



Royal Belgian Academy Council
of Applied Science

LES OGM

(Organismes Génétiquement Modifiés)

Le cas des plantes transgéniques

GMO

(Genetisch Gemodificeerde Organismen)

Transgene planten

Sept. 2006



Koninklijk Vlaamse Academie van België
voor Wetenschappen en Kunsten

Paleis der Academiën
Hertogsstraat 1, 1000 Brussel



Académie royale des Sciences,
des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique

Palais des Académies
rue Ducale 1, 1000 Bruxelles

Le Comité de l'Académie pour les Applications de la Science (CAPAS) a été créé en 1987 en tant que société savante par l'Académie Royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique (Classe des Sciences) ainsi que par les milieux industriels scientifiques intéressés par les applications de la recherche et leurs effets économiques, sociaux et culturels.

Le CAPAS a pour mission de servir le pays et ses régions

- en offrant des avis indépendants et son expertise pour tout problème d'importance fédérale ou régionale se rapportant à la science et à la technique, à la recherche et à l'ingénierie;
- en encourageant les accords au plan fédéral et régional portant sur les choix à adopter en matière de politique de recherche et de développement industriel pour répondre aux besoins croissants actuels et futurs du pays;
- en identifiant les moyens disponibles tant en matière de recherche que d'innovation dans les tissus académiques et industriels;
- en informant les pouvoirs publics de la nécessité de soutenir en finançant la recherche et l'innovation dans les universités et dans l'industrie au profit des économies fédérale et régionale;
- en développant la prise de conscience par le grand public des sciences et des techniques et de leur influence sur la vie quotidienne;
- en soutenant une formation à la fois meilleure et continue en science et en ingénierie.

Le CAPAS est composé de 40 membres effectifs au plus représentant à parts égales les milieux académiques et industriels. Il est complété par un réseau d'associés choisis pour leur compétence et leur notoriété.

Ses travaux sont entrepris, soit de sa propre initiative, soit à la demande de l'Académie, ou des pouvoirs publics, ou encore des organismes ayant vocation d'aide à la recherche et à l'innovation.

Il collabore paritairement avec son homologue flamand, le CAWET (Comité van de Academie voor Wetenschappen en Techniek, issu de la Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten) pour constituer le «Royal Belgian Academy Council of Applied Sciences» (BACAS). Ce dernier représente les Académies Royales de Belgique dans le domaine des Applications de la Science et notamment dans EuroCASE (European Council of Applied Sciences, Technologies and Engineering) et dans CAETS (International Council of Academies of Engineering and Technological Science).

Octobre 2006

Membres du Groupe n° 40 du BACAS/CAPAS

| | |
|--------------|--|
| Charles | Bienfait (Solvay) |
| Philippe | Bourdeau (ULB, CAPAS) |
| Marc | Boutry (UCL) |
| Arsène | Burny (FUSAGx, CAPAS), Président |
| Mark | Cantley (Commission Européenne) |
| André | Goffeau (UCL) |
| Dirk | Inzé (UG) |
| Jean-Jacques | Van de Berg (CAPAS) |
| Jan | Van Keymeulen (CAPAS, CAWET) |
| Marc | Van Montagu (UG, CAWET) |
| Nathalie | Verbruggen (ULB) |

A également contribué :

Fernand **Van Hoeck** (Commission Européenne, honoraire)

Pour le chapitre 4 exclusivement (Les plantes transgéniques et la société)

| | |
|----------|------------------------|
| Philippe | Goujon (FUNDP) |
| Marc | Mormont (ULg) g |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|----|
| Summary | 4 |
| Résumé | 5 |
| Samenvatting | 7 |
| Chapitre 0: Introduction..... | 10 |
| Chapitre 1: Les OGM, les plantes transgéniques | 12 |
| 1.1. Les progrès de la biologie moléculaire | 12 |
| 1.2. Les plantes transgéniques | 13 |
| 1.2.1. Historique | 14 |
| 1.2.2. Transformations en laboratoire | 14 |
| 1.2.3. Quelques exemples de plantes transgéniques | 15 |
| 1.2.3.1. Plantes résistantes aux herbicides totaux..... | 15 |
| 1.2.3.2. Plantes Bt..... | 15 |
| 1.2.4. Autres applications, autres plantes transgéniques en développe- ment | 16 |
| 1.2.5. Productions non-alimentaires | 16 |
| 1.2.5.1. Chimie verte..... | 17 |
| 1.2.5.2. Énergies renouvelables | 17 |
| 1.2.5.3. Médicaments | 17 |
| Chapitre 2: Risques | 18 |
| 1.1. Risques pour la santé..... | 18 |
| 2.2. Risques pour l'environnement | 18 |
| 2.2.1. Impact direct des plantes transgéniques sur l'environnement ... | 19 |
| 2.2.2. Transmission des transgènes à d'autres espèces..... | 20 |
| Chapitre 3: Plantes transgéniques: réglementation et introduction de dossiers | 22 |
| 3.1. Comment sont introduites les plantes transgéniques dans l'Union Européenne? | 22 |
| 3.2. Étiquetage et traçabilité | 22 |
| 3.3. Co-existence de cultures traditionnelles et transgéniques | 23 |
| Chapitre 4: Les plantes transgéniques et la société | 24 |
| 4.1. Diagnostic | 24 |
| 4.2. Critiques et préoccupations de l'opinion publique | 24 |
| 4.3. Conditions pour assurer démocratiquement l'acceptabilité des OGM... .. | 26 |
| Chapitre 5: Les plantes transgéniques en Belgique: recherche et développement, production, activités commerciales | 29 |
| 5.1. Les laboratoires..... | 29 |
| 5.1.1. Laboratoires publics | 29 |
| 5.1.2. Laboratoires industriels | 29 |
| 5.2. Les experts | 29 |
| Chapitre 6: Questions fréquemment posées concernant les plantes transgéniques et éléments de réponse | 30 |
| Chapitre 7: Conclusions | 34 |

SUMMARY

GMO's (Genetically modified organisms) – Transgenic plants

The objective of the report is to assess the current situation for transgenic plants (GM plants) in a Belgian/European context, 10 years after their world-wide introduction, and to draw conclusions about them regarding research, development, marketing and societal aspects.

The area of cropland planted with transgenic plants is increasing rapidly throughout the world, having reached 90 million ha in 2005, mostly in North and South America, China and other Asian countries, but very little in Europe. In the European Union, the introduction of transgenic plants faces much opposition in many member-states. They are alleged to be anti-natural, dangerous to human health and the environment, unnecessary and benefiting only the large multinationals which produce seeds and agro-chemicals. They are also seen as another negative consequence of globalisation. European agro-biotechnology companies are driven more and more to doing their field testing and production abroad.

Transgenic plants originate from the tremendous advances in molecular biology since the 1950's, which made it possible to unravel the genetic code, to identify the genes responsible for given traits and to transfer desirable genes from one species into another, even far removed genetically from the first one. This has advantages over the traditional plant breeding techniques of hybridisation and mutagenesis, as it makes it possible to "design" genomes by introducing genes producing the desired properties. The first transgenic plant was actually produced in Belgium (Schell and Van Montagu, University of Ghent, 1983) and much expertise in the subject was developed in our country.

At present, the main transgenic crops, on a acreage basis, are maize, soybean, rapeseed and cotton; the main traits obtained from genetic modifications are herbicide and insect resistance but other properties have been obtained or are under development, such as virus resistance, improved nutritional value (vitamin content, amino-acid or fatty acids composition), drought resistance, salt tolerance and even the production of pharmaceutical drugs and vaccines. Other applications are of interest to the chemical industry, such as the production of fine chemicals or precursors for plastics, as well as to the energy sector for producing more fuel from biomass.

With regard to risks to human health, transgenic plants are not hazardous *per se*. As for any other plant, it is what they contain which might be dangerous, whatever the method used to produce them. So far, after 10 years of consumption of large quantities of feed and food from transgenic plants in the USA, there is no evidence of negative impact on health, as confirmed by

a recent and comprehensive WHO report. Transgenic plants under development are submitted to classical toxicity testing (which is not imposed for new plant varieties obtained by traditional methods) in order to detect any undesirable effect and which, in the event, results in the project being stopped. Such was the case of a soybean including a gene from the Brazil nut causing allergies.

As far as impacts on the environment are concerned, two points must be considered: direct environmental effects and the transmission of transgenes to the same or other species. Direct effects should be distinguished from those of intensive agriculture, in particular monocultures in large fields and the accompanying loss in biodiversity. Prior to being authorized, transgenic plants must be tested in the laboratory and in the field for their possible effects on flora and fauna. So far, no detrimental impact has been confirmed. The announcement, made in 1999, that larvae of the Monarch butterfly were killed in the USA by pollen from a transgenic maize containing a Bt (*Bacillus thuringiensis*) toxin for insect resistance proved to be a false alarm. The appearance of resistance in target insects which has been observed, may occur also with insect-resistant plants obtained by traditional breeding techniques. The use of refuge zones around Bt plants may obviate this drawback.

Transgene transmission may occur through pollination of wild species related to the crop plant such as wild mustard for rapeseed or wild beets for sugar beet. This, obviously, is not a concern for crop plants, such as maize, soybean or cotton, which have no close relatives in the local (European) flora. The transgene may conceivably confer an advantage if it causes herbicide or insect resistance, or greater drought tolerance, etc. However, the transgene will survive only if the hybrid is fertile. Moreover, transgenes are always accompanied by other genes and these may have a negative survival value. Transgenes coding for properties such as improved nutritional quality or other non-environmental features are not likely to have any survival value in the wild. On the other hand, techniques have been developed to prevent pollen from carrying the transgene.

Cross-fertilisation between traditional and transgenic crop plants of the same species is a real problem and one of the main arguments of the opponents of transgenics. Co-existence is improved, however, by imposing requirements on agricultural practices – such as different planting times, or minimum distances between fields. The distance will vary according to the crop and the local conditions.

There may be environmental advantages to the use of some of the transgenic plants, in terms of reduced pesticide use and possibilities of low till or no till agriculture.

The European Union has the world's most stringent legislation on the introduction of transgenic plants, their labelling and traceability (with a threshold of 0.9% for the products derived from transgenic plants). Compliance in the matter of labelling and traceability is controlled in Belgium by the Federal Agency for the Safety of the Food Chain. A *de facto* moratorium on introductions, imposed by EU Environment Ministers in 1998, was suspended in 2004. Since then more than 30 new introductions have been authorised by the Commission after assessment by the European Food Safety Authority.

Yet, opposition to transgenic plants remains strong in some quarters. This may be explained by a variety of arguments. Some of them are listed here in no special order: general disenchantment with science and technical progress, loss of confidence in government authorities resulting from previous mistakes (asbestos, mad cow disease, HIV-contaminated blood, dioxins,...), aversion to the "technologisation" of living organisms, fear of potentially irreversible effects, nostalgia for traditional family agriculture, rejection of risk assessment by experts as a basis for decision, anti-globalisation and dislike of large multinationals,... It would be incorrect, and useless, merely to dismiss all these motivations as irrational. One way forward might be to involve the citizens early enough in the decision making process, together with scientific experts, industry and the authorities, giving weight to ethical and social choices as well as to technical and economic factors.

The report includes an overview of the scientific and industrial potential in the field of transgenic plants in Belgium, which is far from negligible.

The report ends with a series of questions often asked about transgenic plants and answers to them, in the light of the best available information.

The following conclusions are drawn:

- for plants as well as for animals and microorganisms, transgenesis is a unique and indispensable tool for fundamental research and the understanding of life processes;
- transgenic plants offer interesting prospects for the production of feed, food, fiber, pharmaceuticals, chemicals, biofuels; much of this development is taking place outside Europe;
- there is no evidence so far of ill effects on human health of transgenic plants now on the market; toxicity testing prior to introduction is adequate to put a stop to any hazardous new product;
- potential negative impacts on the environment have to be evaluated by further experimentation and mitigated by proper cultural practices;
- the concerns of opponents to transgenic plants must be addressed, by providing the public with objective, well-balanced and honest information and, possibly, by broadening the decision making process and increasing transparency;
- a reasoned development of transgenic agriculture is favoured, on a case to case basis;
- Belgian initiatives in research and development in the field of transgenic plants should be encouraged and adequately supported by the public authorities.

RÉSUMÉ

Les OGM (organismes génétiquement modifiés) – Le cas des plantes transgéniques

Le but du rapport est d'évaluer la situation actuelle des plantes transgéniques (plantes GM) dans un contexte belge et européen, dix ans après leur introduction commerciale au niveau mondial, et de tirer les conclusions de cet examen tant sur les plans de la recherche, du développement et de la production que celui des aspects sociologiques.

La surface cultivée en plantes transgéniques s'accroît rapidement dans le monde. Elle a atteint 90 millions d'hectares en 2005, principalement en Amérique du Nord et du Sud, en Chine et dans d'autres pays asiatiques, mais très peu en Europe. Au sein de l'Union européenne, l'introduction des plantes transgéniques rencontre beaucoup d'opposition dans de nombreux états-membres. Elles sont accusées d'être contre nature, dangereuses pour la santé humaine et l'environnement, non nécessaires, ainsi que de bénéficier exclusivement aux grandes multi-nationales

productrices de semences et de produits agro-chimiques. Elles sont également considérées comme une des nombreuses conséquences négatives de la mondialisation. Les firmes agro-biotechnologiques européennes se voient de plus en plus contraintes à réaliser leur essais en champ et leur production hors Europe.

Les plantes transgéniques trouvent leur origine dans les progrès énormes de la biologie moléculaire depuis les années 1950, qui ont permis d'élucider le code génétique, d'identifier les gènes produisant certains caractères et de transférer des gènes désirables à cet égard d'une espèce à une autre, même si, d'un point de vue phylogénétique, elles sont très éloignées l'une de l'autre. La transgénèse poursuit donc les mêmes objectifs que l'amélioration classique réalisée par croisements et mutagenèse mais utilise une approche plus ciblée tout en contournant certaines limites inhérentes aux croisements. La première plante

transgénique fut produite en Belgique (Schell et Van Montagu, Université de Gand, 1983) et une compétence scientifique considérable dans ce domaine s'est développée dans notre pays.

Actuellement, les plantes transgéniques les plus cultivées sont le maïs, le soja, le colza et le coton. Les principaux caractères recherchés et obtenus sont la résistance aux herbicides et aux insectes ravageurs, mais d'autres caractères ont été obtenus ou sont l'objet de recherche et de développement, telles que la résistance aux virus, l'amélioration de la qualité nutritive (contenu en vitamines, composition des acides aminés ou des acides gras, ...), la résistance à la sécheresse, la tolérance de la salinité, voire la production de molécules médicamenteuses et de vaccins. D'autres applications intéressent l'industrie chimique, comme la production de substances chimiques fines ou de précurseurs de polymères pour les matières plastiques, ainsi que la production d'énergie à partir de la biomasse.

En ce qui concerne les risques pour la santé humaine, les plantes transgéniques ne sont pas dangereuses *per se*. Comme pour toute autre plante, ce qui peut les rendre dangereuses est ce qu'elles contiennent, quelle que soit la technique utilisée pour les produire. Jusqu'à présent, après 10 années de consommation de très grandes quantités de produits de plantes transgéniques dans l'alimentation humaine et celle du bétail aux USA et ailleurs, il n'y a aucune indication d'impact négatif sur la santé, comme le montre un rapport exhaustif et récent de l'OMS. Les plantes transgéniques en voie de développement sont soumises à des tests classiques de toxicité (lesquels ne sont pas imposés aux nouvelles variétés obtenues par les méthodes traditionnelles) afin de détecter tout effet indésirable, ce qui peut conduire, le cas échéant, à l'abandon du projet. Tel fut le cas, par exemple, d'un soja incluant un gène de la noix du Brésil causant une allergie.

Pour ce qui regarde les impacts sur l'environnement, il faut considérer deux aspects distincts : les effets directs et la transmission fortuite des transgènes à des plantes de la même espèce ou d'espèces apparentées. Les effets directs doivent être distingués de ceux de l'agriculture intensive, en particulier des monocultures sur de grandes surfaces avec la perte de biodiversité qui en résulte. Avant d'être autorisées, les plantes transgéniques doivent être testées en laboratoire et en champ pour leurs effets potentiels sur la flore et la faune. Jusqu'à présent, aucun impact négatif n'a été confirmé. L'annonce, en 1999, que les larves du papillon Monarque étaient tuées aux USA par le pollen d'un maïs transgénique contenant une toxine Bt (*Bacillus thuringiensis*) afin de le rendre résistant aux insectes ravageurs, s'est révélée être une fausse alerte. Quant à l'apparition de résistance chez les insectes-cibles, qui été observée, elle peut apparaître également dans le cas de plantes résistantes aux insectes obtenues par les méthodes d'amélioration traditionnelles. Le recours à des zones-refuges autour des plantes Bt peut obvier à ce problème.

La transmission des transgènes peut se produire par la pollinisation d'espèces sauvages apparentées à l'espèce cultivée, telles que la moutarde sauvage pour le colza et les betteraves sauvages pour la betterave à sucre. Elle ne constitue évidemment pas un problème pour les plantes de culture comme le maïs, le soja ou le coton qui n'ont pas de proches parents dans la flore locale (européenne). Le transgène pourrait théoriquement conférer un avantage s'il engendrait une résistance aux herbicides, aux insectes, à la sécheresse, etc. Cependant, le transgène ne persistera que si l'hybride est fertile. De plus, les transgènes sont toujours accompagnés d'autres gènes, lesquels peuvent avoir une valeur de survie négative. Il est improbable que les transgènes qui codent pour des caractères tels qu'une meilleure qualité nutritive ou d'autres propriétés sans rapport avec l'environnement, puissent conférer un avantage quant à la survie de l'individu dans la nature. D'autre part, il existe des techniques qui empêchent le transfert des transgènes par le pollen.

La possibilité de fertilisation croisée entre plantes de culture traditionnelles et transgéniques de la même espèce constitue un problème réel et est un des arguments principaux évoqués par les adversaires des plantes transgéniques. La co-existence est rendue possible, toutefois, par des mesures touchant aux pratiques agricoles, telles que le calendrier des dates de semis ou l'imposition de distances minimales entre champs. Cette distance varie selon la plante de culture et les conditions du site.

Enfin, toujours en ce qui concerne l'environnement, l'utilisation des plantes transgéniques peut être avantageuse, en ce qu'elle peut amener à réduire les quantités de pesticides utilisées et permettre aussi les pratiques de non-labour ou de labour réduit.

L'Union européenne a mis en place la réglementation la plus sévère au monde sur l'introduction des plantes transgéniques, leur étiquetage et traçabilité (avec, entre autres, un seuil maximum de 0,9% de transgènes pour les produits dérivés des plantes transgéniques). Le respect des règles d'étiquetage et de traçabilité est contrôlé en Belgique par l'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA). Un moratoire *de facto* sur les introductions de plantes transgéniques, établi en 1998 par le conseil des ministres de l'environnement de l'UE, a été suspendu en 2004. Depuis lors, plus de 30 introductions ont été autorisées par la Commission européenne après évaluation par l'Autorité européenne pour la Sécurité alimentaire.

L'opposition aux plantes transgéniques demeure cependant très vive chez certains. Elle peut s'expliquer par un nombre de raisons. L'on peut citer les suivantes, dans le désordre : désenchantement général vis-à-vis de la science et du progrès technique, perte de confiance dans les autorités gouvernementales résultant d'erreurs passées (amiante, maladie de la vache folle, sang contaminé par le virus du SIDA, dioxines dans les produits alimentaires, etc), refus de la « technologisation » du vivant, peur d'effets irréversibles, nostalgie pour l'agriculture tra-

ditionnelle familiale, rejet de l'évaluation des risques par les experts comme base de prise de décision, anti-mondialisation, méfiance à l'égard des grandes multinationales, Il serait incorrect et vain de rejeter ces motifs en les considérant comme irrationnels. Une des voies suggérées pour affronter ce type de conflits est de faire participer les citoyens dès l'abord au processus de prise de décision aux côtés des experts scientifiques, de l'industrie et des autorités publiques, prenant en compte les choix sociaux et éthiques tout autant que les aspects techniques et économiques.

Le rapport inclut un inventaire sommaire du potentiel scientifique et industriel de la Belgique dans le domaine des plantes transgéniques, lequel est loin d'être négligeable.

Le rapport se termine avec une série de questions fréquemment posées au sujet des plantes transgéniques et les réponses que l'on peut leur donner sur la base de la meilleure information disponible.

Les conclusions tirées de cette étude sont les suivantes:

– chez les plantes comme chez les animaux et les microbes, la transgénèse constitue un outil incomparable

et indispensable pour la recherche fondamentale et la compréhension du vivant;

- les plantes transgéniques offrent des perspectives intéressantes pour la production d'aliments pour l'homme et les animaux d'élevage, de fibres, de médicaments, de substances chimiques, de bio-carburants; une grande partie de leur développement se passe actuellement hors d'Europe;
- il n'y a pas, jusqu'à présent, d'indication d'effets nocifs pour la santé humaine des plantes transgéniques commercialisées;
- les effets négatifs potentiels sur l'environnement doivent être pris en compte, d'une part par la poursuite d'une expérimentation appropriée et, de l'autre, par l'adoption de pratiques culturelles adéquates;
- les préoccupations des adversaires des plantes transgéniques doivent être rencontrées, en fournissant au public des explications équilibrées, objectives et honnêtes et, peut-être, en élargissant le processus de prise de décision et en augmentant la transparence;
- un développement raisonné de l'agriculture transgénique, cas par cas, est recommandé;
- les initiatives belges de R&D dans le domaine des plantes transgéniques doivent être encouragées et soutenues adéquatement par les pouvoirs publics.

SAMENVATTING

GMO (Genetische Gemodificeerde Organismen) – Transgene planten

Het objectief van onderhavig rapport is de huidige situatie van transgene planten (GM – planten) in België /EUROPA – 10 jaar na hun introductie wereldwijd – te evalueren en besluiten te trekken in betrekking met R&D, industriële ontwikkelingen en andere aspecten.

Het bebouwde areaal met transgene planten groeit zeer snel, (90 miljoen ha. In 2005) voornamelijk in N- en Z-Amerika, in China en andere Aziatische landen maar niet in Europa. In de Europese Unie ontmoet de introductie van GMO's hevige tegenstand in vele lidstaten. Hen wordt toegeschreven dat ze onnatuurlijke eigenschappen hebben, gevaarlijk zijn voor de volksgezondheid en voor het milieu, niet noodzakelijk en uitsluitend het profijt dienen van de grote multinationale bedrijven die zaden en agrochemicaliën produceren. Bovendien worden ze beschouwd als nog een ander gevolg van de globalisatie. Europese agrobiotechnologische bedrijven moeten meer en meer hun onderzoek buiten Europa laten uitvoeren en voor hun producten ook buitenlandse markten opzoeken.

Transgene planten zijn ontstaan dank zij de geweldige vooruitgang van de moleculaire biologie in de jaren '50. Hierdoor werd het mogelijk de genetische code te ontrafelen, de genen te identificeren die verantwoordelijk zijn voor bepaalde eigenschappen en de gewenste genen te

introduceren van een bepaald species naar een andere (ook als deze evolutionair ver van elkaar verwijderd zijn).

Deze methode heeft grote voordelen t.o.v. de traditionele hybridisatie en mutagenese, daar ze toelaat genomen uit te tekenen met de gewenste eigenschappen. Melden we toch dat de eerste transgene planten geproduceerd werden in België (J. Schell & M. Van Montagu, Universiteit Gent, 1983) en dat in dit domein veel expertise ontwikkeld werd in ons land.

Op basis van de verbouwde oppervlakten zijn de transgenetische planten in hoofdzaak: maïs, soya, koolzaad en katoen. De belangrijkste eigenschappen die door genetische modificaties bereikt werden, zijn de weerstand tegen herbiciden en insecten. Bovendien werden nog andere kenmerken toegevoegd of zijn in ontwikkeling zoals weerstand tegen virussen, verhoogde voedingsswaarde (aanwezigheid van vitamines, samenstelling van aminozuren en vetzuren) weerstand tegen droogte, zout-tolerantie en zelfs de productie van farmaceutische moleculen en vaccins. Andere toepassingen wekken de interesse van de chemische industrie; zoals de productie van fijne chemicaliën of precursoren voor kunststoffen en naar de energie-sector toe om meer brandstof te produceren uit biomassa.

De transgene planten zijn voor de volksgezondheid niet gevaarlijk "per se". Zoals bij iedere andere plant is het de inhoud die gevaarlijk kan zijn. Sedert 10 jaar gebruikt men grote hoeveelheden voedsel en veevoeding afkomstig van transgene planten en tot nu toe heeft men nog geen negatieve impact op de gezondheid genoteerd zoals bevestigd werd in een recent WHO-rapport. De voor de praktijk potentiële transgene planten worden onderworpen aan de klassieke toxicologische testen om ongewenste effecten te detecteren die desgevallend tot het verwerpen van het project kan leiden. Dit was het geval voor maïs met een gen afkomstig van de Braziliaanse noot dat codeert voor een eiwit dat allergie veroorzaakt.

Voor de impact op het milieu moeten twee punten in beschouwing genomen worden: het direct effect op het milieu en de overdracht van transgenen naar dezelfde of een ander species. Directe effecten moeten onderscheiden worden van deze te wijten aan intensieve landbouw, in 't bijzonder monocultuur op uitgestrekte velden en het hiermede bijgaand verlies aan biodiversiteit. Vooral toegelaten te worden moeten transgene planten in het laboratorium getest worden en ook in proefvelden om een mogelijk effect op flora en fauna na te gaan. Er werden tot nu toe nog geen schadelijke effecten vastgesteld. Het bericht van 1999 dat in de V.S. larven van de Monarch vlinder gedood werden door pollen van transgenetisch maïs met een BT (*Bacillus Thuringensis*)-toxine voor weerstand tegen insecten, was een vals alarm. Het optreden van weerstand tegen geviseerde insecten, dat werd waargenomen, kan eveneens optreden bij planten met resistentie tegen insecten bekomen door traditionele reproductie-methoden. Het aanleggen van schutzones rondom BT-planten schakelt dit nadeel uit.

Overdracht van transgenen kan plaats vinden door pollinatie van wilde species die kruisbaar zijn met de geteelde plant zoals wilde mostaard voor koolzaad en wilde bieten voor suikerbieten. Dit is duidelijk niet het geval voor geteelde planten zoals maïs, soya en katoen, die geen tegenhangers hebben in de endemische (Europese) flora. Men kan zich indenken dat het transgen voordelen bijbrengt, zoals weerstand tegen herbiciden of insecticiden of betere tolerantie tegen droogte. In ieder geval kan het gen slechts overleven indien het hybride vruchtbaar is. Bovendien zijn transgenen altijd vergezeld van andere genen die soms een negatieve overlevingswaarde hebben. Het is onwaarschijnlijk dat genen die verhoogde voedingskwaliteit of andere non-milieu eigenschappen bijbrengen, in 't wild een verhoogde overlevingswaarde zouden hebben. Anderzijds werden technieken ontwikkeld die het onmogelijk maakt voor meeste planten, dat pollen transgenen overdraagt. Een van deze technieken bestaat eruit dat de transgenen in de plastiden in plaats van de kern geplaatst worden (de meeste planten hebben immers geen plastiden in pollen, als het transgen in het plastide DNA zit, wordt het niet naar wilde planten overgedragen).

Kruis-fertilisatie tussen traditionele en transgene planten is een echt probleem en een van de hoofdargumenten van de tegenstanders van deze laatste. Co-existent is mogelijk mits een minimum afstand tussen de velden op te leggen. Deze afstand varieert naar gelang de soort en de lokale omstandigheden.

De Europese Unie heeft een van 's werelds meest strenge wetgeving betreffende het invoeren van transgene planten, de etikettering en de traceerbaarheid (met een drempel waarde van 0,9% voor producten afgeleid van transgene planten).

OP het gebied van etikettering en traceerbaarheid wordt in België de controle uitgeoefend door het Federaal Agentschap voor de Veiligheid van de Voedselketen. Het E.U.-moratorium van 1998 werd opgeheven in 2004. Sedertdien werden er meer dan 30 aanvragen door de Commissie, na evaluatie van het Europees Voedselagentschap (EFSA) goedgekeurd.

Oppositie tegen transgene planten blijft sterk in bepaalde kringen. Deze kan verklaard worden door zeer uiteenlopende redenen. Sommigen hiervan worden hier in willekeurige volgorde opgesomd:

- ontgoocheling in de wetenschap en technische vooruitgang
- verlies van vertrouwen in de regering en politieke autoriteiten – omwille van vroeger begane fouten (asbest, dulle koeziekte, dioxinen...).
- afkeer voor "technologisering" van levende organismen
- vrees voor potentieel onomkeerbare effecten
- nostalgie naar traditioneel familiale landbouw
- afwering van risico-bepaling door experts als basis voor beslissing
- anti-globalisatie en afkeer voor grote multinationals.

Het zou niet correct en nutteloos zijn al deze motieven als irrationeel af te wimpelen. Een stap in de goede richting zou zijn de bevolking zeer vroeg in de besluitvorming te betrekken samen met wetenschappelijke deskundigen, industrieën, en de overheid. Deze werkwijze zou evenzeer aan ethische en sociale keuzes als aan technische en economische factoren gewicht geven. In dit verband kunnen consensus-conferenties zoals ingericht in Denemarken een doorbraak betekenen.

Het rapport geeft een overzicht van het –niet onbelangrijk-wetenschappelijk en industrieel potentieel betreffende transgene planten in België.

Op het einde zijn een reeks van dikwijls gestelde vragen opgenomen evenals antwoorden hierop, in het licht van huidige stand van onze kennis.

De volgende besluiten worden vooropgesteld:

- bij planten zoals bij dieren en micro-organismen is transgenesis een onvergelijkbaar en onontbeerlijk werktuig voor fundamenteel onderzoek en het begrip van het levende;

- transgene planten bieden interessante perspectieven voor de productie van diervoeding, voedsel, vezels, geneesmiddelen, chemicaliën, biobrandstoffen; de meeste van deze ontwikkelingen gebeuren buiten Europa;
- er zijn geen aanduidingen, dat producten afkomstig van transgene planten en die nu op de markt zijn, de gezondheid bedreigen;
- voorafgaandelijke toxiciteitsproeven moeten producten met risico kunnen weren;
- negatieve invloed op het milieu kan uitgesloten worden door aangepaste experimenten en landbouwtechnieken;
- met de bezorgdheden van de tegenstanders van transgene planten moeten rekening gehouden worden, mogelijks door de uitbreiding van de procedure voor besluitvorming en voor beter inzicht;
- Belgische initiatieven van R&D omtrent transgene planten zou moeten aangemoedigd en op gepaste manier gefinancierd worden.

CHAPITRE 0: INTRODUCTION

Le rôle du BACAS (Belgian Academy Council of Applied Sciences) est de servir la Belgique en matière de science et de technologie par:

- l'offre d'avis indépendants et d'expertises pour les problèmes importants et actuels touchant aux applications de la science;
- la formulation de recommandations en matière de politique scientifique et industrielle au regard des progrès constants de la science et de la technologie;
- l'examen critique des financements publics de la recherche et de l'innovation;
- l'information du public sur les avancées de la science et de la technologie et de leur impact sur les conditions de vie.

Dans le cadre de cette mission, il est apparu opportun, quelque dix ans après leur introduction commerciale et leur progression constante dans le monde, Europe exceptée, de faire le point sur la problématique des OGM (organismes génétiquement modifiés) et plus spécifiquement des plantes transgéniques et ce dans un contexte belge et européen.

LES PLANTES TRANSGÉNIQUES DANS LE MONDE EN 2005

La première culture commerciale de plantes transgéniques date de 1994. La superficie plantée en variétés génétiquement modifiées est passée de 1,66 million d'Ha en 1996 à 90 millions Ha en 2005, soit 30 fois la superficie totale de la Belgique (57% aux USA, 21% en Argentine, 7% au Canada, 6% au Brésil, 5% en Chine, 4% ailleurs, dont, pour l'Europe, l'Espagne et la Roumanie) (ISAAA, 2006 et figure 1).

Les cultures principalement, mais non exclusivement, concernées sont le soja (61%), le maïs (23%), le coton (11%) et le colza (5%). Pour ces quatre espèces prises globalement, il faut remarquer que les apports des modifications génétiques ont trait pour 74% à la résistance aux herbicides et pour 26% à la résistance aux insectes ravageurs, principalement sous la forme de Bt (*Bacillus thuringiensis*). Aux USA, il est estimé qu'en 2004, la part des plantes transgéniques était de 46% dans la production du maïs, de 76% pour le coton et 86% pour le soja. D'autres espèces pour lesquelles des autorisations d'utilisation de variétés transgéniques ont été accordées sont la pomme de terre, la betterave sucrière, la tomate et la papaye (dans ce dernier cas pour la rendre résistante à une infection virale, les taches annulaires ou ringspot, ce qui permet le sauvetage de cette culture à Hawaï). D'autre part, le riz est l'objet de recherches intensives par l'IRRI (International Rice Research Institute) aux Philippines.

Selon une étude récente (Brookes and Barfoot, 2005), les cultures transgéniques auraient apporté des bénéfices

économiques considérables aux producteurs agricoles (de l'ordre de 19 milliards de dollars US de plus-value depuis 1996). Toujours en 2004, 8,25 millions d'agriculteurs utilisaient des plantes transgéniques dans le monde, dont 90% seraient de petits cultivateurs de pays en voie de développement. En 2004, l'augmentation moyenne du revenu des exploitations agricoles due à l'utilisation des plantes transgéniques était estimée à 5,6% de la valeur totale de la production des quatre principales cultures transgéniques principales. De plus, l'impact environnemental serait réduit grâce à la diminution de l'emploi des herbicides et des insecticides, la possibilité de recourir aux techniques à labour réduit ou sans labour et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les auteurs du rapport insistent toutefois sur la grande variabilité des impacts de l'utilisation des plantes transgéniques entre régions et pays ainsi qu'à l'intérieur de ces derniers, d'où l'importance d'étudier la situation cas par cas.

Cette dernière observation est confirmée par une autre étude qui montre que si les agriculteurs peuvent tirer profit des plantes transgéniques dans les pays en voie de développement, ce n'est possible que s'il existe une capacité institutionnelle suffisamment forte pour qu'il puissent avoir accès aux innovations à des coûts compétitifs; c'est le cas de la Chine (Raney, 2006).

En plus de leurs présumés avantages environnementaux, les partisans des plantes transgéniques font état de leur contribution potentielle à la lutte contre la faim et la pauvreté dans le monde, aux possibilités d'améliorer la santé par l'introduction de gènes produisant des substances médicamenteuses, de participer au développement de la chimie verte. etc.

Les opposants aux plantes transgéniques les accusent d'être « contre nature », de causer des risques pour la santé humaine (« Frankenfoods »), de provoquer des pollutions génétiques dans l'environnement et de détruire la biodiversité, de ne profiter qu'aux multinationales de l'agro-alimentaire et de la chimie, etc. Cette opposition est particulièrement vive en Europe. En conséquence, plusieurs pays ou régions de l'Union Européenne se sont déclarés ou ont manifesté l'intention de se déclarer « sans OGM », ceci en opposition avec la réglementation de l'Union Européenne qui admet les plantes transgéniques moyennant certaines conditions.

Il est toutefois estimé qu'en 2005, 100.000 Ha de maïs transgénique étaient cultivés en Espagne et que des cultures transgéniques existaient également au Portugal, en Tchéquie et en France (ainsi qu'en Roumanie, état – candidat).

L'Eurobaromètre 64.3, dont l'enquête a été réalisée en novembre 2005, donne les réponses suivantes (en % des sondés) concernant les aliments génétiquement modifiés:

| | EU25 | Belgique | Royaume-Uni |
|--|------|----------|-------------|
| Approuvent avec la réglementation actuelle | 14 | 9 | 17 |
| Approuvent si réglementé plus strictement | 27 | 46 | 31 |
| N'approuvent que pour des circonstances très spéciales | 25 | 26 | 23 |
| N'approuvent en aucune circonstance | 24 | 18 | 20 |
| Ne savent pas | 10 | 2 | 8 |

Les différences entre pays sont considérables, le taux d'approbation étant généralement plus élevé dans les pays du Nord de l'Europe.

La réglementation de l'Union européenne prescrit un examen approfondi pour chaque demande d'autorisation d'introduction. Après un moratoire *de facto* de plusieurs années pour les nouvelles introductions de dossier, il a été convenu que le Conseil se prononcerait à la majorité qualifiée sur les nouvelles demandes et qu'en cas d'absence de décision dans les 3 mois, il reviendrait à la Commission de trancher. D'autre part les aliments contenant des produits OGM (à plus de 0,9%) doivent être étiquetés et la traçabilité de ces produits assurée (voir Chapitre 3).

Que doit faire l'Europe, que doit faire la Belgique dans pareil contexte? Considérer que les risques sont trop grands par rapport aux bénéfices et laisser le reste du monde développer les cultures transgéniques, quitte à devoir importer leurs produits (tout en laissant le choix au

consommateur de les accepter ou de les refuser)? Ou les accepter après évaluation cas par cas et participer au progrès de cette branche des biotechnologies afin de l'exploiter au mieux des conditions propres à notre agriculture? Quid de l'avenir de la recherche agronomique sur fonds publics et de celui des firmes européennes/belges engagées dans cette voie? Comment mieux informer le public des aspects positifs et négatifs des plantes transgéniques? Quelle réponse donner aux interrogations sur les aspects éthiques des manipulations génétiques sur les plantes cultivées? Subsidiatement, comment éviter les erreurs de communication commises à leur sujet et améliorer le processus de décision concernant d'autres nouvelles technologies? Voilà les questions auxquelles le groupe de travail s'est efforcé de présenter des réponses.

LE RAPPORT BACAS

Le groupe de travail, composé d'experts académiques et industriels des deux branches du BACAS (CAWET et CAPAS), a tenté de faire le point en passant en revue les divers aspects de la question: ce que sont les plantes transgéniques, quels sont leurs impacts sur l'agriculture, l'agro-alimentaire, la santé, les bioproductions non-alimentaires, l'environnement. Il a attaché une importance particulière aux rapports science-société, notamment les procédures d'adoption des choix technologiques en démocratie. Le rapport reprend également les questions fréquemment posées par le public au sujet des OGM's et plantes transgéniques et offre des réponses. Enfin, il présente quelques conclusions et recommandations.

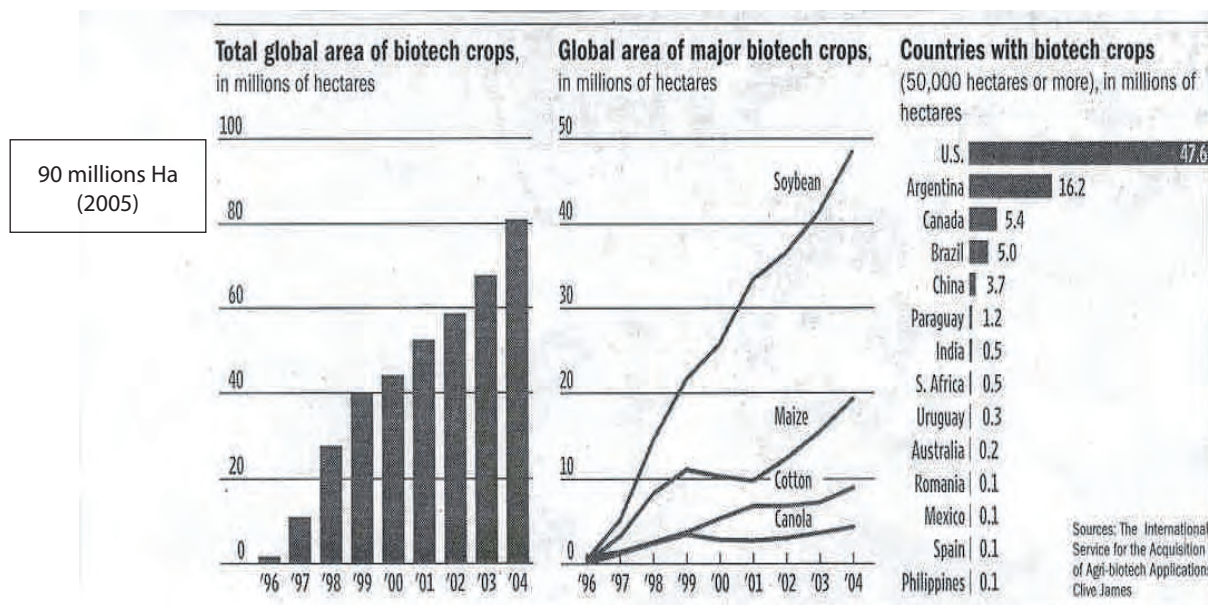


FIGURE 1. – Surfaces cultivées en plantes transgéniques, par culture et pays (*Wall Street Journal-E*, 8 novembre 2005, page 17)

CHAPITRE 1 : LES OGM, LES PLANTES TRANSGÉNIQUES

1.1. LES PROGRÈS DE LA BIOLOGIE MOLÉCULAIRE

De grands progrès ont été réalisés au 20^{ème} siècle dans la compréhension des mécanismes de l'hérédité. Ces nouvelles connaissances conduisent à un nombre toujours croissant d'applications concrètes dans les domaines de la santé, de l'agro-alimentaire et de l'environnement.

Depuis la découverte par Avery, McLeod et McCarthy en 1944 de l'ADN (acide désoxyribonucléique) comme support du matériel génétique et celle de sa structure par Watson et Crick en 1953, l'acquisition des connaissances n'a fait que s'accélérer.

Depuis 1970, le déchiffrement du message génétique inscrit dans les longues molécules d'ADN s'est développé progressivement. En 1974, la première séquence complète d'un virus à ADN a été déterminée par Walter Fiers, un Belge. Des prix Nobel ont été attribués en 1980 à Fred Sanger et Walter Gilbert qui ont mis au point de nouvelles méthodes enzymatiques ou chimiques de séquençage de l'ADN. En 1995, fut déchiffré le premier génome d'une bactérie, ce qui fut suivi immédiatement par le séquençage du premier eucaryote, celui de la levure, initié et coordonné en Belgique grâce au financement de la Commission Européenne. Plus récemment, les séquences de génomes plus complexes comme celui du ver *Coenorhabditis elegans* (1998), de la plante *Arabidopsis thaliana* (2000), de la mouche du vinaigre *Drosophila melanogaster* (2000) et, enfin en 2004/2006, celle d'*Homo sapiens*, sont devenues disponibles. Elles ont été obtenues par des consortiums internationaux financés par des institutions publiques et sont disponibles gratuitement dans des bases de données européennes et américaines.

De nouveaux logiciels informatiques permettent l'analyse et la comparaison de plus en plus fines de près de 300 séquences génomiques, surtout bactériennes, accumulées ces 10 dernières années. L'un des résultats les plus inattendus fut la révélation du faible nombre de gènes codant pour des protéines dans le génome humain (25.000 à 30.000 gènes), comparé au contenu des génomes d'*Arabidopsis thaliana* (25.000 à 29.000 gènes) et du ver *Coenorhabditis elegans* (18.000 à 23.000 gènes). Il y a une grande similitude entre les protéines encodées chez les différents eucaryotes. C'est ainsi qu'on a pu déterminer que plus de 40% des gènes responsables de maladies héréditaires chez les humains ont un homologue chez la levure. Le génome du chimpanzé est à plus de 98% identique à celui de l'homme et, quelle que soit leur origine ethnique, les individus humains ne diffèrent entre eux que par un nucléotide sur mille.

Entre-temps, les techniques de transfert de gènes isolés d'une espèce vers une autre sans passer par la reproduction sexuée (appelées transgénèse ou transformation génétique) furent développées chez les bactéries, (1974),

les cellules de mammifères (1977), la levure (1978) et les plantes (par les Belges Jeff Schell et Marc Van Montagu en 1984). En parallèle, se sont développés des outils moléculaires permettant de modifier et de façonner les gènes afin de les rendre compatibles à d'autres espèces et d'améliorer leurs performances. L'identification des gènes, la possibilité de les modifier et de les introduire dans d'autres espèces sont à la base du génie génétique.

Ces 15 dernières années, deux nouvelles approches génétiques se sont développées: l'épigénétique et l'extinction de l'expression des gènes par des ARN interférents (iARN). Chacune de ces deux approches copie des mécanismes qui se produisent chez les plantes, tels qu'observés originellement chez le maïs et le pétunia, respectivement. Elles sont considérées comme présentant de réelles possibilités d'applications chez les mammifères comme chez les plantes.

L'épigénétique étudie les modifications telles que celles conférées par méthylation de l'ADN ou par phosphorylation, acétylation, méthylation de toute une série de protéines. Ces modifications ne sont donc pas des mutations classiques. Elles sont induites par le milieu environnant (intra – ou extra-cellulaire), notamment pendant l'embryogénèse. Elles sont perpétuées par d'autres mécanismes que ceux de la duplication de l'ADN et sont souvent contrôlées de façon transitoire pendant quelques générations. Sans connaître les mécanismes en jeu, les sélectionneurs utilisent depuis longtemps des caractères épigénétiques d'imprégnation maternelle dans leur schéma de sélection. Plusieurs maladies humaines, dont certains cancers, sont dues à des déficiences épigénétiques. On peut penser que ces caractères seront mieux contrôlés par la connaissance des mécanismes en jeu qui reste fragmentaire.

L'extinction de l'expression d'un gène peut être obtenue par l'introduction dans les cellules d'ARN interférent. Elle n'a pas encore conduit, à notre connaissance, à des productions industrielles. Cependant, des plants de tabac sans nicotine (d'intérêt industriel limité) et de nombreuses plantes résistantes à des infections virales ont été obtenues. Ces plantes sont des OGM *sensu stricto* (car génétiquement modifiées par un procédé non sexuel et impliquant une approche moléculaire réalisée en laboratoire) mais différent de la transgénèse classique par le fait que l'ARN interférent n'encode pas une protéine mais induit la dégradation d'un ARN messager spécifique.

Un autre développement important est la « sélection assistée par marqueurs moléculaires » (MAS) qui permet d'accélérer les programmes classiques de sélection variétale par un tri précoce et rapide des plantes au niveau de leur ADN plutôt qu'un tri tardif sur leurs caractères agronomiques. Parmi les marqueurs moléculaires on peut distinguer les RFLP et les AFLP (polymorphisme de longueur

de fragments de restriction ou de fragments amplifiés), les RAPD (polymorphisme d'ADN amplifié au hasard), les SSR (répétition simple de séquence), les SNP (polymorphisme nucléotidique), les microsatellites (courtes séquences d'ADN très polymorphes formées de la répétition d'un motif de une à quatre bases). Ces marqueurs permettent la visualisation rapide d'une variation dans la séquence d'ADN qui est proche du gène encodant le caractère agronomique recherché et qui accompagne celui-ci dans les croisements ou recombinaisons. Leur détection ne modifie pas l'ADN analysé.

Bref il aura fallu plus de 20 années de développements techniques pour obtenir les outils nécessaires, d'une part, au marquage moléculaire des gènes soumis à la sélection et, d'autre part, à l'exercice efficace du génie génétique chez les plantes cultivées.

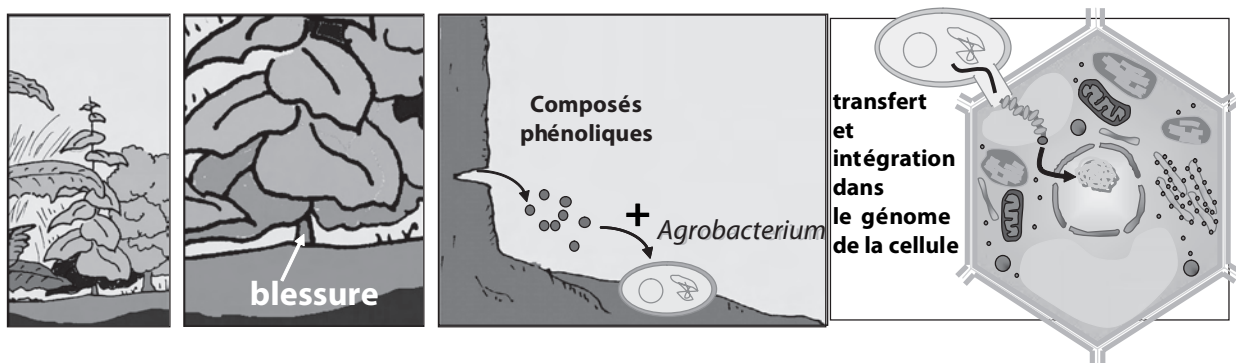
1.2. LES PLANTES TRANSGÉNIQUES

Les caractéristiques des plantes sont déterminées par des gènes. Le patrimoine génétique (ou génome), constitué

d'ADN, des êtres vivants se modifie naturellement au cours du temps par un jeu de mutations et de sélections. L'homme, depuis qu'il est devenu agriculteur, il y a plus ou moins 10.000 ans, intervient dans les modifications du patrimoine génétique des plantes cultivées, en dirigeant les croisements entre espèces. Ces croisements ont souvent été forcés afin de produire de nouvelles variétés.

Il a fallu toute l'ingéniosité des sélectionneurs pour aboutir à nos variétés modernes. Par exemple, le triticale, une céréale utilisée surtout dans l'alimentation animale et commercialisée depuis 1969, résulte de l'addition de deux génomes, ceux du blé (dont il possède le haut rendement) et du seigle (dont il possède la rusticité). Autre exemple, le colza, dont le génome résulte en fait de la fusion du génome du chou et de celui d'un navet. Ces assemblages ont donné lieu à des multiples réorganisations au niveau de l'ADN, y compris des nouveaux gènes créés à partir du génome des deux parents. Les sélectionneurs ont également augmenté la variabilité génétique en induisant des mutations par des agents chimiques ou des radiations ionisantes.

Un système naturel de transfert de matériel génétique



Jeff Schell & Marc Van Montagu (Gand, 1973)

Agrobacterium tumefaciens possède un plasmide de grande taille dont la présence est corrélée au pouvoir tumorigène, **c'est le plasmide Ti**

Après infection, une partie du plasmide Ti est intégrée dans le génome nucléaire de la plante, **c'est le T-DNA**

FIGURE 2. – La bactérie du sol *Agrobacterium tumefaciens* interagit avec les plantes à la suite d'une blessure. La plante blessée produit des composés phénoliques qui induisent l'expression des gènes de virulence chez la bactérie. Celle-ci transfère un fragment de son ADN appelé T-DNA et intègre le génome de la cellule végétale. Les gènes du T-DNA s'expriment dans la plante ainsi que les gènes hétérologues qui lui sont associés artificiellement. On dit que les cellules végétales sont ainsi « transformées ». Notons que la transformation peut également se faire en bombardant les cellules végétales par des particules d'or enrobées d'ADN hétérologue. Après sélection, les cellules transformées régénèrent une plante entière (l'OGM) qui exprime le gène hétérologue. (Illustration issue du livre « OGM » par Francine Casse et Jean-Christophe Breitler – Éditions France Agricole 2001 – série Comprendre)

Une technique de plus en plus utilisée pour contourner la difficulté de croiser des espèces végétales différentes fait appel à la culture d'embryons *in vitro*. Après fécondation entre deux espèces, l'embryon qui ne peut se développer est prélevé sur la plante et cultivé dans un milieu de culture *in vitro* jusqu'à la formation d'une plantule qui peut être alors transférée en sol et, cette fois, reproduite par voie sexuée.

Les plantes cultivées traditionnelles ne sont donc pas naturelles dans le sens où elles n'existeraient pas sans l'intervention de l'homme et, de plus en plus, sans des techniques autres que les croisements. Elles ont un patrimoine génétique modifié par rapport à leur ancêtre sauvage. En effet il a fallu accumuler de très nombreuses mutations et mettre ensemble des informations génétiques auparavant séparées, parfois en franchissant la « barrière » des espèces pour obtenir nos variétés comestibles actuelles. Ce long et patient travail d'amélioration génétique s'est fait sans provoquer de réaction du public ni de crainte pour la santé ou l'environnement. Les techniques de modification génétique par mutagenèse chimique ou physique et les cultures *in vitro* ne font l'objet d'aucune réglementation particulière.

Les plantes transgéniques ou plantes génétiquement modifiées font partie des « organismes génétiquement modifiés » (OGM), qui sont définis dans notre législation comme des organismes dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas « naturellement » par multiplication et/ou par recombinaison (croisement). Cela signifie que la nouvelle propriété de la plante transgénique, par exemple une meilleure résistance à un pathogène (virus, bactérie, champignon), à un herbicide, à un insecte nuisible ou à la sécheresse ou bien encore des qualités nutritionnelles améliorées est conférée par l'introduction en laboratoire d'un morceau d'ADN dans son patrimoine génétique. Il s'agit dans la plupart des cas d'un gène provenant d'une autre espèce, végétale ou bactérienne. Cette manipulation est appelée transformation génétique ou ingénierie génétique. Contrairement à l'amélioration par croisement, l'ingénierie génétique requiert au préalable l'identification et la caractérisation du gène responsable de la nouvelle propriété que l'on souhaite conférer à la plante.

L'opposition manifestée à l'égard des plantes transgéniques est motivée en partie par ce caractère « non naturel » reconnu dans la législation. Une des différences majeures entre plantes « traditionnelles » et transgéniques est la source de la modification génétique qui est responsable du nouveau caractère. En ce qui concerne les plantes traditionnelles, les modifications sont limitées aux gènes de l'espèce elle-même ou d'autres espèces avec lesquelles peut être effectué un croisement, que ce dernier soit réalisé dans des conditions naturelles ou qu'il soit forcé d'une manière ou d'une autre par le sélectionneur. Dans le cas des plantes transgéniques, la source du (des) nouveau(x) gène(s) est illimitée. En effet, grâce à l'universalité du code génétique, il est possible d'exprimer dans une plante

une information génétique éloignée, par exemple bactérienne ou animale. Ce passage (que d'aucuns appellent transgression) entre espèces apparaît dangereux pour la plupart des opposants. Pourtant, la probabilité qu'un risque pour la santé ou l'environnement accompagne la nouvelle propriété de la plante cultivée n'est pas intrinsèquement liée à la méthode d'amélioration génétique utilisée ni à l'éloignement de l'espèce donneuse. Ce n'est pas la source du gène utilisé qui est importante mais la nouvelle propriété conférée à la plante. C'est pourquoi certains s'interrogent sur les raisons qui font que seules les plantes transgéniques sont publiquement reconnues comme génétiquement modifiées et font seules l'objet d'une législation spéciale.

1.2.1. Historique

D'une certaine manière, l'histoire des plantes transgéniques commence par une maladie devenue très célèbre, la galle du collet (le collet est la partie de la tige qui est proche du sol), décrite dans de très nombreuses plantes depuis 1853 et qui est causée par une bactérie du sol que l'on appelle *Agrobacterium tumefaciens*.

L'équipe belge de deux chercheurs gantois, Jeff Schell et Marc Van Montagu, a joué un rôle de tout premier plan dans la compréhension de l'ingénierie génétique de cette bactérie (Nester *et al*, 2005). Ils ont, avec d'autres équipes de recherche américaines, compris que cette bactérie est capable d'infecter des plantes blessées, vers lesquelles elle est attirée, et d'intégrer dans l'ADN du noyau de la cellule végétale qu'elle infecte, une partie de son propre ADN (le T-DNA, ou ADN transféré). Le T-DNA va s'intégrer de manière stable dans cette cellule et être transmise aux cellules-filles qui sont issues de la division de la cellule infectée. L'expression des gènes du T-DNA provoque la maladie de la galle du collet. C'est une transformation naturelle.

1.2.2. Transformations en laboratoire

À l'heure actuelle, les chercheurs utilisent encore *Agrobacterium tumefaciens* pour transformer en laboratoire les cellules végétales. Les souches utilisées ne causent plus la maladie de la galle du collet mais contiennent d'autres gènes que les chercheurs veulent exprimer dans les plantes. Grâce au caractère universel du code génétique, on est capable de faire exprimer par les plantes des gènes bactériens, des gènes viraux ou des gènes humains. Il n'y a en principe plus de limites techniques quant à l'origine du gène à transférer.

La première plante transgénique mentionnée dans une publication scientifique (en 1983 dans la revue Nature) est une plante de tabac belge, issue du laboratoire de Gand. Voilà donc plus de 20 ans que l'on produit des plantes transgéniques dans les laboratoires. À l'heure actuelle, de très nombreuses plantes cultivées peuvent être transformées par *Agrobacterium tumefaciens*.

Pour les variétés qui sont récalcitrantes (lorsque la transformation d'une plante par *Agrobacterium tumefaciens* ne fonctionne pas), on fait appel à des techniques de transformation non biologiques et moins efficaces, comme celle du bombardement par un canon de particules d'or ou de tungstène recouvertes de DNA à intégrer dans le génome de la plante.

Pour la majorité des plantes, on transforme certaines cellules qui sont ensuite capables de régénérer une plante entière (Figure 2). Cependant, le taux de transformation étant faible, il faut pouvoir sélectionner les cellules transformées. Cette sélection en laboratoire a été traditionnellement effectuée, depuis les premières manipulations génétiques de bactéries, par l'utilisation de gènes de résistance à un antibiotique. Quoique la présence d'un tel gène de sélection ait soulevé de vives contestations, un risque pour la santé ou l'environnement n'a jamais pu être mis en évidence. A l'heure actuelle, le développement des techniques d'ingénierie génétique permet de retirer ces marqueurs de sélection du génome de la plante, une fois qu'ils ont rempli leur fonction. La législation interdit désormais (depuis 2005) à toute plante transgénique faisant l'objet d'une demande d'autorisation de commercialisation de contenir de gène marqueur de résistance aux antibiotiques qui pourrait avoir des effets négatifs pour la santé humaine ou l'environnement (pour les essais en champs cette interdiction entrera en vigueur à partir de 2009). Détails disponibles sur le site de l'Autorité européenne pour la sécurité alimentaire: http://www.efsa.eu.int/science/gmo/gmo_opinions/384_en.html."

1.2.3. Quelques exemples de plantes transgéniques

L'utilisation de la transgénèse, tout comme celle de l'amélioration traditionnelle, a pour objet de conférer à la plante cultivée des propriétés nouvelles qui facilitent les pratiques culturales et les procédés de récolte ou de traitement, augmentent les rendements et la qualité nutritionnelle des produits dérivés de la plante. Les applications possibles, toutefois, ne se limitent pas à cela, comme mentionné ci-après.

La plupart des plantes transgéniques commercialisées actuellement ont été produites principalement pour en faciliter leur culture et elles n'impliquaient que le transfert d'un seul gène). La première plante commercialisée était une tomate (*FlavrSavr*, dont la caractéristique était de permettre une conservation prolongée), aux USA, en 1994. Cette tomate n'est plus commercialisée à l'heure actuelle car elle n'avait pas assez de succès. Il y a, par conséquent, plus de 10 ans qu'on commercialise des plantes transgéniques et la culture des plantes transgéniques est en augmentation constante. Comme mentionné dans l'introduction, la culture des plantes transgéniques occupait en 2005 plus de 90 millions d'hectares au niveau mondial, les pays les plus impliqués étant, par ordre décroissant, les USA, l'Argentine, le Canada, le Brésil et la Chine (Figure 1). Alors que la première plante transgénique était belge,

cette technologie s'est développée et commercialisée ailleurs.

Seulement quatre cultures – le soja, le maïs, le coton et le colza – représentent 99% des applications actuelles et ont trait à la résistance aux herbicides et aux insectes nuisibles. Il s'agit d'applications qui étaient relativement aisées à obtenir.

1.2.3.1. Plantes résistantes aux herbicides totaux

Le contrôle des mauvaises herbes est une préoccupation dans tous les types d'agriculture. La méthode de choix dans les pays développés est l'utilisation d'herbicides. Cette pratique date des années 50 bien avant l'apparition de la première plante transgénique.. La plupart des herbicides sont sélectifs envers les espèces de plantes qu'ils affectent. Il faut souvent utiliser un mélange d'herbicides pour contrôler suffisamment le développement des mauvaises herbes. De plus les herbicides spécifiques sont peu biodégradables, ont en général une forte rémanence dans le sol et polluent les nappes phréatiques. Ce sont les raisons pour lesquelles, par exemple, l'atrazine, herbicide abondamment utilisé depuis les années 60 dans la culture du maïs, est interdite en Europe depuis 2003.

Les herbicides, dits totaux, sont, en général moins toxiques que les herbicides spécifiques, présentent une biodégradation rapide au niveau du sol, sont efficaces à plus petites doses mais ne sont pas spécifiques et tuent toutes les plantes parce qu'ils visent des étapes métaboliques indispensables à la vie de la plante.

Des résistances au «Roundup®» (nom de la molécule chimique, glyphosate) et au «Basta®» ou «Liberty®» (molécule active: phosphinothricine) ont été conférées aux plantes cultivées en introduisant des gènes de bactéries qui soit codent pour une enzyme cible de l'herbicide moins sensible à celui-ci, soit ont pour effet de dégrader ou de modifier l'herbicide de manière à le rendre inactif. La première plante résistante à un herbicide commercialisée était le soja Roundup-Ready en 1996.

1.2.3.2. Plantes Bt

Bt sont les initiales d'une bactérie du sol, *Bacillus thuringiensis* qui est un agent exceptionnel de contrôle des insectes. Cette bactérie sporule dans certaines conditions de culture et les spores (formes dormantes de la bactérie) contiennent des protéines insecticides. On a identifié plus de 150 toxines Bt avec des activités spécifiques. Les spores de cette bactérie sont utilisées en agriculture depuis 1929, mais la persistance en champ étant faible, il faut procéder à des traitements répétés qui n'atteignent pas tous les tissus végétaux et les spores sont chères à produire.

Certains gènes de *Bacillus thuringiensis* codant pour des protéines insecticides, ont été introduits dans les plantes. Celles-ci produisent donc elles-mêmes l'arme qui les défend contre les insectes. À l'heure actuelle, toutes les

plantes commercialisées Bt contiennent un seul gène de *Bacillus thuringiensis* contre un insecte nuisible, par exemple la pyrale du maïs.

Le coton Bt est la première variété commercialisée, en 1996. La culture de ces plantes Bt (coton, maïs, colza) est accompagnée de pratiques culturales pour éviter la multiplication d'insectes résistants à la toxine Bt (ce point est discuté plus en détail dans le chapitre 2.2 concernant les risques pour l'environnement). En outre, le même objectif devrait conduire à l'obtention de plantes transgéniques produisant plusieurs toxines à la fois.

1.2.4. Autres applications, autres plantes transgéniques en développement

Les plantes transgéniques actuellement commercialisées ne sont pas bien acceptées par une partie importante du public européen, si l'on en croit les sondages d'opinion. On peut constater dans les enquêtes sociologiques sur la perception des biotechnologies par le public européen que le consommateur admet l'existence de l'incertitude et la nécessité de prendre des risques pour profiter de certains bénéfices. Toutefois, la plupart des consommateurs ne sont pas convaincus que les bénéfices des plantes transgéniques commercialisées jusqu'à ce jour, allant aux semenciers et exploitants agricoles et ne profitant pas directement au consommateur, répondent à un besoin sociétal qui justifierait une prise de risque.

D'autres plantes transgéniques plus intéressantes pour le consommateur ou l'agriculteur, font l'objet de recherches ou sont déjà en voie de commercialisation. Certaines d'entre elles peuvent contribuer à apporter une solution à des problèmes agricoles. La lutte contre les virus a déjà été mentionnée (cas de la papaye). D'autre part, il est possible aujourd'hui d'augmenter la tolérance des plantes au froid, à la chaleur, à la sécheresse, à de hautes concentrations en sels, etc, par ingénierie génétique.

Dans les modifications visant directement les consommateurs, on teste des plantes dont on a modifié la valeur nutritive par exemple en augmentant leur teneur en vitamines (A, B, C) ou en molécules antioxydantes. C'est le cas, par exemple, d'un riz cultivé qui a été génétiquement modifié pour augmenter son contenu en provitamine A au niveau des semences. La provitamine A (b-carotène) est indispensable à la vue. Or le grain de riz, à la base de la nourriture de la moitié de la population mondiale, ne contient pas de provitamine A, pas de b-carotène. Il y a donc une population très importante, en particulier dans le sud-est asiatique, qui souffre de carence en vitamine A, ce qui peut mener à la cécité ainsi qu'à d'autres maladies (diarrhées, etc). Le b-carotène a pu être produit dans les grains de riz, lui donnant une couleur jaune. Le riz transgénique a été nommé «Golden Rice», le riz doré. La première génération de riz doré fait l'objet à l'heure actuelle d'essais en champs d'expérimentation aux Philippines, essais qui visent à évaluer tous les risques avant

qu'une commercialisation ne soit envisagée. Cependant, certains ont estimé que la teneur en beta-carotène de ce riz (1,6 µg de caroténoïdes, dont seulement la moitié en beta-carotène, par g de poids sec) n'était pas suffisante pour avoir un impact sur la santé humaine. Entre temps, une seconde génération de riz transgénique a été obtenue contenant jusqu'à 37 µg de caroténoïdes dont 80% de beta-carotène par g de poids sec. Cette amélioration est importante puisqu'elle permet théoriquement, à partir d'une ration journalière de riz, d'approcher la dose quotidienne de vitamine A requise qui est de l'ordre de 300 µg pour un jeune enfant. Il faut bien sûr tenir compte de l'efficacité de l'absorption intestinale qui varie selon la personne et de la composition du bol alimentaire (les graisses favorisant l'absorption des caroténoïdes) ainsi que du taux de conversion du beta-carotène en vitamine A. Des études sont en cours pour évaluer ces paramètres.

D'autres applications visent à améliorer la qualité des constituants principaux des aliments: des protéines avec une composition en acides aminés plus adaptée à notre alimentation, des huiles: moins néfastes sur le plan des maladies cardio-vasculaires ou encore des sucres de meilleure qualité contenant plus de fructose. On le voit, même si elles ne sont pas encore prêtes à la commercialisation, un certain nombre d'applications concernent directement le bénéfice du consommateur.

1.2.5. Productions non-alimentaires

Les plantes transgéniques ont également un potentiel important à offrir à plusieurs secteurs industriels autres que l'agro-alimentaire ou le textile, tels que la chimie, l'énergie et la pharmacie.

L'on assiste dans ces secteurs à un développement considérable de ce que l'on a appelé la bio-économie, dans le cadre d'une nouvelle vision, basée sur l'utilisation des ressources renouvelables pour contribuer au développement durable.

Les technologies – clés sont d'une part la biotechnologie «blanche» (qui fait appel aux réactions enzymatiques catalysées par des enzymes améliorées par voie génétique) à partir de biomasse mais aussi des matières premières classiques et, d'autre part la biotechnologie «verte». Cette dernière fait appel aux plantes transgéniques en visant soit à l'amélioration des rendements en biomasse et en ses composantes (sucres, amidons, matières grasses,...), soit et surtout à la production d'isomères déterminés (ex. produits chiraux, dits «droits ou gauches»; espèces «trans ou cis») qu'il est plus difficile et coûteux de produire par synthèse chimique en laboratoire, ou à la modification de la composition des huiles végétales (promoteurs de réduction du niveau de cholestérol)....

Cette pratique est déjà concrétisée aux USA par, entre autres, la création de bio-raffineries pilotes (voir à ce sujet le rapport BACAS de 2004 «Industrial Biotechnology and SustainableChemistry»).

Ces diverses possibilités présentent un intérêt non seulement pour les industries concernées mais aussi pour le consommateur et l'environnement.

1.2.5.1. Chimie verte

Pour les produits chimiques de base, le recours à la biomasse comme matière première s'explique par l'épuisement progressif des ressources en hydrocarbures fossiles (pétrole et gaz) et plus encore par l'augmentation des coûts. Ceci conduira à une mutation de l'économie de ces produits. Aujourd'hui déjà, certains d'entre eux peuvent être produits à moindre coût à partir de biomasse que de pétrole.

Tel est le cas de la glycérine qui est devenue très bon marché comme sous-produit de la production du biodiesel; en conséquence, sa production à partir des dérivés pétroliers, comme le propylène, n'est plus compétitive et les installations de synthèse sont arrêtées. D'autres part, de nouveaux produits sont fabriqués à partir de la biomasse. On peut citer comme exemples le nouveau polymère «poly-triméthylène terephthalate» (PTT) pour la production du monomère 1-3, propanediol à partir d'amidon par une réaction enzymatique ainsi que la production des polymères biodégradables/renouvelables (polylactate, etc.).

Pour les spécialités et les matériaux avancés, plusieurs produits deviennent de moins en moins coûteux à synthétiser à partir de biomasse; c'est le cas de l'acide L-glutamique, l'acide citrique, certains intermédiaires pour les antibiotiques, la vitamine B12...etc. Pour de telles productions, le développement de nouvelles plantes transgéniques est concevable.

Une application importante concerne les huiles végétales, lesquelles sont produites à partir de graines de plantes oléagineuses comme le colza, l'arachide, le tournesol, le soja. Ces huiles contiennent 5 acides gras majoritaires qui ont peu de valeur industrielle. Il est possible de modifier la composition en acides gras de ces huiles afin de les utiliser pour la synthèse de savons, pigments, détergents, lubrifiants, vernis, plastifiants, surfactants, etc.

La première plante transgénique modifiée pour un usage industriel est un colza dont l'huile a été enrichie en acide laurique (un acide gras à courte chaîne, C12) grâce à l'introduction d'un gène de *Umbellularia californica* codant pour une thioestérase spécifique. Ce colza, approuvé aux États-Unis et au Canada, est cultivé depuis 1994.

D'autres modifications ont déjà été effectuées mais ne sont pas encore commercialisées, permettant l'enrichissement en acides érucique, caprique, myristique, caprylique, etc. Par ailleurs, il est aussi possible de modifier les plantes pour qu'elles produisent des précurseurs de plastiques biodégradables avec des propriétés proches de ceux dérivés du pétrole. Il est déjà possible de produire des plastiques à partir de l'amidon de maïs traditionnel mais ils sont de qualité limitée. Grâce au transfert de gènes bactériens, on

peut synthétiser des plastiques aux qualités très variées et biodégradables, ce qui n'est en général pas le cas des plastiques de synthèse chimique.

1.2.5.2. Énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont encouragées dans l'Union européenne tant pour des raisons de prix des combustibles fossiles et de sécurité de leur approvisionnement que par la nécessité de réduire les émissions de CO₂. Ici aussi les plantes transgéniques offrent des possibilités d'améliorer les ressources en biomasse et de réduire les coûts pour la production de biocarburants (bioethanol, biodiesel/esters d'huiles végétales), de matière ligneuse ou herbacée pour la production d'électricité ou d'hydrogène (voir le rapport BACAS «Hydrogen as an energy carrier», 2006). À titre d'exemple, citons les recherches d'une société ayant pour objectif d'augmenter par manipulations génétiques la teneur en amidon du maïs pour augmenter le rendement en bioethanol. Cette société européenne se voit contrainte de réaliser ces recherches aux USA vu les obstacles qu'elle rencontre en Europe.

1.2.5.3. Médicaments

Tout comme les champignons, les plantes supérieures constituent une source importante de médicaments: citons, comme exemples récents les agents anticancer tels que le taxol provenant d'un if américain, la vincoblastine, extraite d'une pervenche tropicale et l'acide shikimique, provenant d'un arbre japonais (*Illicium religiosum*), base d'un antivirus de la grippe aviaire. Les modifications génétiques pourraient augmenter la teneur en principes actifs de certaines de ces espèces.

De plus, des plantes transgéniques peuvent incorporer des gènes leur faisant synthétiser des molécules d'intérêt thérapeutique. Ainsi produit-on déjà dans le maïs de la lipase gastrique, qui est amenée à remplacer les extraits pancréatiques de porc, seule source actuelle, utilisée dans le traitement des symptômes de la mucoviscidose et de la pancréatique chronique. Des huiles omega-3 ont été également produites.

Une autre application est la production de vaccins oraux dans des fruits qui seraient destinés directement à la consommation humaine. Ces vaccins peuvent être aussi produits dans d'autres plantes pour être purifiés ensuite et administrés à des doses précises. On peut aussi produire des anticorps à usage de diagnostic ou thérapeutique, ou d'autres protéines comme l'hémoglobine humaine ou le collagène. La production dans les plantes offrirait plusieurs avantages, dont une sécurité accrue (pas de rétro-virus ou prions dangereux pour l'homme dans les plantes), un coût de production et de stockage faible (produites au niveau des semences, les protéines thérapeutiques peuvent être conservées plusieurs mois à température ambiante).

CHAPITRE 2 : RISQUES

1.1. RISQUES POUR LA SANTÉ

La sûreté de la biotechnologie moderne fait l'objet de débats publics et entre experts depuis 30ans. À présent (voir chapitre 3) les plantes transgéniques et les produits alimentaires qui en dérivent font surtout l'objet d'un contrôle et d'une réglementation plus sévères que ceux auxquels sont soumis les aliments traditionnels.

L'évaluation des risques pour la santé se base en partie sur le caractère d'équivalence («substantial equivalence») de la plante transgénique (ou du produit qui en dérive). Cette approche a été recommandée par diverses organismes internationaux (FAO, OMS, OCDE). Il s'agit de déterminer dans quelle mesure la plante ou le produit, diffère de la même plante ou produit avant la transformation génétique. Si des différences sont identifiées, qu'elles soient attendues ou pas, il convient alors de déterminer si elles ont un impact sur la santé. Cette analyse comparative porte sur les caractéristiques morphologiques, agronomiques et moléculaires ainsi que sur la composition chimique de la plante. Plus particulièrement, les composés antinutritionnels, les toxines (ex: solanine dans la pomme de terre) et les allergènes qui sont associés à l'espèce transformée ou la nouvelle protéine exprimée dans la plante sont analysés selon des méthodes qui sont couramment utilisées pour l'analyse de produits alimentaires qui ne dérivent pas de plantes transgéniques.

Des essais sur animaux de laboratoire sont réalisés. Quant au risque d'apparition d'allergènes, il est évalué selon une stratégie adoptée par la Commission du Codex Alimentarius en 2003. Elle porte sur la caractérisation de la protéine recombinante, le potentiel de la nouvelle protéine d'induire une sensibilisation de novo ou de provoquer des réactions allergiques sur des personnes déjà sensibilisées et l'évaluation de l'altération que la transformation génétique a pu apporter aux propriétés allergéniques de l'aliment modifié.

L'approche utilisée a fait ses preuves. Un exemple en est le cas d'un soja dans lequel avait été introduit, afin d'en accroître la valeur nutritive, un gène de noix du Brésil, laquelle peut provoquer chez certains une forte réaction allergique. Des immuno-essais sur des sérums d'individus sensibles ont pu déterminer qu'un allergène avait été introduit. Le projet a été arrêté.

L'utilisation de gènes de résistance à des antibiotiques a soulevé une autre inquiétude. Comme indiqué ailleurs, cette pratique n'est plus permise, bien qu'aucun incident dû à cet usage n'ait été relevé.

Le fait est que des aliments d'origine transgénique ont été consommés de par le monde, et particulièrement aux USA, depuis 10 ans, sans qu'aucune incidence négative n'ait été constatée.

Un grand nombre de rapports sur la sûreté des aliments dérivés des plantes transgéniques ont été publiés

par des autorités nationales, la Commission européenne, la FAO, l'OMS, la Commission du Codex Alimentarius. Leurs conclusions générales confirment l'intérêt de la biotechnologie agricole, vu les avantages qu'elle offre en matière de productivité, éventuellement de qualité et autres, tout en ne causant pas de risque particulier pour la santé humaine. Parmi les références récentes, citons les suivantes:

European Communities, 2004. «Genetically modified crops in the EU: food safety assessment, regulation, and public concerns. Overarching report: ENTRANS-FOOD, the European network on safety assessment of genetically modified food crops», editorial team: Ariane König, Gijs Kleter, Walter Hammes, Ib Knudsen and Harry Kuiper. www.entransfood.com

«Safety Assessment, Detection and Traceability, and Societal Aspects of Genetically Modified Foods». European Network on Safety Assessment of Genetically Modified Food Crops (ENTRANSFOOD). Guest Editors: H.A. Kuiper, G.A. Kleter, A. König, W.P. Hammes and I. Knudsen. *Food and Chemical Toxicology, Special Issue, Vol 42, issue 7, July 2004.*

«A Review of Results: EC-sponsored Research on Safety of Genetically Modified Organisms», edited by Charles Kessler and Ioannis Economidis. European Commission, 2001. Available online at <<http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/>>.

Ce rapport de 247 pages résume les résultats des recherches sur la bio-sûreté patronnées par la Commission européenne sur une période de 15 ans se terminant en 2001. Quelque 81 projets y sont décrits, impliquant plus de 400 équipes de recherche représentant un grand nombre de disciplines scientifiques et de laboratoires et un financement communautaire d'environ 70 millions d'euros. Ce rapport est actuellement mis à jour pour y inclure les recherches plus récentes.

World Health Organization, 2005: «Modern food biotechnology, human health and development: an evidence-based study».

Codex Alimentarius Commission (agence des Nations-Unies, relevant de l'OMS et de la FAO, qui développe les standards de référence pour le commerce international des produits alimentaires), 2003: «Principles for the risk analysis of foods derived from modern biotechnology», CAC/GL 44.

2.2. RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT

Dans le cadre des risques environnementaux, les plantes transgéniques suscitent généralement deux types de question: 1) Quel est l'impact direct de la culture trans-

génétique sur l'environnement? 2) Le transgène peut-il se transmettre à d'autres espèces et si oui, quelles pourraient en être les conséquences? Dans les deux cas, la réponse n'est jamais simple car l'expérimentation en milieu ouvert est complexe et il existe de nombreuses situations différentes combinant plusieurs variables outre la variété transgénique utilisée: sol, climat, biotope, pratiques culturales,...

On peut d'abord rappeler qu'une agriculture sans effet sur l'environnement n'existe pas. La moindre pratique agricole, fût-elle « biologique », perturbe l'environnement, car elle transforme le milieu naturel. S'il est légitime de se poser des questions sur la culture de plantes transgéniques, il est donc tout aussi normal de s'interroger sur la culture de variétés obtenues par des méthodes plus traditionnelles. Que l'on songe par exemple à l'impact considérable de l'agriculture intensive et en particulier des monocultures sur la biodiversité. L'influence de la pratique agricole (traditionnelle, intensive ou biologique) sur l'environnement sera la même, qu'elle concerne une plante transgénique ou pas. En outre, on peut difficilement concevoir que la technique de transgénèse possède des propriétés particulières qui la rendent intrinsèquement plus à risque que l'amélioration des variétés par croisement ou par mutation induite

Comme cela a été mentionné plus haut, les risques éventuels des variétés nouvelles sont liées aux propriétés conférées par le gène introduit plutôt qu'à la technique, transgénèse ou croisement, utilisée.

2.2.1. Impact direct des plantes transgéniques sur l'environnement

Abordons néanmoins la première question: quel peut être l'impact d'une plante transgénique sur l'environnement? La réponse est variable selon les cas. Dans le cas d'une plante rendue résistante à un herbicide, il est évident que l'utilisation de celui-ci en champ aura comme effet de diminuer la croissance de plantes sauvages, c'est bien là le but de cette pratique, avec des effets possibles au niveau de la population d'insectes dépendant de ces « mauvaises herbes ». Mais la culture de plantes non-transgéniques fait aussi appel à l'utilisation d'herbicides, souvent plus nocifs que ceux utilisés en association avec les plantes transgéniques. Lors de l'évaluation des risques liés à ces dernières, il importe donc de déterminer les risques nouveaux, non dans l'absolu mais par rapport à l'utilisation des plantes non transgéniques.

Une vaste étude a été conduite en Angleterre (Transactions of the Royal Society of London B, 2003) concernant les effets de cultures transgéniques sur les populations de plantes sauvages et de certains insectes. Une soixantaine de cultures de betterave, de maïs et de colza contenant ou pas un gène de résistance à un herbicide ont été comparées en champ. Les résultats vont dans des sens divers selon les cas. Pour la betterave et le colza, une diminution

du nombre des plantes sauvages et des insectes suivis a généralement été observée alors que l'inverse a été remarqué pour le maïs. Une explication pourrait être que la culture conventionnelle de maïs faisait appel à l'atrazine, un herbicide plus toxique que ceux utilisés en association avec la plante transgénique (et interdit aujourd'hui en Europe).

Ces résultats méritent d'être replacés dans un contexte plus large afin d'évaluer les conséquences indirectes. Par exemple, l'utilisation de plantes transgéniques résistantes à un herbicide permet de réduire le labourage, une pratique qui elle aussi contribue à diminuer la biodiversité et à dégrader le sol par l'érosion. À un niveau global, on peut rappeler que les surfaces cultivées dans le monde ont atteint un niveau qu'il serait bon de ne plus augmenter considérablement car la perte de milieux naturels est un facteur majeur dans la diminution de la biodiversité. La culture associée à l'utilisation d'un herbicide (ainsi, par ailleurs, d'un insecticide) permet d'obtenir de meilleurs rendements et donc de réduire les surfaces cultivées, une retombée positive. Cet exemple montre la complexité des problèmes environnementaux posés par les pratiques agricoles, qu'elles utilisent des plantes transgéniques ou non, et conclut à la nécessité d'évaluer pour chaque cas les coûts/bénéfices pour l'environnement.

La législation en vigueur oblige à une évaluation des risques environnementaux des plantes transgéniques. Il y a lieu de déterminer s'il y a un quelconque danger par exemple en soumettant différents organismes à des quantités importantes de la plante transgénique. Sont également testés les effets indirects sur des insectes et autres prédateurs qui se trouvent en aval dans la chaîne alimentaire. Cependant, ces tests en laboratoire et sur des périodes limitées ne peuvent remplacer des études d'impact à plus long terme réalisées en champ, dans des conditions habituelles de culture.

Les plantes Bt, qui expriment une toxine relativement spécifique pour certains insectes, n'ont pas manqué de susciter également des questions. Par exemple, une étude publiée en 1999 (Losey *et al.*, 1999) concluait que la toxine Bt présente dans le pollen du maïs transgénique avait pour effet de tuer des larves du papillon Monarque (*Danaus plexippus*). Celles-ci ne se nourrissent pas de maïs mais bien d'une asclépiade (*Asclepias curassavica*) qui peut pousser en bordure des champs de maïs et sur laquelle peut choir le pollen de maïs. Cette étude a depuis lors été sérieusement remise en question au niveau de la procédure expérimentale: les larves avaient été mises en contact avec le pollen du maïs transgénique dans des conditions qui n'avaient rien à voir avec la réalité du terrain. Des études plus récentes, réalisées cette fois en milieu réel, n'ont pas confirmé la toxicité du maïs transgénique à l'encontre des larves de Monarque (Hellmich *et al.*, 2001).

Plus généralement, l'intérêt de la toxine Bt vient de sa spécificité de cible par rapport à d'autres insecticides moins sélectifs, plus la non-rémanence dans le sol. Par

exemple, la culture du coton qui est fortement tributaire de l'utilisation intensive d'insecticides puissants et non spécifiques a fortement bénéficié de l'utilisation de plantes transgéniques Bt qui a conduit à réduire fortement l'utilisation d'insecticides, un bénéfice pour l'environnement mais aussi pour les cultivateurs qui manipulaient les insecticides. Cet exemple du coton Bt illustre à nouveau la réalité que d'autres considérations que l'alternative plante transgénique ou non entrent en ligne de compte. On pourrait en effet rétorquer qu'une culture qui ne fait appel à aucun insecticide serait encore bien meilleure pour l'environnement. A cette affirmation répond une autre selon laquelle une culture sans pesticides ferait chuter les rendements et augmenter les surfaces de culture, un facteur intervenant dans la diminution de la biodiversité.

Les plantes Bt soulèvent un autre risque, celui de voir apparaître des résistances parmi les insectes cibles. En réalité, l'apparition d'insectes résistants n'est pas une spécificité des plantes transgéniques. Elle se produit également dans le cas de plantes modifiées par croisement. En fait, le problème se pose avec davantage de portée lorsque des surfaces importantes de la plante rendue résistante sont cultivées. C'est pourquoi les cultures de plantes Bt doivent être entourées d'une zone de refuge (c'est-à-dire d'une zone de la même plante cultivée mais ne contenant pas la toxine Bt), permettant la reproduction d'insectes sensibles et évitant ainsi la prédominance d'insectes résistants. Jusqu'à présent la résistance d'insectes aux plantes transgéniques Bt n'a pas encore été observée en champ, malgré une surface cultivée cumulée depuis 1996 de plus de 80 millions d'ha.

2.2.2. Transmission des transgènes à d'autres espèces

Les plantes transgéniques suscitent un autre type de question concernant cette fois les conséquences du transfert éventuel du transgène vers d'autres espèces. À nouveau, ce problème n'est pas spécifique à la transgénèse. Une plante contient environ 30.000 gènes dont l'assortissement est remanié sans cesse au gré des croisements réalisés par les sélectionneurs. Le caractère potentiellement nocif d'un gène ne tient pas à la manière avec laquelle il a été introduit dans une variété cultivée mais bien aux propriétés qu'il confère à la plante. En d'autres mots, les risques liés au transfert de gènes entre plantes cultivées et sauvages ne sont pas apparus avec la transgénèse.

Comment évaluer ces risques ? Dans l'examen du dossier de demande de test en champ ou de commercialisation, on évalue le risque de fertilisation d'une plante sauvage par le pollen de la plante transgénique, et de la production d'un hybride fertile. Ensuite, on considère la possibilité d'un avantage sélectif qu'aurait la descendance de cette plante sauvage en acquérant un nouveau gène.

Il faut rappeler ici que le risque comporte deux notions : la probabilité qu'un événement se produise et,

au cas où cet événement se produit, le danger qui y est lié. La première question à se poser est donc la possibilité de transfert de l'information génétique par le pollen d'une espèce à une autre. On connaît assez bien la réponse. On peut voir que le tabac, le soja, le riz, le coton, le tournesol, la tomate, le maïs, la pomme de terre n'ont pas d'espèces sauvages sexuellement compatibles dans la flore européenne. Au contraire, d'autres plantes cultivées comme le colza ou la betterave ont la possibilité de se croiser avec des espèces sauvages.

Dans les cas où le transfert est possible, il faut s'interroger sur la dissémination du gène au sein de la population et sur les conséquences qui s'en suivent. Cela dépendra surtout de l'avantage que comporte l'acquisition du gène. La réponse est variée en fonction du transgène et des propriétés qu'il confère à la plante. Par exemple, le passage d'un gène de résistance à un herbicide vers une « mauvaise herbe » ne permettrait plus à l'agriculteur de maîtriser celle-ci. Il s'agit ici d'un risque agronomique plutôt qu'environnemental. En effet, en absence d'herbicide, la plante ayant acquis le gène de résistance n'a plus aucun avantage et il est peu probable que ce dernier soit maintenu dans la population.

La question est différente dans le cas du gène Bt puisque cette fois, le gène confère un avantage à la plante qui le porte, y compris dans un milieu « naturel ». La mauvaise herbe devenue transgénique pourrait ainsi voir sa population augmenter et envahir de nouveaux habitats. Ce problème n'est cependant pas propre aux cultures transgéniques et se pose également pour des variétés de culture rendues, par croisement, résistantes à des insectes ou à des maladies. Par ailleurs, une autre considération entre en ligne de compte. Pour des raisons propres à la génétique, un gène ne se transmet pas seul au cours des croisements successifs mais est accompagné par une série de gènes localisés dans la même région chromosomique et dont certains peuvent avoir un effet délétère sur la plante, ce qui handicape leur maintien dans la descendance.

Le cas du gène Bt est un exemple des propriétés qui pourraient conférer un avantage à la plante sauvage qui le recevrait. Des gènes de résistance à la sécheresse ou au stress salin en sont d'autres. Cependant, parmi les nombreuses applications en chantier concernant les plantes transgéniques, on peut noter qu'un certain nombre visent à améliorer les propriétés nutritionnelles et organoleptiques de la plante pour le bénéfice du consommateur. Ces modifications génétiques sont loin de constituer un avantage pour la plante et leur passage vers des plantes sauvages serait très probablement contre-sélectionné.

Finalement, on peut aussi mentionner des pistes de recherche qui viseraient à réduire la probabilité de transfert de transgènes qui pourraient représenter un avantage pour la plante sauvage. L'une d'entre elles consisterait à utiliser une plante de culture dans laquelle le transgène est intégré dans une région chromosomique proche d'un gène utile à la plante cultivée (un gène de domestication) mais ayant un effet dommageable pour une plante

sauvage. Dans ce cas, le passage du transgène serait accompagné de celui du gène délétère et ainsi contre-sélectionné.

Un autre cas intéressant concerne le maïs. En 2001 et 2002, une équipe de chercheurs a montré que des variétés traditionnelles de maïs cultivées au Mexique contenaient des transgènes typiques de maïs transgénique, bien que celui-ci était interdit de culture au Mexique à cette époque. L'affaire fit grand bruit car le Mexique est

une région où le maïs a été amélioré depuis plus de 5000 ans et où une grande diversité génétique est maintenue. Cependant, une étude plus récente et plus vaste a montré l'absence de transgènes dans des maïs récoltés en 2003 et 2004, ce qui semble indiquer que le transgène ait disparu. Par ailleurs, il n'y a pas de raison de penser que le passage d'un transgène dans des variétés traditionnelles puisse mettre à mal la diversité génétique. Depuis 2005, le Mexique a autorisé la culture de maïs transgénique.

CHAPITRE 3 : PLANTES TRANSGÉNIQUES : RÉGLEMENTATION ET INTRODUCTION DE DOSSIERS

Les plantes transgéniques sont les seules plantes cultivées à être évaluées sur le plan de la biosécurité avant d'être commercialisées. Au niveau mondial, l'ONU, dans le cadre de la Convention internationale pour la protection de la diversité biologique, a adopté un accord sur la biosécurité liée aux plantes transgéniques, il s'agit du protocole international de Carthagène. Ce protocole, qui est entré en vigueur en Belgique en 2004, définit des règles communes pour les états signataires en vue de protéger la biodiversité et la santé humaine lors du transfert, de la culture ou de l'utilisation de plantes transgéniques.

De son côté, l'Union européenne a mis au point une réglementation qui rencontre la plupart des objectifs du protocole de Carthagène. Les plantes génétiquement modifiées ne peuvent être testées en champ ou commercialisées qu'après acceptation d'un dossier, qui est examiné au cas par cas suivant une nouvelle directive européenne, qui porte le nom de code 2001-18-CE, et les règlements 1829/2003/CE et 1830/2003/CE.

Cette législation concerne non seulement les plantes transgéniques mais aussi tous les denrées alimentaires et les aliments pour animaux qui en dérivent. Elle vise à protéger la santé et l'environnement et à réglementer la circulation de produits génétiquement modifiés approuvés dans l'Union européenne. Elle exige une évaluation détaillée des risques pour l'environnement, organise l'information du public à propos de ces dossiers et impose des règles d'étiquetage très strictes et de traçabilité obligatoire. Elle instaure également une surveillance après commercialisation et une limitation des autorisations à 10 ans maximum. En fait, l'Union Européenne s'est dotée de la législation la plus contraignante du monde entier en matière d'OGM et en particulier de plantes transgéniques.

La nécessité d'une réglementation vient aussi d'une plainte des USA devant l'Organisation Mondiale du Commerce qui a accéléré la levée d'un moratoire qui datait de 1998 et qui concernait de nouvelles autorisations. Cette levée du moratoire s'est effectuée, de facto, en avril 2004, avec l'acceptation de nouveaux dossiers, qui étaient complètement bloqués depuis 1998: c'est le maïs Bt11, et un autre maïs résistant à l'herbicide Roundup qui ont été officiellement autorisés à la vente, à la consommation alimentaire mais pas encore à la culture. Pas plus que lors de son imposition, la levée du moratoire n'est pas liée à une avancée majeure dans la connaissance scientifique.

3.1. COMMENT SONT INTRODUITES LES PLANTES TRANSGÉNIQUES DANS L'UNION EUROPÉENNE ?

Chaque nouvelle plante transgénique fait l'objet d'une demande sous forme d'un dossier qui est analysé au cas

par cas par des instances nationale (en Belgique, le Service de Biosécurité et de Biotechnologie) et européenne (European Food Safety Authority). Doivent y figurer de nombreuses informations concernant l'obtention et la caractérisation de la plante transgénique parmi lesquelles on peut citer les questions suivantes: Quelle méthode de transformation a été utilisée? Quelle est la source et la nature du gène introduit dans la plante? Quel est l'environnement génétique dans lequel le gène a été inséré? Quel est sa stabilité au cours des générations? Comment le gène est-il exprimé dans la plante transgénique? On analyse également les modifications éventuelles concernant la reproduction, la dissémination et la survie de la plante transgénique. Enfin, les risques pour la santé et l'environnement sont évalués. Pendant cette évaluation, les Etats-membres peuvent faire part de leurs remarques et questions. Un projet de décision de la Commission européenne est alors soumis au vote d'un comité rassemblant des représentants des États membres. En absence de majorité qualifiée, la décision revient au Conseil des ministres de l'Union européenne. Si, à son tour, celui-ci ne dégage de majorité qualifiée dans les 3 mois, la décision finale revient à la Commission européenne.

3.2. ÉTIQUETAGE ET TRAÇABILITÉ

Au début 2006, près d'une trentaine de plantes transgéniques étaient autorisées dans l'Union Européenne pour l'alimentation humaine et/ou celle du bétail. Les dossiers d'une trentaine d'autres plantes étaient en cours d'analyse (http://www.europa.eu.int/comm/food/food/biotechnology/authorisation/index_en.htm).

Il s'agit pour la plupart de variétés de maïs, de colza et de soja.

Le règlement 1830/2003/CE (*GM traceability*) prévoit la traçabilité, depuis la production jusque la distribution, et l'étiquetage des plantes transgéniques et des produits dérivés de plantes transgéniques mis sur le marché pour l'alimentation humaine ou animale. C'est toujours le cas lorsque les produits dérivent de plantes transgéniques mais ne contiennent plus d'ADN ou de protéines résultant de la modification génétique. Un seuil de tolérance d'étiquetage et de traçabilité de 0.9% est accepté pour les produits issus de plantes transgéniques évaluées et autorisées dans l'Union Européenne. En revanche, les produits dérivés d'animaux nourris à partir de plantes transgéniques ne font pas l'objet de ce règlement.

Le respect de la réglementation en matière d'étiquetage et de traçabilité est contrôlé par l'Agence fédérale pour la sécurité de la chaîne alimentaire (AFSCA) (www.afsca.be). En 2004, cette agence a procédé au contrôle de 181 ingrédients et denrées alimentaires non étiquetées «OGM» dans le secteur de la distribution ou chez les fabri-

quants. Sur cet ensemble, 13 échantillons ont montré une teneur inférieure à 0,9%, le seuil légal pour l'étiquetage et un seul une teneur supérieure à 0,9% alors qu'il n'était pas étiqueté. Il s'agissait cependant de plantes autorisées en Europe.

3.3. CO-EXISTENCE DE CULTURES TRADITIONNELLES ET TRANSGÉNIQUES

La Commission européenne n'a pas proposé jusqu'à présent de législation concernant les règles de co-existence entre cultures transgéniques, traditionnelles et biologiques car elle estime que les conditions de culture varient trop d'un pays à l'autre. Elle a cependant émis des recommandations à cet égard. En Belgique, seule la Région Wallonne a adopté des résolutions dans ce domaine.

CHAPITRE 4 : LES PLANTES TRANSGÉNIQUES ET LA SOCIÉTÉ

Les OGM en général et les plantes transgéniques en particulier ont soulevé beaucoup de controverses se traduisant par de vives oppositions de la part de diverses ONG environnementales et d'une grande partie du public. Afin de mieux comprendre les aspects philosophiques, éthiques et sociaux de cette problématique, il a été demandé à deux spécialistes des sciences humaines de s'exprimer à ce sujet. Il s'agit du sociologue Marc Mormont (FUL, ULg) et du philosophe des sciences Philippe Goujon (FUNDP). Dans la synthèse ci-dessous (dont les auteurs du présent rapport assument l'entière responsabilité), leurs contributions respectives sont identifiées par les sigles MM et PG.

Les vues qu'ils ont exprimées ont été pleinement prises en considération dans la formulation des conclusions du rapport.

4.1. DIAGNOSTIC

PG

Les OGM soulèvent bien plus que des discussions sur les risques pour l'environnement ou la santé. Il faut y voir les symptômes d'une profonde modification de notre vision du monde et de notre culture. L'influence du cadre néolibéral du rapport entre risques et bénéfices des OGM est telle que les questions les plus fondamentales sont souvent ignorées. Tout se passe comme si le débat ne se portant plus que sur les risques des OGM, le principe même du vivant technologisé était accepté. Pourtant, nombre de citoyens remettent en cause cette technologisation généralisée du vivant. Cette inquiétude concerne certes la technique de transgénèse et ses applications mais aussi la science et son statut dans nos sociétés. L'équivalence depuis si longtemps acceptée entre science, technique, bonheur et santé, est remise en cause, avec pour effet la nécessité d'un questionnement éthique.

L'hypothèse encadrant notre réflexion est que la controverse sur les OGM agro-alimentaires traduit une véritable crise de confiance à l'égard du système qui intègre la science, l'industrie et le commerce. Par bien des aspects, cette crise de confiance peut sembler irrationnelle; mais il ne faut pas oublier qu'elle se fonde sur des motifs considérés comme tout à fait rationnels pour les opposants consommateurs, citoyens et même certains scientifiques. Pour la plupart des scientifiques, industriels et commerçants, le fait que la majorité des consommateurs ne veulent pas des OGM en Europe, mais aussi dans de nombreux pays, ne constitue pas un problème éthique: il s'agirait seulement d'un problème stratégique. En revanche, nous estimons que ce refus des consommateurs exprime la crainte que les systèmes de production et de distribution d'OGM ne soient pas en mesure d'intégrer l'éthique dans leurs stratégies.

MM

Le développement des OGM dans le secteur de l'alimentation fait l'objet d'un débat public et de controverses. Les promoteurs des plantes transgéniques ne manquent pas de mettre en avant les avantages potentiels de ces innovations de même que de souligner toutes les procédures d'évaluation et de mesures de prudence qui sont prises dans l'élaboration et le développement de ces innovations. D'un autre côté, nous avons affaire à un large spectre de critiques, de questions, de doutes quant à l'opportunité de ces innovations et quant à leurs conséquences potentielles. Le fait même que des deux côtés on mobilise des arguments scientifiques, des raisonnements économiques, des valeurs politiques et sociales, indique bien que désormais l'innovation scientifique et technique est soumise à une évaluation sociale et politique. De ce point de vue, il y a une bonne symétrie entre les pour et les contre. Les argumentations sont basées sur des références au moins en partie communes.

Et ceci se traduit, comme l'ont montré des enquêtes européennes, par ce qu'on peut appeler une ambivalence des citoyens à l'égard de la science et surtout à l'égard de l'innovation technologique. Cette ambivalence s'exprime par exemple dans le fait de croire en même temps que les contributions positives de la science et de la technologie sont supérieures à leurs effets négatifs et, d'un autre côté, qu'elles sont largement responsables des problèmes environnementaux de notre monde contemporain. Cette ambivalence se marque aussi dans la croyance que sciences et techniques aideront à résoudre la question de la faim dans le monde associée à la croyance qu'elles ne peuvent pas résoudre tous les problèmes. L'ambivalence du public à l'égard des sciences et des techniques est un fait nouveau car il ne s'agit ni d'une peur irrationnelle fondée sur des croyances ancestrales, ni d'une méconnaissance des réalités techniques ou scientifiques. Cette ambivalence à l'égard des sciences et des techniques n'est en effet pas caractéristique d'un moindre niveau de formation. Il s'agit plutôt d'un jugement réflexif et finalement assez nuancé à propos d'un siècle ou deux d'histoire au cours desquels sciences et techniques sont devenues de plus en plus un acteur central des aventures, les pires comme les meilleures, de l'espèce humaine « homo industrialis ».

4.2. CRITIQUES ET PRÉOCCUPATIONS DE L'OPINION PUBLIQUE

MM

Mémoire collective de l'action civique des groupes minoritaires

La sociologie de l'environnement et des risques a montré, à satiété, que les progrès technologiques qui ont contribué à façonner nos sociétés et nos modes de vie, n'ont pas

toujours été évalués de manière correcte au moment de leur introduction. Elle a aussi montré que, dans nombre de cas, c'est l'action civique de groupes minoritaires et militants qui a permis de mettre à jour les conséquences dommageables de ces innovations et d'instaurer des mesures de contrôle voire d'interdiction de certains produits ou procédés. Tous ces cas, qu'on le veuille ou non, font désormais partie de notre histoire et de notre mémoire collective. Et il semble pertinent de reconnaître que les mesures de prudence, les dispositifs d'évaluation et de contrôle, s'ils ont été mis en œuvre, l'ont été en bonne partie du fait de l'action des opposants parmi lesquels on peut d'ailleurs trouver un certain nombre de scientifiques actifs dans le monde des biotechnologies.

MM/PG

Incompréhension et crainte de la transgression des barrières naturelles

Le transfert «artificiel» de gènes d'une espèce vivante à une autre ouvre d'une part un *champ de possibilités* et d'autre part, un *champ de responsabilités* qui ni l'un ni l'autre peuvent être assumés, en l'absence d'une interprétation culturelle de la nature attestée par la tradition.

Le public ne distingue généralement pas clairement en quoi l'innovation (OGM) consiste et en quoi elle est différente des techniques antérieures (sélection, hybridation). C'est plutôt une incompréhension qu'une mauvaise compréhension qui est à la source des inquiétudes. Par ailleurs, le public ne peut faire de rapprochement direct avec sa propre expérience de la nature.

En particulier, le public a un rapport sceptique avec l'artificialisation de l'alimentation et la perte de diversité dans les productions végétales.

MM

Comment connaître et mesurer l'attitude du public

Il ne faut pas confondre les préoccupations du public (généralement inexprimées s'il n'y a pas de débat public) et celles des groupes de pression ou d'opinion : ceux-ci ne peuvent pas être considérés comme la source des inquiétudes du public mais plutôt comme une mise en forme de celles-ci.

Les préoccupations du public ne peuvent être que très partiellement connues par le biais des sondages. D'autres méthodes permettent d'y avoir accès comme les enquêtes qualitatives ou les «focus groups», les conférences de consensus, les jurys de citoyens, etc. Les opinions sont toujours le résultat d'un processus d'interaction. Pèsent sur le débat aussi bien l'histoire courte mais marquante des crises alimentaires que les tendances longues d'évolution des systèmes agro-alimentaires qui aux yeux des gens ont évolué avec des bénéfices évidents d'un côté et des inconvénients de l'autre. Il y a donc une forte ambivalence dans le public à l'égard des progrès dans ce secteur. L'argument selon lequel les OGM sont un progrès en continuité avec tous les changements passés peut très bien susciter plus de méfiance que de confiance.

PG

Monopole de la rationalité

Le problème éthique se situe également dans l'imposition de fait d'un monopole de la rationalité par les promoteurs des OGM. Ce monopole favorise un système d'expertise organisé pour la transmission unilatérale d'un savoir contrôlé et dévalorise toute rationalité alternative. L'opinion du citoyen n'est pas pour autant de l'ordre du préjugé. Son pragmatisme ne permet certes pas de clore des controverses mais appelle toujours un jugement et une pensée en alerte. La science n'a pas le monopole de l'esprit critique. Pas plus que l'opinion publique.

MM

Rôle des institutions étatiques

En réalité, le public retient de son expérience récente une préoccupation aiguë quant au rôle des institutions étatiques dans le contrôle des circuits alimentaires. Cette réticence se combine évidemment avec le poids perçu comme important des acteurs économiques dans la promotion des OGM. Les crises alimentaires ou sanitaires qui sont désormais récurrentes font l'objet d'une communication médiatique et politique qui souvent inquiète et rassure en alternance. Cette crise de confiance est sans doute plus aiguë en Europe qu'aux USA.

PG

Dépossession des consommateurs-citoyens

Le monde de l'agro-alimentaire obéit à une logique de système intégré (Science-Industrie-Commerce). Ce système a un objectif de profit auquel sont subordonnés la plupart des autres objectifs. Pour le monde agro-alimentaire la prise en compte de la dimension éthique n'est pas nécessaire. Il est important de noter que la communication au sens commercial du terme ne relève pas de la rationalité éthique, mais bien de la rationalité stratégique visant à maximiser l'intérêt immédiat. C'est pourquoi la prise en compte par le monde agro-alimentaire de l'avis de l'acheteur implique la reconnaissance de son opinion de consommateur, mais pas forcément la valeur de son jugement de citoyen.

L'un des moyens pour le citoyen d'obtenir un réel droit à la parole est de faire passer ses choix de citoyen dans ses choix de consommation. Cependant un «diagnostic» négatif du citoyen concernant la consommation des OGM n'est pas nécessairement un rejet partiel ou total de cette innovation technologique particulière, mais plutôt le rejet d'un système qui produit, vend et impose les OGM, sans délibération ou consultation démocratique à la base.

PG

Confiance en question

L'opinion publique renvoie avant tout à une perception. Or cette perception, dans le cas des OGM, est ambiguë. L'évaluation des risques est importante mais il ne faut pas confondre risque et confiance. La controverse sur les OGM exprime surtout une crise de confiance, qui implique de

facto la légitimité de ceux qui parlent (y compris les membres des comités d'éthique). L'expertise extérieure est à elle seule impuissante pour rétablir la confiance qui se donne et ne peut se commander.

Le problème de confiance posé par les OGM vient du fait que les consommateurs doutent fortement de ce que les industriels et commerçants feraient s'ils devaient choisir entre l'impératif de faire du profit et l'impératif de préserver la santé des citoyens. La confiance ne s'achète pas, elle se mérite, et il faut en être digne, sans quoi on la retire. Or cette possibilité, est-elle encore d'actualité? La banalisation des OGM s'accroît. Le choix réel des consommateurs est problématique. Les OGM sont déjà là, de fait, sans avoir été demandés par les consommateurs; voilà peut-être le problème fondamental.

Le problème ne se limite pas à la seule confiance en la sécurité. L'alimentation renvoie à la nature de l'homme, à ce qui le définit. L'alimentation touche à l'existence. Qui plus est, la nourriture est d'emblée un concept social. Pour avoir confiance, encore faut-il pouvoir identifier un sujet à qui donner sa confiance, ce qui n'est peut-être plus le cas à l'heure des conglomerats impersonnels de la grande distribution et de l'industrie agro-alimentaire.

Ce n'est pas, et de loin, l'obligation d'étiquetage qui résoudra ce problème. Il ne faut pas attribuer à l'étiquetage ce qui n'est pas de son rôle et lui demander d'assurer la sécurité du consommateur. L'information fournie par les étiquettes est indissociable d'une éducation soutenue du public relative aux OGM

MM

Utilité de l'innovation des OGM

Les raisons pour lesquelles ces innovations sont promues n'apparaissent pas claires pour le public, d'autant que les acteurs qui les promeuvent paraissent aux yeux du public comme directement et financièrement trop intéressés pour être des sources crédibles quant aux risques potentiels. Le public continue par ailleurs à porter une représentation préférée de l'agriculture comme agriculture familiale et artisanale qui lui semble plus menacée que défendue par les acteurs économiques promouvant les OGM. On peut inclure dans le même type de préoccupations celles concernant les conséquences de ces innovations pour les pays pauvres ou les agricultures du Tiers-Monde. À l'inverse, le fait que les acteurs porteurs de ces innovations soient des entreprises multinationales dont la logique de profit est évidente et dont la volonté de communiquer de manière transparente est régulièrement mise en doute, n'est pas de nature à entraîner une adhésion spontanée à l'innovation

MM

Crainte de risques potentiels irréversibles

L'expérience récente est souvent citée comme une raison de penser que de nouvelles technologies ne sont pas nécessairement sans risques. Les risques des OGM envisagés par le public concernent la santé humaine (d'où

une plus forte réticence face aux applications alimentaires) mais aussi l'environnement. Cette dernière interrogation se fonde généralement sur une représentation de l'intervention humaine comme menace potentielle sur la nature. En particulier, le public peut à l'égard des OGM mobiliser des notions qui lui sont devenues relativement familières comme celle de la résistance aux antibiotiques ou celles relatives au rôle (positif et négatif) des insectes: il a donc une vision ambiguë de l'innovation.

Le public manifeste également un souci à l'égard des conséquences irréversibles de ces innovations. Comme le contrôle ne lui apparaît pas entièrement fiable, il se demande si on pourra repérer et corriger les impacts négatifs éventuels. Il découle de cela une demande importante d'information que ce soit en direction des producteurs ou des consommateurs de manière à ce que les productions issues d'OGM soient identifiées (et si possible séparées). L'irréversibilité a aussi un sens économique, c'est ce que les économistes appellent «path dependency» à savoir qu'un choix technologique peut très bien fermer la porte à d'autres. On ne revient pas en arrière, parce qu'il est trop coûteux de revenir sur un choix qui, à terme, ne s'est pas révélé optimal.

4.3. CONDITIONS POUR ASSURER DÉMOCRATIQUEMENT L'ACCEPTABILITÉ DES OGM

PG

Insuffisance du principe de précaution

Devant l'ampleur des risques (potentiellement avérés ou simplement imaginaires) posés par les OGM, le principe de précaution est souvent invoqué. L'une des nombreuses références du principe de précaution est le principe 15 de la Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement (1992): «Pour protéger l'environnement, des mesures de précaution doivent être largement appliquées par les États selon leurs capacités. En cas de risque de dommages graves ou irréversibles, l'absence de certitude scientifique absolue ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures effectives visant à prévenir la dégradation de l'environnement». Malgré son indéniable importance, le principe de précaution comporte des faiblesses intrinsèques. Le fait que des éléments d'appréciations économiques viennent relativiser son caractère impératif en est le signe le plus éclatant. Des choix institutionnels influent aussi sur le système.

Mais l'insuffisance peut être la plus évidente de ce principe est la confiance qu'il fait à la science. L'importance conférée aux réponses de la science est en grande partie motivée politiquement et économiquement. La science réduit le problème des risques en une question de normes en dessous desquelles les impacts environnementaux et sanitaires des OGM sont acceptables. Elle n'explique pas la validité des normes. Ce faisant, on passe d'un schéma d'évaluation des risques à des affirmations générales sur l'acceptabilité, qui ne peuvent être définies ni en termes de risques réels ni en termes de mesures de sécurité.

MM

Arbitrage collectif

L'ambivalence de l'opinion publique vis à vis des OGM peut être considérée par certains comme une faiblesse parce qu'elle constituerait un frein au progrès technologique et qu'en particulier elle handicaperait l'Europe dans la compétition internationale. Mais cette ambivalence peut aussi être vue comme une opportunité dans la mesure où elle exige de l'innovateur une plus grande robustesse de ses propositions, à condition qu'une manière de mettre celles-ci à l'épreuve soit inventée. Cela suppose peut-être qu'on se mette d'accord sur les termes mêmes du débat.

Les différentes préoccupations, sous-jacentes à l'opposition majoritaire aux OGM que révèlent les sondages européens, peuvent se traduire comme une demande de justifications de ces innovations, justifications de tous ordres – scientifique, économique, environnementale, sociale – qui rendraient la prise de risque plausible et collectivement assumée. Certains des auteurs de ce rapport estiment que l'arbitrage d'un risque éventuel est «évident». Les gens ordinaires, en un sens, demandent que cet arbitrage soit collectif, politique et non fondé sur des dires d'experts. Ils demandent donc que l'innovation soit collectivement assumée.

MM

Compromis sectoriel entre les partenaires

Une innovation n'est donc jamais seule, elle est portée par des forces à qui elle s'allie. Dans cette perspective, on est amené à s'intéresser non plus à l'innovation seulement mais au système d'innovation, c'est-à-dire au complexe de forces et d'organisations qui à la fois se forment autour de l'innovation et la portent dans le monde social. Si l'innovation n'est guère prévisible, par contre construire des «systèmes d'innovation», qui facilitent leur diffusion, est possible. Ce qui suscite probablement nombre de préoccupations du public à propos des OGM, c'est précisément que la «coalition» de promoteurs des OGM semble dominée par un système d'innovation essentiellement mobilisé par des motivations marchandes. C'est bien un des modèles de système d'innovations qui tend à devenir dominant.

Or il en existe d'autres. Nombre de progrès technologiques au 20^{ème} siècle ont été portés, notamment dans le domaine agricole, par des systèmes d'innovation qui associaient étroitement des industriels, des chercheurs à des organisations agricoles et sous la coordination des États. On était alors dans des systèmes d'innovations organisés par l'offre, mais organisés dans une sorte de compromis sectoriel entre les partenaires agricoles, étatiques et industriels.

Aujourd'hui, d'autres acteurs demandent à entrer dans les débats et les négociations qui pourraient constituer de nouveaux systèmes d'innovation. Les producteurs agricoles, une partie d'entre eux au moins, les consommateurs, les environnementalistes, tous ces acteurs portent aussi

des enjeux, avec plus ou moins de bonheur et plus ou moins de succès. Mais ils revendiquent de porter des enjeux collectifs, ce que les économistes appellent des biens publics. Le débat sur les OGM est alors un débat sur la question de savoir qui est inclus dans le système d'innovation et qui en est exclu, quels biens publics sont pris en compte et quels autres sont oubliés.

Ce qui se joue donc dans la question des OGM c'est à la fois le devenir d'une innovation et le devenir d'une manière de faire de l'innovation. Mais il faut comprendre que le contenu de l'innovation est indissociable de la manière de la produire, de la diffuser, de la proposer, de la réviser, de la revoir, de l'adapter.

PG

Gouvernance par co-construction et démocratie délibérative technique

Le paysage paraît finalement assez sombre. Rares sont les lieux où puisse être réellement mené un débat serein. Déclarer qu'un dossier est technique, c'est en effet le soustraire à l'emprise du débat public. Reconnaître sa dimension sociale, c'est au contraire lui donner une chance d'être discuté dans les arènes politiques. La tâche qui incombe au politique est de surmonter le fait que les individus ne sont plus capables de s'appréhender comme membres d'une société et que leur inscription dans une totalité lisible et visible est devenue problématique.

Pour une nouvelle gestion du développement des OGM nous proposons un modèle de gouvernance dénommé la «co-construction». qui est une dynamique d'exploration socio-technique qui analyse tous les mondes possibles ainsi que diverses hypothèses cadrant la controverse. Elle devrait impliquer tous les partenaires intéressés. La co-construction vise à la ré-appropriation de la maîtrise de la technologie scientifiques par la société. Les méthodes de mise en œuvre de la co-construction sont multiples et ne peuvent être décrites ici.

Il est possible que la contestation éthique et politique des OGM marque l'avènement irréversible d'un nouveau type de rapports du citoyen et du consommateur et conduise à une forme nouvelle d'exercice des droits de l'opinion et de la parole qui permettrait aux citoyens de participer aux discussions et aux décisions publiques dans le domaine de la technique. Nous regroupons cette approche sous l'appellation «démocratie délibérative technique».

Quoi qu'il en soit et dans la foulée de la voie tracée par le Danemark, nous estimons qu'un débat sur les OGM ne peut éviter les diverses dimensions éthiques et qu'il doit porter en priorité sur les choix sociaux. Nous nous refusons à limiter l'éthique à la sphère des intérêts ou des préférences privés ou au seul niveau d'acceptabilité des risques.

Dans ce chapitre, nous avons ainsi laissé à chacun des représentants des sciences humaines, la liberté de livrer le résultat de ses réflexions sur les causes et les malades qui ont conduit au rejet, par une partie de la population euro-

péenne, du potentiel nouveau que représentent les OGM. Ces opinions confirment celle de Hubert Curien, ingénieur, ancien ministre français et ancien directeur du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) : « Il est nécessaire de s'expliquer et de s'engager au sein d'une société qui, certes, ne refuse pas le progrès mais se méfie d'éventuelles diableries. Aux deux vocations classiques des ingénieurs, innover et gérer, il faut ctuellement ajouter une troisième, expliquer

et éventuellement rassurer ». Ceci ne veut pas dire qu'il faut obtenir l'agrément de tous avant de matérialiser l'innovation, car certains adoptent des attitudes radicales par plaisir et sans fondement. Il faut que l'innovation profite à la fraction la plus grande possible de la population, à court, moyen ou long terme, sans être un danger potentiel important pour une autre fraction de cette population. Expliquer et rassurer sont de mise.

CHAPITRE 5 : LES PLANTES TRANSGÉNIQUES EN BELGIQUE : RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT, PRODUCTION, ACTIVITÉS COMMERCIALES

5.1. LES LABORATOIRES

À notre connaissance, la Belgique ne produit pas de plantes transgéniques à l'échelle commerciale. Elle possède cependant une grande expertise dans ce domaine. Les professeurs Jeff Schell et Marc Van Montagu furent les promoteurs historiques des techniques de transgénèse chez les plantes et l'Université de Gand reste un haut lieu pour les activités scientifiques dans ce domaine.

De nombreux laboratoires de recherche belges pratiquent la transgénèse végétale et utilisent les plantes transgéniques comme outil moléculaire incontournable dans leurs projets de recherche. Nous avons relevé plus de quarante équipes universitaires ou de centres de recherche ainsi que cinq entreprises qui maîtrisent la transgénèse végétale et/ou qui utilisent des plantes transgéniques dans leurs recherches. Les responsables de ces équipes figurent dans le tableau suivant.

Les espèces transformées et étudiées dans ces laboratoires sont variées. Il y a bien sûr la plante modèle *Arabidopsis thaliana* mais de nombreuses autres espèces sont également utilisées : betterave, blé, carotte, chicorée, concombre, coton, colza, haricot, maïs, melon, peuplier, pomme de terre, riz, pommier, soja, tomate, poivron, *Sinapis alba*, tabac, *Thlaspi*, tremble...

Les objectifs poursuivis par ces recherches sont variés et visent avant tout à comprendre au niveau moléculaire des mécanismes physiologiques fondamentaux reliés, par exemple, à la croissance et au développement de la plante, à sa nutrition minérale et en eau, à la floraison et la fructification, à la défense contre les pathogènes et les conditions défavorables de culture (températures élevées ou basses, stress salin et hydrique, toxicité des métaux lourds,...). Des projets plus appliqués visent à utiliser ces connaissances de base dans le but d'améliorer les variétés végétales.

5.1.1. Laboratoires publics

Centre Wallon de Recherches Agronomiques (CWRA)
Département de Biologie (B. Watillon)

Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux (FUSAGx)
Unité de Biologie Végétale (P. du Jardin)

Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix (FUNDP)
Laboratoire de Biologie Végétale (P. Van Cutsem)

Katholieke Universiteit Leuven (KULeuven)
Centrum voor Microbiële en Plantengenetica (B. Cammue)
Janssens Laboratory of Genetics (J. Vanderleyden)
Fruiteeltcentrum (J. Keulemans)

Universiteit Gent (UG)

Department of Plant Systems Biology (D. Inzé)
Instituut voor Plantenbiotechnologie voor Ontwikkelingslanden (M. Van Montagu)
Unit Plantenhormoonsignalisatie en Bio-imaging (D. Van Der Straeten)

Université Catholique de Louvain (UCL)

Unité de Biologie Végétale (H. Batoko)
Unité de Biochimie Physiologique (M. Boutry)

Université de Liège (ULg)

Laboratoire de Physiologie Végétale (C. Périlleux)
Laboratoire de Biologie Moléculaire et Biotechnologie Végétale (J. Dommès)
Laboratoire de Biologie Cellulaire Végétale (P. Motte)

Université Libre de Bruxelles (ULB)

Laboratoire de Biotechnologie Végétale (M. El Jaziri)
Laboratoire de Physiologie et Génétique Moléculaire des Plantes (N. Verbruggen)

Universiteit Antwerpen (UA)

Departement van Biologie (J.P. Verbeelen, H. Van Onkelen)

Vrije Universiteit Brussel (VUB)

Laboratory of Plant Genetics (G. Angenon)

5.1.2. Laboratoires industriels

Bayer CropScience, Gent (A. Roef)

CropDesign, Gent (J. Cardoen)

Devgen, Gent (E. Jongedijk)

SES Europe NV, Tienen (J. Van Roie)

Warcoing SA, Warcoing (J.C. Van Herck)

5.2. LES EXPERTS

Relevons que le «Belgian Biosafety Advisory Council» répertorie 37 experts belges dans le domaine des plantes transgéniques et 23 experts dans le domaine des aliments génétiquement modifiés. Ces experts proposés par les universités et diverses institutions officielles régionales et fédérales comprennent des biologistes moléculaires, des agronomes, des écologistes, des généticiens et des sélectionneurs. Leur rôle est de conseiller les autorités sur la sécurité des organismes génétiquement modifiés y compris les aspects génétiques et écologiques de la biodiversité. En principe, la culture en champ et en serre, la transformation de tous les produits contenant des OGM et leur mise sur le marché sont soumis à la consultation de ces experts.

CHAPITRE 6 : QUESTIONS FRÉQUEMMENT POSÉES CONCERNANT LES PLANTES TRANSGÉNIQUES ET ÉLÉMENTS DE RÉPONSE

1. *Les plantes transgéniques présentent-elles un risque pour la santé ?*

Toutes les interventions, directes ou indirectes, sur le matériel génétique peuvent avoir des conséquences non désirées. Par exemple :

- un enfant qui naît est le résultat du remaniement du matériel génétique de ses père et mère. Ceux-ci sont apparemment normaux; l'enfant qui naît peut être anormal.
- lorsque l'on effectue un croisement entre deux plantes parentales, le résultat est une population très variée, reflétant les nombreuses combinaisons différentes du matériel génétique des deux parents; cette descendance de première génération sera soumise à un processus sévère de sélection; ce processus sera poursuivi pendant au moins 8 ans pour arriver à une lignée assez stabilisée présentant les caractéristiques recherchées (productivité, résistance aux maladies, teneur en éléments nutritifs et, bien sûr, non toxicité pour l'homme comme pour l'animal).
- les anomalies chromosomiques (aneuploïdie, cassures et réunions) ont souvent pour conséquence l'apparition de maladies graves (les tumeurs malignes humaines en sont une illustration permanente); déranger l'environnement chromosomique d'un gène par l'insertion d'un fragment d'ADN est une opération dont les conséquences sont imprévisibles; les techniques du génie génétique permettent, aujourd'hui, de vérifier le lieu d'insertion du gène étranger et de vérifier s'il y a des conséquences sur les gènes voisins.

L'amélioration végétale classique reste, actuellement de mise pour l'introduction dans une lignée de caractéristiques intéressantes, multigéniques, présentes dans une autre lignée de la même espèce ou d'une espèce génétiquement très voisine. Le génie génétique est surtout réservé à l'introduction d'un petit nombre de gènes venant d'autres espèces biologiques que la plante manipulée (résistance à la sécheresse, à la salinité,...). Ici aussi, la sélection est rigoureuse.

Jusqu'à présent aucun risque pour la santé n'a été observé pour les plantes transgéniques commercialisées. Celles-ci ont été soumises à des tests de toxicité rigoureux qui sont rarement utilisés pour des nouvelles variétés obtenues par des méthodes plus classiques comme les croisements ou les mutations induites. Pourtant, il n'y a pas de raison objective de penser que l'amélioration par croisement comporte moins de risques pour la santé que par transgénèse.

Par ailleurs, les plantes transgéniques peuvent contribuer positivement à notre santé. Par exemple, des projets sont actuellement en chantier qui visent à améliorer la

composition des denrées alimentaires afin de les rendre plus conformes à nos besoins nutritionnels.

2. *Les gènes de résistance aux antibiotiques causent-ils problème ?*

De nombreuses commissions d'experts scientifiques ont évalué le risque potentiel pour la santé lié à l'ingestion de plantes transgéniques comportant un gène de résistance aux antibiotiques (utilisé comme marqueur de sélection en laboratoire pour obtenir la plante transgénique). Aucune toxicité particulière n'a été observée. Reste le risque que le gène de transfert ne passe à des bactéries pathogènes de l'homme et rendent celles-ci insensibles aux antibiotiques thérapeutiques. À nouveau, il convient de relativiser le risque dans la mesure où les gènes de résistance fonctionnels sont portés par de nombreuses bactéries présentes dans la nature. Par ailleurs, la prolifération des gènes de résistance aux antibiotiques a clairement été stimulée par l'utilisation massive d'antibiotiques dans l'élevage d'animaux et par leur prescription abusive de la part de certains médecins. Néanmoins, par précaution, la directive européenne prévoit qu'aucune plante transgénique contenant un gène de résistance à un antibiotique qui pourrait avoir des effets négatifs pour la santé humaine ou l'environnement, ne pourra être commercialisée après le 31 décembre 2004, ni mise en culture expérimentale après le 31 décembre 2008.

3. *Avec les plantes transgéniques, n'y-a-t-il pas un risque de dépendance économique envers les multinationales ?*

La réponse est oui. La plupart des plantes transgéniques commercialisées à l'heure actuelle le sont par quelques multinationales, dont trois américaines et trois européennes. La recherche coûte extrêmement cher, et, de plus, les coûts des dossiers de commercialisation sont prohibitifs. C'est entre 10 et 100 millions de dollars qu'une compagnie doit dépenser pour commercialiser une plante transgénique avec une équivalence alimentaire et encore plus s'il s'agit de plantes dont la valeur alimentaire a été contestée. Seules de grandes multinationales peuvent supporter de tels coûts. Il est paradoxal que la sévérité que d'aucuns jugent excessive des réglementations a pour effet de limiter le développement des plantes transgéniques aux seules multinationales alors que de petites entreprises pourraient contribuer, par cette technique, à améliorer nos variétés de culture. La Chine, toutefois, semble être en mesure de produire ses propres riz transgéniques.

Il est clair que l'abandon systématique du financement de la sélection végétale par les autorités publiques (belges notamment) a créé un déséquilibre public-privé très en faveur de ce dernier et que les motivations de l'un et l'autre secteur ne sont pas toujours les mêmes, sans être nécessairement divergentes. La recherche publique doit s'investir dans la transgénèse et y contribuer fortement. Des domaines importants, comme la résistance aux maladies, sont en attente de contributions génétiques de base. Une politique plus volontariste des pouvoirs publics européens pourrait renverser cette tendance et contribuer au développement de petites firmes européennes à l'instar de ce qui se passe dans le domaine de la santé.

4. Les plantes transgéniques contribuent-elles à une perte de biodiversité ?

La biodiversité, ou diversité biologique, est un bien précieux qu'il est essentiel de préserver. Elle se manifeste à différents niveaux : la diversité génétique à l'intérieur des espèces (variétés, cultivars, écotypes), la diversité des espèces dans les écosystèmes, la diversité des écosystèmes dans une région. Par ses actions, l'homme contribue à mettre la biodiversité en péril à tous ces niveaux. C'est le cas, en particulier, de l'agriculture intensive avec monoculture qui détruit les habitats naturels ou semi-naturels.

En ce qui concerne la biodiversité intraspécifique, il convient de distinguer entre la préserver et la cultiver. L'amélioration des variétés tire parti de la richesse génétique liée à la biodiversité et pourtant, elle va de pair avec une diminution des variétés cultivées. En effet, l'amélioration est un exercice long et difficile, qu'il n'est pas imaginable de mener de front sur un nombre important de variétés. La technique de transgénèse en tant que telle ne contribue pas à diminuer ce nombre de variétés. En effet, une fois un transgène introduit dans une variété cultivée, il peut être transmis, par croisements, aux variétés adaptées à des différentes conditions de culture (sol, climat...). On peut même imaginer que la transgénèse puisse réhabiliter des variétés anciennes qui se prêtent mal à des cultures à grande échelle. Par exemple, la variété de fraise Elsanta est celle qui est la plus commercialisée, parce qu'elle résiste au transport et se conserve mieux que d'autres variétés. On pourrait imaginer transformer d'autres variétés plus savoureuses mais plus fragiles de façon à les rendre plus résistantes au transport.

Quant à la biodiversité spécifique, est-elle menacée par les plantes génétiquement modifiées ? La perte de biodiversité est liée au mode de culture et non à la manière avec laquelle les plantes sont améliorées.

Ces questions posent le problème des relations plantes cultivées-plantes sauvages de la même espèce ou d'espèces voisines. On peut aussi se poser la question de la dispersion de gènes dans la nature via des chemins fort complexes, d'une plante à une autre via des virus, des bactéries ou encore des champignons.

Si la plante transgénique n'a pas d'homologue sauvage là où on la cultive, l'échange direct plante-plante est évidemment impossible. Seuls des échanges indirects et lents peuvent se produire comme ils se déroulent depuis l'avènement de la vie sur terre. La spéciation se fait depuis toujours et évolue.

Si la plante transgénique a dans son milieu des homologues plus ou moins proches, il peut y avoir un échange génétique, généralement très faible, surtout si les floraisons sont synchrones. Ce type d'échange peut être réduit à pratiquement zéro si la modification génétique implique l'ADN des mitochondries ou l'ADN des chloroplastes (la plupart des plantes produisent du pollen sans plastides). On peut aussi minimiser le transfert de gènes via le pollen par des manipulations de stérilité mâle. On n'empêchera, cependant, jamais le transfert éventuel de gènes par les virus, les bactéries ou encore les champignons. Les gènes de résistance aux antibiotiques sont souvent visés ici. Remarquons que de nombreuses bactéries du sol sont porteuses de gènes de ce type et les dispersent.

5. Les plantes transgéniques peuvent-elles co-exister avec cultures bio, non transgéniques ?

Peut-on envisager un voisinage plantes transgéniques-cultures traditionnelles ?

Plusieurs modèles d'agriculture sont possibles et il est souhaitable qu'ils puissent tous co-exister. Les essais en champ de cultures transgéniques peuvent/doivent être réalisés dans des milieux clairement identifiés et isolés d'autres cultures. Cependant, dès lors que l'évaluation a montré l'innocuité d'une plante transgénique, elle ne doit plus être considérée comme un danger potentiel et, à moins de mettre en œuvre de coûteuses techniques de confinement, il n'est pas raisonnable d'exiger l'isolement complet des cultures de manière à empêcher tout transfert de gènes entre elles. En Belgique, ce problème de coexistence est une affaire régionale. En automne 2005, le parlement de la Région Wallonne a procédé à des auditions et à un large débat qui ont abouti à une résolution visant à encadrer la coexistence des cultures transgéniques, traditionnelles et biologiques.

6. Comment les plantes transgéniques sont-elles apparues ?

Lorsque voici plus de 20 ans, le transfert d'un gène bactérien fonctionnel dans le tabac fut réalisé dans un laboratoire belge, les potentialités de cette technique devinrent évidentes pour les mondes scientifique et agro-industriel. Il fallut cependant plus de 10 années de développement pour que la transformation de plantes cultivées à grande échelle soit mise au point. Aujourd'hui, et bien qu'il existe encore plusieurs problèmes techniques à résoudre (tel que la difficulté de cibler avec précision l'insertion des gènes transférés dans le génome de l'hôte), l'on peut affirmer

qu'en principe quasi toutes les plantes sont transformables. La transformation génétique est utilisée en routine par tous les laboratoires fondamentaux de biologie moléculaire des plantes. Les laboratoires belges ont dans ce domaine accumulé une expertise remarquable.

Cependant, la toute grande majorité des cultures transgéniques développées ces dix dernières années est constituée par quatre plantes industrielles: le soja, le colza, le maïs et le coton. Ces plantes sont généralement utilisées pour l'alimentation animale et sont relativement peu ou ne sont pas cultivées en Belgique. Elles ont été développées aux USA. Jusqu'à présent, les caractères transférés sont des résistances soit à un herbicide, soit à un insecte. Ce choix est dû au caractère monogénique de ces résistances et au fait que leur sélection après transfert est relativement simple. C'est aussi dû à la stratégie commerciale des firmes multinationales qui produisent à la fois les semences résistantes et les herbicides.

Il s'ensuit que les plantes transgéniques actuellement disponibles ne bénéficient pas directement aux consommateurs humains. Ceci peut avoir contribué à la levée de la méfiance qui de façon inattendue s'est développée dans le public. Cette méfiance a conduit aux longues et coûteuses réglementations qui existent à l'heure actuelle particulièrement en Europe. En conséquence, seules les grandes firmes semencières multinationales ont le pouvoir financier d'investir dans le développement de nouvelles plantes transgéniques y compris de celles qui seraient bénéfiques aux consommateurs. C'est pourquoi aujourd'hui le marché des semences transgéniques est monopolisé par les grandes multinationales étrangères, une situation qui déplaît à beaucoup.

Cependant, l'on peut penser et espérer que, malgré tout, les techniques de transformation végétale deviendront de plus en plus performantes et que grâce à la créativité des «petits» laboratoires universitaires alliée à celle de «petites» firmes agroalimentaires spécialisées dans des créneaux particuliers, le développement de certaines plantes transgéniques véritablement bénéfiques aux consommateurs peut voir le jour en Belgique. Il faut, bien évidemment, espérer qu'entre-temps l'absence de conséquences néfastes à la santé et à l'environnement soit confirmée sans «accidents» dans les pays où les aliments transgéniques sont utilisés pour l'alimentation humaine. Quoi qu'il en soit, il pourrait être utile que les pouvoirs politiques belges aménagent les structures actuelles de surveillance des plantes transgéniques de telle façon que la participation non seulement «d'experts» mais aussi des «petits agriculteurs» et de la société civile soit assurée. Ces structures devraient être transparentes aux associations de consommateurs et aux médias. Un tel contexte pourrait rétablir progressivement la confiance et conduire au développement d'une nouvelle génération de plantes transgéniques qui permettrait d'exploiter, pour le bénéfice de tous, l'expertise considérable de nos laboratoires universitaires.

7. Quelles plantes sont-elles susceptibles d'être améliorées par génie génétique ?

Toutes les plantes sont susceptibles d'amélioration par génie génétique. Lorsque le produit consommé par l'homme est une molécule ou une macromolécule accumulée par la plante, on vérifiera que le produit fini est pur (amidon, saccharose, fructose, inuline, huile, anticorps, enzymes, cytokines,...), ce qui se fait aujourd'hui de manière routinière. Lorsque des parties intégrantes de la plante (fruits, feuilles, racines) sont consommées, des tests de toxicité, de conservation, de digestibilité etc doivent être réalisés, comme ils le sont aujourd'hui d'ailleurs, sur petits animaux d'abord, puis sur l'homme.

8. Qui garantit que la sécurité alimentaire est optimale en Belgique ?

L'Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire (AFSCA) exécute les contrôles de qualité hygiénique et nutritionnelle des produits alimentaires fabriqués ou commercialisés en Belgique. Elle s'est assurée le concours d'un grand nombre de laboratoires agréés. Nous recommandons que cette structure élaborée et qui fonctionne bien ait la capacité de s'adapter en permanence à une situation qui évolue vite et qu'elle soit en contact permanent avec ce qui se fait le mieux dans le monde (pour plus de détails à ce sujet, voir le chapitre 3.2).

9. En Belgique, qui autorise le développement de plantes transgéniques, en fermenteur, en serre, en champ ?

L'obtention et l'utilisation de plantes transgéniques ainsi que d'autres organismes transgéniques dans les laboratoires publics ou privés requièrent l'autorisation des Régions dans le cadre général du permis d'environnement (par exemple, en Région Wallonne, selon le cadre réglementaire de l'Arrêté du Gouvernement wallon du 4 juillet 2002).

Concrètement, le risque associé à l'utilisation de plantes transgéniques est évalué par la Section de Biosécurité et Biotechnologie de l'Institut Scientifique de Santé Publique au niveau fédéral (<http://www.biosafety.be/HomePage.html>). Le dossier examiné fournit une description détaillée des plantes transgéniques utilisées, des opérations d'utilisation confinée, des infrastructures, des mesures de confinement et des pratiques de laboratoire. En fonction du risque encouru, les plantes transgéniques sont répertoriées en quatre classes de risque auxquelles sont associées des pratiques de confinement différentes. Voir, pour détails, le site du Belgian Biosafety Advisory Council (<http://www.biosafety-council.be>).

10. *Qu'en est-il de la propriété intellectuelle ? Peut-on breveter le vivant ?*

Une directive européenne de 1998 (98/44/CE) traite de la protection juridique des inventions biotechnologiques. Elle stipule, entre autres, que les variétés végétales et les races animales ne sont pas brevetables. Par contre, «sont brevetables les inventions nouvelles, impliquant une activité inventive et susceptibles d'application industrielle, même lorsqu'elles portent sur un produit composé de matière biologique ou en contenant, ou sur un procédé permettant de produire, de traiter ou d'utiliser de la matière biologique». La matière biologique est définie comme «une matière contenant des informations génétiques et qui est autoreproductible ou reproductible dans

un système biologique». L'invention est brevetable, la découverte ne l'est pas. On ne brevète pas un gène mais l'utilisation que l'on peut en faire.

Se pose la question du prix des plantes transgéniques, surtout pour les pays en voie de développement. Il devrait être abordable. Le transfert de technologie dans ce domaine devrait être fait dans des conditions favorables et donner accès librement à des licences gratuites d'exploitation des brevets concernant les méthodologies. Les produits dérivés des plantes transgéniques ou ces plantes transgéniques elles-mêmes doivent être vendus au plus juste prix surtout s'ils peuvent aider l'agriculteur du tiers-monde. L'exemple de la collaboration public-privé-fondations humanitaires que l'on voit à l'œuvre dans le cas du sida est à méditer et à imiter.

CHAPITRE 7: CONCLUSIONS

De l'examen détaillé qui précède, les auteurs de ce rapport attirent l'attention sur les possibilités de développement de la société qui découlent du savoir accumulé à propos des organismes génétiquement modifiés. Dans les domaines de l'alimentation et de la santé humaine ainsi que dans le domaine des applications industrielles, la mise en œuvre des modifications génétiques porte de réels espoirs, garantis par quelques succès déjà acquis. Les auteurs sont donc favorables au développement raisonné de l'agriculture transgénique. Ce développement doit être mené de manière à assurer la durabilité du milieu de vie et des agriculteurs, à fournir des biens de consommation de meilleure qualité et à fournir des produits d'intérêt industriel susceptibles de contribuer au maintien et au développement de l'emploi.

Les auteurs constatent qu'un climat de méfiance s'est développé, en Europe, vis-à-vis des plantes transgéniques. Quelle est l'origine de ce phénomène? Est-il salutaire ou dommageable? Plusieurs chapitres de notre mise au point ont approché cet aspect des choses et les questions soulevées ainsi que les réponses que nous proposons peuvent se résumer comme suit:

S'agit-il d'un rejet vis-à-vis des acquis de la recherche?

Des campagnes de dénigrement de l'innovation ont toujours existé, parfois alimentées par des préoccupations philosophiques ou religieuses. Il est parfaitement vrai que le développement scientifique conduit à des inconnues. Celles-ci doivent être identifiées et maîtrisées au mieux avant l'application à grande échelle. Les attitudes qui prévalent sont tout à fait personnelles. Certains ont peur, d'autres prennent des risques sans que le rationnel ne joue un rôle déterminant dans l'attitude adoptée par l'un ou par l'autre. Les contributions du philosophe et du sociologue éclairent d'un jour très intéressant les moteurs des attitudes humaines. La raison n'y tient pas toujours la place qui devrait être la sienne.

S'agit-il du rejet de la mondialisation telle qu'elle apparaît conquérante, inhumaine et capitaliste?

Cet aspect est le moteur d'à peu près toutes les réticences et les rejets. L'attitude des multinationales incriminées a nourri ce rejet. Il est clair que, si elles avaient mis sur le marché des variétés améliorées dans leur résistance aux parasites ou à la sécheresse ou encore dans leur valeur nutritionnelle, l'accueil eut été fort différent. Un chapitre de notre mise au point analyse les aspects sociologiques de la science, de l'innovation et des applications et conclut que manifestement les aspects psychologiques et sociétaux ont été mal traités.

S'agit-il de la perception plus ou moins consciente d'un danger potentiel des plantes transgéniques pour la santé humaine?

Un rapport tout récent rédigé par un panel de spécialistes de nombreux pays et publié par l'Organisation Mondiale de la Santé conclut à l'innocuité des plantes transgéniques alimentaires consommées à ce jour. Avant toute mise sur le marché, il paraît nécessaire que tout produit alimentaire transgénique suive un chemin expérimental semblable à celui que parcourt un médicament pour l'agrégation. Les essais seront réalisés sur rongeurs et non rongeurs puis sur l'homme volontaire. Les quantités consommées correspondront à une alimentation normale.

S'agit-il de la crainte d'un danger pour l'environnement?

Nous consacrons un chapitre à cette importante question. Seule l'expérimentation d'abord en milieu confiné puis en milieu ouvert peut apporter des réponses.

Les applications non alimentaires des plantes transgéniques nous paraissent revêtir un grand intérêt. Le chapitre que nous y consacrons montre de nouvelles perspectives pour la chimie verte et, par ricochet, pour la population rurale, composante stabilisante de la société.

Le but de notre mise au point n'est pas de convaincre mais d'inciter à la réflexion. Il nous paraît nécessaire de développer l'amélioration végétale dans le sens de la résistance à la sécheresse et aux maladies, à l'accroissement des qualités nutritionnelles des produits végétaux et à leur valorisation industrielle. Si, à un moment ou à un autre, des modifications génétiques s'imposent, il nous paraît indiqué d'y recourir avec prudence et détermination.

Terminons en remarquant que l'histoire des hommes est une marche en avant qui ne se confond pas avec l'inaction. Une société qui n'élabore pas son avenir par la recherche et l'innovation entame sa décadence! Le devoir d'agir impose cependant la prudence par une expérimentation rigoureuse. La recherche publique devrait ici jouer un rôle de premier plan de manière à ne pas priver la société de bénéfices majeurs qui devraient apparaître à court ou à moyen terme.

RÉFÉRENCES

- BACAS (2004). Industrial Biotechnology and Sustainable Chemistry.
- BACAS (2006). Hydrogen as an energy carrier.
- Brookes G. and Barfoot P.(2005). PG Economics Ltd: GM crops: the global socio-economic and environmental impact-the first nine years 1996-2004, October 2005.
- Casse Francine et Breitler J.-C.(2001). OGM. Editions France Agricole 2001 – série Comprendre).

- Codex Alimentarius (2003). Principles for the risk analysis of foods derived from modern biotechnology. CAC/GL 44-2003.
- European Commission (2001). A Review of Results: EC-sponsored Research on Safety of Genetically Modified Organisms, edited by Charles Kessler and Ioannis Economidis. Available online at <http://europa.eu.int/comm/research/quality-of-life/gmo/>.
- European Communities (2004). Genetically modified crops in the EU: food safety assessment, regulation, and public concerns. Overarching report: ENTRANSFOOD, the European network on safety assessment of genetically modified food crops. Editorial team: Ariane König, Gijs Kleter, Walter Hammes, Ib Knudsen and Harry Kuiper. www.entransfood.com
- Hellmich RL *et al.* (2001) Proc. Natl Acad. Sci. USA 98(22):12328-30.
- ISAAA (2006). Brief 34: Global status of commercialized biotech/GM crops 2005.
- Kuiper, H.A. *et al.* (2004). Safety Assessment, Detection and Traceability, and Societal Aspects of Genetically Modified Foods. European Network on Safety Assessment of Genetically Modified Food Crops (ENTRANSFOOD). Guest Editors: H.A. Kuiper, G.A. Kleter, A. König, W.P. Hammes and I. Knudsen. Food and Chemical Toxicology, Special Issue, Vol **42**, issue 7, July 2004.
- Losey J.E. *et al.* (1999). Nature 399, n° 6733
- Nester E., Gordon M.P. and Ker A. (eds) (2005). *Agrobacterium tumefaciens*: from Plant Pathology to Biotechnology, ASP Press.
- Raney Terri (2006). Economic impacts of transgenic crops in developing countries. Current Opinions in Biotechnology 17: 1-5.
- Transactions of the Royal Society of London (2003) B 358, 1777-1913.
- World Health Organization (2005). Modern food biotechnology, human health and development: an evidence-based study. ISBN 92 4 159305 9.

CAWET MEMBERS

President:

Dr.ir. Guy HAEMERS
INVENTURES Group Europe

Vice President:

Prof. Ludo GELDERS
Industrial Management, Katholieke Universiteit Leuven

Honorary Presidents:

Prof. Achiel VAN CAUWENBERGHE
Control Engineering, Universiteit Gent

Ir. Valentin VAN den BALCK
Berenschot, Brussel

Prof. Daniël VANDEPITTE
Civil Engineering, Universiteit Gent

Secretary and External Communications Officer:

Dr. ir. Paul VERSTRAETEN
Sidmar, Gent

Members:

Prof. Etienne AERNOUDT
Metals and Materials Engineering, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. Jean BERLAMONT
Hydraulics, Katholieke Universiteit Leuven

Ir. Luc BOSSYNS
Aquafin, Aartselaar

Prof. Bart DE MOOR
Electrical Engineering, Katholieke Universiteit Leuven

Ir. Marc FRANCKEN
Gevaert, Antwerpen

Burggraaf Dirk FRIMOUT
Ministerie Economie, Brussel

Prof. Derrick GOSSELIN
Suez Energy International, Brussel

Prof. Charles HIRSCH
Fluid Mechanics, Vrije Universiteit Brussel

Dr.ir. Jan KRETZSCHMAR
VITO, Mol

Ir. Robert LENAERS
NV Vanhout, Geel

Dr.ir. Jan LEURIDAN
LMS International, Leuven

Prof. Gaston MAGGETTO
Elektrotechniek en Vermogenselektronica, Vrije Universiteit Brussel

Ir. Leo MICHIELS
Proviron, Oostende

Dr. ir. Gisèle NARMON
Alcatel, Antwerpen

Ir. Norbert VAN BELLE
Janssen Pharmaceutica, Beerse

Prof. Hendrik VAN BRUSSEL
PMA, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. Erick VANDAMME
Industrial Microbiology, Universiteit Gent

Prof. Georges VAN DER PERRE
Biomechanics and Graphic Design, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. Joos VANDEWALLE
ESAT, Katholieke Universiteit Leuven

Ir. Willy VAN OVERSCHEE
IBM, Brussel

Dr.ir. J. VAN REMORTEL
Alcatel Bell, Antwerpen

Ir. Joost VAN ROOST
ExxonMobil, Breda

Ir. Ivo VAN VAERENBERGH
REM-B, Zoersel

Prof. Pierre VERBAETEN
Computer Science, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. Ronny VERHOEVEN
Hydraulics, Universiteit Gent

Prof. Ignaas VERPOEST
MTM, Katholieke Universiteit Leuven

Prof. Willy VERSTRAETE
Microbial Ecology, Universiteit Gent

Prof. Jacques Baron WILLEMS
Electrical Systems, Universiteit Gent

Associate Members:

Ir. Herman DEROO
KVIV, Antwerpen

Prof. Robert GOBIN
Graphic Design, Katholieke Universiteit Leuven

Mr. Erik JACQUEMIJN
Stichting Flanders Technology International, Mechelen

Dr. Henri MALCORPS
Royal Meteorological Institute, Brussel

Ir. Michel NAZE
Capsugel, Bornem

Ir. Alfons PEETERS
Eternit, Brussel

Ir. Paul VAN DER SPIEGEL
Keerbergen

Dr. Jan VAN KEYMEULEN
Kasteelbrakel

Prof. Hendrik VAN LANDEGHEM
Technische Bedrijfsvoering, Universiteit Gent

Prof. Pascal VERDONCK
Hydraulics, Universiteit Gent

CAWET MEMBERS

Honorary Members:

Ir. Jean BEECKMAN, Dr.ir. Stan BEERNAERT, Prof. Hugo DE MAN, ir. Jozef DEMAN, ir. Jean-Pierre DE PAEMELAERE, ing. Lucien DE SCHAMPHELAERE, Prof. Walter Baron FIERS, Prof. Gilbert FROMENT, Prof. René JAC-

QUES, ir. Jan JONGBLOET, Roland MAES, Dr.ir. Lars MALMROS, Dr.ir. Urbain MEERS, Prof. Jacques PETERS, Prof. Niceas SCHAMP, Ir. Marcel SOENS, Ir. Stan ULENS, Prof. Jean VAN BLADEL, Prof. Marc Baron VAN MONTAGU, Ir. Roland WISSAER

BACAS Steering Committee

Dr.ir. G. HAEMERS, president CAWET and BACAS

Prof. L. GELDERS, vice-president CAWET

Prof. A. VAN CAUWENBERGHE, past president

Dr. ir. P. VERSTRAETEN, secretary CAWET

Ir. P. KLEES, president CAPAS

Prof. Ph. BOURDEAU, vice-president CAPAS

Ir. J.J. VAN DE BERG, secretary CAPAS

MEMBRES DU CAPAS

Président:

Prof. Ir. Pierre KLEES

Groupe VINCOTTE

Vice-Président:

Prof. Philippe BOURDEAU

Honor. ULB

Membre du Bureau

Prof. André DELMER

ARB

Présidents d'honneur:

Baron A. JAUMOTTE

Recteur Honor. ULB, ARB

Prof. N.M. DEHOUSSE

Honor. ULg

Délégué général:

Ir. Jean-Jacques VAN DE BERG

Solvay

Membres:

Prof. Jean-Marie ANDRÉ

ARB

Dr. Charles BIENFAIT

Solvay Technologies

Baron Philippe BODSON

La Floridienne

Ir. William BRACKE

Fina Research

Prof. Armand BROUCKE

Honor. VUB

Prof. Arsène BURNY

Honor. Gembloux

Prof. André CALVAER

Honor. ULg

Ir. Jean-Pierre CONTZEN

MCT

Prof. Marcel CROCHET

Recteur honor. UCL

Prof. Bernard DELMON

Honor. UCL

Ir. Jean-Pierre GERARD

Fafer

Ir. René HANNON

Alcatel-ETCA

Ir. Jean-Pierre HANSEN

Suez-Tractebel

Prof. Léo HOUZIAUX

Sec. perpetual ARB

Ir. Christian JACQMIN

Sonaca

Prof. Claude JAMAR

Centre Spatial Liège

Ir. Jacques LAURENT

Belgonucléaire

Prof. Willy LEGROS

Honor. Rector ULg

Ir. Manfred LOEB

Immobel

Ir. Paul-Etienne MAES

UCB

Ir. Guy MARÉCHAL

Philips

Prof. Joseph MARTIAL

ARB

Ir. Jacques PÉLERIN

Arcelor

Prof. André PREUMONT

Honor. ULB

Baron Philippe ROBERT-JONES

Sec. Per. Honor. ARB

Prof. Jean-Pierre SWINGS

Inst. Astr. Geophys. ULg

Prof. Michel THEYS

WIN-Belgacom

Prof. Paul VANDENPLAS

Honor. ERM

Prof. André VANDER VORST

UCL

Prof. Claude VERAART

UCL

Prof. René WINAND

Honor. ULB

Membres associés:

Ir. Luc CHEFNEUX

Cockerill Sambre

Dr. Marco CITTA

CREF

Ir. Jean-Pierre CONNEROTE

Electrabel

Prof. Michel CRAPPE

Honor. FPMs

Dr. Eric DEROUANE

ARB Associate

Prof. Michel GERADIN

Ulg

Prof. Léon GHOSEZ

Honor. UCL

Ir. Michel-daniel JUDKIEWICZ

Proviron

Ir. William KIRKPATRICK

K Partners

Dr. Paul LEVAUX

Honor. FNRS

Ir. Clément ROME

Cockrill-Sambre

Prof. Jacques RONDAL

Ulg

Prof. Alexandre SAMII

FOPES (UCL)

Mme Marie-José SIMOEN

FNRS

Ir. Jacques VAN HULSE

ACEC

Dr. J. VAN KEYMEULEN

IRSIA

Dr. Marco VAN OVERMEIRE

AIB-Vinçotte-Nederland

