



ÉDITORIAL



Le conseil d'administration de l'Inra vient d'adopter, le 27 juin dernier, sa politique scientifique dans le domaine des biotechnologies végétales. Ces dernières couvrent un vaste spectre de méthodes et d'outils dont les applications visent l'amélioration et la santé des plantes, la production de biomatériaux, la dépollution des sols...

La transgénèse en constitue un cas particulier. L'ampleur des défis auxquels l'agriculture devra faire face dans les prochaines décennies, l'évolution rapide et la puissance même des biotechnologies, la diversité de leurs applications et de leurs effets avérés ou potentiels, et les débats que certaines d'entre elles suscitent nécessitent que l'Inra exprime les orientations de ses recherches dans ce domaine. L'élaboration de cette politique s'est appuyée sur des réflexions éthiques et scientifiques conduites par le Comité d'éthique et le Conseil scientifique de l'Inra, ainsi que sur diverses consultations internes et externes. Cette politique est également fondée sur la nécessité de maintenir, en France, des compétences scientifiques publiques qui en permettent un développement maîtrisé et diversifié. Déclinée selon les différentes missions de l'Inra, elle précise aussi la manière dont l'Institut conduit ses recherches dans ce domaine : en privilégiant des cibles d'intérêt public, avec un souci de parcimonie et en associant l'ensemble des parties prenantes pour les essais au champ, et dans un esprit d'ouverture aux coopérations internationales.

Marion Guillou  
Présidente-directrice générale de l'Inra

# Les biotechnologies végétales

## CHIFFRES CLÉS

### MONDE

**102 millions d'hectares** de cultures OGM dans le monde en 2006 : États-Unis (54,6 millions ha), Argentine (18 millions), Brésil (11,5 millions), Canada (6,1 millions), Inde (3,8 millions), Chine (3,5 millions). (source ISAAA 2006)

**57 % des surfaces** OGM cultivées sont dédiées au soja, 25 % au maïs, 13 % au coton et 5 % au colza. (source ISAAA 2006)

**68 % des surfaces** OGM cultivées concernent des variétés tolérantes à un herbicide.

### EUROPE

**115 000 hectares** de cultures OGM en Roumanie en 2006, en tête des sept pays qui en cultivent sur le continent européen, suivie par l'Espagne, 60 000 ha et la France, 5 000 ha. (source ISAAA 2006)

**8 variétés** OGM sont actuellement autorisées au sein de l'Union européenne, dont 2 coton, 4 maïs et 2 colza.

### FRANCE

**5 000 ha** de cultures OGM en 2006.

**21 686 ha** de cultures OGM en 2007. (source [www.ogm.gouv.fr](http://www.ogm.gouv.fr), 2007)

**39 essais** autorisés au champ en 2007 dont 2 à l'Inra. (source [www.ogm.gouv.fr](http://www.ogm.gouv.fr), 2007)

## 18 projets

### ANR-OGM (2005-2007)

### sur les OGM végétaux

### Budget : 4 849 747 €

## Implication INRA sur les 18 projets :

## 10 projets en coordination, 2 en participation

## Un avis sur les biotechnologies végétales

**Éric Vindimian, chef du service de la recherche et de la prospective, direction des études économiques et de l'évaluation environnementale, ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement durables**

**Que pensez-vous de l'avis du conseil d'administration de l'Inra sur les biotechnologies végétales ?**

Équilibré, est le premier mot qui me vient à l'esprit. En tant que scientifique je ne puis me résoudre à accepter l'idée de ne pas chercher à améliorer les biotechnologies végétales. Mais vouloir faire progresser la technologie ne doit pas rendre aveugle. Nous n'avons le droit de négliger aucune dimension qu'il s'agisse de l'innovation proprement dite, mais également de l'ensemble des risques écologiques et sanitaires ainsi que des bénéfices sociaux. À cet égard l'avis du CA me paraît remarquable.

**Quels sont les points qui vous semblent intéressants/novateurs dans le contexte actuel ?**

La volonté de traiter le sujet globalement est une innovation radicale. Le monde de la recherche est plus à l'aise dans l'approfondissement et la spécialisation. Cela va nécessiter une modification profonde des méthodes de travail et renforcer l'importance du management de la recherche. Il ne s'agit pas d'encadrer plus les chercheurs, mais de coordonner les différentes spécialités pour répondre à des questions concrètes. La poursuite d'un objectif de recherche finalisée de très haut niveau est à ce prix.

Un point qui n'est pas novateur en soi, mais fédérateur, c'est la prise en considération du bénéfice social. J'y vois la consécration de la recherche en appui aux problèmes de société. Nos concitoyens attendent que les établissements publics de recherche soient en première ligne sur ce front.

**Les questions environnementales qui vous préoccupent davantage sont-elles bien prises en considération ?**

De nombreuses questions d'impact sur les écosystèmes et la biodiversité ainsi que d'effets sur la santé humaine doivent être posées. Le texte du CA n'a pas vocation à les poser de façon détaillée. Il faut une analyse détaillée de la mise en œuvre au sein des programmes de l'Inra, mais je n'ai pas de raison de douter.

## Une approche pluridisciplinaire des biotechnologies végétales

Les biotechnologies sont aujourd'hui un outil, aussi indispensable que commun, des laboratoires de biologie et génétique végétale pour leur activité première d'acquisition de connaissances sur le fonctionnement des plantes et des interactions plante-environnement. Elles sont aussi porteuses d'innovations variées, potentiellement utiles et nécessaires pour relever les défis actuels et futurs de l'agriculture, voire dans d'autres secteurs tels que ceux de la santé ou de l'environnement. Faire en sorte que leur développement soit maîtrisé et contribue à la diversification, la durabilité et la compétitivité de l'agriculture nécessite que les recherches en abordent toutes les facettes. Lorsque ces biotechnologies sont utilisées pour concevoir des OGM susceptibles d'être cultivés au champ et/ou intégrés dans la chaîne alimentaire, il est nécessaire d'en étudier les impacts éventuels. À l'amont des procédures d'expertise, et du fait même de la diversité des effets de cette forme d'innovation, les recherches sur les OGM mobilisent donc des disciplines variées : la biologie végétale, l'écologie, l'agronomie, la toxicologie et l'allergologie, ou encore l'économie et la sociologie.



François Houllier  
Directeur scientifique « Plante et produits du végétal »

Les multiples approches ainsi mises en œuvre doivent notamment permettre d'évaluer et comparer les bénéfices, les impacts et les risques des systèmes de production fondés ou non sur la culture des OGM. Présenter les recherches relatives aux plantes génétiquement modifiées ne peut donc se réduire ni à l'énumération de projets de biologie végétale utilisant des OGM au laboratoire, ni à une liste d'essais au champ ; cela suppose de considérer, croiser et intégrer un ensemble beaucoup plus vaste de projets, de disciplines et d'approches.

**François Houllier**

## Hervé Vaucheret : la transgénèse donne accès à la connaissance de la plante

**Qu'apporte la transgénèse végétale ?**

Depuis une vingtaine d'années, la transgénèse végétale permet de modifier en une seule étape l'expression d'un gène ou de transférer un gène d'une plante vers une autre en s'affranchissant de la barrière de la reproduction sexuée qui sépare les espèces. La possibilité d'étudier le transfert d'un seul gène, alors que les méthodes de sélection par croisements déplacent de grands fragments de chromosomes, permet d'accéder aux mécanismes intimes du fonctionnement de la plante.

**Qu'a-t-on appris à propos de la transgénèse ?**

Lorsqu'on fait de la transgénèse, il arrive que certaines plantes n'expriment pas les gènes introduits. C'est en étudiant ces cas que l'on a découvert un véritable « système immunitaire » de la plante, utilisant de petits ARN, grâce auxquels la plante peut neutraliser les séquences d'ADN étrangères, transgènes mais aussi pathogènes viraux ou bactériens ou encore éléments transposables. Le mécanisme de ce système immunitaire est aujourd'hui mis à profit par la recherche

médicale pour développer de nouveaux outils thérapeutiques afin d'inactiver des virus humains mais aussi des gènes responsables de maladies génétiques. Par exemple, un spray destiné à inhiber un gène impliqué dans une maladie de la cornée est actuellement en essai clinique.

**Quelles sont les recherches à développer sur les mécanismes de la transgénèse**

La neutralisation d'un transgène par le système immunitaire de la plante dépend de nombreux facteurs, dont l'endroit du génome de la plante dans lequel il s'insère. Or aujourd'hui, on ne peut pas prédire ni contrôler le lieu d'insertion du transgène dans le génome. La solution utilisée aujourd'hui pour sélectionner des plantes transgéniques est donc de trier, parmi un grand nombre d'évènements de transformation génétique, ceux pour lesquels le gène inséré n'est pas soumis aux défenses immunitaires de la plante et s'exprime de façon stable. Les recherches actuelles visent à mieux connaître et prévoir ces évènements de transformation génétique acceptés par la plante.

## GLOSSAIRE

**Biotechnologies** : technologies utilisant du matériel biologique naturel, sélectionné ou génétiquement modifié pour produire des biens et des services. La transgénèse, mais aussi la sélection assistée par marqueurs, font partie des biotechnologies.

**Biovigilance** : dispositif de surveillance et de détection des effets non intentionnels liés à la culture de plantes génétiquement modifiées.

**Flux de gènes** : transfert de gènes, entre populations végétales, par le pollen ou les semences.

**Organisme génétiquement modifié (OGM)** : organisme dont le matériel génétique a été modifié autrement que par multiplication et recombinaison naturelles.

**Transgénèse** : ensemble des techniques d'introduction d'un gène dans un organisme pour lui conférer de nouvelles caractéristiques.

## LA PUISSANCE DES BIOTECHNOLOGIES

Georges Pelletier  
Inra Versailles

L'adaptation des pratiques agricoles au double enjeu de l'amélioration de l'environnement et de la production alimentaire et énergétique à partir des végétaux constitue une des priorités de l'Inra. Les innovations décisives dans ce domaine reposeront inévitablement sur la connaissance intime du développement et du fonctionnement des plantes. Dans ce domaine, l'Inra a été le promoteur dès 1999 d'un programme national de recherche en génomique végétale : Génoplante. Ce programme, au sein duquel plus de 300 projets ont déjà été réalisés, soutient des travaux sur les génomes d'espèces d'intérêt agronomique (blé, maïs, riz, colza, tournesol, pois, tomate, vigne, arbres forestiers, caféier...) ainsi que sur l'espèce modèle *Arabidopsis*. Il a permis la création de ressources biologiques et génomiques et de plateformes d'analyse à haut débit. Il participe à la construction d'un véritable partenariat au niveau européen en particulier avec l'Allemagne et l'Espagne. Les programmes mondiaux de caractérisation des gènes de plantes laissent déjà percevoir la puissance de ces démarches : blés ou maïs résistants à la sécheresse, colza produisant 40 % d'huile en plus, doublement de la teneur en sucre de la canne...

## IMPACT DES MAÏS BT SUR LES INSECTES NON CIBLES

Denis Bourguet  
Inra Montpellier

Nos travaux portent sur l'étude de deux risques potentiels liés à la mise en culture d'un maïs transgénique, le maïs Bt. Cette culture est une des alternatives, avec la lutte biologique (lâchers de trichogrammes) à l'usage intensif de pesticides, pour enrayer la propagation de la pyrale, principal ravageur du maïs.

Nous avons étudié le risque d'apparition de résistances aux toxines produites par les maïs Bt et démontré que, aussi bien en France où les maïs Bt n'ont été cultivés que sur quelques milliers d'hectares jusqu'en 2006 qu'en Amérique du Nord où les maïs Bt couvrent plus de 25 % des surfaces cultivées en maïs depuis plus de dix ans, les niveaux de résistance sont très faibles. Cependant, nos travaux ont montré qu'il était indispensable, pour limiter durablement les risques de résistance, de maintenir, à proximité des parcelles de maïs Bt, des cultures de maïs conventionnel sur lesquels se développent des ravageurs sensibles aux maïs Bt.

Nous avons également analysé la potentialité d'intoxication d'autres insectes, notamment les auxiliaires des cultures. L'Inra a ainsi pu montrer que, contrairement à l'usage sans discernement de pesticides, ce risque était limité, corroborant les conclusions d'une récente synthèse publiée dans la revue *Science* en 2007.

## COEXISTENCE ENTRE VARIÉTÉS OGM ET NON OGM

Nathalie Colbach  
Inra Dijon

La perspective de la mise en culture de variétés OGM rend indispensable de connaître les conditions permettant de respecter les seuils autorisés d'impureté génétique (proportion de variétés OGM) dans les récoltes non OGM. Les flux de gènes dépendent considérablement des pratiques agricoles et de l'agencement des parcelles. Vu la complexité du phénomène, les chercheurs de l'Inra ont eu recours à la modélisation pour étudier les transferts de gènes entre variétés OGM et non OGM, à l'échelle d'une région agricole. Un modèle, baptisé GENESYS, a été développé par l'Inra en collaboration avec des instituts techniques

ainsi que des chercheurs français et étrangers. Il calcule, pour le colza, le risque de flux de gènes via les graines ou le pollen, entre champs voisins et entre cultures successives, en fonction des rotations et des techniques de culture. Des versions adaptées à la betterave sucrière et au blé vont être élaborées. La qualité de prédiction du modèle a été évaluée en comparant ses simulations à des observations de terrain. GENESYS a été utilisé dans le cadre de plusieurs projets de recherche européens pour élaborer des scénarios de gestion adaptés à la coexistence des filières OGM et non OGM. Des expertises économiques ont été réalisées pour connaître le coût des solutions techniques proposées.

## EVALUER L'EFFET D'UN OGM SUR LA SANTÉ

Jean-Michel Wal  
Inra-CEA Saclay

Le développement des aliments issus des biotechnologies s'accompagne d'une étude systématique de leur impact éventuel sur la santé humaine et animale et sur l'environnement. L'évaluation de l'innocuité et de la valeur nutritionnelle des aliments contenant des OGM ou des dérivés d'OGM est une démarche nouvelle pour laquelle il a fallu inventer des concepts et des outils. En effet, jamais auparavant nos aliments n'avaient été évalués de manière systématique et les méthodes de la toxicologie classique utilisées pour des composés chimiquement définis, comme les médicaments ou les additifs, ne sont pas pertinentes pour les aliments. L'approche utilisée est fondée sur le concept de familiarité, c'est-à-dire sur la connaissance et l'expérience acquise

des aliments traditionnels. Elle compare la composition et les caractéristiques de l'aliment génétiquement modifié avec celles de l'aliment traditionnel correspondant et évalue l'effet des différences mises en évidence. Un aspect particulier est l'évaluation de la capacité d'un OGM à déclencher une réaction allergique chez des individus déjà sensibilisés voire à sensibiliser *de novo* des individus ayant une prédisposition génétique. En associant des analyses de structure et des caractéristiques physico-chimiques, on peut estimer la probabilité que les nouvelles protéines d'intérêt exprimées dans l'OGM soient allergéniques. Le développement de modèles animaux spécifiques et de nouvelles technologies comme la protéomique permettent en outre d'évaluer les effets inattendus de la modification génétique sur l'allergénicité de l'aliment dans sa globalité.

## ANALYSE DES MODES DE PRODUCTION DES SAVOIRS ET DES INNOVATIONS

Pierre-Benoît Joly  
Inra Ivry

Notre unité mène des recherches sur les modes de production des savoirs et des innovations et sur les formes de participation de la société civile à la gouvernance de la science et des risques. Les OGM sont emblématiques d'une famille de situations marquées par la complexité des phénomènes en cause, des connaissances incertaines et controversées, une contestation des cadres de l'expertise et des objectifs d'innovation et une médiatisation forte. L'étude de la « carrière » des OGM comme problème public a permis de montrer la manière dont la controverse s'est déplacée de l'aval (des questions relatives à l'utilisation des produits) vers l'amont, définissant les essais de plantes transgéniques comme une intrusion dans un espace social. La contestation conduit donc à mettre en question les dimensions politiques des choix scientifiques. L'analyse comparative internationale a mis en évidence que les

formes de régulation de la production et de la diffusion des techniques restent fortement dépendantes des cadres nationaux, ce qui explique le caractère profond du différend entre l'Europe et les États-Unis. Les chercheurs de l'unité s'intéressent également à l'organisation et aux pratiques de l'expertise scientifique (notamment à la CGB) et à la participation du public aux choix scientifiques et techniques. Ils ont conduit une expérience originale d'évaluation participative des recherches sur les porte-greffes transgéniques de vigne, précédant l'implantation à Colmar en 2005 d'essais au champ de vigne modifiée génétiquement. Le groupe de travail mis en place a ainsi contribué au processus décisionnel de l'Inra en produisant une expertise pluraliste recommandant, notamment, d'explorer d'autres options de recherche pour lutter contre les virus de la vigne, de créer un comité local en charge du suivi de l'essai et de ne pas passer à d'éventuelles applications commerciales sans nouvelle consultation.

## SIGMEA ET CO-EXTRA deux programmes européens coordonnés par l'Inra sur la co-existence OGM / non OGM

### SIGMEA

Le projet de recherche SIGMEA (*Sustainable Introduction of GMOs into European Agriculture*) (2004-2007) propose un outil d'aide à la décision permettant de répondre aux questions : Que se passerait-il, en terme de dispersion de gènes, si on introduisait tel OGM dans telle région européenne ? et Comment organiser les cultures pour maintenir dans les limites des seuils légaux la présence fortuite d'OGM dans les cultures conventionnelles ? Les différentes simulations montrent que les risques sont gradués suivant le contexte cultural et suivant les caractéristiques de l'OGM envisagé. Dans certains cas, il suffit d'organiser la récolte séparément. Dans d'autres cas, il faut prendre en plus des précautions culturales : dates des semis, rotations culturales, etc. Enfin, parfois une séparation géographique entre cultures OGM et cultures conventionnelles est nécessaire. Ainsi, sans préjuger des décisions politiques et des seuils fixés, cet outil donne les moyens de connaître, dans chaque scénario, les risques de dispersion des gènes et les moyens à mettre en œuvre pour les minimiser. Douze pays européens ont fourni des jeux de données sur les flux de gènes à partir de leurs essais expérimentaux.

**Antoine Messéan**  
<http://sigmea.dydns.org/>

### CO-EXTRA

Le programme Co-Extra (CO-EXistence et la TRAçabilité des filières OGM et non OGM) (2005-2009) vise à fournir des méthodes pour organiser au moindre coût la co-existence entre les filières OGM et non OGM, en définissant des conditions particulières de récolte et de transformation des produits alimentaires. En corollaire, le programme développe les méthodes nécessaires au contrôle et à la traçabilité des produits tout au long de la chaîne pour en assurer un étiquetage fiable. Ainsi, consommateurs, industriels et agriculteurs devraient-ils conserver leur libre-choix pour l'utilisation ou non d'OGM, comme ils le réclament et comme le requiert également la réglementation européenne actuelle. *En tant que projet intégré réunissant près de deux cents experts reconnus de dix-huit pays, le programme Co-Extra est particulièrement bien conçu pour favoriser la compétitivité européenne et pour répondre aux besoins de la société* souligne Christian Patermann, directeur biotechnologie, agriculture et alimentation, de la Commission européenne. Outre des pays européens, le programme implique aussi la Russie, l'Argentine et le Brésil.

**Yves Bertheau**  
[www.coextra.eu](http://www.coextra.eu)

## LES PROJETS ANR-OGM 2005-2007 PARTICIPATION INRA

### Thèmes de recherche des projets ANR

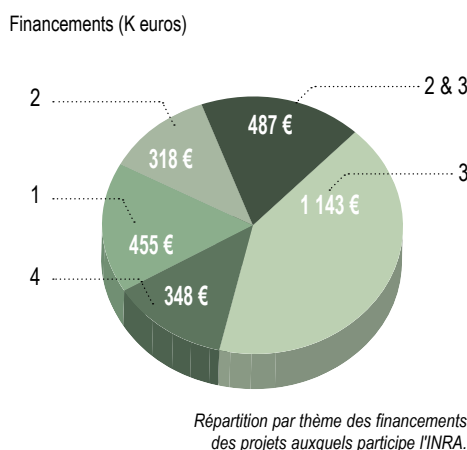
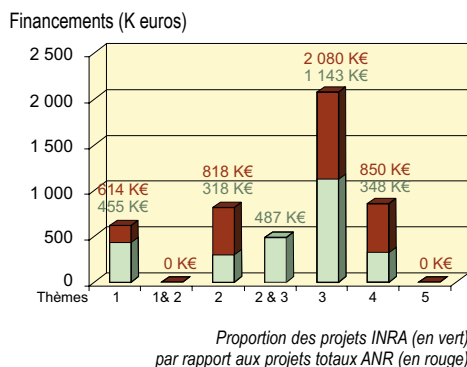
**Thème 1 :** Éclairer les enjeux économiques, éthiques, juridiques et sociaux.

**Thème 2 :** Concevoir et évaluer des systèmes de production intégrant des OGM.

**Thème 3 :** Renforcer et approfondir les travaux sur la dissémination des gènes et sur les interactions écologiques au sein des écosystèmes.

**Thème 4 :** Améliorer les méthodes génériques de transformation et les connaissances sur les interactions entre les transgènes et leur environnement génétique.

**Thème 5 :** Développer une démarche globale d'analyse de la sécurité des aliments issus d'OGM.



### EPIPAGRI

Epipagri est un programme européen pour la mise en place d'un réseau de gestion mutualisée de la propriété intellectuelle agro-biotechnologique publique européenne, coordonné par Bernard Teyssendier de la Serve, Montpellier.

### Projets coordonnés par l'Inra dans le domaine des OGM végétaux

- Efficacité, durabilité et sécurité biologique de résistances aux virus dans des plantes transgéniques exprimant différents transgènes.
- Rémanence de la protéine Bt dans le sol : détection et modification de la structure à l'état adsorbé.
- Évaluation et amélioration du modèle GENESYS-Betterave des effets des systèmes de culture sur le flux de gènes entre betterave sucrière et betterave adventice.
- OGM et concurrence en amont de l'agriculture : analyse des effets économiques des pratiques commerciales des firmes de semences, pesticides et biotechnologies végétales.
- Évaluation hors confinement de porte-greffes de vigne transgéniques développés pour induire une résistance au Grapevine fanleaf virus, agent principal de la maladie du court-noué. Analyse du mécanisme mis en jeu et impact sur les populations virales et le transfert horizontal des nématodes vecteurs.
- Connaissances biologiques et normes d'action publique (COBINA).
- Apports de la modélisation dans une approche pluridisciplinaire pour gérer la coexistence de filières OGM et non OGM chez le maïs (GCOM2AP).
- Contrôle de l'inactivation épigénétique des transgènes et diagnostic d'instabilité de l'expression génique (Diagnogene).
- Flux de gènes du colza vers la ravenelle (NATORA).
- Analyse des données issues des réseaux d'observatoires biologiques pour suivre et analyser l'impact de l'introduction de pratiques innovantes (vigiweed).

### QUELQUES RÉSULTATS

- Le raisin sans pépin DANUTA (variété non OGM obtenue par croisements).
- La génétique au service de l'amélioration du colza (création d'hybrides).
- Des plantes à traire (procédé de culture des plantes, pour l'obtention de molécules d'intérêt pharmaceutique).
- Un outil pour détecter la diversité des virus phytopathogènes.

Voir [www.inra.fr/presse](http://www.inra.fr/presse)