

Insécurité alimentaire et changement climatique :

les solutions apportées par les biotechnologies végétales

Georges FREYSSINET

Insécurité alimentaire et changement climatique :

les solutions apportées par les biotechnologies végétales

Georges FREYSSINET

JUIN 2022

Sommaire

Avant-propos

André Comte-Sponville

p. 5

Insécurité alimentaire et changement climatique : les solutions apportées par les biotechnologies végétales

Georges Freyssinet

p. 11

Questions de la salle

p. 45

Les publications de l'Institut Diderot

p. 65

Avant-propos

« OGM : être contre. » C'est ce qu'un nouveau Flaubert, s'il rédigeait aujourd'hui un *Dictionnaire des idées reçues*, pourrait se contenter d'écrire. Et c'est ce que nous avons voulu dépasser. Non que nous fussions pour les organismes génétiquement modifiés (l'Institut Diderot n'a pas à se prononcer sur cette question, et je me sens personnellement trop incompetent pour envisager de le faire), mais parce qu'il nous semblait nécessaire de sortir du climat exagérément passionnel et idéologique qui pèse, spécialement en France, sur ce débat. C'est pourquoi nous avons saisi l'opportunité que nous offrait l'AFBV (l'Association Française des Biotechnologies Végétales), lorsqu'elle nous proposa de présenter ses propres positions. On verra qu'il s'agit d'une parole d'expert, mais non point neutre. Georges Freyssinet, qui est le président de l'AFBV, a consacré l'essentiel de sa vie professionnelle (notamment chez Rhône-Poulenc puis chez Limagrain) aux biotechnologies végétales, et consacre, la retraite venue, une bonne partie de son temps libre à leur promotion. Nous l'avons invité en connaissance de cause, et l'assumons tranquillement.

Deux Français sur trois, tout en reconnaissant ne pas y comprendre grand-chose, se disent inquiets ou réticents face aux OGM. Dans ce climat de suspicion généralisée, il nous a paru légitime, et même nécessaire, de donner la parole à la défense.

La sécurité alimentaire ne va pas de soi. Dans l'histoire de l'humanité, elle est une conquête à la fois tardive (les famines, en Europe, n'ont disparu qu'avec la révolution industrielle), partielle (9 millions d'êtres humains, dont 3 millions d'enfants, meurent chaque année de malnutrition) et fragile (comme la guerre en Ukraine nous le rappelle). Et nul n'ignore que l'augmentation de la population mondiale et le dérèglement climatique menacent la plupart des équilibres qui ont pu laisser croire que cette sécurité serait bientôt définitivement acquise. Nous savons désormais, rappelle Georges Freyssinet, qu'il n'en est rien : « La population mondiale risque d'atteindre environ 10 milliards d'habitants en 2050 tandis que les surfaces cultivables restent, au mieux, stables » et que les changements climatiques risquent fort de « conduire à des pénuries dont les premières victimes seront les catégories sociales les plus défavorisées ».

Au reste, l'amélioration des plantes cultivées est presque aussi vieille que l'agriculture, laquelle est née, comme on sait, avec la révolution néolithique, il y a quelque 10 000 ans. Que ce soit par sélection spontanée ou par croisements contrôlés, les agriculteurs n'ont pas attendu les progrès récents de la biologie moléculaire pour augmenter – notamment par hybridation – les rendements de

leurs semences. Il n'en reste pas moins que les biotechnologies végétales bouleversent la donne, et c'est ce que notre orateur, avec une grande clarté, a entrepris de nous expliquer.

La sélection biologique des espèces et la transgénèse permettent aujourd'hui d'augmenter la tolérance aux herbicides et la résistance aux insectes. C'est ce qui se passe d'ores et déjà, surtout dans les deux Amériques et en Inde, s'agissant du soja, du maïs, du coton et du colza. L'Europe, quant à elle, « ne veut pas d'OGM », ce qui nous prive, sauf exception, des bénéfices qu'on en pourrait attendre, aussi bien d'un point de vue économique (par l'augmentation de la productivité) que d'un point de vue écologique (par la diminution des pesticides, des engrais, des gaz à effet de serre et du travail du sol) ou humain (par l'amélioration des revenus et de la santé des agriculteurs). Quant à l'édition génomique (ce qu'on appelle souvent « les nouveaux OGM »), elle pourrait permettre de surmonter une partie des catastrophes environnementales qui menacent nos cultures, de la sécheresse aux inondations en passant par la salinité.

On verra dans l'exposé de Georges Freyssinet les solutions, notamment réglementaires, que propose l'AFBV. Il s'agit d'éviter que l'Europe ne se tire une balle dans le pied en réduisant ses capacités de recherche et d'innovation, ce qui « pénalisera les exportations et augmentera la concurrence et les importations ». Et notre expert engagé de conclure : « Si l'Europe veut garantir sa sécurité alimentaire, elle doit produire plus et mieux, en respectant

l'environnement et les demandes des consommateurs et des utilisateurs. Le changement climatique va nécessiter des solutions plus rapides. Or, la technologie d'édition génomique nous permet précisément d'aller plus vite. »

Trop vite ? C'est ce que craindront ceux qui ne voient guère, dans ces biotechnologies, que les dangereuses expérimentations d'« apprentis sorciers ». Il y a là une part d'irrationnel, sur laquelle le débat est revenu. Quand les champs consacrés à des essais d'OGM sont systématiquement et illégalement détruits par des opposants, autoproclamés « faucheurs volontaires », la principale conséquence n'est pas un recul des OGM : c'est que ces essais et recherches se font désormais en dehors de l'Europe. Est-ce intellectuellement et démocratiquement satisfaisant ? Est-ce économiquement acceptable ? Est-ce écologiquement légitime ? Sur toutes ces questions, un débat serein nous paraît valoir mieux que les fantasmes et les invectives.

André Comte-Sponville

Directeur général de l'Institut Diderot

Insécurité alimentaire et changement climatique : les solutions apportées par les biotechnologies végétales

Les biotechnologies végétales peuvent nous aider à lutter contre l'insécurité alimentaire dans une période d'incertitude, tant vis-à-vis de cette insécurité que par rapport aux changements climatiques. Je préside actuellement l'Association Française des Biotechnologies Végétales, qui tient un site internet à disposition pour plus d'informations¹. L'un de ses objectifs est précisément de communiquer des informations sur les biotechnologies végétales. Bien que cette présentation fasse état de discussions au sein de l'AFBV, je porte la pleine responsabilité des commentaires et des recommandations présentés ici.

Les récents événements ont révélé certaines faiblesses dans nos approvisionnements en denrées alimentaires.

1. <https://www.biotechnologies-vegetales.com>

Pour la France, deux exemples récents, sans conséquences majeures, en sont l'illustration : plus de moutarde ni d'huile de tournesol dans les rayons des supermarchés. Pour certains pays, la situation est plus critique, comme le montre le risque lié à la guerre en Ukraine sur les approvisionnements en céréales au Moyen-Orient et en Afrique. Ces faiblesses sont, en partie au moins, liées au parcours semé d'embûches qui conduit la semence (la graine semée dans le champ ou en serre) à, par exemple, la tomate que nous trouvons dans nos assiettes. Sans vouloir être exhaustif, quels sont les principaux points critiques au long de cette chaîne, en se focalisant sur la production et la distribution de la matière première agricole : fruits, légumes et graines diverses ?

Premièrement, l'agriculteur doit disposer de semences de qualité permettant un développement optimal de la culture. Le choix de l'espèce à cultiver dépendra, en particulier, de la saison de culture, de la localisation géographique et de la perception du marché lors de la récolte, afin d'optimiser le retour financier. Deuxièmement, tout au long de la culture, celle-ci sera soumise aux aléas climatiques (gelées précoces, périodes de sécheresse) ou aux attaques de pathogènes et de ravageurs. Tant que la récolte n'est pas réalisée, le risque de pertes existe. Vous pouvez très bien ne rien récolter après six mois ou plus de cultures. Troisièmement, une fois la récolte effectuée, sa diffusion et sa valorisation dépendront des aléas des marchés locaux, nationaux, ou à l'exportation. Pour de nombreuses cultures, le marché est désormais mondial et le couple offre/demande joue un rôle important dans

la diffusion de cette récolte et dans sa valeur. Un dernier point porte sur la nécessité des importations. La France, comme l'Europe, ne pouvant pas couvrir l'ensemble de leurs besoins en alimentation, des importations sont nécessaires pour certaines cultures. C'est évident pour le café ou le cacao, cela l'est moins pour les matières premières pour l'alimentation animale, par exemple quand la France se trouve obligée d'importer des quantités importantes de soja (tourteau de soja). Elle peut compenser ces importations par des exportations dans certains domaines comme le blé. On parle beaucoup des exportations de vins, qui est un dérivé de l'agriculture, mais on parle moins du blé dont on exporte une quantité importante.

Tout cela pour dire que la sécurité alimentaire est le résultat d'un équilibre difficile entre les productions nationales et les importations. Les événements récents ont montré combien cet équilibre est fragile. Une des conséquences est qu'il faut pouvoir produire au maximum au niveau national, que ce soit en termes de quantité, de qualité, mais aussi de diversité des cultures, et compléter par des importations les plus contrôlables possibles. La production au niveau national est conditionnée par des possibilités internes liées, entre autres, au climat et à ses variations, lesquelles sont de plus en plus importantes ; à des contraintes spécifiques au pays, en particulier dans le domaine réglementaire ; mais aussi aux productions mondiales concurrentes. Les importations dépendent des surplus de production dans les pays exportateurs et des possibilités d'exportation/importation.

tations, lesquelles sont soumises aux aléas du marché mondial et aux risques de conflits. Il est évident que, si un pays connaît une mauvaise année de récoltes, les exportations vont être limitées. Il est tout aussi clair que si un certain nombre de pays, compte tenu de la situation mondiale par exemple, décident de ne plus exporter, on se retrouvera dans une situation compliquée. Tous ces phénomènes font que la sécurité alimentaire n'est pas toujours aussi bien assurée que beaucoup le pensent.

Il faut, en outre, avoir en tête un autre élément : la population mondiale risque d'atteindre environ 10 milliards d'habitants en 2050 tandis que les surfaces cultivables restent, au mieux, stables. C'est d'autant plus vrai que l'agriculture doit couvrir aussi l'alimentation animale correspondant à cette augmentation de la population humaine, en sachant que, par exemple, il faut deux kilos de céréales pour avoir un kilo de poulet. Elle produit, en outre, de plus en plus de biocarburant : aux États-Unis, une partie importante du maïs est ainsi transformée en éthanol. S'y ajoute encore la chimie verte, ne serait-ce que pour produire les fibres. Pour cela, les agriculteurs disposent de terres arables en quantité limitée : à peu près 1,5 milliard d'hectares. Une augmentation de la production au niveau mondial est donc nécessaire pour couvrir les besoins. La fin du gaspillage ou des changements dans les pratiques alimentaires n'y suffiront pas. Cette augmentation est indispensable, même aux niveaux français et européen, en particulier si l'on veut renforcer notre autosuffisance et devenir moins dépendants des importations.

Devant de tels constats, beaucoup s'accordent à dire qu'il faut produire plus et mieux, en qualité et quantité, tout en prenant en compte à la fois les contraintes environnementales liées aux changements climatiques et la nécessité de réduire en parallèle l'utilisation d'intrants, comme les produits de protection des cultures, les engrais et l'eau, et les demandes et contraintes venant des politiques, des consommateurs et des industriels de l'agroalimentaire. Il est donc nécessaire de poursuivre le développement d'une agriculture innovante et performante en France, en Europe et dans le monde. Pour cela, toutes les technologies disponibles doivent pouvoir être utilisées, sans a priori.

I. QUELS SONT LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES ?

Depuis quelques années les agriculteurs doivent faire face, de manière répétée, à des modifications des conditions climatiques liées au réchauffement de la planète. Quels sont les impacts de ces changements sur l'agriculture ?

Les plantes, comme tous les organismes, sont soumises à des agressions ou des stress. Ces agressions peuvent être classées en deux catégories. Il y a celles que l'on regroupe sous le terme de *stress biotiques*, qui sont déclenchées par un autre organisme vivant ayant une action néfaste sur la plante. C'est le cas des pathogènes : virus, bactéries et champignons, et des ravageurs comme les insectes et

les nématodes, et un peu les oiseaux. La deuxième catégorie regroupe ce que l'on appelle les *stress abiotiques*, qui sont induits par des changements environnementaux comme une pénurie en nutriments (lorsqu'il n'y a pas assez d'azote, de phosphate par exemple) ou une modification de l'environnement : température, manque ou surplus en eau. Les conditions climatiques et leurs changements agissent sur ces deux catégories de stress. D'une part, ils peuvent favoriser, dans une zone donnée, le développement ou l'apparition de nouveaux pathogènes ou ravageurs et agir sur les risques biotiques et, d'autre part avoir un impact sur les stress abiotiques : la température (gelées précoces, fortes températures localisées) ou sur la disponibilité en eau (sécheresse, inondations). Par exemple, avec l'augmentation de la température, on voit apparaître de nouveaux pathogènes ou agresseurs : on constate ainsi que les insectes remontent un peu du sud vers le nord. En ce qui concerne l'environnement, vous avez entendu parler des gelées précoces puis des fortes températures et de la sécheresse que nous avons connues.

Ces agressions ont deux types de conséquences. Elles peuvent entraîner une diminution du rendement pouvant aller jusqu'à la perte totale de la récolte ou une perte de qualité des produits, soit au niveau de leur composition (protéines, acides gras, ...), soit à cause de contaminations dues en particulier aux toxines que produisent certains champignons, sans même parler de l'aspect visuel du fruit ou de la plante. Tout ceci peut effectivement impacter notre sécurité alimentaire. Il est clair que

si vous perdez 30 % de rendement au niveau du blé, cela a des conséquences importantes. Dans les cas extrêmes, les changements climatiques peuvent conduire à des pénuries dont les premières victimes seront les catégories sociales les plus défavorisées.

Par ailleurs, en réaction à ces stress, que fait la plante ? Il y a deux possibilités : soit elle se protège elle-même, par la mise en place de systèmes de défense physique (par une barrière au niveau de sa paroi), ou chimique (par les produits qu'elle fabrique) ; soit elle est protégée par une intervention externe (les bonnes pratiques culturales, des traitements de phyto-protection chimiques ou biologiques). Il est important de noter que ces moyens de protection sont complémentaires et qu'on ne peut en supprimer un si l'autre n'est pas disponible. On ne peut pas interdire une protection chimique si la protection interne, génétique, n'est pas disponible. Dans ce contexte, la protection interne à travers l'amélioration génétique des variétés (la sélection) est une voie de progrès importante pour relever le double défi auquel sont confrontés les agriculteurs : celui d'assurer la sécurité alimentaire tout en étant contraints à la sobriété dans le domaine de l'utilisation des intrants. C'est la semence qui est le support de ces améliorations : on va voir la manière dont le sélectionneur produit cette semence. Le reste de la présentation sera donc consacré, d'une part, à l'amélioration des plantes cultivées et, d'autre part, aux biotechnologies végétales.

II. L'AMÉLIORATION DES PLANTES CULTIVÉES, LA SÉLECTION VÉGÉTALE ?

L'agriculture, on le sait, a commencé au néolithique, il y a environ 10 000 ans, dans certaines régions, avec la sédentarisation qui s'est accompagnée de la domestication des plantes et des animaux. Pendant longtemps, l'agriculteur choisissait les meilleures plantes et utilisait des graines de cette plante et les ressemait. Il procédait, si l'on veut, à une sélection inconsciente. Puis, à partir du XVIII^e siècle, on a commencé à faire des croisements contrôlés, c'est-à-dire à prendre une plante et à la croiser avec l'autre. Les premiers sélectionneurs, les plus connus en France, étant la famille Vilmorin. Donc, l'agriculteur a commencé à travailler, au départ, avec ce dont il disposait en matière de variétés, puis il a commencé à en produire de nouvelles. Il a travaillé sur des espèces sauvages, sur des variétés traditionnelles, il a identifié des mutants naturels. Tout cela constitue ce qu'on appelle les ressources génétiques du sélectionneur. Son vivier de variabilité va être ses ressources génétiques. Pour les évaluer, il disposait de champs (un « réseau ») d'essais. Le XIX^e siècle a été marqué par la découverte des mécanismes d'hérédité, avec une première compréhension de la génétique et de la transmission des caractères d'une génération à l'autre, formalisée par les travaux de Gregor Mendel. En parallèle à ces améliorations basées sur la morphologie, on a découvert peu à peu le support moléculaire des caractères, ce qu'on appellera ensuite l'ADN. Depuis, l'amélioration des plantes a fortement évolué avec le développement des connaissances scientifiques et techniques, comme la

culture *in vitro* ou les travaux sur la mutagenèse induite au début du XX^e siècle. Autrement dit, on n'attend plus l'apparition de mutations aléatoires, mais on induit des mutations en laboratoire. Une étape importante fut la découverte de ce que l'on appelle la « vigueur hybride », en particulier chez le maïs, où les deux parents souvent chétifs donnent une descendance très productive.

Et ces hybrides ont permis de faire des sauts dans le rendement, relativement importants.

Vers le milieu du XX^e siècle, la structure de l'ADN est identifiée par Watson et Crick et son rôle dans le développement des organismes est précisé par la découverte de l'ARNm (acide ribonucléique messenger) et de sa fonction, qui jette les bases de la biologie moléculaire. Cette découverte a valu, en 1965, l'attribution du prix Nobel de médecine aux Français Jacques Monod, François Jacob et André Lwoff. En France, à l'époque, nous étions très bien placés au niveau de la recherche. L'étape importante suivante fut, dans la dernière partie du XX^e siècle, à partir des années 1970, la possibilité de modifier cet ADN et d'ajouter de nouveaux gènes dans un organisme : c'est ce qui a conduit à ce qu'on appelle la transgénèse ou, de manière un peu erronée, les organismes génétiquement modifiés (OGM). Enfin, la toute fin du XX^e siècle et le début du XXI^e ont été marqués par une nouvelle étape importante, avec la possibilité, en utilisant ce qu'on appelle les « ciseaux moléculaires », de procéder à des modifications ciblées du génome ; on parle d'édition génomique.

À travers cette histoire, on constate que dans le domaine de la semence comme dans les autres domaines techniques, les technologies sont en constante évolution. Il faut bien noter ce point : aujourd'hui, nous en sommes à l'édition génomique, mais, dans 10 ou 20 ans, nous aurons peut-être trouvé d'autres méthodes de modification. Au cours de la sélection, petit à petit, on a amélioré les fruits et légumes qui nous sont désormais familiers.

III. LES BIOTECHNOLOGIES VÉGÉTALES ET LA SÉLECTION DE VARIÉTÉS

Ce qu'on appelle les « biotechnologies végétales » regroupe un ensemble de techniques de biologie qui ont été mises au point depuis le début du XX^e siècle. Utilisées par le sélectionneur selon ses besoins, elles peuvent être classées en trois catégories liées aux principales étapes du processus de sélection.

1. La première concerne l'identification des plantes présentant les caractéristiques recherchées. Pour l'illustrer, prenons le cas du marquage moléculaire. Si vous êtes un sélectionneur et que vous disposez d'un ensemble de plantes, il faut que vous choisissiez celles qui vous intéressent. Au XVIII^e siècle, ce choix était assez simple : vous semiez et vous regardiez le résultat. Maintenant, on procède autrement, et notamment par marquage moléculaire. Si vous avez un marqueur qui correspond au caractère que vous recherchez, vous allez suivre ce marqueur au lieu d'identifier la plante.

Il est facile d'identifier une plante à partir de la couleur de sa fleur, par exemple, mais c'est plus délicat quand on s'intéresse à une résistance à une maladie. Grâce aux technologies mises au point pour caractériser le génome, on peut identifier des fragments d'ADN qui sont responsables du caractère recherché. Puis, par une technique de type PCR, que vous connaissez tous maintenant depuis la pandémie, on va pouvoir identifier rapidement la plante portant le fragment d'ADN support du caractère recherché et ainsi identifier la plante portant ce caractère. Et ces marqueurs, on peut les positionner sur un chromosome et obtenir ainsi une carte physique du génome. Notons bien que je parle ici des plantes, mais on fait la même chose pour l'homme.

2. La deuxième catégorie regroupe les technologies qui permettent d'accélérer les générations pour obtenir plus rapidement une variété nouvelle stabilisée et commercialisable. Prenons l'exemple du *backcross* assisté par un marqueur. Le *backcross* est un affreux anglicisme : en français, on parle de « croisement en retour » ou de « rétrocroisement », c'est-à-dire que, si vous prenez les deux parents, généralement un parent donneur et un parent receveur (variété élite), vous avez une descendance. Cette descendance, vous la croisez avec le parent receveur pour revenir sur votre variété élite². Par exemple, vous croisez une plante sauvage avec une

2. Une « variété élite » ou « lignée élite » est une variété cultivée par le sélectionneur (et souvent protégée par des droits et des redevances), qui est la lignée receveuse, ne disposant pas initialement du caractère qu'on cherche à fixer par la technique du *backcross* (caractère lié à la variété donneuse).

variété cultivée puis vous revenez sur la plante élite. Au bout de six à huit générations selon les espèces, vous avez de nouveau une variété élite, mais porteuse en plus du caractère recherché, ce qu'on appelle une « lignée convertie ». Si vous disposez d'un marqueur moléculaire qui vous permet d'identifier rapidement les plantes porteuses du caractère recherché, pendant que votre plante pousse au champ, vous pouvez accélérer le processus : au lieu de faire six à huit *backcross*, vous pouvez en faire de deux à quatre seulement. Vous gagnez pratiquement deux ans de sélection.

3. La troisième catégorie correspond aux technologies qui permettent au sélectionneur d'augmenter la variabilité génétique de sa plante pour y introduire un caractère nouveau. Quand le sélectionneur démarre un programme de sélection, il doit déterminer le nouveau caractère qu'il veut introduire. Par exemple, s'il veut une résistance à un nouveau virus qui vient d'apparaître, il prend ses ressources génétiques et regarde s'il possède des plantes qui résistent à ce virus. S'il en identifie une qui possède ce caractère, il va croiser sa plante résistante avec la variété élite et puis, à partir des cycles de rétrocroisements ou de *backcross*, il va revenir à une variété élite convertie, qui a conservé ce caractère de résistance. Ce procédé vaut dans le cas où la plante résistante est déjà présente dans ses ressources génétiques, les ressources génétiques étant les plantes qu'on peut croiser par reproduction sexuée entre elles. On ne peut pas croiser, par exemple, un piment et une tomate. Mais si le caractère n'est pas présent dans ses

ressources génétiques, les biotechnologies végétales vont lui permettre d'augmenter sa variabilité génétique. La première technique d'augmentation de cette variabilité, ce sont les techniques de mutagenèse qui ont été mises au point au début du XX^e siècle. Vous prenez votre plante, vous la soumettez à un agent mutagène, soit un traitement chimique soit une radiation, et vous obtenez ensuite une descendance. Il ne faut évidemment pas trop l'exposer, car la plante doit toujours pouvoir produire des graines. Vous obtenez ainsi une nouvelle population de plantes et vous analysez cette population pour voir si elle a récupéré un caractère qui vous intéresse. Une fois obtenues les plantes porteuses de ces caractères, on procède à nouveau par rétrocroisement. Donc cela correspond à la mutagenèse. Un certain nombre de plantes mutantes sont commercialisées depuis les années 1950.

Depuis cette période, deux nouvelles technologies sont apparues : la transgénèse et l'édition génomique, sur lesquelles on va revenir maintenant. Dans les deux cas, on peut produire une plante qui possède le nouveau caractère désiré. Mais il faudra toujours qu'on procède ensuite à des rétrocroisements pour revenir à une variété élite convertie, parce qu'il y a très peu de chances qu'on puisse faire directement de la transgénèse ou de l'édition génomique sur la variété cultivée.

IV. LA TRANSGÉNÈSE ET L'AMÉLIORATION DES CULTURES

La transgénèse a été mise au point au départ sur les bactéries. Elle a été découverte dans les années 1970, lorsqu'on a pu couper l'ADN et le réparer. Au cours de la réparation, on peut insérer le gène qui donne le caractère recherché. Aux États-Unis comme en Europe, les chercheurs ont ensuite travaillé pour adapter la technique pour les plantes, les animaux et pour faire de la thérapie génique chez l'homme. La technologie de transgénèse est donc, d'abord, un outil pour identifier la fonction des gènes : vous insérez un gène nouveau dans une plante et vous voyez le caractère qu'il apporte. Cela permet donc de préciser la fonction de ce gène. Mais c'est aussi un moyen de produire des variétés présentant de nouveaux caractères. Vous prenez un gène dont vous savez qu'il doit vous donner tel ou tel caractère : par exemple, une résistance à un insecte. Vous mettez ce gène dans une bactérie pathogène des plantes, un *Agrobacterium*, qui a la propriété naturelle de transférer de l'ADN dans le génome de la plante. Puis vous régénérez vos plantes et produisez des plantes que vous allez évaluer dans les champs avant de les mettre sur le marché, si elles correspondent à une variété élite possédant le caractère que vous recherchez. Les premières plantes résistantes aux insectes ont ainsi été développées simultanément en France, en Belgique et aux États-Unis, dans les années 1985-1986. À quelques semaines près, trois équipes dans ces pays ont publié des résultats similaires. Ces travaux ont initialement porté sur les tabacs, mais ont été transposés très rapidement sur le maïs et le soja et les premières

plantes génétiquement modifiées (PGM) ont été commercialisées aux États-Unis en 1995. Donc, depuis 25 ans, nous utilisons des PGM dans le monde. Si l'on regarde l'évolution au cours de ces 25 ans, on constate qu'il y a eu une croissance continue, avec une adaptation assez rapide sur les marchés dans les pays où l'on peut cultiver ces plantes, jusque dans les années 2010. À partir de cette date, l'on assiste à un ralentissement, tout simplement parce qu'on a saturé le marché : dans les marchés concernés, les agriculteurs ont planté les surfaces dont ils avaient besoin et il n'y a plus de raison que cela augmente. Nous en étions à 190 millions d'hectares en 2019.

Ces évolutions concernent quatre cultures essentiellement. Tout d'abord, le soja. Dans le monde, 74 % du soja cultivé est un soja GM. Les chiffres sont de 31 % pour le maïs et de 79 % pour le coton et plus faibles pour le colza (27 %), parce que cela a été fait essentiellement sur les variétés de colza qui poussent en Amérique et non en Europe, puisque l'Europe ne veut pas d'OGM. Si on regarde sur le poids relatif de ces différentes espèces, le soja représente à peu près 50 % des PGM, le maïs 30 %, le coton pratiquement 15 %, et le colza 5 %. 92 % des surfaces concernées sont concentrées dans cinq pays : les États-Unis avec 38 % de la valeur mondiale des PGM, le Brésil 28 %, l'Argentine 13 %, et le Canada 7 %. Vous avez donc une forte dominance de l'Amérique du Nord et du Sud. Puis vient l'Inde, avec 6 %. Ces plantes présentent essentiellement deux caractères, la tolérance aux herbicides et la résistance aux insectes qui peuvent être soit indépendants, soit associés. La tolérance aux herbi-

cides, essentiellement le glyphosate, permet un meilleur contrôle des mauvaises herbes. En effet, si vous avez une parcelle que vous ne traitez pas avec un herbicide, ou que vous ne désherbez pas par un quelconque moyen mécanique, vous n'aurez pas de récolte. Je peux vous garantir que sur du maïs, si vous ne traitez pas avec un herbicide, vous aurez des mauvaises herbes aussi grandes que votre maïs en fin de culture. Donc, un meilleur contrôle des mauvaises herbes et, ce faisant, un minimum de labour. On fait moins de labour sur le sol, ce qui est important quand on évoquera tout à l'heure certains bénéfiques. Concernant la résistance aux insectes, en Europe, on entend essentiellement parler du MON 810³, qui est cultivé en Espagne et au Portugal. On aura l'occasion d'y revenir. Depuis, il y a eu un certain nombre d'améliorations et maintenant on sait contrôler plusieurs insectes qui attaquent le maïs, le soja ou le coton. Cela permet de diminuer les usages d'insecticides, comme nous le verrons tout à l'heure.

Je vous ai indiqué ici les quatre grandes cultures des cinq principaux pays concernés par les OGM, mais il faut savoir que, à côté de ça, il existe aussi des cultures mineures. Actuellement, une quinzaine d'espèces ont leur équivalent en OGM et sont commercialisées⁴. Au niveau des pays, je vous ai signalé les cinq pays majeurs, mais il faut

3. Le MON 810 est un maïs génétiquement modifié, développé par la firme américaine Monsanto (rachetée par Bayer en 2016), à laquelle a été ajouté par transgénèse un gène issu de la bactérie *Bacillus thuringiensis*, codant pour une protéine aux propriétés insecticides.

4. C'est le cas pour la luzerne, la betterave à sucre, la papaye, la courge, la canne à sucre, le carthame, la pomme de terre, l'aubergine, le pommier, l'ananas, la banane, le niébé, le manioc, le peuplier, le riz, le blé, etc.

savoir qu'il y a 29 pays qui en cultivaient en 2019⁵. Certains en cultivent depuis déjà quelques années, comme l'Espagne et le Portugal. D'autres développements sont plus récents, en particulier en Asie et en Afrique. En ce qui concerne les espèces, j'aurai l'occasion de revenir sur la pomme de terre, le pommier, l'aubergine, le riz et le blé et de vous donner un peu plus de détails. Par ailleurs, s'il y a 29 pays qui cultivent des OGM, 70 en consomment et, parmi ces pays, vous en avez 27 en Europe à travers les OGM importés, notamment le soja destiné à l'alimentation animale.

J'ai évoqué les deux principaux caractères dont sont porteurs ces OGM, mais d'autres caractères sont aussi commercialisés. On n'entend pas beaucoup parler en Europe de la papaye, mais il faut savoir qu'à Hawaï et dans de nombreux pays asiatiques, on produit des papayes résistantes aux virus. Si les Hawaïens peuvent continuer, aujourd'hui, à cultiver de la papaye, c'est grâce à une plante qui a été rendue résistante aux virus. Il existe aussi des variétés de courges résistantes au virus ou de maïs tolérants à la sécheresse. Plus récemment, ce dernier caractère a été développé pour le soja et le blé. Le cas du blé est intéressant à retenir : si le maïs résistant aux insectes est peu intéressant pour la France et pour l'Europe, dans la mesure où les surfaces attaquées par les insectes sont limitées au sud de

5. Citons, en plus des 5 principaux, le Paraguay, la Chine, l'Afrique du Sud, l'Eswatini, le Pakistan, la Bolivie, l'Uruguay, les Philippines, l'Australie, le Mexique, l'Espagne, le Portugal, la Colombie, le Vietnam, le Myanmar, le Soudan, le Honduras, le Chili, le Malawi, le Bangladesh, le Nigeria, l'Éthiopie et le Costa Rica.

l'Europe, le blé tolérant à la sécheresse est, lui, particulièrement intéressant. Il existe aussi des PGM qui apportent un bénéfice plus direct pour le consommateur : par exemple, on trouve aux États-Unis des pommes de terre qui ne produisent pas d'acrylamide à la cuisson. Vous savez que, lorsque vous faites des frites, elles ont tendance à noircir en raison d'un composé présent dans les pommes de terre, qui se transforme lors de la cuisson en acrylamide toxique. On a mis au point une variété où il n'y a pas de production d'acrylamide. Cette pomme de terre est aussi résistante au mildiou, qui est un pathogène de la pomme de terre. Il n'y a donc plus besoin de faire un traitement fongicide. Enfin, vous pouvez couper vos pommes de terre le matin puis faire votre plat vers midi et elles n'auront pas bruni. Comme autre exemple, je prendrai le cas du riz enrichi en caroténoïdes : le «riz doré». C'est un riz qui produit des caroténoïdes, lesquels sont transformés en vitamine A dans le corps humain. Sa commercialisation a commencé cette année aux Philippines.

En ce qui concerne la situation en Europe, il faut noter que, dans les années 1990, la population était favorable aux OGM. Le MON 810, à son apogée, était cultivé dans six pays européens, dont le sud de la France. Pour diverses raisons, une opposition s'est faite, assez soudainement, vis-à-vis de ces OGM et leurs opposants ont obtenu l'interdiction de leur culture dans la majorité des pays européens. Par contre, les importations peuvent continuer, heureusement car sinon nous serions dans une situation très difficile. La conséquence du fait qu'on

ne fait plus de culture d'OGM en Europe, c'est que les sociétés qui développent des OGM ont décidé de ne plus déposer de dossier, c'est-à-dire que nous n'avons pas accès en Europe aux nouveaux OGM qui sortent, comme le blé tolérant à la sécheresse, la pomme de terre qui ne produit pas d'acrylamide, etc. Les industriels ont estimé que le marché en dehors de l'Europe était suffisant et qu'ils allaient se concentrer là-dessus.

À partir de ces résultats, depuis 25 ans de culture des PGM, on peut identifier un certain nombre de bénéfices. Je les ai regroupés en quatre catégories. Tout d'abord, vous avez les bénéfices sur l'environnement, qui impliquent une diminution de l'utilisation des pesticides. C'est clair, même si cela reste controversé. Si vous prenez l'Espagne et le Portugal, on constate une réduction de 35 % des volumes d'insecticides utilisés sur le maïs. Si on examine la situation en matière d'impact environnemental, c'est environ 20 % de réduction du Quotient d'Impact Environnemental ⁶. Cette diminution est controversée parce que certains affirment qu'il n'y a pas de diminution des pesticides; mais par-là, ils entendent avant tout les herbicides. De fait, dans les cas de variétés tolérantes aux herbicides, vous ne faites qu'un déplacement de produit : il faut toujours que vous utilisiez quelque chose. Donc,

6. Le « Quotient d'Impact Environnemental » (QIE) est une méthode développée initialement en 1992 par diverses universités américaines pour calculer la toxicité générale des divers pesticides (herbicides, insecticides et fongicides) en combinant diverses variables comme leur toxicité (sur les agriculteurs comme sur diverses populations animales), l'usage des sols, les effets sur l'environnement en général, les agriculteurs et les consommateurs. Voir par exemple : <https://turf.cals.cornell.edu/pests-and-weeds/environmental-impact-quotient-eiq-explained>.

si vous raisonnez simplement en termes de volume, comme il faut utiliser pas mal de glyphosate, vous pouvez dire qu'il y a une augmentation en volume plutôt qu'une diminution. Mais ce n'est pas tout à fait vrai quand on regarde le Quotient d'Impact Environnemental. On constate aussi une réduction de l'émission de gaz à effet de serre. Il y a moins de traitements, donc moins de passages dans le champ et vous utilisez moins de gasoil pour faire vos traitements. Vous avez aussi un travail du sol moins important, ce qui vous permet de mieux séquestrer le CO₂ qui a été accumulé par les plantes. Aussi bizarre que cela puisse paraître, on constate aussi une augmentation de la biodiversité, car, comme vous avez une diminution des traitements insecticides, vous ne tuez pas les insectes non-cibles. Quand on traite avec un insecticide, on tue un éventail plus large d'espèces que celles qu'on veut tuer.

On constate aussi une augmentation de la productivité. Cette augmentation est plus importante pour les plantes résistantes aux insectes : par exemple, on note plus 25 % d'augmentation de rendement, en particulier sur le coton. C'est plus faible dans les cas de tolérance aux herbicides où l'augmentation de rendement est plutôt en dessous des 10 %. Cette croissance est plus forte dans les pays en développement, qui avaient des rendements plus faibles qu'on peut espérer normalement. Elle est évidemment très variable selon les conditions locales : si le phénomène limitant votre rendement n'était pas une attaque d'insectes et que vous mettez une plante résistante aux insectes, cela n'aura pas d'impact. On constate aussi des

bénéfices pour les agriculteurs. L'une des raisons essentielles du développement de ces PGM en Amérique du Nord et en Amérique du Sud, c'est le bénéfice pour les agriculteurs puisqu'il faut savoir que c'est essentiellement du maïs et du soja utilisés pour l'alimentation animale. Le consommateur, lui, ne bénéficie pas d'un effet direct. En ce qui concerne le bénéfice financier, en 2018, il s'élevait à 19 milliards de dollars américains, lié en particulier à l'augmentation des rendements et la diminution des traitements phytosanitaires. L'agriculteur dispose de meilleures conditions de travail puisqu'il a moins souvent à aller sur son champ. Et, pour les petits agriculteurs dans des pays en développement, c'est une situation économique améliorée. L'agriculteur a une meilleure garantie sur sa récolte, il est en meilleure santé parce que, lorsqu'il traite ses plantes aux insecticides, il n'est pas nécessairement aussi bien protégé qu'en Europe, et il dispose d'un accès à la nourriture garanti pour sa famille. Il y a aussi des bénéfices pour les consommateurs. Ce sont à la fois des bénéfices directs, dans la mesure où il y a moins de risque de résidus d'insecticides dans les récoltes de PGM résistantes aux insectes et aux virus. Il y a moins de risque de mycotoxines fabriquées par les champignons, car les champignons attaquent moins les plantes résistantes aux insectes, parce qu'elles subissent moins d'attaques d'insectes. Mais c'est aussi un bénéfice possible en matière de qualité : j'ai mentionné l'acrylamide, l'apport en caroténoïdes, etc. Vous avez aussi des bénéfices indirects pour le consommateur en ce qui concerne l'environnement et la biodiversité, puisqu'on utilise moins d'insecticides. Quels sont les bénéfices pour l'Europe? Malheureusement-

ment, cela va aller assez vite parce que, compte tenu de la décision d'interdire de fait la culture des PGM dans de nombreux États membres, ces bénéfices sont très limités. Ils concernent essentiellement l'Espagne et le Portugal, où l'on cultive du maïs résistant aux insectes, ce qui a des effets bénéfiques tant pour l'environnement que pour les agriculteurs. Les agriculteurs français, qui sont du mauvais côté des Pyrénées, ne bénéficient pas de ces PGM. Il faut noter que ce n'est pas seulement une affaire de perte de bénéfices, mais parfois des reculs importants. Par exemple, la Roumanie était exportatrice de soja avant de rejoindre l'Union européenne. Mais elle est désormais importatrice parce que, lorsqu'elle a rejoint l'Europe, elle a décidé d'arrêter la culture du soja GM. De même, le coton qui était cultivé en Espagne n'est plus compétitif par rapport au coton GM résistant aux insectes. En conséquence, la culture du coton en Espagne a complètement disparu et il ne reste plus que quelques productions de semences bio. Pour ce qui concerne les consommateurs, on peut noter, même s'ils sont limités aux importations, les bénéfices liés, notamment, au moindre risque de contamination d'insecticides. On peut, par contre, se demander si les consommateurs vont pouvoir bénéficier des PGM plus récents.

V. L'ÉDITION GÉNOMIQUE ET L'AMÉLIORATION DES CULTURES

Pour terminer, je souhaiterais parler des nouvelles évolutions liées à l'édition génomique. L'édition génomique renvoie à des techniques permettent de modifier directement un gène présent dans la plante. On ne procède pas, dans ce cas, à l'introduction de nouveaux gènes : on modifie un gène déjà présent et on lui donne de nouvelles propriétés. Certains d'entre vous ont peut-être entendu parler du système CRISPR/Cas 9, qui est une des technologies mises au point récemment pour pratiquer cette édition génomique, technologie qui a valu, en 2020, l'attribution du prix Nobel de chimie à Emmanuelle Charpentier, une chercheuse française, qui travaille désormais en Allemagne, et Jennifer Doudna, une chercheuse américaine. Si on essaye de prendre un peu de distance vis-à-vis de cette technologie par rapport à la communication qu'on trouve dans le grand public, il faut savoir que l'Europe a commencé à travailler sur ces nouvelles technologies dès 2007. Les premiers groupes de travail se sont formés à cette époque et on parlait alors de NBT (*New Breeding Techniques*), c'est-à-dire de nouvelles techniques de sélection. La Commission en a changé le sigle et on dit désormais NGT (*New Genomic Techniques*), les nouvelles techniques génomiques, puisqu'on intervient, de fait, sur le génome. On parle aussi de mutagenèse ciblée. Tout ça fait donc partie du domaine de l'édition génomique. C'est ce que les opposants qualifient de «nouveaux OGM». L'édition génomique, comme la transgénèse, est d'abord un outil pour

la recherche et pour identifier la fonction des gènes : vous modifiez un gène et vous regardez quelle fonction a été changée. Mais c'est aussi une possibilité de créer de nouveaux produits. En simplifiant les choses, il s'agit d'une technique qui a été mise au point à partir de travaux sur la manière dont les bactéries se défendent contre les virus. Les chercheurs ont adapté ces mécanismes pour pouvoir les utiliser non seulement chez les bactéries, mais aussi sur les plantes, les animaux et pour pouvoir faire de la thérapie génique. Il faut savoir qu'il existe actuellement plusieurs essais cliniques en thérapie génique utilisant l'édition génomique, en particulier sur des maladies du sang, comme la β -thalassémie, où les hématies sont altérées⁷. Le principe en est simple : on utilise une nucléase qui va couper les brins d'ADN : on parle, pour cette raison, de « ciseaux moléculaires ». Vous coupez donc l'ADN. Ensuite, la cellule dispose de mécanismes pour le réparer : de fait, en permanence, notre ADN est coupé et, dans la majorité des cas, il se répare. Au cours de ce processus de réparation, on peut modifier la zone au niveau de la coupure. À partir de là, vous pouvez insérer une nouvelle propriété pour la plante, en fonction de la modification qui a eu lieu. Il faut noter qu'il s'agit d'une technologie complémentaire des autres technologies que nous avons évoquées. Les ressources génétiques sont toujours aussi importantes qu'avant. Il s'agit simplement d'une technique plus rapide, puisque vous n'avez plus besoin de faire un croisement et toute

7. https://www.medicinesciences.org/en/articles/medsci/full_html/2021/08/msc200658/msc200658.html

une série de *backcross*. Le sélectionneur va gagner à peu près la moitié de son temps, soit entre trois et quatre ans pour cette phase. Au lieu de prendre une dizaine d'années pour créer une nouvelle variété, il en faudra huit. Voyons quels effets on peut obtenir, en prenant des exemples dans diverses catégories.

Tout d'abord, en ce qui concerne les stress abiotiques, c'est-à-dire liés à l'environnement, la sécheresse, la température, l'inondation, etc. Prenons un exemple lié à la salinité, avec des riz qui résistent au sel. Il faut savoir qu'il y a beaucoup de rizières en bord de mer, ce qui pose des problèmes. Ensuite, concernant le rendement : on peut produire des maïs qui possèdent 16 rangées de grains à la place de 14, ce qui accroît évidemment le rendement. Un autre exemple porte sur l'efficacité de l'azote, ce qui permet d'utiliser moins d'engrais. Cela peut aussi porter sur l'architecture de la tige, des feuilles, des racines, ce qui permet, par exemple, de faciliter la culture des tomates en pots. Si l'on se tourne maintenant vers la question du stress biotique, c'est-à-dire les virus, les bactéries, les champignons, les insectes, les nématodes, etc. On trouve des exemples pour chacun de ces cas, ainsi une tomate résistante à un virus. On peut aussi envisager d'intervenir sur la qualité du produit, en jouant sur le goût, la composition, les vitamines, etc. Par exemple, on trouve au Japon une tomate, qui s'appelle sicilian rouge, qui est riche en GABA. Le GABA est une molécule qui agit au niveau du contrôle cardiovasculaire. Dans l'avenir, vous pourrez acheter des tomates qui vous apporteront du GABA. Au niveau de la santé, il y a aussi des équipes

qui travaillent pour réduire la quantité de gluten dans le blé, pour les personnes qui sont atteintes de la maladie cœliaque.

Une fois qu'on a évoqué tous ces exemples, on peut se demander pourquoi on ne les trouve pas sur le marché. Tout simplement parce que la situation réglementaire n'est pas claire dans un certain nombre de pays ; ou alors, quand elle est claire, ces produits ne sont pas arrivés au stade commercial ; ou bien la réglementation est en cours de mise en place. Quelle est la situation réglementaire actuelle en Europe ? Depuis 2007, divers groupes travaillaient sur l'édition génomique et ses applications commerciales puis, en 2018, la Cour de Justice de l'Union européenne a considéré que les organismes issus de l'édition génomique devaient être soumis aux réglementations OGM et ne bénéficiaient pas de l'exclusion prévue à l'Annexe 1 B de la Directive 2001/18/CE. Il existe en effet un certain nombre d'exclusions dans la directive européenne, qui font que certaines plantes ne sont pas soumises à cette législation. Le Conseil de l'Europe a demandé à la Commission européenne d'analyser les conséquences de cette décision de la Cour de Justice. La Commission a publié son étude sur les NGT en 2021. Elle a proposé de lancer une action politique concernant les plantes dérivées de la mutagenèse ciblée et de la cis-génèse, impliquant la réalisation d'une analyse d'impact – je dis les plantes parce qu'elle ne fait pas cette action pour la partie animale, où ils sont un petit peu plus en retard au niveau technique. Depuis, la Commission a procédé à un certain nombre d'études, avec notamment

une enquête publique qui s'est terminée le 22 juillet de cette année. Elle doit publier son analyse d'impact au deuxième trimestre 2023, avec éventuellement une proposition de réglementation. Et, si tout se passe bien, en 2025 on aura peut-être quelque chose de précis.

Au niveau de l'AFBV, nous avons réfléchi à la situation. Il nous semble que quatre scénarios sont possibles. Premier scénario : le statu quo, mais, si l'on en reste là, nous n'aurons probablement pas de plantes éditées cultivées en Europe et on se retrouvera dans la même situation que pour les OGM, avec une perte de compétitivité des acteurs de la filière. Et ce sans compter les problèmes liés à la gestion des importations : si d'autres pays possèdent des législations qui permettent ces éditions, on ne saura pas trop comment gérer la situation. Deuxième possibilité : changer la législation, c'est-à-dire modifier la définition d'un OGM et dire, par exemple, que les plantes sans ADN étranger ne sont pas des OGM. Mais ce serait un long processus, sans garantie de succès, et nous ne le recommandons pas. Troisième solution : le maintien de la législation en vigueur, mais avec plus de flexibilité. C'est ce que propose l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments. L'idée en est qu'en fonction de la nature du produit, on fera des études de risque adaptées, tandis qu'actuellement on fait toutes les études incluant tous les risques possibles et imaginables, et ce quel que soit la nature du produit. L'inconvénient étant que, si on ne modifie pas les systèmes de décision, on sera dans la même situation qu'avec le statu quo. Donc, au niveau de l'AFBV, nous estimons que l'une des solutions pour-

rait être d'adapter la législation en vigueur et de procéder à de nouvelles exemptions, sur le modèle de celles déjà acceptées dans la législation actuelle. Nous avons fait des propositions en ce sens en 2020, en partenariat avec le WGG ⁸, notre homologue allemand, et nous l'avons transmise à la Commission et aux ministères français et allemands concernés ⁹.

Le principe en est le suivant : on considère la nature de la plante éditée et on la compare avec ce que réalise un sélectionneur « traditionnel ». À partir de là, on établit des catégories de plantes par rapport à ce que peut faire le sélectionneur. On propose, dans un premier temps, quatre catégories.

1. La première catégorie correspond aux plantes éditées équivalentes à un croisement d'une plante sauvage avec une variété cultivée, sexuellement compatible. Autrement dit, le sélectionneur traditionnel fait le croisement d'une espèce sauvage avec une variété cultivée et on fait la même chose, par édition génomique.

2. La deuxième catégorie est l'extension de la première, mais dans les cas où les espèces ne sont pas sexuellement compatibles. C'est le cas, que j'évoquais tout à l'heure, du piment et de la tomate.

8. *Wissenschaftlerkreis Grüne Gentechnik*

9. <https://www.biotechnologies-vegetales.com/wp-content/uploads/2021/03/AFBV-WGG-Explanatory-Note-revised-in-March-2021.pdf>

3. La troisième catégorie concerne les plantes éditées équivalentes à celles qui pourraient être obtenues grâce à l'utilisation de la mutagenèse induite conventionnelle, autrement dit lorsqu'on fait de la mutagenèse induite par édition génomique : au lieu de s'appuyer sur des mutations aléatoires, on cible des mutations.

4. La quatrième catégorie est une catégorie dérivée, où l'on range les plantes dans lesquelles un gène, connu et présent dans le patrimoine génétique de l'espèce, a été inséré dans un site choisi de leur génome.

Nous proposons donc que ces catégories soient exclues du champ d'application de la directive sur les OGM. Et, pour que les consommateurs aient confiance dans ce qui est commercialisé, ces exclusions devraient être validées auprès d'une autorité compétente, par un processus simple, spécifique, efficace et prédictif. À l'heure actuelle, le processus concernant les OGM n'a rien de spécifique puisqu'on fait toutes les études possibles, quelle que soit la plante ; il n'est pas efficace non plus, puisqu'il faut, quand ça marche, au minimum dix ou quinze ans pour obtenir une décision. Et il n'est pas non plus prédictif, car il y a énormément d'incertitudes quant au résultat de ce processus. Les variétés exclues seraient ensuite soumises aux réglementations en vigueur appliquées pour les semences et les plants.

Plusieurs pays ont déjà avancé et adapté leur réglementation. Les premières plantes éditées commencent ainsi à être commercialisées : un soja enrichi en acide oléique

aux États-Unis et la tomate japonaise que j'ai mentionnée précédemment. Cela devrait permettre un développement plus important pour de nombreuses espèces, contrairement à ce qui s'est passé pour les PGM, permettant aux PME et TPE d'être présentes sur ce marché. Si l'Europe n'adapte pas sa législation OGM pour permettre le développement de plantes éditées, cela aura des conséquences dans de nombreux domaines. Au niveau de la recherche et du développement, d'abord, on observera, comme c'est déjà le cas, une réduction des investissements public et privé. Une des conséquences est que le développement des compétences se fera en dehors de l'Europe. Il y aura donc moins de publications et de brevets déposés en Europe. La filière semences européenne, quant à elle, sera pénalisée dans sa capacité à développer des variétés performantes répondant aux nouvelles contraintes. La filière semencière française pourrait ainsi voir la demande diminuer et perdre son leadership. Les agriculteurs, quant à eux, n'auront pas accès à ces cultures plus performantes, ce qui pénalisera les exportations et augmentera la concurrence et l'importation. En ce qui concerne les marchés il faut reconnaître que, pour les PGM actuelles, la concurrence est limitée. Par contre, compte tenu des développements dans les autres pays et s'ils sont confirmés par des mises sur le marché de variétés correspondantes, la concurrence sera plus importante pour les plantes éditées. Dans ce cadre, les importations vont être difficiles à gérer si ces plantes sont autorisées à l'étranger et fortement réglementées en Europe. En ce qui concerne la préservation de l'environnement, je l'ai dit, des succès importants ont été obtenus dans tout un

ensemble de domaines. Ils permettent de réduire l'utilisation des produits phytosanitaires, qu'il s'agisse des fongicides (en particulier en liaison avec le développement de résistance aux champignons) ou des engrais (suite à une augmentation de l'efficacité d'utilisation de l'azote) et de lutter contre les effets des changements climatiques, comme la sécheresse ou les inondations. Se priver de ces opportunités serait très dommageable. Enfin, comme je l'ai déjà indiqué, les plantes éditées présentent parfois un bénéfice direct pour les consommateurs. Le consommateur européen sera-t-il privé de l'accès à ces bénéfices ou bien connaissons-nous une situation comparable à celles des PGM, c'est-à-dire pas de culture, mais des importations ?

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Si l'Europe veut garantir sa sécurité alimentaire elle doit produire plus et mieux, en respectant l'environnement et les demandes des consommateurs et des utilisateurs. Le changement climatique va nécessiter des solutions plus rapides. Or, la technologie d'édition génomique nous permet précisément d'aller plus vite. Toutes les technologies disponibles doivent pouvoir être utilisées pour aider l'agriculture à relever ce nouveau défi. Nous avons vu ici les possibilités apportées par les biotechnologies végétales dans l'amélioration des plantes cultivées. Les autres approches sont aussi importantes et une revue de ces domaines permettrait de voir que des progrès sont aussi réalisés, par exemple, dans le domaine de la phyto-

protection chimique ou biologique, celui des techniques liées aux pratiques agricoles, et des approches numériques et de robotique appliquée à l'agriculture. L'agriculture est un domaine très technique ; ces technologies sont en constante évolution et un transfert rapide à la fois des technologies et des réglementations est donc nécessaire. J'espère avoir montré que les biotechnologies végétales sont une des voies possibles pour atteindre les objectifs du « Pacte Vert » et de la stratégie « De la ferme à l'assiette » établie par l'Europe et reprise par la France. Compte tenu des 25 ans d'expérience que nous avons avec les PGM, je voudrais faire deux séries de propositions. Sur le moyen terme, il me semble indispensable que l'on mette en place rapidement une réglementation qui permette réellement le développement et la commercialisation de certaines catégories de plantes éditées. Or, avec le rythme actuel des processus de décision, ce ne sera pas avant 2025. Nous allons avoir un changement de parlement et de commission en 2024 donc, si on ne passe pas avant, on risque de repartir pour un tour de quatre ou cinq ans. Sur le court terme, si on veut réduire les insecticides et les fongicides, il suffit d'accepter le maïs Bt, MON 810 ou autre, pour les régions infectées par l'insecte qui attaque les racines du maïs (Italie, sud de la France et certains pays de l'Est de l'Europe). Il est aussi possible d'autoriser la pomme de terre, version transgénique ou cisgénique, qui est résistante au mildiou tout en utilisant moins de fongicides. Il faut promouvoir, plus généralement, le développement de plantes résistantes aux virus et aux insectes. L'aubergine Bt en est un bon exemple, mais il existe tout un ensemble d'autres végétaux

qui ont été rendus résistants aux virus et aux insectes, qui n'ont pas été commercialisés, mais qui existent. Si l'on veut développer des protéines végétales, il suffit d'autoriser l'utilisation du soja GM dans les pays ayant un climat adapté pour cette culture, comme la Roumanie qui avait déjà autorisé ce soja. Laissons-la donc le recultiver, ainsi que d'autres pays d'Europe : on limitera ainsi nos importations venues des Amériques. Si l'on veut adapter les plantes aux changements climatiques, testons les maïs tolérants à la sécheresse ou le blé commercialisé depuis cette année en Argentine, et qui résiste à la sécheresse. Ce sont là toutes des plantes qui existent déjà et dont la plupart sont commercialisées depuis un certain nombre d'années et importées en Europe. Si on ne les cultive pas, on les mange déjà ! Pour terminer, je voudrais faire un vœu : c'est que l'on puisse développer toutes les biotechnologies végétales dans un mix technologique pour la sécurité alimentaire, de la même manière que l'on va développer le nucléaire dans le mix technologique pour la sécurité énergétique.

* * *

Questions de la salle

Didier Cultiaux¹⁰ : *Je pose cette question parce que j'étais préfet de la région Auvergne et que j'ai beaucoup travaillé avec Limagrain, où vous-même avez œuvré. Limagrain est une entreprise exceptionnelle, puisqu'elle est née de la volonté même des cultivateurs et des agriculteurs de cette magnifique région de la Limagne. La question que je vous pose me paraît majeure concernant les innovations technologiques : dans le monde actuel, comment peut-on défendre la propriété intellectuelle ? J'ai vu dans votre revue quelques éléments là-dessus, mais ça me paraît nettement insuffisant. Quand je me souviens des batailles de contentieux des multinationales vis-à-vis des petites entreprises qui n'ont pas les moyens de se défendre sur leur propriété intellectuelle, je crois qu'il y a là un vrai sujet récurrent. Puisque vous avez parlé de l'Union européenne, peut-être que vous pouvez en parler dans ce cadre-là ?*

10. Préfet de région honoraire.

Georges Freyssinet : Votre question est indirectement liée à ce que j'ai dit. Comme vous avez pu le voir, les biotechnologies végétales sont un domaine très technique, où la protection intellectuelle joue un rôle important. Au niveau du végétal, il existe deux systèmes de protection. Le premier protège les variétés, les variétés étant le produit qui est commercialisé. Ce système de protection des variétés, qu'on appelle le Certificat d'Obtention Végétale (COV), est un système international et non simplement européen. Ce système n'est pas nécessairement adopté par l'ensemble des pays, mais un grand nombre d'entre eux l'ont accepté. Il fonctionne sur le même principe que les brevets, c'est-à-dire que, si vous avez produit une variété vous demandez à être protégé par ce «certificat d'obtention végétale» et vous bénéficiez d'une protection pendant 20 ans. Cette protection vous assure le monopole de sa commercialisation. Par contre, ce système comprend deux exceptions : l'*exemption du sélectionneur*, c'est-à-dire que la variété peut être utilisée par un sélectionneur pour produire une nouvelle variété, à condition que cette dernière soit suffisamment différente de la première. Et, d'autre part, *le privilège de l'agriculteur*, c'est-à-dire que l'agriculteur peut utiliser sa récolte pour ressemer l'année d'après, sous réserve qu'il paye un tribut à la société de semences qui a mis au point la variété. Ce tribut, évidemment, n'a rien à voir avec le coût de la semence elle-même, et il n'est pas non plus en vigueur pour toutes les espèces. Mais il existe en particulier pour le blé. Le même système existe aussi dans d'autres pays, comme en Australie, avec d'autres principes. Voilà donc pour le COV.

En ce qui concerne maintenant les brevets, les variétés, en Europe, ne peuvent pas être *brevetées*, contrairement à ce qui se passe aux États-Unis. Au niveau technique, vous avez le système des brevets comme dans tout système industriel, que ce soit pour l'automobile, le nucléaire, etc. Il faut que vous ayez fait une invention, que vous soyez original et que vous ayez une application industrielle : ce sont les trois critères des brevets. Vous pouvez obtenir dans ce cas un brevet qui vous donne les mêmes droits qu'en pharmacie ou dans les autres domaines, et vous êtes protégé par rapport à cette invention pendant 20 ans. Il existe aussi des systèmes de licences, comme il en existe pour les autres systèmes techniques, tels l'automobile, le téléphone, etc. Les semenciers prennent donc des brevets ou des licences selon leurs besoins. Voici ce que l'on peut dire sur la propriété intellectuelle. En France, il existe, pour les brevets, les mêmes modalités que pour le COV (exemption du sélectionneur, privilège de l'agriculteur), ces modalités devraient être étendues à l'Europe. Ce n'est toujours pas fait. Mais il faut bien faire attention : quand on parle de « privilège de l'agriculteur », cela signifie que, si, en Europe, l'agriculteur pouvait cultiver des OGM, il aurait donc le droit d'utiliser sa récolte OGM pour ressemer. Par contre, il devrait payer ce qu'on appelle un « *tech fee* », une taxe à la société qui bénéficie de la protection du caractère génétiquement modifié. Il n'aurait plus à payer le prix de production de la semence, mais quelque chose qui serait l'équivalent d'une licence.

Louis Schweitzer ¹¹ : *Vous avez très bien exposé toutes les raisons techniques qui justifient le recours aux OGM et je dois dire que, rationnellement, il n'y a absolument rien à redire. Cela dit, pour autant, je ne ferais pas le pari que vous aurez gain de cause parce qu'en politique, il y a le rationnel et puis il y a aussi l'irrationnel, et les deux se combinent. Sur la partie «opposition aux OGM», vous avez brièvement évoqué les opposants aux OGM, mais, au fond de moi, j'aurais bien aimé comprendre le pourquoi de la vigueur de cette opposition dans notre pays. Je veux dire qu'il ne suffit pas de dire que les Verts sont contre, parce qu'il y a beaucoup de domaines où les Verts ont des opinions qui n'emportent pas la majorité. J'aimerais comprendre cet irrationnel et comprendre comment, en prenant en compte cet irrationnel, on pourrait convaincre un politique d'adhérer à vos propositions rationnelles.*

Georges Freyssinet : Je crois qu'il faut d'abord dire que l'opposition aux OGM est une opposition internationale. Dans tous les pays, il existe une opposition aux OGM. Elle est plus ou moins forte, mais elle est internationale.

Alors pourquoi? Je vais revenir là-dessus. Il y a différents acteurs qui se sont engagés contre les OGM. Vous avez des scientifiques, des ONG, des journalistes, des politiques et des consommateurs. Tous ces acteurs, avec

11. Président des Sociétés, membre du Conseil d'orientation de l'Institut Diderot.

différents arguments et diverses raisons, sont partis en guerre contre les OGM. Et il se trouve qu'en Europe, ils ont eu beaucoup de succès. Cela a conduit à des choses qui sont à mon avis inacceptables, comme la destruction d'essais et la destruction des semences. Car, si on parvenait à rentrer au Tricastin et qu'on détruisait le Tricastin, je pense qu'on n'accepterait pas et ce n'est pas normal qu'il y ait ce type de destruction. Quand on analyse les principales raisons à cette opposition, nous pouvons les classer dans trois catégories.

La première catégorie consiste à dire qu'il n'y a pas de bénéfice. Sans rentrer dans les détails, il est vrai qu'il peut exister des situations très diverses et que l'on peut trouver des endroits où il n'y a, effectivement, pas de bénéfice à utiliser des OGM. Si on prend la tolérance aux herbicides dans une exploitation qui était très bien gérée, le bénéfice est uniquement pour l'agriculteur. Il n'est pas pour quelqu'un d'autre. Si on prend la résistance aux insectes, par contre, les bénéfices sont plus larges. On va souvent vous dire qu'il n'y a pas de réduction d'utilisation des pesticides : là, c'est faux, comme on l'a déjà vu. Les gens qui disent ça évoquent uniquement la tolérance aux herbicides et n'évoquent pas la résistance aux insectes et la réduction des traitements insecticides. En ce qui concerne la tolérance aux herbicides, comme je vous l'ai déjà indiqué, si on discute en termes de volume, il est vrai qu'il n'y a pas de réduction d'utilisation, puisqu'il faut qu'on utilise un autre herbicide. Mais si on prend un point de vue plus global, et que l'on considère le « quotient d'impact environnemental »,

la situation est très différente. Il y a aussi les discussions concernant la biodiversité : tous ont entendu parler du MON 810 et beaucoup s'imaginent qu'il n'existe que du MON 810. Or, il faut savoir qu'en Espagne, il y a 200 variétés qui ont le caractère MON 810, c'est-à-dire que la diversité génétique dans le maïs en Espagne est aussi importante qu'en France. Le caractère de résistance aux insectes est unique, mais la diversité des variétés reste, elle, aussi importante. Les consommateurs, quant à eux, ne perçoivent pas les bénéfices, qui sont souvent pour eux imperceptibles, car, évidemment, le coton GM ne se différencie pas, par exemple, d'un coton normal. Quant au maïs, par exemple, il est utilisé essentiellement pour l'alimentation animale. Les maïs doux GM, c'est-à-dire les maïs que l'on mange dans les pays occidentaux, ne sont cultivés aux États-Unis que depuis deux ou trois ans. Comme je le disais, les tourteaux de soja et l'huile de soja importés proviennent de soja GM, et cela, à ce que je sache, ne traumatise personne. On parle beaucoup moins de la betterave à sucre, mais le sucre vient aussi de la betterave modifiée cultivée aux USA. Les restes de betteraves sont mangés par les animaux. Donc, si vous voulez, l'intérêt pour le consommateur est généralement indirect et donc peu perceptible. En revanche, le riz doré qui se développe aux Philippines aura un intérêt direct pour les enfants et les femmes enceintes ou allaitantes, qui ont des déficits en vitamine A. De plus en plus, nous allons voir arriver sur le marché des produits de ce type. Mais c'est vrai que les PGM qui sont sorties jusqu'ici sur le marché ont été des PGM qui n'avaient pas un intérêt direct pour le consommateur. Au niveau de l'agri-

culteur européen, il n'y avait pas de concurrence directe non plus, puisqu'on cultive très peu de soja en Europe. Le maïs tolérant aux insectes intéresse essentiellement le sud de l'Europe. Tout le reste de l'Europe n'est pas touché jusqu'à présent par les insectes.

Ensuite, on parle des effets sur la santé. On a entendu dire que les OGM avaient un effet néfaste sur la santé, mais il n'y a jamais eu d'études confirmées attestant d'un effet négatif sur la santé. Malheureusement, tout le monde se rappelle des rats de Séralini, même si l'Europe a financé ensuite trois études démontrant que ses résultats n'étaient pas concluants. Je vous ai parlé de la biodiversité tout à l'heure et le développement de résistances. Les opposants aux OGM soutiennent que les plantes vont devenir résistantes. Alors, pour ce qui concerne la résistance aux herbicides, il est vrai qu'on a vu se développer quelques cas parce que les agriculteurs américains procèdent par rotation maïs-soja, et ils ont traité systématiquement les champs avec du glyphosate. N'importe quel agriculteur vous dira qu'au bout de quelque temps, OGM ou pas, vous verrez se développer de mauvaises herbes résistantes au glyphosate. Donc ce n'est pas lié aux plantes résistantes au glyphosate, c'est lié à une mauvaise pratique agricole. Quant à la résistance aux insectes, elle a été gérée, depuis le début, avec la création de refuges : on plante dans le champ quelques plantes qui restent sensibles, ce qui permet d'éviter le développement d'insectes résistants. Donc, s'il est vrai que des résistances se développent, elles ne se développent pas plus sur les PGM que sur d'autres plantes.

Enfin, il existe une troisième catégorie d'arguments : ce sont des raisons qui n'ont rien à voir avec la technique OGM en particulier, c'est-à-dire que vous avez des gens qui vous disent qu'on ne doit pas agir sur la nature. Mais, que je sache, c'est ce qu'a fait le premier agriculteur qui, il y a quelques 10 000 ans, a pris les graines de la plante qui avait le mieux poussé ! Il a agi sur la nature puisqu'il a utilisé ces graines-là spécifiquement pour les ressemer l'année d'après... Il est certain qu'avec le développement des technologies, on n'agit pas de la même façon. Mais ça ne fait pas une si grande différence ! La filière bio a décidé, en Europe, de ne pas utiliser d'OGM avant même de savoir s'il y avait des bénéfices ou non, alors même que c'est dans cette filière que les PGM pourraient représenter le plus grand bénéfice, puisque vous éliminez ainsi les traitements insecticides, les traitements fongicides, etc. Au lieu d'utiliser du cuivre, il vaudrait peut-être mieux utiliser une vigne tolérante au mildiou par édition génomique par exemple. Dans les autres arguments généraux qui n'ont rien à voir avec les PGM, certains soutiennent aussi que ces techniques permettent le développement des multinationales. Ce ne sont pourtant pas les PGM en elles-mêmes qui ont entraîné le développement des multinationales : ce sont les exigences réglementaires qui ont fait que seules les grosses sociétés pouvaient se permettre de payer le coût de constitution des dossiers d'autorisation ! Alors qu'une petite société ne peut pas le faire ! Si on procède de la même manière avec les plantes éditées, on se retrouvera exactement dans la même situation. Il est vrai aussi qu'on a eu des concentrations, via fusions-acquisitions, dans la filière semences, voire entre

cette filière et l'agrochimie, mais cela s'est passé de même dans tous les marchés. Ce n'est pas lié aux PGM. Enfin, on a parlé des brevets, certains soutiennent qu'il ne faut pas breveter le vivant. Voilà donc pour les arguments...

Jérôme Koumba¹² : *Votre intervention m'a beaucoup plu dans son effort pour proposer des solutions nouvelles à des problèmes majeurs. Vous savez bien sûr que la COP21, en 2015, à Paris, a défini deux objectifs majeurs qui restent d'actualité : l'atténuation des émissions, et l'adaptation nécessaire aux conséquences du changement climatique. Je voudrais ici parler du deuxième point, en ce qui concerne notamment les pays les moins avancés. J'ai bien compris qu'au niveau européen, et en France surtout, il existe des restrictions au niveau réglementaire qui risquent d'empêcher que les innovations ne soient mises en application le plus tôt possible. Or l'adaptation aux conséquences du changement climatique relève pourtant de l'urgence. Ma question est donc la suivante : s'il existait aujourd'hui une solution, pour les pays les moins avancés, qui leur permette de sauver leur agriculture à partir des PGM, comment cela se passerait-il au niveau international ? Car il ne s'agit pas ici d'une affaire bilatérale, mais multilatérale. Comment pourrait-on faire pour que ces plantes génétiquement modifiées puissent être envoyées dans ces pays-là, pour que la solution au problème agricole puisse être trouvée assez rapidement ?*

12. Directeur Général de GES Environnement.

Georges Freyssinet : Ce qu'il faut bien avoir en tête pour commencer, c'est que, quand vous développez une résistance aux insectes, une résistance aux herbicides, ou même une résistance aux champignons, vous êtes face à quelque chose que vous ne contrôlez certes pas complètement, mais que vous connaissez quand même bien et qui reste stable et identique dans tous les pays. Vous connaissez le champignon qui va attaquer la plante : par exemple, le système impliquant le phytophthora, qui cause le mildiou de la pomme de terre, restera le même, en France ou ailleurs. Par contre, le problème sur des caractères comme la résistance à la sécheresse ou à l'inondation, c'est qu'ils sont très spécifiques à tel ou tel environnement. Par exemple, le maïs américain tolérant à la sécheresse convient essentiellement à une certaine région du sud des États-Unis, qui est marquée par de véritables sécheresses. Mais ce maïs-là, il faut savoir qu'il se développe et va se développer de manière très importante en Afrique. Il va y avoir un transfert et une utilisation du maïs tolérant à la sécheresse en Afrique plus importante que ce qui se fait actuellement aux États-Unis, où la zone de véritable sécheresse est relativement limitée. Il faut en effet, lorsque vous avez une tolérance à la sécheresse et que vous voulez développer le même produit dans des zones où les sécheresses sont plus intermittentes, que votre plante produise de la même façon l'année où il n'y a pas de pluie et l'année où il y a de la pluie. Sinon, l'agriculteur prendra la variété qui produit quand il y a de la pluie, sauf s'il est vraiment dans une zone où il y a de la sécheresse tous les ans. Mais s'il n'y a des sécheresses qu'une fois tous les cinq ans, il

prendra le maïs MON 810 par exemple. Donc c'est tout de même quelque chose qui est plus difficile à maîtriser et développer. Le blé qui est commercialisé depuis cette année en Argentine mérite qu'on s'y intéresse, justement parce qu'il est important de voir si ce blé peut fonctionner dans d'autres environnements climatiques. Après, pour sa diffusion dans les pays, cela dépendra évidemment aussi de la réglementation. Pour que ce blé argentin puisse arriver en Europe, cela risque d'être assez compliqué dans la mesure où ils devront déposer un dossier OGM/culture en Europe. Il faudrait qu'il y ait une demande spécifique venant de l'Europe pour qu'il y ait un dépôt de dossier. Par contre, s'il fonctionne bien, on peut penser qu'il puisse se développer en Afrique du Nord, où l'on cultive beaucoup de blé.

Ariane Voyatzakis¹³ : *Je voudrais vous demander si les entreprises semencières françaises font encore de la recherche sur les OGM et si oui, dans quels pays ?*

Georges Freyssinet : Je pense que si vous êtes une société semencière internationale, vous ne pouvez pas espérer continuer à vous développer sur le marché international si vous ne faites pas des OGM ! Donc cela veut dire que les quelques sociétés semencières internationales, comme il en existe en France ou en Europe, qui ont une activité en dehors d'Europe, font de la recherche

13. Responsable du secteur agroalimentaire de la Direction des filières industrielles de Bpifrance.

OGM. Dans la recherche, vous avez deux parties : vous avez une partie au laboratoire et une partie qui se fait aux champs. Elles font de moins en moins de recherches au niveau du laboratoire et, par exemple, la société que je dirigeais quand je suis parti de Limagrain, qui s'appelait Genective, est pour l'essentiel installée aux États-Unis, maintenant. Vous avez sans doute entendu que BASF déménageait aussi. Il y a toujours une activité pour des OGM dans ces sociétés, au niveau du laboratoire. En revanche, au niveau du champ, il n'y a plus rien. On ne fait plus d'essais d'OGM aux champs en France depuis déjà quelques années. Car ils sont détruits par les opposants, par des « faucheurs volontaires ». En ce qui concerne les plantes éditées dont je parlais tout à l'heure, un maïs fait actuellement l'objet d'essais en Belgique, qui se passent bien et ils sont dans leur deuxième année. Donc il y a toujours quelques activités en Europe. Quand j'ai quitté Limagrain, nous faisons nos essais en Espagne. Donc voilà, tant que la situation reste ce qu'elle est, les gens cherchent d'autres solutions pour continuer. Mais, en tous les cas, si vous êtes une société internationale, vous ne pouvez pas ne pas faire de recherche sur les OGM.

Marie-Cécile Damave ¹⁴ : *J'avais une question concernant le changement climatique. Il me semble en effet que l'amélioration des plantes est un levier puissant en ce qui concerne l'adaptation et l'atténuation du changement*

14. Responsable Innovations et Affaires Internationales chez Agridées.

climatique. Vous avez déjà parlé de variétés tolérantes à la sécheresse, par exemple. Est-ce qu'il ne serait pas intéressant de travailler la génétique, par exemple, du sorgho, qui est une espèce intéressante par rapport au maïs en termes de tolérance à la sécheresse et à des températures élevées? Voilà pour ma première question. Et, par rapport à l'atténuation du changement climatique, vous avez mentionné la réduction d'émissions de CO₂, avec moins de passage aux champs du matériel agricole en particulier. Mais l'on parle aussi beaucoup, comme vous le savez, du carbone farming, de l'agriculture à bas carbone et de la manière d'augmenter le stockage du carbone dans les sols afin de réduire les émissions. Est-ce que, par exemple, une amélioration génétique pour développer davantage les racines, avoir un tissu racinaire plus développé permettrait d'augmenter ce stockage de carbone organique dans les sols et, du coup, la qualité et la structure des sols pour stocker davantage de carbone? Enfin, dernier levier qu'il serait très intéressant de traiter au travers de la sélection variétale, ce serait la question de l'efficacité de la gestion de l'azote, puisque les émissions de N₂O sont vraiment aujourd'hui le point faible des productions de grandes cultures.

Georges Freyssinet : Pour ce qui est du sorgho, d'abord, il y a un très gros travail de sélection conventionnelle à faire. C'est-à-dire que les niveaux de rendement du sorgho ne sont pas au niveau des rendements d'autres cultures qu'il pourrait remplacer. Pour ce qui concerne le sorgho GM, aux États-Unis, ce n'est pas très judicieux d'un point de vue pratique, parce qu'il y a des plantes

sauvages qui se croisent très facilement avec le sorgho. Donc il peut y avoir des transferts de gènes trop rapides. En revanche, au niveau de l'édition génomique, j'ai vu qu'on commençait à travailler sur le sorgho pour les pays d'Afrique. Mais sur le sorgho, avant toute chose, il y a un gros travail de sélection conventionnelle à faire avant d'envisager d'utiliser toutes ces technologies.

Pour ce qui concerne l'azote, des travaux ont été menés, en effet, et avec succès. Il est clair que l'on pourra augmenter l'efficacité d'utilisation de l'azote par génie génétique, que ce soit par transgénèse ou par édition génomique. Concernant le développement des racines, c'est en effet quelque chose qui se fait et qui présente un certain nombre d'avantages, en particulier parce que plus vous descendez bas, plus vous avez des chances de récupérer de l'eau. La difficulté, c'est la sélection, c'est-à-dire que pour repérer vos racines, et notamment la manière dont elles se développent, il faut que vous puissiez avoir accès au sous-sol. Quand on travaillait sur ce sujet, en Inde, on avait créé une sorte de piscine et, au lieu de la remplir d'eau, on mettait des tubes dans lesquels on plaçait du maïs ou du riz ; ensuite, on pouvait faire un carottage et voir jusqu'où les racines étaient descendues, et sélectionner les plantes les plus intéressantes. Vous avez aussi parlé de la séquestration du CO₂. Dans le cas présent, elle est due essentiellement au fait qu'on fait moins de labours. Donc automatiquement, s'il y a moins de labours, il y a moins de CO₂ émis. Ironiquement, les recommandations actuelles ne vont absolument pas dans ce sens puisqu'on va interdire le glyphosate qui

permettait justement de faire moins de labours, parce qu'on pouvait s'abstenir de remuer complètement le sol pour enterrer les mauvaises herbes. L'un des objectifs du labour, je le rappelle, c'est d'enterrer les mauvaises herbes pour qu'elles ne ressortent pas immédiatement après le semis, si jamais il pleut. En tous les cas, plus vous brassez la terre, plus le CO₂ va s'échapper; donc, moins vous labourez, plus vous séquestrez le CO₂. Il faut maintenir les technologies qui permettent de faire moins de labours.

André Comte-Sponville¹⁵ : *Dans la dimension « irrationnelle » qu'évoquait Louis Schweitzer, il me semble que beaucoup se joue dans le rapport entre la technologie et le vivant. En partie pour des raisons un peu superstitieuses : « Il ne faut pas toucher au vivant ; c'est sacré. » Si nous laissons cette dimension de côté, les arguments que soutiennent souvent les opposants aux OGM me paraissent fondés sur deux idées principales, dont je ne sais pas si elles sont vraies ou fausses et que je me permets pour cela de vous soumettre. La première, c'est que, dès lors qu'il s'agit du vivant, les modifications qu'on apporte sont irréversibles, c'est-à-dire qu'une fois qu'un gène est dans la nature, personne ne peut être certain de pouvoir le faire disparaître. Ce qui est très différent de la plupart des autres technologies : on peut très bien faire disparaître les moteurs à explosion, c'est une décision possible. Beaucoup disent qu'il est*

15. Directeur de l'Institut Diderot.

impossible de faire disparaître un gène dans la nature ; et donc la possibilité qu'un danger soit irréversible, cela change fondamentalement la donne. Et puis, deuxième idée, ce changement n'est pas seulement irréversible, il est imprévisible dans ses conséquences possibles. Or la conjonction entre l'irréversibilité et l'imprévisibilité, cela donne le thème de l'apprenti sorcier, c'est-à-dire qu'on prend des risques qu'on n'est pas capable de mesurer exactement, en amont desquels on ne pourra jamais revenir et dont l'ampleur est indéterminée. Je ne sais pas si ces arguments sont justifiés, mais j'ai été un peu surpris que vous ne les ayez pas évoqués. Que pourriez-vous leur répondre ?

Georges Freyssinet : Pour ce qui concerne la deuxième partie de votre question, c'est-à-dire concernant le fait qu'on ne sait pas ce qu'il va se passer, je crois qu'avec le nombre d'études qui sont faites avant que la plante soit commercialisée, on dispose malgré tout de nombreux éléments. Plus on est en mesure de faire quelque chose de ciblé, plus on est capable de prédire ce qui va se passer. Cela étant, vous dites que si on le largue dans la nature, on ne pourra plus l'enlever. Il y a quand même un certain nombre de plantes GM qui ont été commercialisées, dont la commercialisation a été arrêtée, et qu'on a pu éradiquer, et qu'on ne voit plus dans la nature. Ensuite, en ce qui concerne les gènes, il faut distinguer le cas de l'édition génomique et celui de la transgénèse, car, dans l'édition génomique, je modifie un gène qui est présent, alors que dans la transgénèse, j'introduis un nouveau gène. Dans la transgénèse, ce qui peut poser des

difficultés, là où on va le plus loin, c'est que, quand on prend les maïs résistants aux insectes, on a intégré une séquence venant d'une bactérie. Mais il faut savoir que l'on répand des gènes de *Bacillus thuringiensis* à travers le maïs comme l'agriculteur bio le fait toutes les fois où il traite avec la bactérie *Bacillus thuringiensis*. La difficulté de la transgénèse, c'est qu'elle a une puissance importante, mais c'est un peu la même problématique que du côté humain. On ne va pas faire de la transformation du génome humain pour diverses raisons. Les Chinois ont fait quelques essais, comme on sait, mais pour l'instant, on ne fait pas de la transformation : quand on fait de la thérapie génique, cela ne se transmet pas à la descendance. Au niveau de la plante, la situation est différente : on transmet à la descendance, mais on n'intègre pas des gènes dont on sait qu'ils peuvent donner des caractères négatifs. Il y a des gens qui ont travaillé sur la noix du Brésil. Il faut savoir que la noix du Brésil possède une protéine allergénique : il y a des chercheurs qui ont introduit ce gène de protéine allergénique dans du soja, et ils se sont ensuite étonnés que leur soja soit devenu allergénique, alors que c'était évident ! Par transgénèse, on fait des choses avec un objectif défini et on contrôle ce qui est fait. Pour ce qui concerne l'édition génomique, on modifie un gène qui est présent dans la plante : ce gène pourrait se produire dans la nature parce que des mutations se font dans la nature à chaque génération. Lorsque vous semez et récoltez votre champ de blé, vous récupérez de nombreuses graines mutantes. La majorité de ces graines ne vont pas présenter de signe phénotypique, donc ça passe inaperçu. La grande majorité des muta-

tions sont réparées au cours des cycles cellulaires. Donc, si vous voulez, dans l'édition génomique, on fait des mutations qui devraient de toute façon se produire ou qui se sont déjà produites dans la nature, mais n'ont jamais été sélectionnées. Dans l'édition génomique, je sélectionne cette mutation et je peux l'identifier. Donc, oui, en un sens, on met dans la nature des gènes nouveaux, mais, si vous prenez par exemple le gène du MON 810, sa partie active provient du *Bacillus thuringiensis* qui est utilisé en agriculture bio. La grande majorité des toxines végétales comme la ciguë, le ricin, sont dans la nature et elles ne posent des problèmes à personne. On ne va pas développer des plantes génétiquement modifiées qui produisent de la toxine du ricin, c'est évident. Mais, il faut savoir qu'en Amérique du Sud quand même, il y en a qui essaient d'améliorer l'efficacité de production du pavot.

Yvan Glasel¹⁶ : *Au fond, on sait que dans la nature, il y a des plantes naturellement toxiques. Pour autant, on ne dénigre pas la nature ! Pour rassurer les consommateurs, est-ce qu'il existe une procédure qui garantit l'innocuité des nouvelles variétés génétiquement modifiées ? Je n'entends jamais évoquer des procédures qui seraient mises en œuvre, avant la commercialisation, pour s'assurer qu'une variété génétiquement modifiée ne sera pas toxique.*

16. Ancien Président du Conseil d'administration de la Fondation de la France Mutualiste, ingénieur agronome.

Georges Freyssinet : Disons que c'est un peu une extension de ce que je disais, c'est-à-dire que quand on fait la modification génétique, on connaît déjà la nature de ce qu'on vise. Je prenais l'exemple du ricin : il est clair que vous n'allez pas introduire les gènes qui codent pour la ricine dans le maïs. On introduit des gènes dont on sait qu'ils n'ont pas d'effet toxique, hormis celui qui est recherché. Il faut savoir que pour contrôler un insecte, il n'y a pas d'autre solution que de tuer l'insecte : le *Bacillus thuringiensis* possède une toxine qui détruit l'insecte. Dans les études qui sont faites, on connaît déjà la protéine qu'on a insérée. Et, sans entrer dans trop de détails au niveau réglementaire, quand vous faites des études par rapport aux bases de données qui existent sur les protéines allergènes et les protéines toxiques, il faut que votre protéine n'ait pas de motifs qui correspondent à ce qui est présent dans les bases de données. Il y a donc des vérifications qui sont faites. Et, précisément, ce qu'on dit au niveau de l'édition génomique dans notre proposition c'est qu'on doit faire quelque chose qui reste dans les catégories que j'ai mentionnées : on doit faire quelque chose qui existe déjà, ou qui pourrait exister, dans la nature. Quand je citais tout à l'heure le piment, par exemple, cela a été fait : le piment résiste à un virus et on connaît la protéine qui lui donne cette résistance. Le même virus infecte la tomate. Si on mime la protéine du piment dans la tomate, on a une tomate résistante au virus. Donc, le piment n'étant pas toxique, la tomate ayant la même protéine, il n'y a pas de raison qu'elle soit toxique.

Retrouvez l'intégralité du débat en vidéo sur
www.institutdiderot.fr

Les publications de l'Institut Diderot

Dans la même collection

- La Prospective, de demain à aujourd'hui - Nathalie Kosciusko-Morizet
- Politique de santé : répondre aux défis de demain - Claude Evin
- La réforme de la santé aux États-Unis : quels enseignements pour l'assurance maladie française ? - Victor Rodwin
- La question du médicament - Philippe Even
- La décision en droit de santé - Didier Truchet
- Le corps ce grand oublié de la parité - Claudine Junien
- Des guerres à venir ? - Philippe Fabry
- Les traitements de la maladie de Parkinson - Alim-Louis Benabib
- La souveraineté numérique - Pierre Bellanger
- Le Brexit et maintenant - Pierre Sellal
- Les Jeux paralympiques de Paris 2024 : une opportunité de santé publique ?
Pr François Genet & Jean Minier - Texte écrit en collaboration avec Philippe Fourny
- L'intelligence artificielle n'existe pas - Luc Julia
- Cyber : quelle(s) stratégie(s) face à l'explosion des menaces ?
Jean-Louis Gergorin & Léo Issac-Dognin
- La puissance publique face aux risques - François Vilnet & Patrick Thourot
- La guerre des métaux rares - La face cachée de la transition énergétique
et numérique - Guillaume Pitron
- Comment réinventer les relations franco-russes ? - Alexandre Orlov
- La république est-elle menacée par le séparatisme ? - Bernard Rougier
- La révolution numérique met-elle en péril notre civilisation ? - Gérald Bronner
- Comment gouverner un peuple-roi ? - Pierre-Henri Tavoillot
- L'eau enjeu stratégique et sécuritaire - Franck Galland
- Autorité un «enjeu pluriel» pour la présidentielle 2022 ? - Thibault de Montbrial
- Manifeste contre le terrorisme islamiste - Chems-eddine Hafiz
- Reconquérir la souveraineté numérique
Matthieu Bourgeois & Bernard de Courrèges d'Ustou
- Le sondage d'opinion : outil de la démocratie ou manipulation de l'opinion ? Alexandre Dézé
- Le capitalisme contre les inégalités - Yann Coatanlem
- Franchir les limites : transitions, transgressions, hybridations - Claudine Cohen
- Migrations, un équilibre mondial à inventer - Catherine Withol de Wenden

Les Carnets des Dialogues du Matin

- L'avenir de l'automobile - Louis Schweitzer
- Les nanotechnologies & l'avenir de l'homme - Etienne Klein
- L'avenir de la croissance - Bernard Stiegler
- L'avenir de la régénération cérébrale - Alain Prochiantz
- L'avenir de l'Europe - Franck Debié
- L'avenir de la cybersécurité - Nicolas Arpagian
- L'avenir de la population française - François Héran
- L'avenir de la cancérologie - François Goldwasser
- L'avenir de la prédiction - Henri Atlan
- L'avenir de l'aménagement des territoires - Jérôme Monod
- L'avenir de la démocratie - Dominique Schnapper
- L'avenir du capitalisme - Bernard Maris
- L'avenir de la dépendance - Florence Lustman
- L'avenir de l'alimentation - Marion Guillou
- L'avenir des humanités - Jean-François Pradeau
- L'avenir des villes - Thierry Paquot
- L'avenir du droit international - Monique Chemillier-Gendreau
- L'avenir de la famille - Boris Cyrulnik
- L'avenir du populisme - Dominique Reynié
- L'avenir de la puissance chinoise - Jean-Luc Domenach
- L'avenir de l'économie sociale - Jean-Claude Seys
- L'avenir de la vie privée dans la société numérique - Alex Türk
- L'avenir de l'hôpital public - Bernard Granger
- L'avenir de la guerre - Henri Bentegeat & Rony Brauman
- L'avenir de la politique industrielle française - Louis Gallois
- L'avenir de la politique énergétique française - Pierre Papon
- L'avenir du pétrole - Claude Mandil
- L'avenir de l'euro et de la BCE - Henri Guaino & Denis Kessler
- L'avenir de la propriété intellectuelle - Denis Olivennes
- L'avenir du travail - Dominique Méda
- L'avenir de l'anti-science - Alexandre Moatti
- L'avenir du logement - Olivier Mitterrand
- L'avenir de la mondialisation - Jean-Pierre Chevènement
- L'avenir de la lutte contre la pauvreté - François Chérèque
- L'avenir du climat - Jean Jouzel
- L'avenir de la nouvelle Russie - Alexandre Adler
- L'avenir de la politique - Alain Juppé
- L'avenir des Big-Data - Kenneth Cukier & Dominique Leglu
- L'avenir de l'organisation des Entreprises - Guillaume Poitrinal
- L'avenir de l'enseignement du fait religieux dans l'École laïque - Régis Debray
- L'avenir des inégalités - Hervé Le Bras
- L'avenir de la diplomatie - Pierre Grosse
- L'avenir des relations Franco-Russes - S.E Alexandre Orlov
- L'avenir du Parlement - François Cornut-Gentille

-
- L'avenir du terrorisme - Alain Bauer
 - L'avenir du politiquement correct - André Comte-Sponville & Dominique Lecourt
 - L'avenir de la zone euro - Michel Aglietta & Jacques Sapir
 - L'avenir du conflit entre chiïte et sunnites - Anne-Clémentine Larroque
 - L'Iran et son avenir - S.E Ali Ahani
 - L'avenir de l'enseignement - François-Xavier Bellamy
 - L'avenir du travail à l'âge du numérique - Bruno Mettling
 - L'avenir de la géopolitique - Hubert Védrine
 - L'avenir des armées françaises - Vincent Desportes
 - L'avenir de la paix - Dominique de Villepin
 - L'avenir des relations franco-chinoises - S.E. Zhai Jun
 - Le défi de l'islam de France - Jean-Pierre Chevènement
 - L'avenir de l'humanitaire - Olivier Berthe - Rony Brauman - Xavier Emmanuelli
 - L'avenir de la crise du Golfe entre le Qatar et ses voisins - Georges Malbrunot
 - L'avenir du Grand Paris - Philippe Yvin
 - Entre autonomie et Interdit : comment lutter contre l'obésité ?
Nicolas Bouzou & Alain Coulomb
 - L'avenir de la Corée du Nord - Juliette Morillot & Antoine Bondaz
 - L'avenir de la justice sociale - Laurent Berger
 - Quelles menaces numériques dans un monde hyperconnecté ? - Nicolas Arpagian
 - L'avenir de la Bioéthique - Jean Leonetti
 - Données personnelles : pour un droit de propriété ?
Pierre Bellanger et Gaspard Koenig
 - Quels défis pour l'Algérie d'aujourd'hui ? - Pierre Vermeren
 - Turquie : perspectives européennes et régionales - S.E. Ismail Hakki Musa
 - Burn-out - le mal du siècle ? - Philippe Fossati & François Marchand
 - L'avenir de la loi de 1905 sur la séparation des Églises et de l'État.
Jean-Philippe Hubsch
 - L'avenir du bitcoin et du blockchain - Georges Gonthier & Ivan Odonnat
 - Le Royaume-Uni après le Brexit
Annabelle Mourougane - Frédéric de Brouwer & Pierre Beynet
 - L'avenir de la communication politique - Gaspard Gantzer
 - L'avenir du transhumanisme - Olivier Rey
 - L'économie de demain : sociale, solidaire et circulaire ?
Géraldine Lacroix & Romain Slitine
 - La transformation numérique de la défense française - Vice-amiral Arnaud Coustillière
 - L'avenir de l'indépendance scientifique et technologique française
Gérard Longuet
 - L'avenir du Pakistan - Ardavan Amir-Aslani
 - Le corps humain et sa propriété face aux marchés - Sylviane Agacinski
 - L'avenir de la guerre économique américaine - Ali Laïdi
 - Construire l'économie de demain - Jean Tirole
 - L'avenir de l'écologie... et le nôtre - Luc Ferry
 - La vulgarisation scientifique est-elle un échec ? - Étienne Klein
 - Les trois utopies européennes - Francis Wolff

Les Notes de l'Institut Diderot

- L'euthanasie, à travers le cas de Vincent Humbert - Emmanuel Halais
- Le futur de la procréation - Pascal Nouvel
- La République à l'épreuve du communautarisme - Eric Keslassy
- Proposition pour la Chine - Pierre-Louis Ménard
- L'habitat en utopie - Thierry Paquot
- Une Assemblée nationale plus représentative - Eric Keslassy
- Où va l'Égypte ? - Ismaïl Serageldin
- Sur le service civique - Jean-Pierre Gualazzi
- La recherche en France et en Allemagne - Michèle Vallenthini
- Le fanatisme - Texte d'Alexandre Deleyre présenté par Dominique Lecourt
- De l'antisémitisme en France - Eric Keslassy
- Je suis Charlie. Un an après... - Patrick Autréaux
- Attachement, trauma et résilience - Boris Cyrulnik
- La droite est-elle prête pour 2017 ? - Alexis Feertchak
- Réinventer le travail sans l'emploi - Ariel Kyrrou
- Crise de l'École française - Jean-Hugues Barthélémy
- À propos du revenu universel - Alexis Feertchak & Gaspard Koenig
- Une Assemblée nationale plus représentative - *Mandature 2017-2022* - Eric Keslassy
- L'avenir de notre modèle social français - Jacky Bontems & Aude de Castet
- Handicap et République - Pierre Gallix
- Réflexions sur la recherche française... - Raymond Piccoli
- Le système de santé privé en Espagne : quels enseignements pour la France ?
Didier Bazzocchi & Arnaud Chneiweiss
- Le maquis des aides sociales - Jean-Pierre Gualazzi
- Réformer les retraites, c'est transformer la société - Jacky Bontems & Aude de Castet
- Vers un droit du travail 3.0 - Nicolas Dulac
- L'assurance santé privée en Allemagne : quels enseignements pour la France ?
Arnaud Chneiweiss & Nadia Desmaris
- Repenser l'habitat. Quelles solidarités pour relever le défi du logement dans une société de la longévité ? - Jacky Bontems & Aude de Castet
- De la nation universelle au territoire-monde - L'avenir de la République dans une crise globale et totale - Marc Soléry
- L'intelligence économique - Dominique Fonvielle
- Pour un Code de l'enfance - Arnaud de Belenet
- Les écoles de production - Agnès Pannier-Runacher
- L'intelligence artificielle au travail - Nicolas Dulac Gérardot
- Une Assemblée nationale plus représentative ? - *Mandature 2022-2027* - Eric Keslassy

Les Colloques de l'Institut Diderot

- L'avenir du progrès (actes des Entretiens 2011)
- Les 18-24 ans et l'avenir de la politique
- L'avenir de l'Afrique

Insécurité alimentaire et changement climatique : les solutions apportées par les biotechnologies végétales

Pour les adversaires des plantes génétiquement modifiées, le sigle OGM est devenu un symbole du mal, c'est-à-dire de la prétendue perversion de notre civilisation scientifique et technique alors que la sélection biologique des espèces et la transgénèse permettent aujourd'hui d'augmenter la tolérance aux herbicides et la résistance aux insectes.

C'est ce qui se passe d'ores et déjà, surtout dans les deux Amériques et en Inde, s'agissant du soja, du maïs, du coton et du colza. L'Europe, quant à elle, « ne veut pas d'OGM », ce qui nous prive, sauf exception, des bénéfices qu'on en pourrait attendre, aussi bien d'un point de vue économique (par l'augmentation de la productivité) que d'un point de vue écologique (par la diminution des pesticides, des engrais, des gaz à effets de serre et du travail du sol) ou humain (par l'amélioration des revenus et de la santé des agriculteurs). Quant à l'édition génomique (ce qu'on appelle souvent « les nouveaux OGM »), elle pourrait permettre de surmonter une partie des catastrophes environnementales qui menacent nos cultures, de la sécheresse aux inondations en passant par la salinité.

On verra dans l'exposé de Georges Freyssinet les solutions, notamment réglementaires, que propose l'association qu'il préside. Il s'agit d'éviter que l'Europe ne se tire une balle dans le pied en réduisant ses capacités de recherche et d'innovation, ce qui « pénalisera les exportations et augmentera la concurrence et les importations ». Et notre expert engagé de conclure : « Si l'Europe veut garantir sa sécurité alimentaire, elle doit produire plus et mieux, en respectant l'environnement et les demandes des consommateurs et des utilisateurs. Le changement climatique va nécessiter des solutions plus rapides. Or, la technologie d'édition génomique nous permet précisément d'aller plus vite. »

André COMTE-SPONVILLE
Directeur général de l'Institut Diderot

Georges FREYSSINET



Président de l'Association Française des Biotechnologies Végétales.
Enseignant-chercheur pendant vingt ans en France et en Amérique du Nord,
puis en charge des biotechnologies végétales une vingtaine d'années chez
Rhône-Poulenc, Aventis et Bayer, et une dizaine d'années à la Direction
Scientifique de Limagrain.