prof. Dr Peter Stamp
Institut für Pflanzenwissenschaften
EPF Zurich

Dr Christian Ochsenbein
Haute école suisse d'agronomie (HESA)
Zollikofen

Biol. dipl. Bernadette Oehen
Institut de recherche de l'agriculture biologique (FiBL)
Frick

Prof. Dr Cesare Gessler
Institut für Integrative Biologie
EPF Zurich

Dr Philipp Aerni
Institut für Umweltentscheidungen
EPF Zurich

PD Dr François Felber
Musée et jardins botaniques cantonaux
Université de Lausanne

Dr Roberto Guardagnuolo
Laboratoire de botanique évolutive
Université de Neuchâtel

Prof. Dr Beat Keller
Institut für Pflanzenbiologie
EPF Zurich

Prof. Dr Felix Kessler
Institut de biologie
Université de Neuchâtel

Prof. Dr Michel Goldschmidt-Clermont
Département de biologie moléculaire et
Département de botanique et biologie végétale
Université de Genève

Prof. Dr Joachim Frey
Faculté Vetsuisse
Université de Berne

GLOSSAIRE

ADN | L'acide désoxyribonucléique est une biomolécule à longue chaîne présente dans tous les organismes vivants et porteuse de l'information génétique.

Adsorption | Définition générale: adhérence de particules ou de molécules à une surface. Ici, plus particulièrement: enrichissement de protéines à la surface d'une particule du sol. La structure poreuse et spongieuse de celle-ci est en mesure de retenir des molécules (telles que des protéines) et de les stocker pendant un certain temps.

Allèle | Différentes variantes d'un gène donné.

Ammoniac | Gaz qui se développe lors de la décomposition d'excréments animaux, de purin ou d'autres substances organiques. Dans l'atmosphère, il se lie à l'acide sulfurique ou nitrique provenant d'effluents gazeux produits par l'industrie ou la circulation. Il en résulte, entre autres, du sulfate et du nitrate d'ammonium, substances qui pénètrent dans le sol par l'intermédiaire de l'eau de pluie et qui y exercent un effet fertilisant sur les plantes.

Annélides | Animaux vermiformes à corps segmenté; les plus connus sont les lombrics.

Anticorps | Protéines circulant dans le sang et produites par des cellules du système immunitaire. Elles sont partie intégrante de la défense spécifique du système immunitaire et se fixent à des intrus, tels les bactéries ou les virus, ou alors à des substances étrangères au corps qui sont ainsi reconnues et digérées par les cellules dites phagocytaires.

ARN | L'acide ribonucléique est un acide nucléique composé d'une longue chaîne de → nucléotides. La fonction essentielle de l'ARN est la conversion de l'information génétique en protéines. En l'occurrence, il transmet l'information sous forme d'ARNm. De plus, des types particuliers d'ARN remplissent d'autres fonctions dans différents systèmes biologiques.

ARNm | Avant qu'une cellule ne puisse produire une protéine donnée, les instructions de fabrication doivent être activées dans le → matériel héréditaire et être transcrites en ARN messager (ARNm). Celui-ci représente en quelque sorte un plan pour la construction des protéines.

Arthropodes | Animaux dont le corps est constitué de segments articulés et vivant sur/dans le sol ou l'eau. Des exemples en sont les insectes, les araignées, les acariens et les crustacés.

Avantage de sélection | → Sélection.

Bacillus thuringiensis | Bactérie présente naturellement dans le sol. Les différentes souches produisent différentes protéines (→ protéines Cry), lesquelles sont éventuellement en état de nuire à d'autres organismes du sol.

Biotechnologie | Technologie se basant sur des organismes vivants ou des systèmes biologiques. Elle inclut autant le génie génétique que la fabrication du yogourt.

Bobwhite | → Variété mexicaine de blé sélectionnée par des méthodes conventionnelles, hautement susceptible à → l'oïdium testé dans les essais en plein champ. Cette variété est plus simple à modifier génétiquement que la plupart des autres sortes de blé.

Caryophyllène | Substance odorante libérée par le maïs lorsqu'un ravageur attaque la plante.

Cellule somatique | Cellule du corps ne faisant pas partie de la → lignée germinale. Les modifications génétiques dans les cellules somatiques ne sont pas transmises à la génération suivante. Exemples: cellules musculaires, nerveuses et adipeuses.

Champignon mycorhizien | Champignons du sol vivant en → symbiose avec les racines de nombreuses plantes. Les champignons aident les plantes à assimiler certains nutriments tels le phosphate. En contrepartie, la plante leur fournit du sucre.

Chitinase | → Enzyme dégradant la chitine et donc capable de détruire la paroi cellulaire des champignons. Elle est vraisemblablement produite par les plantes dans le but de se défendre, par exemple, contre le pathogène de → l'oïdium.

Chlamydomonas | Ordre d'algues vertes unicellulaires.

Chloroplastes | Organites des cellules végétales, dans lesquels a lieu la photosynthèse, processus au cours duquel du glucose et de l'oxygène sont produits à partir de gaz carbonique et d'eau sous l'action de la lumière.

Chrysomèle des racines du maïs | Petit coléoptère originaire d'Amérique centrale qui se propage également en Europe depuis les années 1990. Les larves se nourrissent des racines de maïs et provoquent de grands dégâts. Nom latin: *Diabrotica virgifera*.

Cisgène | → Cisgenèse

Cisgenèse | Modification génétique d'une plante réceptrice via un ou plusieurs gènes issus de la même plante ou d'une plante en état d'être croisée avec la plante réceptrice. Lors de la cisgenèse, le gène inaltéré est introduit dans le nouveau génome. Le → transfert du gène est effectué de manière à ce qu'il ne reste pas de grands fragments → d'ADN étranger dans le récepteur.

Codex Alimentarius | Recueil de normes et d'exigences de sécurité pour l'industrie alimentaire publié par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) visant à garantir la sécurité et la qualité des aliments.

Coexistence | Culture parallèle de plantes utiles génétiquement modifiées et conventionnelles. Il s'agit d'un sujet controversé en Suisse dans la mesure où la petite taille des exploitations propre à l'agriculture helvétique risque de rendre la coexistence impossible.

Cycle biogéochimique | Cycle biologique, chimique ou physique sur lequel se base l'écosystème. Il s'agit, par exemple, des cycles de l'eau, du carbone ou de l'azote.

Cytokines | Terme collectif pour une famille de protéines ayant pour fonction de réguler la croissance de cellules.

Délétion | Forme de modification génétique consistant en l'élimination d'un fragment du → matériel héréditaire. Une délétion peut porter sur des bases uniques de → l'ADN ou des séquences plus longues de bases, donc des segments entiers d'un chromosome.

Déshydrogénases | → Enzymes qui dissocient un atome unique d'hydrogène d'un composé chimique. L'activité d'une déshydrogénase peut servir de mesure générale de l'activité biologique d'un sol.

Diploïde | La plupart des cellules sont diploïdes. Cela signifie que le → matériel héréditaire est présent en double dans la cellule. Il existe donc deux copies de chaque gène, une du père et une de la mère. (→ octoploïde)

Distance d'isolation | Distance respectée entre un champ de plantes génétiquement modifiées et un champ dans lequel poussent des plantes conventionnelles afin d'éviter des → pollinisations croisées.

Dominant | La plupart des organismes vivants possèdent chaque gène en double: un du père et un de la mère. Le plus fort des deux, dit dominant, détermine l'expression d'un trait donné, telle la couleur des yeux. Ainsi, un enfant dont le père lui a légué le gène dominant des yeux bruns et la mère le gène des yeux bleus aura les yeux bruns.

Electrophorèse sur gel | Méthode permettant de séparer des fragments → d'ADN ou des protéines. Sous l'effet d'un champ électrique, les fragments migrent à travers un gel. Les molécules de taille supérieure se déplacent plus lentement que les plus petites. Ainsi, tous les fragments peuvent être séparés en fonction de leur taille.

Enzymatique | Qui est dû à l'action d'une → enzyme.

Enzyme | Protéine accélérant une réaction chimique. Elle joue le rôle de biocatalyseur en transformant le substrat de départ et en libérant le produit final obtenu, sans toutefois être elle-même altérée.

Enzyme de recombinaison | → Enzyme qui scinde deux fragments de → matériel héréditaire en un site clairement défini et qui les combine. Par cette modification, ce matériel génétique devient → recombinant.

Ergot du seigle | Champignon s'attaquant à diverses céréales, de préférence aux espèces soumises à la pollinisation croisée, tel le seigle. Il produit des substances toxiques rendant la céréale impropre à la consommation pour l'être humain. Autrefois, l'ergot était utilisé comme abortif dans la mesure où les toxines provoquent des contractions utérines. Nom latin: *Claviceps purpurea*.

Etude d'intervention | Définit au premier chef une étude impliquant une intervention. Un groupe de personnes est divisé en deux sous-groupes. Le premier obtient l'intervention (p.ex. un médicament, des informations, une formation); le deuxième n'y est pas soumis. Une comparaison des deux sous-groupes, en fin d'expérience, permet de déterminer si l'intervention a conduit à une modification.

Exonucléase | Une → enzyme capable de couper des fragments de → matériel héréditaire en détachant, un à un et à partir d'une extrémité, les éléments constitutifs, jusqu'à ce qu'il ne reste que les éléments individuels.

Expression | Un gène exprimé est un gène actif. Cela signifie que l'information contenue dans le gène est lue et traduite en protéines. Les gènes inactifs ne sont pas exprimés. Leur information est disponible mais n'est pas lue.

Exprimer | → Expression.

Flux de gènes | Transfert de gènes d'une population à une autre. Au niveau des plantes, ce flux est dû à la dissémination de pollen par le vent ou les insectes pollinisateurs. L'échange de gènes entre des plantes cultivées et des → variétés sauvages est un processus naturel (→ pollinisation croisée).

Fongicide | Substance active chimique ou biologique qui détruit les champignons et leurs spores ou inhibe leur croissance.

Frisal | → Variété de blé d'été suisse sélectionnée par des méthodes conventionnelles. Depuis 2006, elle ne figure plus dans le catalogue officiel des variétés puisqu'elle a été supplantée par de nouvelles variétés améliorées. A l'état de plantule, la variété Frisal est sensible à → l'oïdium. Elle présente toutefois une bonne → résistance à l'état adulte.

Furonculose | Maladie des poissons nobles (truites, saumons) provoquée par la bactérie *Aeromonas salmonicida ssp. salmonicida*.

Gène marqueur | Au cours d'une modification génétique, il est impossible de savoir si le → transfert de gènes a effectivement eu lieu. Pour cette raison, un gène dit marqueur est introduit simultanément dans la cellule lors du transfert. Il confère à la cellule une propriété facile à vérifier, telle une → résistance à un antibiotique.

Gène marqueur de résistance aux antibiotiques (GMRA) | → Résistance aux antibiotiques.

Gène de résistance Pm3b | Gène du blé provenant à l'origine d'une → variété locale d'Ouzbékistan. Il confère une → résistance à → l'oïdium. D'autres → allèles de ce gène (p.ex. *Pm3a*, *Pm3c*) conduisent à un spectre varié de résistances contre différentes races d'oïdium.

Génie génétique | Ensemble des méthodes permettant d'activer ou d'inactiver des gènes, de les isoler et de les introduire dans un autre organisme. En vertu de ces modifications génétiques, l'organisme concerné présente de nouvelles caractéristiques.

Génie génétique vert | Les qualificatifs «vert», «rouge» et «blanc» définissent les différents domaines du → génie génétique. Le «vert» désigne la modification génétique de plantes. Les deux autres couleurs se rapportent respectivement à l'utilisation de cette science dans la médecine et dans la microbiologie.

Gliadine | Élément constitutif du gluten, présent dans les grains de certaines céréales et susceptible de provoquer des réactions allergiques.

Glucanase | → Enzyme qui dégrade les glucanes. Les glucanes sont d'énormes molécules de sucre qui, en association avec la chitine, forment la paroi cellulaire des champignons. Les plantes produisant une glucanase sont ainsi capables de se défendre contre les attaques de champignons.

Glycosylation | Processus par lequel des molécules de sucre sont liées à des protéines.

Glyphosate | → Herbicide employé à l'échelle mondiale dans la lutte contre les plantes adventices.

Golden Rice | → Variété de riz dont les grains ont été enrichis en provitamine A par des chercheurs de l'EPFZ et de l'Université de Fribourg-en-Brisgau grâce à des procédés de génie génétique. L'objectif visé consiste à remédier à la carence chronique en vitamine A telle qu'on la rencontre dans les populations de nombreux pays en voie de développement.

Greffage | Méthode utilisée avant tout pour les arbres fruitiers et certaines variétés de légumes. Elle consiste en la ligature d'une branche ou d'un bourgeon d'une → variété sélectionnée sur une souche ou un tronc d'une autre sorte. Avec le temps, les deux parties fusionnent en une plante associant les caractéristiques intéressantes des deux variétés.

Herbicide | Substance chimique détruisant les plantes indésirables (plantes adventices). Une plante utile peut être rendue, par génie génétique, tolérante à un herbicide donné. Ainsi, cet herbicide sera complémentaire à la plante en question. L'agriculteur peut ensuite s'en servir pour lutter contre les plantes adventices, sans nuire à la plante de culture elle-même.

Herbicide complémentaire | → Herbicide.

Identificateur unique | Dès qu'un organisme génétiquement modifié a été autorisé au sein de l'UE, son étiquetage doit être pourvu d'un identificateur unique. Cette information permet d'identifier le producteur.

Immunogène | Qui induit une réponse immunitaire. Chez les personnes allergiques au pollen, par exemple, le pollen de certaines plantes a un effet immunogène se manifestant par le rhume des foins.

Immunothérapie | Formes de traitement influençant le système immunitaire. Elles sont, par exemple, appliquées dans la lutte contre les allergies.

Inhibiteur de l'alpha amylase | Protéine produite par certaines plantes dans le but de perturber l'hydrolyse de l'amidon par → l'enzyme alpha amylase et, ainsi, la digestion d'insectes et autres animaux. Cette stratégie de défense sert à décourager les ravageurs.

Insertion | Intégration d'un fragment de matériel génétique ou d'un élément constitutif unique dans le → matériel héréditaire.

Intragenèse | Méthode de transfert de gènes. → L'ADN utilisé est composé d'une combinaison de séquences de gènes ou de gènes portant des éléments de contrôle étrangers. Comme dans la cisgenèse, l'ADN utilisé est issu de la même plante ou d'autres plantes avec lesquelles elle est en état de se croiser.

Isolignée | Variété de départ (→ transgène) d'une plante transgénique, avant qu'elle n'ait été génétiquement modifiée. Certains chercheurs recourent également à ce terme en tant que synonyme de → lignée sœur. (→ Lignée contrôle)

Lactoferrine | Protéine produite par les glandes mammaires des mammifères.

Lignée | Niveau le plus bas dans la systématique des plantes destinées à la sélection. Les lignées de sélection résultent de croisements ou de l'introduction d'un nouveau gène par → génie génétique. Au cours de programmes de sélection, les meilleures lignées aptes à devenir de nouvelles → variétés sont repérées.

Lignée contrôle | Plante servant à la comparaison dans le cadre d'une expérience. Afin de percevoir, par exemple, l'effet d'une résistance aux champignons obtenue grâce au génie génétique, il est nécessaire de comparer la plante génétiquement modifiée avec une autre non modifiée, pouvant être l'isolignée correspondante ou, dans le cas idéal, la lignée sœur.

Lignée germinale | Les spermatozoïdes, les ovules ainsi que tous les stades préliminaires font partie de la lignée germinale. Les modifications génétiques survenues dans ladite lignée sont transmises à la génération suivante, puisqu'elles touchent aux spermatozoïdes et aux ovules.

Lignée sœur | De la multiplication de plantes génétiquement modifiées faisant immédiatement suite à la → transformation, il résulte autant des plantes porteuses du gène artificiellement introduit que des plantes qui n'en ont pas hérité. Ces dernières sont les sœurs des plantes génétiquement modifiées et servent de → lignées contrôle dans les expériences.

Maïs Bt | Maïs génétiquement modifié porteur d'un gène de la bactérie du sol → *Bacillus thuringiensis*. Aujourd'hui, de nombreuses → variétés différentes de maïs Bt sont employées commercialement dans le monde entier. Elles produisent une protéine qui est toxique pour les ravageurs. Les plus connues sont celles résistantes à la → pyrale du maïs.

Maladie de Gaucher | Maladie héréditaire de l'être humain, caractérisée par une perturbation du métabolisme lipidique des cellules. Il en résulte des inflammations des organes internes ou du squelette. Au pire, les os sont atteints, et le patient perd la capacité de marcher.

Matériel héréditaire | Ensemble des informations génétiquement transmissibles d'un être vivant. Suivant l'organisme, le matériel héréditaire est constitué → d'ADN ou → d'ARN. Il définit, par exemple, l'aspect de cet organisme, les aliments dont il a besoin ou sa taille.

Molécule hybride | Molécule construite par génie génétique à partir de plusieurs morceaux différents de → matériel héréditaire.

Molécule vecteur | Molécule pouvant faire fonction de → vecteur génétique.

Moratoire | En 2005, le peuple suisse a approuvé un moratoire sur la commercialisation des plantes génétiquement modifiées. Celui-ci a été prolongé jusqu'en novembre 2013 par le Parlement.

Motifs de glycosylation | → Glycosylation.

Mouche jaune des chaumes | Mouche dont les larves mangent les plantes de blé par l'intérieur, inhibant ainsi le développement sain des épis.

Multilignée | Plusieurs → lignées de blé cultivées en mélange dans un champ. Idéalement, les multilignées ont un → matériel héréditaire identique, à l'exception de certains gènes de → résistance. La présence de différents gènes de résistance débouche sur une diversification des moyens de lutte contre les maladies et à une résistance améliorée à ces dernières.

Mutagène | → Mutagenèse.

Mutagenèse | Génération artificielle d'une modification génétique dans le → matériel héréditaire d'un organisme vivant. A cet effet, des organismes tels que des plantes ou des bactéries sont soumis à des conditions favorisant une modification du matériel génétique, pouvant aller de rayonnements à l'utilisation d'agents chimiques. Les mutations aléatoires ainsi créées sont à même de conduire à de nouvelles → variétés porteuses de propriétés avantageuses.

Mycotoxine | Substances toxiques produites par les champignons. A faible dose déjà, elles sont susceptibles d'avoir un effet toxique sur l'homme et les animaux.

Nématodes | Petits vers filiformes blancs ou incolores (nom latin: *Nematoda*) vivant dans un environnement humide tel le sol.

Nitrate | Sel servant de source d'azote aux plantes. Il se forme dans le sol, par exemple lors de la transformation du purin par les bactéries.

Nucléases | → Enzymes capables de dégrader le → matériel héréditaire. Elles contribuent notamment à la défense contre les organismes hostiles en dégradant le matériel génétique étranger.

Nucléotides | Petites molécules formant, entre autres, les éléments constitutifs du → matériel héréditaire.

Octoploïde | Le → matériel héréditaire est présent en huit exemplaires dans la cellule. Cela implique que chaque gène s'y trouve à huit reprises. (→ diploïde)

Oïdium | Maladie fréquente du blé et de l'orge provoquée par le champignon *Blumeria graminis f.sp. et f.sp.hordei*.

Organisme cible | Tout animal ou plante cible d'une méthode donnée de lutte, tel un → pesticide ou un mécanisme de protection imparté par le génie génétique. (→ organisme non cible)

Organismes génétiquement modifiés (OGM) | Organismes vivants dont le → matériel héréditaire a été modifié au moyen du → génie génétique, d'une manière qui n'est pas réalisable par croisement ou par recombinaison naturelle.

Organismes non cibles | Ensemble des animaux et plantes qui ne sont pas les destinataires désignés d'un traitement de lutte par des méthodes chimiques ou de génie génétique.

Outils de la politique agricole | Compétences de la Confédération lui permettant d'influencer l'agriculture. Exemples: paiements directs pour des prestations particulières, droits d'importation et autorisations pour les moyens de production.

Parasitoïde | Insecte dont les larves se nourrissent d'un autre insecte et en entraînent la mort. Exemple: les ichneumonidés.

Pesticide | Agent chimique ou biologique tuant les insectes ou inhibant leur croissance.

Phénotype | L'ensemble des caractéristiques d'un organisme. Exemples: fleurs rouges, feuilles velues et graines à coque dure.

Phyto-œstrogènes | Composés chimiques présents dans certaines plantes, très semblables aux hormones féminines humaines et animales. Dans le cas des plantes, ils servent souvent d'agent de protection contre les champignons et les bactéries. En ce qui concerne les moutons et les vaches, ils sont susceptibles de provoquer une baisse du taux de natalité ou même la stérilité. Les phyto-œstrogènes permettent à la plante de restreindre le nombre de ravageurs.

Plante de référence | → Lignée contrôle.

Plantes hybrides | Plantes dont les parents se distinguent par des traits prononcés tels la hauteur de croissance, une modification génétique ou l'appartenance à une autre espèce. Les hybrides peuvent être porteurs de gènes et de caractéristiques des deux parents.

Plantes phytomètres | Plantes ayant poussé dans des conditions idéales en serre avant d'être intégrées dans un groupe existant de plantes. La croissance et le développement de ces plantes uniques (plantes phytomètres) sont minutieusement observés, permettant ainsi de tirer des conclusions concernant les conditions environnementales auxquelles sont soumises ces plantes.

Plasmide | Petit fragment de → matériel héréditaire en forme d'anneau, présent dans les bactéries. Celles-ci sont capables d'échanger des plasmides et, ainsi, de transmettre notamment des résistances à certains antibiotiques.

Pollinisation croisée | Transfert génétique de propriétés d'une plante à une autre grâce au pollen.

Potentiel d'invasion | Capacité d'une plante à se propager en dehors des jardins et des écosystèmes agricoles aux dépens des plantes indigènes.

Prestations écologiques requises (PER) | Le standard suisse pour une agriculture respectueuse de l'environnement. Seuls les agriculteurs satisfaisant aux consignes écologiques spécifiques, et fournissant donc les PER, sont en droit de toucher les paiements directs.

Promoteur | Segment du → matériel héréditaire ayant une fonction régulatrice. Il permet d'activer un gène donné. (→ expression)

Protéines Cry | Protéines produites par différentes souches de la bactérie → *Bacillus thuringiensis* et toxiques pour certains insectes. Cry est dérivé de «crystal». Jusqu'à présent, plus de 170 variantes de cette protéine sont connues, dont la variante Cry1Ab, mortelle pour les larves de la → pyrale du maïs, et la variante Cry3Bb1, efficace contre la → chrysomèle des racines du maïs.

Pseudomonas | Genre de bactéries mobiles en forme de bâtonnet, présentes presque partout dans l'environnement.

Pyrale du maïs | Papillon européen dont les larves se nourrissent des tiges et des épis du maïs, provoquant ainsi des pertes de rendement. Nom latin: *Ostrinia nubilalis*.

Récessif | Désigne le plus faible de deux gènes. (→ dominant)

Recombinant | Un fragment de → matériel héréditaire est qualifié de recombinant lorsqu'il a été modifié par des méthodes de génie génétique. Des protéines sont dites recombinantes lorsqu'elles ont été produites artificiellement au moyen des organismes génétiquement modifiés ou en cultures de cellules.

Règles de l'hérédité | Série de lois de la nature qui déterminent la répartition des gènes chez les descendants lors du croisement d'un organisme mâle avec un organisme femelle.

Résistance | Capacité de résistance d'une plante (ou d'un autre organisme) contre les influences nocives telles que les → herbicides, les → pesticides, les pathogènes, les insectes ravageurs, la sécheresse ou les crues. Les résistances peuvent être introduites dans le → matériel génétique de la plante grâce à la sélection conventionnelle ou à des méthodes de génie génétique.

Résistance à un antibiotique | Certains micro-organismes sont porteurs de gènes les rendant résistants à des antibiotiques. Dans la production d'organismes génétiquement modifiés, ces gènes de résistance servent de marqueurs, introduits concurremment avec le gène désiré. Lorsque des antibiotiques sont ajoutés aux cellules après la procédure de génie génétique, ne survivront que celles ayant intégré le marqueur et le gène. Il est ainsi possible de reconnaître les cellules dans lesquelles le → transfert de gènes a eu lieu.

Résistance à un pathogène | Insensibilité d'une plante face à un pathogène tel qu'une bactérie, un virus ou un champignon.

Révolution verte | Sélection de → variétés agricoles à haut rendement ayant débuté vers la fin des années 1950, et propagation réussie de ces variétés dans les pays en voie de développement. La croissance (p.ex. la longueur des plantes), le rendement et la résistance aux maladies ont, entre autres, été significativement améliorés.

Rotation des cultures | Alternance des plantes utiles cultivées dans un champ. La culture de plantes différentes favorise la formation et la dégradation différenciée des substances nutritives et minérales contenues dans le sol, contribuant ainsi à leur préservation à long terme. Une rotation appropriée des cultures atténue également l'infestation des cultures par les plantes adventices, les maladies et certains ravageurs.

Sélection | 1) Une loi de la nature, selon laquelle les individus moins bien adaptés d'une population ont une chance de survie inférieure et produisent moins de descendants que des individus mieux adaptés. De manière générale, leurs gènes sont moins souvent transmis à la descendance, du fait qu'ils ont, par exemple, une chance de survie inférieure en cas de sécheresse ou d'une attaque par des ravageurs.
2) Procédé de sélection dans l'amélioration de plantes permettant d'identifier les meilleures → lignées, lesquelles serviront à produire de nouvelles → variétés.

Semis direct | Semis sans travail préalable du sol à l'aide d'une charrue.

Séquence de nucléotides | Séquence des → nucléotides dans le → matériel héréditaire. Elle détermine les informations contenues dans un gène.

Spectre d'indication | Désigne, dans le cas d'un antibiotique, la gamme des bactéries contre lesquelles il est efficace.

Streptomycine | Antibiotique produit par des champignons du sol et utilisé, entre autres, dans l'agriculture, en matière de lutte contre le pathogène responsable du feu bactérien.

Symbiose | Vie commune d'individus d'espèces différentes, chacun d'eux tirant un bénéfice de cette association.

Synthèse d'amidon modifié | Grâce à une modification génétique, certaines plantes sont capables de produire des formes alternatives d'amidon, moins sensibles à la chaleur ou au froid, par exemple.

Tavelure du pommier | Maladie des pommiers causée par le champignon *Venturia inaequalis*. A l'échelle mondiale, celui-ci occasionne de grandes pertes dans les cultures de pommes.

Termineur | Courte séquence dans le → matériel héréditaire marquant la fin d'un gène. Ainsi, la cellule sait où se termine un gène et où commence le suivant.

Transfert de gènes | Transfert d'un ou de plusieurs gènes vers le → matériel héréditaire d'un individu de la même espèce ou d'une espèce différente (plante, animal, bactérie), au moyen de méthodes de → génie génétique.

Transfert de gènes par la méthode biolistique |

Une méthode du → génie génétique par laquelle → l'ADN est lié à de minuscules particules d'or ou de tungstène qui sont ensuite projetées à haute pression dans le noyau cellulaire ou les → chloroplastes d'une plante. L'ADN ainsi introduit se détache ensuite de la particule et s'intègre dans le matériel génétique de la plante.

Transformation | Transfert → d'ADN dans des bactéries, champignons ou plantes. Dans le domaine du → génie génétique, la transformation est utilisée afin de produire des organismes transgéniques. (→ transgène)

Transgène | Gène introduit dans le → matériel héréditaire d'une autre espèce (végétale, animale, bactérienne) par des méthodes de génie génétique.

Transplastomique | Les plastides sont des organites cellulaires des plantes faisant office de petites centrales énergétiques ou d'usines chimiques dans les cellules. Elles sont, entre autres, indispensables à la photosynthèse et possèdent du → matériel héréditaire qui leur est propre. Lorsque celui-ci est génétiquement modifié, on parle de → lignée végétale transplastomique.

Transposon | Courte séquence dans le → matériel héréditaire, qui est en mesure de changer de position de façon autonome au sein dudit matériel génétique. Un transposon est donc capable de sauter d'un emplacement à un autre, tout comme un segment de texte qui serait coupé à un endroit et collé quelques pages plus loin.

Trypsine | Groupe → d'enzymes digestives digérant les protéines dans l'intestin grêle.

Variété | Variante d'une plante de culture donnée. Elle doit se distinguer d'autres variétés de la même espèce par plusieurs traits tels la taille, la couleur, le goût ou la composition chimique.

Vecteur génétique | Terme générique pour tous les vecteurs de transport permettant d'introduire un gène dans le → matériel héréditaire d'une cellule, à savoir les virus, les → plasmides et les bactéries.

LISTE DES ILLUSTRATIONS

298

Générique

Illustration A: De la forme primitive à la plante cultivée

Riz sauvage classique

Plante de riz

Petit épeautre

Plante de blé

Téosinte

Plante de maïs

Illustration B: Surface mondiale de culture de plantes génétiquement modifiées

Chapitre 1

Illustration page de titre**Illustration 1.1:** Le principe de l'évaluation des risques écologiques dans l'UE**Illustration 1.2:** Etude sur la sécurité biologique d'OGM**Illustration 1.3:** Risque de propagation dans les terres cultivées**Illustration 1.4:** Résistance à l'oïdium de plantes de blé transgéniques**Illustration 1.5:** Résistance de multilignées dans des essais en plein champ**Illustration 1.6:** Modifications des caractéristiques en serre et en plein champ**Illustration 1.7:** Formes particulières des épis de lignées transgéniques**Illustration 1.8:** Rendement du blé dans deux sites**Illustration 1.9:** Susceptibilité à la tavelure du pommier**Illustration 1.10:** Vaccination de poissons avec des algues vertes transgéniques**Illustration 1.11:** Influence de gènes de résistance aux champignons introduits dans des plantes de blé sur le nombre de micro-organismes utiles présents sur leurs racines**Illustration 1.12:** Influence du maïs Bt sur l'écosystème «sol»**Illustration 1.13:** Taux de présence de quatre groupes d'organismes vivant dans le sol au cours de la décomposition de la litière**Illustration 1.14:** Réseau relationnel des herbivores avec leurs parasites sur le blé**Illustration 1.15:** Infestation de diverses lignées de blé par des champignons pathogènes et des parasites**Illustration 1.16:** Réseau relationnel des herbivores avec leurs parasites sur le maïs**Illustration 1.17:** Appareil de mesure de substances odorantes – l'olfactomètre

Sources

Henk Mentink, flickr.com
 Prisma
 Prisma
 Simone Nägeli, UZH
 Karl Haro von Mogel, flickr.com
 Prisma
 ISAAA

Sources

Corbis
 Detlef Bartsch, Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Allemagne
 Detlef Bartsch, Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Allemagne
 iStockphoto
 Susanne Brunner, UZH
 Susanne Brunner, UZH
 Simon Zeller, UZH
 Susanne Brunner, UZH
 Fabio Mascher-Frutschi, ART
 Divers, EPF Zurich
 Corbis
 Joana Beatrice Meyer, Monika Maurhofer, EPF Zurich; Christoph Keel, UNIL
 Andreas Fliessbach, FiBL
 Wolfgang Nentwig, unibe
 Andreas Keller, d'après un graphique de Jörg Romeis, ART
 Graphique: Jörg Romeis, ART; photos: Susanne Brunner, UZH; Mario Waldburger, ART
 Andreas Keller, d'après un graphique de Claudia Zwahlen, UniNE
 Sergio Rasmann, Ted Turlings (2007) Simultaneous feeding by aboveground and belowground herbivores attenuates plantmediated attraction of their respective natural enemies. Ecol. Lett. 10, 926-936.

Chapitre 2

Illustration page de titre

Illustration 2.1: Coexistence de formes agricoles avec et sans génie génétique

Illustration 2.2: Récolte de soja génétiquement modifié aux Etats-Unis

Illustration 2.3: Agriculture dans la région tchèque de Bohême

Illustration 2.4: Ensemencement de blé génétiquement modifié

Illustration 2.5: Les bases légales d'une réglementation sur la coexistence en Suisse

Chapitre 3

Illustration page de titre

Illustration 3.1: Analyse de sécurité en matière de santé humaine

Illustration 3.2: Champ d'essai de blé génétiquement modifié à Pully près de Lausanne

Illustration 3.3: Préférences des consommateurs pour les aliments génétiquement modifiés

Illustration 3.4: Acceptation de l'encouragement des denrées alimentaires génétiquement modifiées

Illustration 3.5: Arguments pour et contre

Illustration 3.6: L'opinion publique et le génie génétique vert

Illustration 3.7: «Produit à partir de tomates génétiquement modifiées»

Chapitre 4

Illustration page de titre

Illustration 4.1: Des frais énormes engendrés par les mesures de sécurité

Illustration 4.2: Parts respectives des frais pour les essais en champ

Illustration 4.3: Modes d'entrée des OGM

Illustration 4.4: Production de semences à Rheinau, dans le canton de Zurich

Illustration 4.5: Le tabac, cible de nouvelles méthodes de génie génétique

Illustration 4.6: L'importante région viticole du Lavaux sur les rives du lac Léman

Illustration 4.7: Récolte de choux en Suisse

Sources

Avenue Images
iStockphoto
Prisma
Prisma
Consortium blé
Andreas Keller, d'après Rainer J. Schweizer

Sources

Avenue Images
Karoline Dorsch-Häsler, adapté d'après: EFSA (2008) Safety and nutritional assessment of GM plant derived food and feed. The role of animal feeding trials. Food and Chemical Toxicology 46, 2-70.
PNR 59
Avenue Images
George D. Gaskell, Sally Stares, Agnes Allansdottir (2010) Europeans and biotechnology in 2010: Winds of Change? Bruxelles: Commission européenne, Direction générale de la recherche.
Heinz Bonfadelli, Werner A. Meier (2010) Grüne Gentechnologie im öffentlichen Diskurs. Interessen, Konflikte und Argumente. Konstanz: UVK.
Avenue Images
Keystone

Sources

Avenue Images
Simon Zeller, UZH
Susanne Brunner, d'après des chiffres publiés dans: Bernauer, T., Tribaldos, T., Luginbühl, C., Winzeler, M. (2011) Government regulation and public opposition create high additional costs for field trials with GM crops in Switzerland. Transgenic Res. 20, 1227-1234.
Adapté de: Baudirektion Kanton Zürich, AWEL. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft / PNR 59 / Forschungsgemeinschaft für Rechtswissenschaft, Université de Saint-Gall / Amt für Umweltschutz, Principauté de Liechtenstein, Datengrundlagen für die Regelung der Koexistenz von Produktionsmethoden mit und ohne Gentechnologie, Teil III Modellierung des Genflusses im landwirtschaftlichen Produktionsprozess mittels Szenarien, Zurich 2009, p.13.
Marius Born, Winterthour
Avenue Images
Keystone
Avenue Images

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 1

Tableau 1.1: Gènes de résistance utilisés dans les essais de blé et emploi des différentes lignées de blé

Chapitre 2

Tableau 2.1: Coûts des mesures de coexistence, illustrés par l'exemple du blé d'hiver

Tableau 2.2: Comparaison de la rentabilité de maïs conventionnel résistant aux ravageurs et tolérant aux herbicides

Tableau 2.3: Distances d'isolement selon les recommandations du groupe de travail technique maïs de l'ECOB

Sources

Beat Keller, UZH

Sources

Gregor Albisser Vögeli, Frank Burose, Daniel Wolf und Markus Lips (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten, ART.

Gregor Albisser Vögeli, Frank Burose, Daniel Wolf und Markus Lips (2011) Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter und herbizidtolerantem Mais Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten, ART.

Czarnak-Klos, M., Rodriguez-Cerezo, E. (2010) European Coexistence Bureau Best Practice Documents for coexistence of genetically modified crops with conventional and organic farming: 1. Maize crop production. EUR 24509 EN. Seville: European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.

Synthèse du programme PNR 59

Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées

Le présent ouvrage est une synthèse des trente projets de recherche entrepris dans le cadre du Programme national de recherche «Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées» (PNR 59) ainsi que de trois analyses fouillées d'un grand nombre d'études réalisées à l'étranger présentant un intérêt pour le programme. Outre les chapitres résumant les résultats des recherches menées à l'enseigne du PNR 59, cette synthèse donne la parole à cinq experts de renom invités à se prononcer sur divers aspects du génie génétique vert. Elle ambitionne de livrer les fondements scientifiques indispensables à un débat politique sur le sort à réserver au génie génétique vert en Suisse et à une prise de décision adéquate à cet égard. La vaste bibliographie ainsi que le CD joint à l'ouvrage explicitent en détail les bases scientifiques évoquées.



www.vdf.ethz.ch
verlag@vdf.ethz.ch

Editeur: Comité de direction du Programme national de recherche 59

ISBN: 978-3-7281-3485-1 (version imprimée)

ISBN: 978-3-7281-3486-8 / DOI 10.3218/3486-8 (open access)



Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées
Programme national de recherche PNR 59