

Les défis du monitoring environnemental des plantes génétiquement modifiées

Olivier Sanvido, Jörg Romeis et Franz Bigler

Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

Renseignements: Jörg Romeis, e-mail: jörg.romeis@art.admin.ch, tél. +41 44 377 72 99



Les populations de papillons diurnes en Suisse sont soumises à une grande variabilité spatio-temporelle.
(Photo: ART)

Introduction

L'autorisation de cultiver des plantes génétiquement modifiées (PGM) est généralement soumise à des exigences plus strictes que pour les variétés des cultures conventionnelles. Dans le monde entier, les bases légales prescrivent d'habitude un examen spécial des variétés PGM. L'autorisation est fondée sur l'appréciation des risques pour la santé humaine et l'environnement. Cette base permet d'exclure autant que possible tout effet néfaste inacceptable. Certains pays exigent en outre que la culture des PGM soit accompagnée d'un monitoring environnemental afin d'identifier à temps les éventuelles conséquences négatives qui n'ont pas pu être exclues lors de l'appréciation des risques. Sur la base des données relevées lors du monitoring, les autorités char-

gées des autorisations doivent décider si la culture des PGM peut causer des dommages à l'environnement dans un certain bien à protéger. Bien que l'appréciation des changements environnementaux soit fondée sur des critères scientifiques, des valeurs subjectives jouent aussi un grand rôle dans l'évaluation du dommage ou de l'utilité. C'est pourquoi dans la pratique, les processus de décisions ne sont jamais fondés uniquement sur les données scientifiques, mais ils tiennent compte aussi des aspects éthiques, politiques, sociaux et économiques (Devos *et al.* 2008). Le dommage causé à l'environnement est caractérisé, selon les définitions courantes, comme un important changement environnemental négatif qui se situe hors des fluctuations habituelles. Nous analysons ci-après les raisons pour lesquelles il est si difficile d'estimer qu'un tel changement représente un

important dommage causé à l'environnement. A notre avis, le monitoring environnemental des PGM pose quatre défis fondamentaux. Les idées présentées dans cet article ont été conçues dans le cadre de plusieurs projets financés par l'Office fédéral de l'environnement OFEV (Programme de recherche «La biosécurité dans le génie génétique appliqué au domaine non humain») et par le Fonds national suisse (Programme national de recherche PNR 59 «Utilité et risques de la dissémination des plantes génétiquement modifiées»).

Défi n° 1: La variabilité des conditions environnementales est difficile à estimer

Distinguer les changements environnementaux «inhabituels» des changements «habituels» représente un défi fondamental lorsqu'il s'agit de prendre une décision pendant le monitoring des PGM, notamment s'il n'existe pas d'observations à long terme pouvant servir de base de comparaison.

Les méthodes propres aux sciences naturelles ne permettent que partiellement de percevoir la variabilité des indicateurs de changements environnementaux avec une précision suffisante et des moyens raisonnables. Ainsi, les méthodes reposant sur des critères écologiques permettent certes de recenser l'abondance d'un indicateur donné (p. ex. les papillons diurnes) dans un paysage agricole. Mais il est souvent difficile de dire si un changement observé se situe en dehors de la variabilité «habituelle» de l'indicateur en question. Or pour autoriser la culture des PGM, les autorités devraient pouvoir décider rapidement si les changements observés sont attribuables à un événement «inhabituel» et si des mesures s'imposent (p. ex. interdire la culture).

Solution n° 1: Définition d'une base de comparaison adéquate

Le choix d'une base de comparaison adéquate est essentiel si l'on veut déterminer quels changements environnementaux représentent un dommage. Une approche pouvant être judicieuse et disponible en peu de temps pour les preneurs de décision consisterait à comparer les impacts environnementaux des PGM avec ceux des pratiques agricoles courantes (ACRE 2007; Sanvido *et al.* 2012). Dans cette approche, les PGM sont placées dans le contexte de leur propre système de culture qui est comparé, par exemple, avec l'utilisation de pesticides, le travail du sol, l'assolement et le choix des variétés de l'agriculture classique. Pour arriver à comparer les impacts environnementaux de différents systèmes de culture agricole, nous avons besoin de méthodes, comme le modèle multi-attributs DEXi (Bohanec *et al.* 2008) ou le bilan écologique (Nemecek *et al.* 2011), qui permettent

Résumé Selon la loi suisse sur le génie génétique, la culture des plantes génétiquement modifiées (PGM) doit s'accompagner d'un monitoring environnemental. Celui-ci devrait permettre de déceler au plus tôt les effets néfastes pouvant s'exercer sur l'environnement et de prendre les éventuelles mesures qui s'imposent. Dans ce même contexte, les autorités doivent être en mesure d'identifier les changements environnementaux et de les classer parmi les types de dommages causés à l'environnement. Un tel monitoring n'est adéquat que s'il réduit les incertitudes pouvant encore subsister après l'appréciation des risques engendrés par les PGM. Du point de vue scientifique, quatre difficultés se posent lors de telles décisions. Les trois premières concernent les limites propres aux méthodes de saisie des données. La quatrième résulte de l'évaluation controversée de l'impact des PGM sur l'environnement. Ainsi par exemple, on ne sait pas clairement aujourd'hui quels changements environnementaux doivent effectivement être considérés comme des dommages. Nous analysons dans cet article les quatre défis posés par ces difficultés et proposons des stratégies visant à les relever. Quant aux incertitudes pouvant subsister, il vaudrait mieux les examiner pendant l'appréciation des risques, avant l'octroi de l'autorisation. Les autorités chargées de cette dernière démarche devraient aussi reconnaître les limites des programmes de monitoring dans les décisions à prendre pour la culture de PGM.

de comparer divers critères. De telles méthodes ont une importance particulière, car la culture des PGM pourrait aussi avoir des effets positifs sur l'environnement par rapport aux pratiques actuelles.

Défi n° 2: Les changements environnementaux sont rarement attribuables à une cause précise

Les autorités ont besoin d'informations fiables non seulement sur les changements de l'état de l'environnement, mais aussi sur les causes de ces changements (Vos *et al.* 2000). Or, il est souvent difficile d'attribuer un tel changement à une cause précise (p. ex à la culture des PGM). Cela est dû à la complexité de l'environnement et au grand nombre de facteurs d'influence. Bien que cette difficulté soit générale dans la recherche en écologie, >

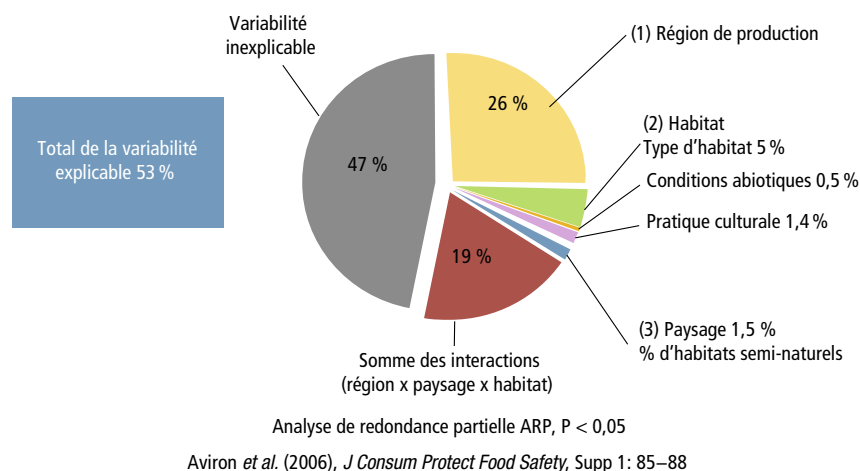


Figure 1 | La variabilité des populations de papillons diurnes sur le Plateau suisse a été définie sur la base du relevé de 31 facteurs d'influence (Aviron *et al.* 2009; Aviron *et al.* 2006). Le total de la variabilité explicable est de 53 %, tandis que 19 % s'expliquent par la somme de l'interaction de différents facteurs. Le principal facteur d'influence est la région de production, avec 26 % (grande culture, culture fourragère ou culture mixte).

elle est particulièrement sensible lorsqu'il s'agit d'attribuer le changement à une cause précise, comme il s'agirait de le faire dans le monitoring des PGM. La difficulté de déterminer la cause d'un changement environnemental est illustrée ci-après, à l'exemple d'une étude d'Aviron (Aviron *et al.* 2009; Aviron *et al.* 2006). Cette étude, fondée sur une large base de données indiquant aussi bien la présence que l'abondance des papillons diurnes dans trois régions du Plateau suisse, examine l'influence de divers facteurs sur la variabilité des papillons diurnes en Suisse. Outre la présence des papillons diurnes, 31 facteurs décrits ont été relevés, dont la région biogéographique, les caractéristiques du paysage, les types d'habitats et les pratiques culturales. L'analyse montre que les populations de papillons diurnes présentent une forte variabilité spatio-temporelle (fig. 1). Malgré l'exhaustivité de la base de données utilisée, près de la moitié de la variabilité (47 %) n'a pas pu être attribuée à des causes connues. Par rapport aux divers facteurs, la plus grande part de la variabilité (26 %) s'explique par la région de production (grande culture, culture fourragère ou culture mixte); viennent ensuite le type d'habitat (5 %), la structure du paysage (1,5 %), la pratique culturale (1,4 %) et les caractéristiques de la station (0,5 %). 19 % de la variabilité est portée au compte de l'interaction des divers facteurs d'influence. Hormis la région de production, les autres facteurs n'ont qu'une faible influence sur l'ensemble de la variabilité. Cet exemple montre qu'un seul facteur (p. ex. la culture de maïs Bt) devrait produire un effet considérable sur les papillons diurnes pour se distinguer des autres facteurs d'influence. Il est cependant impro-

probable que l'on n'ait pas décelé un effet aussi marquant lors de l'appréciation des risques précédant l'autorisation des PGM (voir aussi point 3), ce qui aurait conduit au refus d'accorder l'autorisation de cultiver la variété Bt.

Solution n° 2: Les causes de la variabilité des indicateurs écologiques devraient être déterminées

L'ampleur et les causes de la variabilité des indicateurs devraient être quantifiées le mieux possible. Les analyses statistiques des données peuvent contribuer à définir la variabilité globale ainsi que les tendances et changements à long terme (Ferguson *et al.* 2008). Une approche hiérarchique devrait être choisie afin de comprendre les interactions entre les facteurs écologiques et les systèmes de culture agricole (Baudry *et al.* 2000). Deux échelles spatiales sont particulièrement utiles dans le monitoring environnemental des PGM. L'une décrit l'utilisation des terres et les pratiques culturales (au niveau du champ) et l'autre décrit les pratiques culturales régionales et le type de culture (au niveau du paysage). Les paysages peuvent aussi être répartis à l'aide de la classification et de la caractérisation des paysages (Bailey und Herzog 2004; Groom *et al.* 2006). L'échantillonnage aléatoire stratifié, c'est-à-dire le groupement des paysages et des habitats en sous-groupes relativement homogènes, peut simplifier la comparaison des données du monitoring. Si les causes des changements doivent être déterminées, il est essentiel de relever non seulement un indicateur donné (p. ex. l'abondance des papillons diurnes), mais le plus grand nombre possible de facteurs contribuant à expliquer la variabilité, comme l'a démontré l'exemple des papillons diurnes sur le Plateau suisse.

Défi n° 3: Les changements ne sont visibles qu'après de longues périodes

Les changements environnementaux ne se manifestent généralement qu'après de longues périodes. Il est souvent difficile de décider si des données observées représentent une tendance, un cycle ou un effet sous-jacent (Usher 1991). Un bon exemple de l'interaction de ces trois facteurs nous est donné par l'évolution des populations d'oiseaux nicheurs indigènes dans les zones agricoles. Bien que l'effectif des espèces cibles¹, telles qu'elles sont définies dans le rapport des «Objectifs environnementaux pour l'agriculture» (OFEV/OFAG 2008), indique un net recul de 1990 à 2009, l'indice d'abondance des espèces caractéristiques ne reflète pas de tendance à long terme durant cette période (Birrer *et al.* 2011). La diminution des espèces d'oiseaux nicheurs indigènes fut longtemps inexplicable, car elle n'était pas due à un seul facteur. On sait aujourd'hui que le changement fut déclenché par l'interaction de nombreux facteurs, comme l'intensification des pratiques agricoles et la réduction de la qualité des habitats qui s'en est suivie, ainsi que l'homogénéisation générale des paysages agricoles (Lachat *et al.* 2010).

Solution n° 3: Le monitoring doit émettre des hypothèses claires

Les données du monitoring environnemental sont souvent peu éloquentes pour les décideurs, car les tendances écologiques ne sont rendues visibles qu'après de longues périodes d'observation. Dès lors, ce monitoring ne devrait avoir lieu que s'il semble opportun de détecter certains effets dans un délai adéquat. La décision de réaliser un monitoring environnemental, et notamment une surveillance spécifique², ne devrait être prise que si des questions laissant une incertitude scientifique n'ont pas été résolues lors de l'évaluation du risque (Commission européenne 2001; ODE RS 814.911). Il faut pouvoir formuler une hypothèse logique de risque sur la manière dont une PGM spécifique peut mettre en danger un certain bien à protéger (Sanvido *et al.* 2004). Toutefois, l'hypothèse la meilleure peut aussi conduire à des conclusions incertaines si elle n'est pas rigoureusement testée (Romeis *et al.* 2011). Pour qu'ils fournissent une base aux

¹Les espèces cibles sont les espèces locales ou régionales, en danger au niveau national, qui doivent être préservées et protégées et par rapport auxquelles la Suisse a une responsabilité particulière en Europe. Les espèces caractéristiques sont typiques d'une région et représentatives d'un habitat particulier. Elles font office d'indicateurs de la qualité de l'espace vital qu'elles occupent.

²Le monitoring des PGM est généralement subdivisé en une surveillance spécifique et une surveillance générale de l'environnement.

autorités chargées de décision, les tests doivent être exécutés de façon à confirmer l'hypothèse de risque définie avec la certitude la meilleure possible. Cela pose la question de savoir dans quelles conditions la présence des effets supposés peut être prouvée avec toute la vraisemblance possible. Comme l'a démontré l'exemple sur la variabilité des papillons diurnes sur le Plateau suisse, les impacts environnementaux sont influencés par une multitude de facteurs. Pour autant qu'un certain facteur stressant (p. ex. la toxine Bt) n'ait pas un effet relativement important, il est vraisemblable que de nombreux facteurs d'influence produisent toute une imbrication d'effets divers. D'où la difficulté de distinguer l'influence d'un seul facteur et de définir la causalité entre un effet donné et le facteur qui l'a déclenché. C'est pourquoi il sera beaucoup plus facile de découvrir un effet notable dans un milieu contrôlé, où peu de facteurs varient, que dans un milieu multifactoriel, comme celui qui caractérise le programme de monitoring. Selon le risque présumé, le test de l'hypothèse peut donc être plus éclairant s'il est réalisé dans des conditions contrôlées (comme en laboratoire ou en semi plein champ) que dans conditions réalistes en plein champ.

Défi n° 4: Biens à protéger sont diversement évalués

Les différentes manières d'interpréter les données scientifiques influencent les autorités chargées de décision. Les impacts environnementaux causés par les PGM sont diversement évalués parce que les unités écologiques à protéger ne sont pas clairement formulées dans la législation. Ainsi par exemple dans la loi sur le génie génétique (LGG RS 814.91), les objectifs de protection tels que la «Protection de l'environnement» ou la «Conservation de la diversité biologique» sont si étendus qu'ils laissent une marge d'interprétation trop large; il est donc nécessaire de les rendre scientifiquement mesurables. Les divers groupes d'intérêts conçoivent différemment les objectifs formulés de manière imprécise, si bien que d'énormes écarts se creusent entre les interprétations de ce que la culture des PGM ne devrait pas mettre en danger. Un bon exemple de telles controverses nous est donné par l'évaluation des résultats des UK Farm Scale Evaluations (évaluations au niveau des exploitations [FSE]). Dans ces évaluations, les effets sur la biodiversité des mauvaises herbes et des arthropodes ont été comparés dans des cultures de betterave sucrière, de colza et de maïs, les unes étant conventionnelles et les autres génétiquement modifiées pour les rendre résistantes aux herbicides (GMRH). Dans les cultures de betterave sucrière GMRH et de colza GMRH, les chercheurs ont trouvé de faibles quantités de papillons et d'abeilles. En revanche, les cultures de maïs GMRH, en raison du

grand nombre de mauvaises herbes qu'elles contiennent, présentaient en général des populations de papillons et d'abeilles plus denses que les cultures non GMRH (Haughton *et al.* 2003). Les autorités anglaises en ont conclu que les cultures conventionnelles de colza non GMRH et de betterave sucrière favorisent mieux l'abondance des groupes de variétés (DEFRA 2005). Dans leur évaluation des résultats des FSE, ces mêmes autorités ont estimé que la présence de mauvaises herbes dans les champs est un bien à protéger, car elles constituent un élément important des écosystèmes agricoles (Marshall *et al.* 2003). Contrairement à cette interprétation, les autorités australiennes, pour leur part, concluent dans un rapport que la préservation des mauvaises herbes sur les surfaces agricoles n'est pas considérée comme un objectif de leur stratégie nationale pour la biodiversité (CSIRO 2003). Cet exemple montre qu'en fonction de leur conception des valeurs, les autorités peuvent avoir des opinions différentes sur la question de savoir s'il faut ou non protéger les mauvaises herbes dans les cultures agricoles afin qu'elles servent de bases nutritionnelles aux invertébrés et aux oiseaux.

Solution n° 4: Définir les systèmes de culture agricole et les rendre mesurables

Pour qu'elles puissent interpréter clairement les données du monitoring environnemental, les autorités ont besoin de recommandations les aidant à déterminer quels biens à protéger ne doivent pas être mis en danger par la culture de PGM et à partir de quelle limite un préjudice est à considérer comme un dommage. Actuellement, les directives légales réglant la protection de la biodiversité face aux impacts des PGM offrent une trop grande marge d'interprétation. Cela fait naître des incertitudes, comme la question de savoir si et dans quelle mesure les mauvaises herbes doivent être protégées sur les surfaces agricoles. Les processus de décision pourraient manquer de transparence et paraître difficilement compréhensibles à l'avenir, car il manque des directives précises sur l'analyse des impacts des PGM. Pour pallier cette difficulté, nous proposons une approche qui aidera les autorités chargées d'autoriser la culture des PGM à définir le concept d'«environnement» et de «biodiversité» (Sanvido *et al.* 2011). Idéalement, il faudrait qu'une telle définition des biens environnementaux à protéger concrètement fasse l'objet d'une procédure transparente et qu'elle inclue tous les acteurs impliqués (c.-à-d. les responsables de la réglementation, les demandeurs et les experts scientifiques).

Conclusions

Les difficultés évoquées dans cet article traduisent les multiples enjeux liés à l'analyse des données du monitoring environnemental en vue de réglementer la culture des PGM. Ce monitoring pourrait représenter une tâche de longue haleine, très coûteuse et dont le résultat pourrait ne fournir que peu de données utilisables pour les autorités chargées de décision. Ces dernières devraient être conscientes des limites des programmes de monitoring.

Il serait souvent plus efficace et plus pertinent d'étudier les incertitudes subsistant à propos des impacts environnementaux des PGM pendant l'analyse des risques, avant l'octroi de l'autorisation. Les changements environnementaux observés lors du monitoring ne peuvent d'ailleurs presque jamais être attribués à une cause unique, comme la culture de PGM, car de longues années de mesures sont nécessaires pour déceler des tendances et de grandes variations naturelles se produisent souvent d'une année à l'autre. Pour qu'elles puissent utiliser les données d'un tel monitoring, les autorités ont besoin d'une base de comparaison qui tienne compte des données issues des observations existantes. Mais en Suisse, il existe malheureusement peu de bases de données collectées depuis de longues années sur la biodiversité dans les zones agricoles et utilisables pour le monitoring environnemental d'une culture commerciale de PGM.

Etant donné que les décisions doivent souvent être prises dans des délais relativement courts, on pourrait à la place comparer les impacts environnementaux des PGM avec ceux produits par des pratiques culturales connues en s'aidant de bilans écologiques et de la méthode des choix multi-attributs (ACRE 2007; Sanvido *et al.* 2011b). Ainsi, la culture des PGM serait placée dans le contexte de chaque système cultural dont les avantages et les inconvénients pourraient être examinés sous l'angle de la durabilité. Cette approche tient compte du fait que les technologies ayant des effets semblables sur l'environnement devraient être réglementées selon la même approche légale. Il n'existe pas d'argument convaincant qui justifierait l'application d'une réglementation plus stricte pour une certaine technologie alors qu'une autre produirait des impacts semblables sur l'environnement. ■

Riassunto**Sfide nel monitoraggio ambientale di piante geneticamente modificate**

In virtù della legge sull'ingegneria genetica, in Svizzera la coltivazione di piante geneticamente modificate (PGM) deve essere abbinata a un monitoraggio ambientale al fine di individuare per tempo eventuali effetti negativi sull'ambiente e adottare i provvedimenti del caso. Le autorità devono essere in grado di riconoscere delle variazioni ambientali e di classificarle come danno ambientale. Noi riteniamo che un monitoraggio ambientale è adatto solo in parte per ridurre le incertezze che potrebbero ancora sussistere dopo la valutazione del rischio delle PGM. Dal profilo scientifico, simili decisioni presentano quattro difficoltà: le prime tre riguardano restrizioni metodologiche nella rilevazione scientifica dei dati, la quarta risulta dalla valutazione controversa sugli effetti ambientali delle PGM. A oggi non è quindi ancora stato chiarito quali variazioni ambientali debbano essere effettivamente considerate come danni. Nel presente articolo analizziamo le quattro difficoltà che si pongono, proponendo possibili strategie per affrontarle. Sarebbe opportuno verificare le rimanenti incertezze durante l'analisi del rischio prima dell'omologazione. Le autorità preposte all'omologazione dovrebbero riconoscere le restrizioni dei programmi di monitoraggio ambientale nel processo decisionale in vista della coltivazione di PGM.

Summary**Challenges in the environmental monitoring of genetically modified plants**

According to genetic engineering legislation in Switzerland, the cultivation of genetically modified plants (GMPs) must be accompanied by environmental monitoring. This environmental monitoring is intended to identify any negative effects on the environment as early as possible so that necessary remedial measures can be taken. Accordingly, the authorities must be in a position to recognise changes in the environment and classify them as environmental harm. In our opinion, however, environmental monitoring is only partially suitable for reducing uncertainties which might still exist after the risk assessment of GMPs. From a scientific point of view, there are four difficulties with such decisions. The first three difficulties concern methodological limitations in scientific data collection. The fourth difficulty stems from the controversial assessment of the environmental effects of GMPs. Thus, it is nowadays unclear just which environmental changes are effectively to be evaluated as constituting harm. In this article, we analyse the four challenges and suggest possible strategies for countering them. Any remaining uncertainties should ideally be investigated during risk assessment before approval is granted. Regulatory authorities should recognise the limitations of environmental-monitoring programs for decision-making during cultivation of GMPs.

Key words: regulatory decision-making, biodiversity, environmental monitoring, genetically modified plants, environmental harm.

Bibliographie

La bibliographie détaillée peut être obtenue auprès de l'auteur.