

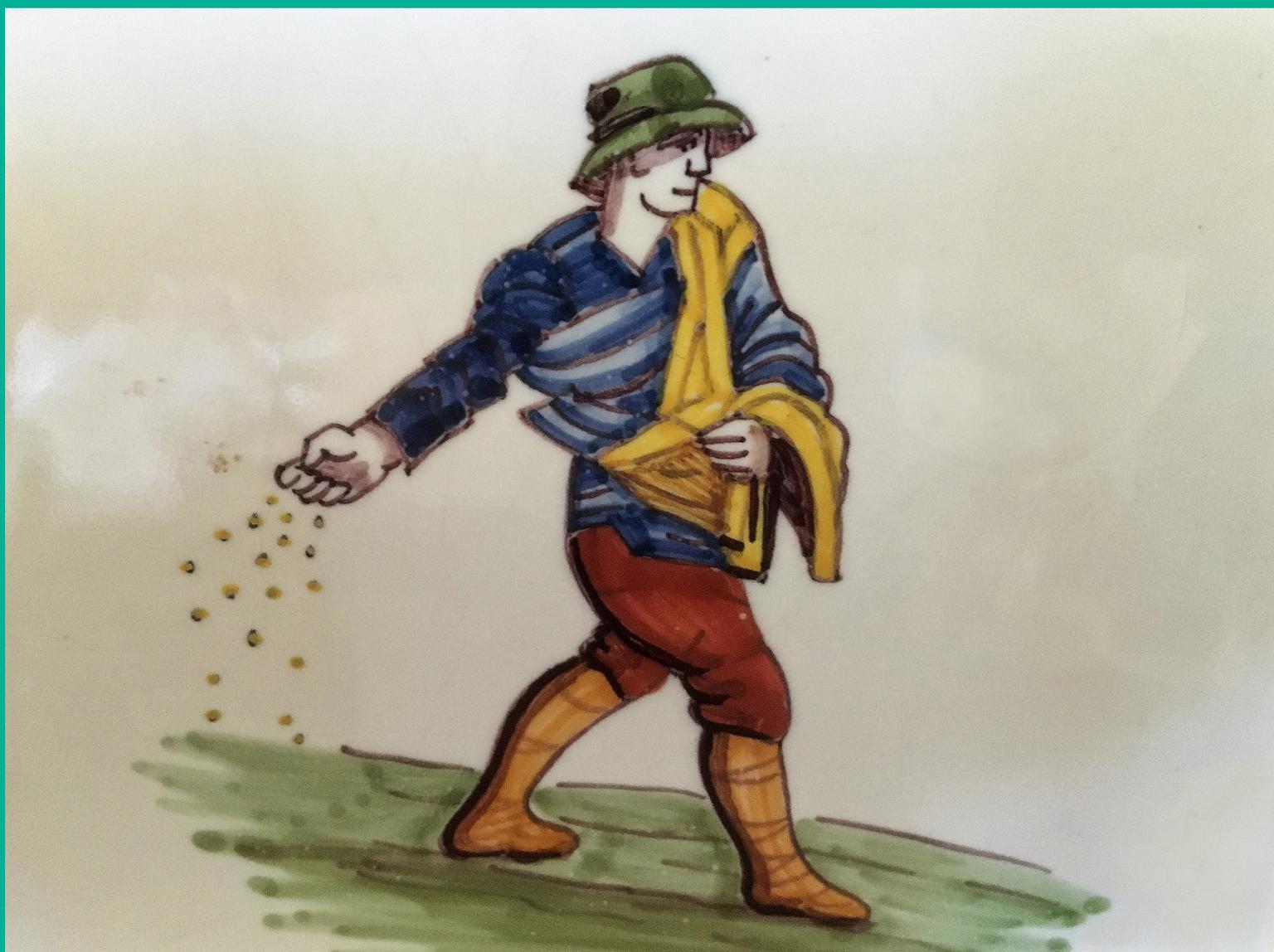


ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ, CHOISI ET PARTAGÉ

DIX QUESTIONS SUR LES SEMENCES

Bernard Le Buanec



Académie des technologies
Le Ponant
19. rue Leblanc
Bâtiment A
75015 Paris
+33(0)1 53 85 44 44
secretariat@academie-technologies.fr
www.academie-technologies.fr

©2020 Académie des technologies

ISBN : 979-10-97579-22-7



**ACADÉMIE
DES TECHNOLOGIES**

POUR UN PROGRÈS RAISONNÉ, CHOISI ET PARTAGÉ

Dix questions sur les semences

QUESTIONS POSÉES À BERNARD LE BUANEC

LIMINAIRE

Au cours des dernières années, il y a eu de nombreuses émissions de radio et de télévision consacrées aux semences, émissions restées souvent très générales et sans débats contradictoires. Ce document a pour ambition de donner au lecteur les principaux éléments de compréhension d'une controverse assez vive qui se poursuit sur ce sujet. Dans ce document, comme dans de nombreux débats, le mot semence comprend deux éléments : la semence qui est la graine produite par une plante et qui est semée et la plante qui produit cette graine, la variété végétale. De nombreuses affirmations faites au cours de ces émissions méritaient approfondissement.

Ce document a pour objectif de répondre aux dix questions le plus souvent posées par le public, en particulier les consommateurs.

1) Les variétés anciennes étaient-elles meilleures sur les plans organoleptiques et nutritifs que les variétés modernes ?

2) Les variétés anciennes étaient-elles plus « rustiques » que les variétés modernes. Ces dernières nécessitent-elles la standardisation des sols et seraient-elles un frein à la désintensification de l'agriculture ?

3) Pourquoi les variétés doivent-elles être inscrites au catalogue national et les semences certifiées avant commercialisation ? Qui est en charge de ces actions ? Comment peut-on certifier l'identité variétale alors que les variétés évoluent ?

4) Comment fonctionne la protection de la propriété intellectuelle ? Est-il possible d'utiliser des semences de ferme et/ou de les vendre ? Quel est le niveau des redevances ? Les hybrides F1 ne procurent-ils pas une protection technique ?

5) Y-a-t-il eu commercialisation de semences stériles ? Quid de « Terminator¹ » ?

////////////////////

1 « Ce vocable est le surnom donné, en référence à un film de 1984, par des ONG environnementalistes à une

- 6) Pourquoi acheter des variétés nouvelles, quels sont les progrès dus à l'amélioration des plantes ?
- 7) Y a-t-il eu perte de diversité génétique au cours de vingt ou trente dernières années ?
- 8) Quel est l'impact des OGM sur la santé ?
- 9) Quel est l'impact des OGM sur l'utilisation des pesticides ?
- 10) La coexistence entre OGM et non OGM est-elle possible ?

technique génétique susceptible de donner des semences stériles à la génération suivante, contraignant ainsi l'utilisateur à acheter des nouvelles semences ».

QUESTION 1

LES VARIÉTÉS ANCIENNES ÉTAIENT-ELLES MEILLEURES SUR LES PLANS ORGANOLEPTIQUES ET NUTRITIFS QUE LES VARIÉTÉS MODERNES ?

Les aspects organoleptiques

Il est fréquent d'entendre dire que les variétés anciennes étaient « meilleures » que les variétés modernes. Trois exemples sont fréquemment cités : la tomate, deuxième légume le plus consommé au monde après la pomme de terre, et les fruits pomme et fraise. Analysons ces trois exemples.

La tomate

Une étude menée par le Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes montre la complexité des préférences des consommateurs routiniers (indifférents à la variété), des consommateurs inconditionnels d'un type de tomate donné et des consommateurs avertis qui utilisent tous les types de tomates. C'est avec cette classification en tête que la station agronomique de Changins, en Suisse, a mis en place un essai comparatif des qualités gustatives d'une sélection de variétés de tomate, douze variétés anciennes non hybrides et cinq hybrides F1². Un hybride F1 est une variété obtenue à la première génération (d'où le sigle F1) du croisement de deux parents. Du fait de ce que l'on appelle l'effet de vigueur hybride ou hétérosis cette variété hybride F1 a des qualités supérieures à celles des deux parents. Ces variétés anciennes et hybrides F1 ont été cultivées dans les mêmes conditions et les fruits ont été récoltés à maturité la veille de la dégustation par un panel de quinze dégustateurs semi-entraînés qui ont évalué le goût des variétés sur une échelle de 1 mauvais à 9 excellent. En moyenne, ce sont les variétés F1 qui ont eu les meilleures notes, avec des variations selon les types de tomate. Il ressort clairement de cet essai que les anciennes variétés ne présentent pas d'avantages gustatifs systématiques. Cet essai fait également comprendre la complexité de l'analyse du goût qui dépend de la texture, de la fermeté, de l'acidité, de la teneur en

2 Granges A ; et al, Agroscope RAC Changins : *Variétés de tomates anciennes : valeurs agronomiques, analytiques et gustatives.*(2005)

saccharose et de la perception visuelle.

Les chercheurs de l'Inrae de la station de Montfavet ont réussi à sélectionner des marqueurs moléculaires permettant une sélection précoce pour les aspects qualitatifs et de nouvelles variétés F1 de très bonnes qualités sont en cours de développement.

Les qualités organoleptiques dépendent également des conditions de culture.

Il est possible de conclure que les variétés de tomates anciennes ne présentent pas systématiquement de qualités organoleptiques supérieures aux hybrides F1.

La pomme

Il existe plusieurs milliers de variétés anciennes de pomme et seules quelques dizaines sont cultivées aujourd'hui³. Parmi celles-ci deux variétés « anciennes » la Reine des Reinettes datant de la fin du XVIII^e et la Belle de Boskoop datant de 1856. Le nombre de variétés anciennes est donc tout relatif. À partir des années 1950, de nouvelles variétés ont été créées par des pépiniéristes professionnels et par l'Inra. Parmi celles-ci on peut citer la variété Golden Delicious (1961), Chantecler (Inra 1977), Gala (1982), Delgollune (Delbard 1983) ou encore Ariane (Inra 2003). Des analyses gustatives de ces quelques exemples montrent en effet que la Reine des Reinettes et la Belle de Boskoop sont des fruits à chair ferme et de bonnes qualités gustatives. Mais on peut en dire de même, pour n'en citer que deux, de Delgollune, pomme bicolore de très bonne qualité à chair croquante et parfumée et d'Ariane, réputée d'excellente qualité gustative.

La fraise

Le développement de variétés adaptées aux circuits longs cultivées en Californie ou au sud de l'Espagne ont fait dire que les variétés modernes avaient une mauvaise qualité gustative. Cette mauvaise qualité est due aux qualités intrinsèques du fruit, mais aussi de sa récolte avant pleine maturité. Cela ne veut pas dire que, d'une façon générale, les variétés modernes sont moins bonnes. Quelques exemples prouvent le contraire : les variétés Guariguetta créée par l'INRA en 1976, la variété Mara des bois de l'obtenteur Marionnet en 1991 et la variété Charlotte du CIREF en 2004 sont considérées comme des modèles de qualité gustative.

Conclusion

Il n'est pas exact de dire que les variétés modernes ont de moins bonnes qualités gustatives que les variétés anciennes. L'analyse de la situation sur quelques exemples montre la

3 *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*, C. Doré, F. Varoquaux, coordinateurs, Inra ed, 2006.

complexité de cette analyse gustative, des nombreux facteurs à prendre en compte et, enfin, de l'importance du goût de chacun. De plus, les réseaux de commercialisation ayant changé, il arrive fréquemment que les fruits ne soient pas récoltés à maturité, ce qui est un des facteurs principaux dans la formation du goût ressenti par le x-consommateur⁴. Mais peut-être peut-on aussi penser à la madeleine de Proust qui rappelle les temps anciens perçus comme meilleurs.

Une dernière remarque : ces variétés modernes qui ont souvent d'excellentes qualités gustatives ont de bien meilleures résistances aux parasites, en particulier pour les tomates et les pommiers.

La valeur nutritionnelle

En 2016, un article de *L'Obs* titrait « une pomme de 1950 équivaut à cent pommes d'aujourd'hui ». Il indiquait que pour avoir la quantité de vitamine C qu'apportait une pomme en 1950 il fallait manger cent pommes d'aujourd'hui. De même pour l'orange ou un fruit d'alors équivalait à vingt-et-un fruit d'aujourd'hui en termes de vitamine A, et ainsi pour beaucoup de fruits et légumes. Il est souvent dit que les nouvelles variétés ont des teneurs en éléments minéraux et en vitamines plus faibles que les variétés anciennes. Un article de Léon Guéguen⁵ fait un point sur ce sujet. De nombreux facteurs influent sur la composition chimique des plantes, dont les variétés cultivées, mais surtout les conditions de culture et la productivité, de très forts rendements pouvant en effet « diluer » certains éléments ; par ailleurs l'alimentation azotée de la plante a un impact important sur sa teneur en protéines. C'est, en particulier, pour ce dernier facteur, le cas des protéines du blé dont le gluten. (cf. *infra*).

Ceci étant dit, que nous disent les chiffres. Nous disposons de tables d'analyses depuis 1947, tables qui ont été actualisées en 1960 et 1981. Il est donc possible de comparer les teneurs des différents aliments avec les dernières éditions de la table Ciqual de l'ANSES⁶. Dans son article Guéguen compare les chiffres de 1960 à ceux de 2016. Tout en reconnaissant une certaine marge d'incertitude, il note que la teneur en matière sèche des principaux aliments n'a pas nettement baissé. La teneur en protéines du blé a augmenté du fait d'une meilleure fertilisation azotée et d'une sélection des variétés visant à améliorer la qualité boulangère.

////////////////////////////////////

- 4 On désigne ainsi le consommateur non-spécifié, madame ou monsieur « tout le monde ».
- 5 Guéguen L., La valeur nutritionnelle des aliments a-t-elle diminué depuis 60 ans, Revue de l'Académie d'agriculture N°12 pp 42-45
- 6 La base de données de référence sur la composition nutritionnelle des aliments est gérée par l'Anses, Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail. La table de composition Ciqual est mise à disposition gratuitement sur internet *via* le site Ciqual

Pour les minéraux, oligoéléments et vitamines, des diminutions de teneurs sont parfois constatées, mais sans rapport avec le grave déclin annoncé. Il y a parfois, pour certains fruits et légumes des augmentations. Ainsi conclut l'auteur, contrairement à une idée reçue et souvent propagée par divers vecteurs, même s'il peut y avoir des différences variétales, l'agriculture intensive et la sélection végétale n'ont pas conduit à une grave dégradation des qualités nutritionnelles des aliments de base depuis 60 ans.

Si l'on revient à notre point de départ, pour les pommes les teneurs en vitamine C sont passées entre 1960 et 2016 de 10,0 mg/100g à 6,23. Nous sommes loin du facteur 100. Et, pour l'orange, les teneurs en beta-carotène, provitamine A, n'ont pas varié, stables à 0,25 mg/100g, donc loin du facteur 21 de diminution.

Le blé : valeur nutritive, maladie cœliaque et intolérance au gluten

Il est souvent affirmé que les nouvelles variétés de blé ont une moins bonne valeur nutritionnelle, provoquent plus de maladies cœliaques⁷ et d'intolérances au gluten.

En ce qui concerne la valeur nutritionnelle il faut, entre autres, tenir compte de la valeur calorique et de la valeur énergétique. La valeur calorique est essentiellement due à la teneur en amidon du blé et l'on ne note pas de différences significatives entre les variétés anciennes et les variétés modernes. La valeur énergétique, liée essentiellement à la teneur en protéines, n'a pas non plus diminué du fait de changement de variétés. Le facteur le plus important pour la teneur en protéines du blé est le niveau de fertilisation azotée. L'amélioration des plantes, en sélectionnant des variétés à « forte valeur boulangère », a aussi favorisé une forte teneur en protéines. Lorsque l'on parle de la perte de valeur alimentaire du blé, il y a souvent confusion entre le blé et le type de pain consommé, que ce soit du pain complet, du pain de mie ou du pain blanc. Il y a en effet des différences entre ces types de pain⁸.

En ce qui concerne les questions d'intolérances (au sens large) au gluten, il faut noter que c'est un sujet de plus en plus souvent mis en avant dans de nombreuses revues sur l'alimentation et par des industries agroalimentaires. L'intolérance au gluten, maladie cœliaque, concernerait quelques pourcents de Français, de 1 à 6 % selon les publications. Des informations ont circulé sur le fait que les nouvelles variétés provoqueraient plus d'intolérances au gluten que les variétés anciennes. Le débat porte sur deux cas différents : les anciennes espèces de blé et

7 La maladie cœliaque est une maladie auto-immune caractérisée par une atrophie villositaire (destruction de la paroi de l'intestin grêle). Cette maladie est une intolérance permanente à différentes fractions protéiques du gluten contenues dans plusieurs types de céréales tels que le blé, l'orge ou le seigle. Il en résulte une malabsorption de certains nutriments (vitamines, fer, calcium...), donc des carences alimentaires.

8 de la Fuente-Arrillaga et al. *BMC Public Health* 2014, 14 :1091

les anciennes et nouvelles variétés de blé de l'espèce la plus cultivée de nos jours, le *Triticum aestivum*.

Deux études récentes comparent les espèces anciennes, connues sous le nom d'épeautre et de petite épeautre, *Triticum dicoccum* et *Triticum monocum*⁹ pour l'épeautre et *Triticum turgidum*¹⁰ (connue sous le nom commercial de Kamut) pour la petite épeautre, à notre espèce moderne *Triticum aestivum*. Les conclusions de ces études indiquent qu'il n'est pas possible de conclure que les anciens blés sont supérieurs aux variétés modernes pour la réduction des risques de maladies chroniques.

Une étude, également récente¹¹, compare les variétés anciennes et récentes de notre blé « moderne ». Elle conclut que les variétés anciennes ne peuvent pas être considérées plus sûres pour les sujets qui sont génétiquement disposés à la maladie cœliaque. Les conditions de culture, avec une forte fertilisation azotée, peuvent provoquer une augmentation de la teneur en gluten. Mais il ne s'agit pas ici d'un phénomène variétal.

Conclusion

Il n'est donc pas démontré que les variétés modernes ont des qualités organoleptiques et nutritionnelles inférieures à celles des variétés anciennes ou qu'elles sont plus dangereuses pour la santé que ces dernières.

Les conditions de culture actuelles provoquent des augmentations de rendement qui peuvent parfois avoir un effet « diluant » sur la teneur en éléments nutritionnels de certaines récoltes. Ces différences sont cependant faibles et n'ont pas d'incidence significative sur la valeur alimentaire.

9 Dinu M., et al (2018) : Ancient wheat species and human health: Biochemical and clinical implications, *Journal of Nutritional Biochemistry* 52 (2018) 1-9

10 Shewry P.R., Do ancient types of wheat benefits compared with modern bread wheat? *Journal of cereals science* 79 (2018) 469-476.

11 Barbara Prandi et al (2017) : Peptides from gluten digestion : A comparison between old and modern wheat varieties, *Food Research International* 91 (2017) 92-102.

QUESTION 2

LES VARIÉTÉS ANCIENNES ÉTAIENT-ELLES PLUS « RUSTIQUES » QUE LES VARIÉTÉS MODERNES ? CES DERNIÈRES NÉCESSITENT-ELLES LA STANDARDISATION DES SOLS ET SERAIENT-ELLES UN FREIN À LA DÉSINTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE ?

On entend par variété rustique une variété robuste, qui demande peu de soins et qui s'accommode de climats et de terrains très divers. Une idée fortement répandue aujourd'hui est que les variétés anciennes, dites aussi variétés de pays et variétés paysannes¹² sont plus rustiques que les variétés modernes. Cette idée que les variétés anciennes étaient plus adaptées que les variétés modernes à des conditions de culture plus contraignantes de fertilité des sols, de protection phytosanitaire et de variations climatiques est ancienne et a fait l'objet de nombreuses expérimentations.

Dès 1981 une étude de *Grignac et al*¹³ portant sur les variétés de blé en France est présentée à l'Académie d'agriculture. Cette présentation indique :

« Ces anciennes variétés font l'objet de nombreuses affirmations élogieuses. Parmi les idées reçues, ces variétés auraient une capacité d'adaptation presque parfaite aux conditions de l'environnement et aux techniques culturales peu évoluées, ce qui leur permettrait d'obtenir des rendements peu fluctuants d'une année à l'autre. Leur « rusticité » remarquable et leur tolérance aux maladies assureraient un rendement correct malgré l'absence de traitement pesticides et de fertilisation [...]. À l'opposé, les variétés modernes auraient une productivité élevée, mais possèderaient une faible capacité d'adaptation aux conditions de milieu et nécessiteraient des techniques culturales intensives ».

Ainsi que ces auteurs l'expliquent, ces affirmations *« ne semblent basées sur aucune étude*

12 Ces termes de variétés paysannes renvoient au concept de semences paysannes très répandu aujourd'hui.

13 Grignac P, Poux J, Tomas A 1981: Comparaisons de variétés anciennes et modernes de blé tendre à divers niveaux d'intensification dans un environnement méditerranéen C.R. Acad. Agric. Fr. 67: 1434-1453.

sérieuse », ils ont comparé quelques variétés anciennes dites « blé de pays » à des variétés « modernes » sur une période de sept campagnes agricoles, de 1974 à 1980. La comparaison de ces variétés à des niveaux différents d'intensification et dans une plage importante de conditions climatiques ne met en évidence aucune « rusticité » particulière des variétés anciennes.

Le débat sur la notion de « variété de pays » qui a suivi cette présentation de la note de Grignac est particulièrement intéressant. Jean Bustarret, généticien et directeur général de l'Inra de 1964 à 1972, indique que l'on peut faire des réserves sur le terme de « blé de pays » (on dirait actuellement « variété paysanne ») en prenant pour exemple les blés de la vallée de la Garonne qui, vers 1850, était le grenier de la France grâce à des variétés que l'on disait être de pays et qui, en réalité, avaient été probablement introduites à partir de chargements venant d'Odessa. Les variétés dites « de pays » sont souvent originaires d'ailleurs, mais ont été cultivées pendant un temps plus ou moins long dans une même région. L'agriculteur est à la fois traditionnel et amateur de nouveautés. Il a donc toujours été à l'affût de variétés nouvelles et celles qui ont réussi sont devenues variétés « de pays ». La lecture complète de ce compte rendu donne de nombreux autres exemples intéressants. De nos jours, lorsque l'on parle de « variétés paysannes » ou de « semences paysannes », il s'agit très souvent de variétés introduites plus ou moins récemment et adoptées par les agriculteurs du fait de leur intérêt et ceci que l'on soit en Europe ou dans les pays tropicaux.

Au début des années 1990 un programme intitulé « Agriculture 2000 »¹⁴ réfléchissait à une évolution de l'agriculture vers des systèmes plus extensifs utilisant moins d'intrants. Il fut décidé de mettre en place deux essais comparant des anciennes variétés de blé et de maïs à différents niveaux d'intrants.

Pour le blé l'étude a comparé quatorze variétés de blé introduites entre 1946 et 1992, cultivées à deux niveaux d'azote et deux niveaux de fongicides en 1994 et 1995 en cinq lieux différents¹⁵. Les conclusions de cette étude très détaillée sont que « les variétés récentes sont en général plus stables et plus productives que les variétés plus anciennes, malgré la croyance commune contraire ».

Dans le même esprit de tendance à l'extensification que l'étude précédente, et au même moment, une étude sur le maïs a été menée. Douze variétés inscrites de 1950 à 1992 ont

14 Dont l'auteur était membre du comité scientifique.

15 [20] Brancourt-Hulmel M, Doussinault G, Lecomte C, Bérard B, Le Buanec B, Trottet M [2003]: Genetic improvement of Agronomic Traits of Winter Wheat Cultivars Released in France from 1946 to 1992. Crop Sci. 43:37-45 [2003].

LES VARIÉTÉS ANCIENNES ÉTAIENT-ELLES PLUS « RUSTIQUES » QUE LES VARIÉTÉS MODERNES ?
CES DERNIÈRES NÉCESSITENT-ELLES LA STANDARDISATION DES SOLS ET SERAIENT-ELLES UN FREIN À
LA DÉSINTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE ?

été testées pendant les campagnes de 1994 et de 1995 à différents niveaux de fertilisation et d'irrigation¹⁶. Les variétés anciennes étaient des hybrides quatre voies (quatre parents, proches de populations locales) et les plus récentes soit des hybrides trois voies (trois parents) ou des hybrides simples (deux parents). Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

« Si l'on définit la rusticité comme, d'une part, une aptitude à produire un rendement aussi élevé que possible avec des intrants réduits et, d'autre part, à valoriser au mieux à la fois les milieux riches et les milieux pauvres, les variétés modernes sont plus rustiques que les variétés anciennes. Ceci va à l'encontre de l'idée très répandue dans le grand public selon laquelle les variétés modernes très productives sont également très fragiles et ne peuvent exprimer leur potentiel que dans des milieux riches ».

Il serait possible de multiplier les exemples pour les grandes cultures dans de nombreux pays.¹⁷

Concernant la stabilité des rendements en fonction des conditions d'alimentation hydrique, une idée très répandue est que les variétés population¹⁸, ou variétés de pays qui sont des variétés cultivées traditionnelles, hétérogènes, constituées d'un ensemble d'individus aux génotypes variés sont plus stables que les variétés homogènes modernes, appelées variétés lignées. L'expérimentation menée sur l'orge par l'ICARDA¹⁹ (*International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*) est particulièrement intéressante dans un milieu où la stabilité du rendement est particulièrement importante malgré les fluctuations des précipitations annuelles. Les rendements de deux variétés locales traditionnelles, qui constituaient l'essentiel de la production en Syrie, Arabi Abiad (à grains blancs) et Arabi Aswad (à grains noirs) ont été comparés à des lignées qui en avaient été extraites. La première variété est commune dans les environnements un peu plus favorables, (250 à 400 mm de pluie par an) et la seconde est préférée dans des environnements plus rudes (< 250 mm). Les lignées ont été extraites et sélectionnées sur trois ans, de 1987/88 à 1989/90. Puis des comparaisons furent faites entre les deux variétés locales, des mélanges de lignées avec des nombres variables de composants (de 5 à 70) et des lignées seules de 1990/91 à 1994/95. Les résultats montrent que les résultats obtenus avec les mélanges des cinq meilleures lignées sont supérieurs à

16 Bauland Cyril, (1997): Progrès génétique et rusticité chez le maïs , rapport INRA Estrées-Mons, non publié.

17 Le Buanec B. (2004) Plant breeding and diversity in seeds dans *Proceedings of the First World Conference on Organic Seed*, ISBN 3-934055-38-9, pp51-54.

18 Une variété population, ou variété de pays ou variété de ferme, est une variété cultivée traditionnelle, hétérogène, constitué d'un ensemble d'individus aux génotypes variés, sélectionnés principalement par les agriculteurs eux-mêmes, dans leurs champs (Wikipédia).

19 ICARDA *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*: (1996). Annual report, pp29-33.

ceux obtenus avec des mélanges plus hétérogènes ou avec les variétés locales traditionnelles et suggèrent donc qu'un fort niveau d'hétérogénéité des variétés locales dites paysannes n'est pas nécessaire pour obtenir une bonne stabilité des rendements. De plus, au moins pour le groupe à grains noirs, le meilleur mélange n'a pas de clair avantage sur les lignées pures.

Contrairement aux grandes cultures, il y a peu d'essais sur la rusticité des plantes maraîchères. Il existe cependant deux exemples récents concernant la tomate qui, rappelons-le, est le deuxième légume le plus consommé au monde après la pomme de terre. Dans le journal de France 2 du 7 septembre 2015 un document intitulé *faire pousser des tomates sans eau, c'est possible* a été diffusé. Tout d'abord, cette affirmation ne peut être que fausse car n'importe quelle plante demande de 200 à 250 grammes d'eau par gramme de matière sèche produite. D'après l'émission, ce « miracle » était dû au fait que les variétés anciennes, habituées à pousser sans eau, avaient transmis cette capacité à leur descendance. La sélection massale²⁰ existe bien, mais l'évolution des caractères est très lente. Il ne faudrait pas oublier que l'irrigation a été mise au point dans les pays à faible pluviosité où, en fait, les plantes ne s'étaient pas habituées à vivre sans eau. N'oublions pas, ce n'est pas si loin ni dans le temps ni dans l'espace, Manon des sources ou Jean de Florette.

Le programme européen TRADITOM (2015-2018) a comparé la réponse au stress hydrique de soixante variétés de tomate, mais sans résultats permettant de discriminer les anciennes des modernes²¹.

Une ONG, FairPlanet, créée en 2011, a pour objectif d'aider les petits agriculteurs dans les pays en voie de développement. Elle a testé pendant trois à six ans dans trois conditions agroclimatiques d'Éthiopie cent dix variétés de tomates en comparant les variétés modernes avec la variété la plus cultivée traditionnellement. Dans tous les cas, les variétés modernes ont donné des résultats largement supérieures aux variétés cultivées traditionnellement²².

Conclusions

Les différentes expérimentations effectuées dans de nombreux pays montrent clairement

20 La sélection massale consiste à sélectionner dans une population de plantes celles qui semblent les meilleures et à les conserver pour les semis de l'année suivante. En poursuivant cette pratique sur de nombreuses générations il est possible d'obtenir certains progrès mais le processus est très long.

21 Mathilde Causse, Inrae Avignon, communication personnelle du 28/03/2019. La publication est en cours de finalisation.

22 Haran S., exposé *Bridging the seed gap*, Congrès ISF 2019, Nice, France.

LES VARIÉTÉS ANCIENNES ÉTAIENT-ELLES PLUS « RUSTIQUES » QUE LES VARIÉTÉS MODERNES ?

CES DERNIÈRES NÉCESSITENT-ELLES LA STANDARDISATION DES SOLS ET SERAIENT-ELLES UN FREIN À LA DÉSINTENSIFICATION DE L'AGRICULTURE ?

que les variétés modernes sont au moins aussi rustiques voir plus rustiques que les variétés anciennes et qu'elles ne sont pas un frein à la désintensification. En fait, l'obteneur de nouvelles variétés recherche l'amélioration prioritaire de certaines performances sans dégradation significative d'autres caractères d'intérêt.

QUESTION 3

**POURQUOI LES VARIÉTÉS DOIVENT-ELLES ÊTRE INSCRITES
AU CATALOGUE VARIÉTAL DES VARIÉTÉS ET LES SEMENCES
CERTIFIÉES AVANT COMMERCIALISATION ?
QUI EST EN CHARGE DE CES ACTIONS ?
COMMENT PEUT-ON CERTIFIER L'IDENTITÉ VARIÉTALE ALORS
QUE LES VARIÉTÉS ÉVOLUENT ?**

L'inscription au catalogue national des variétés

Il serait possible de répondre simplement : parce que c'est la loi. Mais la véritable question est : pourquoi le catalogue a-t-il été créé ?

En fait, le catalogue officiel a été créé au début des années 1930 dans les pays européens. En France, le *Catalogue des espèces et variétés de plantes cultivées* est créé en 1932 et géré par le Comité de contrôle des semences. L'objectif est d'éviter que différentes variétés soient vendues sous le même nom, ou qu'une même variété ait des appellations différentes. Le catalogue blé, créé en 1933, montre bien l'ampleur du problème. Lors de sa création 562 variétés furent répertoriées. Après analyse, en 1937, il n'en restait plus que 170 du fait de synonymie et/ou d'absence de distinction notable. Après nouvelle analyse le nombre était réduit à 40 en 1945, soit une chute de plus de 90 %²³.

En 1942, la gestion du catalogue est confiée au Comité permanent de la sélection (CTPS), commission administrative à caractère consultatif placée sous tutelle du ministre de l'agriculture. À partir des années 1960, outre l'objectif de description variétale connue sous le sigle DHS, voulant dire description, homogénéité et stabilité, l'inscription au catalogue remplit de nouveaux objectifs afin, entre autres, d'améliorer la productivité de l'agriculture française et d'assurer la sécurité alimentaire du pays. À cette fin, les variétés doivent subir le test de VAT (valeur agronomique et technologique) transformé en 2011 en VATE (valeur agronomique,

////////////////////////////////////
23 Les mêmes résultats furent obtenus en Allemagne en 1935.

technologique et environnementale). En France, ces tests sont effectués par le GEVES (Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences) qui est un groupement d'intérêt public, organisme officiel unique en France assurant l'expertise sur les nouvelles variétés végétales. À la suite des différents examens, le CTPS fait une proposition d'inscription au catalogue qui doit être confirmée par décret du ministre. Le coût d'inscription varie de 3 000 à 10 000 € en fonction des espèces et seules les variétés inscrites peuvent être commercialisées.

Les défenseurs de semences paysannes ont reproché au catalogue d'être trop restrictif et de demander des coûts d'inscription trop élevés mettant ainsi en danger la diversité génétique des plantes cultivées. Pour répondre à ces reproches, des catégories spéciales du catalogue ont été créées à partir de 2008 pour des variétés dites de conservation, cultivées dans des régions spécifiques, menacées d'érosion génétique et commercialisables dans la région d'origine. A été également établie une liste de variétés dites sans valeur intrinsèque pour la production commerciale, mais créées en vue de répondre à des conditions particulières de cultures et commercialisables en France. Leur coût d'inscription est beaucoup moindre, de 300 € par variété. Sous réserve d'accord sur l'intérêt de ces inscriptions, le coût est pris en charge par le Ministère ou par le GNIS (Groupement national interprofessionnel des semences et plants). Il a été ainsi tenu compte des demandes des défenseurs des semences paysannes.

Il faut noter que ces règles d'inscription au catalogue national sont conformes aux différentes directives européennes sur ce sujet.

La certification des semences

L'origine de la certification des semences est la loi du 1^{er} août 1905 sur les fraudes et les falsifications en matière de produits et de services. C'est une loi d'intérêt général dont le principe, pour les semences, a été précisé à partir des années 1950 et ensuite codifié par plusieurs lois françaises et des règlements européens. Au plan mondial, la certification des semences est harmonisée dans le cadre des systèmes de semences de l'OCDE.

Si l'on fait un peu d'histoire, un des pionniers de la certification des semences est le Canada dès 1904. Cette certification a été mise en place à la demande des agriculteurs qui voulaient s'assurer que la variété qu'ils achetaient était bien la *Red Fife*, première variété de blé sélectionnée et ayant obtenue une dénomination variétale dans ce pays.

Aujourd'hui, la certification couvre trois aspects répondant aux attentes de l'utilisateur :

- la certification variétale qui couvre l'identité et la pureté variétale. Cette certification est basée sur le contrôle de la filiation des semences, les règles concernant les parcelles de multiplication et les inspections en culture ;
- la **certification technologique** des semences qui regroupe la pureté spécifique de la semence c'est-à-dire l'absence quasi-totale d'impuretés comme la terre, les débris végétaux, les grains cassés ou les semences d'adventices. Elle assure aussi un taux minimal de germination, par exemple 92 % pour le blé. L'absence de semence d'adventices permet de faciliter le désherbage. Ces critères de qualité sont vérifiés par des analyses réalisées selon les règles internationales de l'ISTA, association internationale d'essais de semences ;
- la certification sanitaire c'est-à-dire la garantie d'absence ou de la présence au-dessous d'un seuil admissible de parasites transmissibles par les semences, tels que des virus ou des champignons. Cette certification est assurée par des inspections en culture et des analyses de laboratoire également selon les règles ISTA. La certification sanitaire est essentielle car les semences transmettent des maladies qui peuvent être très graves. Elle est importante au niveau national ainsi qu'au niveau international pour lequel les semences doivent respecter les normes de la Convention internationale pour la protection des plantes qui a adopté un standard spécifique pour les semences. Si l'on prend l'exemple du blé les semences peuvent transmettre la fusariose et la septoriose qui provoque des fontes de semis ou la carie et l'ergot dont la présence rend la récolte non commercialisable.

Cette certification est faite en France par le SOC, service officiel de contrôle et de certification des semences et plants, service technique chargé de la mission de service public, confiée au GNIS par l'État. Il conduit sa mission en application des règlements techniques du ministère chargé de l'agriculture. Ce service est dirigé par un fonctionnaire nommé par le ministère de l'agriculture et détaché auprès du GNIS. Les entreprises et laboratoires privés peuvent être accrédités pour la certification en suivant les règles du Comité français d'accréditation (Cofrac).

La question de la certification variétale a été posée : comment peut-on certifier l'identité variétale alors que les variétés évoluent ? Deux éléments permettent de répondre à cette question :

- comme nous l'avons vu, pour qu'une variété soit inscrite au catalogue, il faut qu'elle soit homogène. En fait, les textes indiquent que la variété doit être « suffisamment » homogène dans ses caractéristiques pertinentes. Il ne s'agit donc pas d'une homogénéité absolue ainsi que l'indique certains opposants à ce critère ;

- lorsque l'on dit qu'une variété évolue, cette évolution est due à des mutations. C'est le principe même de l'évolution du vivant. Il faut se rappeler que l'évolution due aux mutations naturelles est en général très lente et prend souvent des millénaires. Or, les variétés commercialisées, à de rares exceptions près, ont des durées de vie commerciale de dix à vingt ans. La probabilité qu'une variété évolue de façon significative durant une si courte période est quasiment nulle.

Une discussion en cours

Le Parlement européen a proposé dans le Règlement sur la production biologique 2018/848 l'introduction du concept de matériel hétérogène biologique qui serait un ensemble végétal d'un seul taxon botanique du rang le plus bas connu, présentant des caractéristiques phénotypiques communes, étant caractérisé par une grande diversité génétique et phénotypique. Ce n'est pas une variété au sens de la réglementation habituelle de l'Union européenne, ni un mélange de variétés. Ce matériel hétérogène biologique doit avoir été produit selon les règles de l'agriculture biologique et devra être notifié dans une liste de matériels hétérogènes biologiques autorisés à la commercialisation. Une loi française allant dans ce sens a été adoptée et publiée au Journal Officiel le 11 juin 2020, précisant que la vente ou les échanges des semences de ces « variétés » est limitée à des utilisateurs non professionnels n'en faisant pas d'exploitation commerciale. Ces semences doivent respecter les règles sanitaires, de qualité et de germination comme pour les semences certifiées. Le 23 juin 2020 la Commission européenne s'est opposée à cette mesure, estimant qu'elle n'était pas conforme aux directives européennes. Affaire à suivre donc.

QUESTION 4

COMMENT FONCTIONNE LA PROTECTION DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE ?

EST-IL POSSIBLE D'UTILISER DES SEMENCES DE FERME OU DE LES VENDRE ?

QUEL EST LE NIVEAU DES REDEVANCES ?

LES HYBRIDES F1 NE PROCURENT-ILS PAS UNE PROTECTION TECHNIQUE²⁴ ?

Protection de la propriété intellectuelle

Tout d'abord, il faut se poser la question : pourquoi est-il justifié de protéger la propriété intellectuelle dans le domaine de la création variétale ? Les entreprises semencières consacrent, selon les espèces de 10 à 15 % de leur chiffre d'affaire à la recherche, ce qui est un des plus hauts taux toutes industries confondues. Sur le plan mondial, cela représente de quatre à cinq milliards de dollars par an. La protection des résultats de la recherche est donc légitime. C'est ce que dit l'article 27 de la Déclaration universelle des droits de l'homme de 1948 qui garantit à chacun le « *droit à la protection des intérêts moraux et matériels découlant de toute production scientifique, littéraire ou artistique dont il est l'auteur* ». La première loi sur la protection des variétés végétales est le « *Plant Patent Act* » adopté aux États-Unis en 1930 à la suite de l'action d'un horticulteur de génie, Luther Burbank.

La protection de la propriété intellectuelle est une discipline complexe qui, plus est, varie d'un pays à l'autre. Nous présenterons ici la situation française²⁵ quasiment identique à celle des différents pays de l'Union européenne²⁶.

24 Ce texte est une présentation simplifiée de la législation et ne peut, en aucun cas, être utilisé comme une base juridique légale.

25 Les lecteurs intéressés par une approche globale peuvent consulter « Comment protéger les innovations végétales », Bernard Le Buanec et Agnès Ricroch dans le livre *Biotechnologies végétales Environnement, alimentation, santé*, pp. 42-58, Vuibert éditeur 2011.

26 Règlement (CE) n° 2100/94 du 27 juillet 1994 instituant le régime de la protection communautaire d'obtentions

En France, il n'est pas possible de protéger une variété végétale par brevet. La protection se fait par un certificat d'obtention végétale (COV) conforme à la Convention de l'Union pour la protection des obtentions végétales (UPOV)²⁷ de 1991. Le droit français est codifié aux articles 623-1 à 623-25 du code de la propriété intellectuelle.

Le COV peut être obtenu pour une variété nouvelle, c'est-à-dire une variété qui n'est pas déjà disponible au public du fait d'une divulgation antérieure (offre à la vente ou commercialisation) si :

- elle se différencie des variétés analogues déjà connues par un caractère important, précis et peu fluctuant, ou par plusieurs caractères dont la combinaison est de nature à lui donner la qualité de variété nouvelle ;
- elle est suffisamment homogène en fonction de sa structure génétique (lignée pure, hybride ou population) pour l'ensemble de ces caractères ;
- elle demeure stable, c'est-à-dire identique à sa définition initiale, à la fin de chaque cycle de multiplication²⁸ ;
- elle reçoit de l'obtenteur une dénomination variétale répondant à certains critères définis par la loi.

Le COV confère à son titulaire un droit exclusif à produire, à introduire sur le territoire, à vendre ou à offrir à la vente tout ou partie de la plante, ou tous éléments de reproduction ou de multiplication de la variété considérée et des variétés qui en sont issues par hybridation lorsque leur reproduction exige l'emploi répété de la variété initiale.

La durée de la protection prend effet à la date de demande de protection. Dans le cas général, elle est de 25 ans. Elle est fixée à 30 ans pour les arbres ainsi que pour les graminées et les légumineuses fourragères, les pommes de terre et les lignées endogames utilisées pour la production de variété hybrides.

La loi française prévoit deux exceptions au droit de l'obtenteur :

- l'utilisation d'une variété protégée comme source initiale de variation en vue d'obtenir une variété nouvelle ne portant pas atteinte au droit du titulaire du COV. C'est la disposition qui est connue sous les termes de « privilège de l'obtenteur »²⁹.

végétales.

27 L'UPOV a été créée en 1961 à l'initiative du gouvernement français.

28 Ces critères d'homogénéité et de stabilité sont les mêmes que pour l'inscription au catalogue et sont déterminés par le même organisme, le GEVES.

29 Il faut noter que ce privilège de l'obtenteur s'applique également aux variétés comprenant des éléments brevetés comme les OGM. Contrairement à ce qui est souvent dit, les OGM ne bloquent pas l'accès à la diversité

- le privilège de l'agriculteur permettant l'utilisation des semences de ferme, c'est-à-dire la partie de sa récolte qu'un agriculteur conserve pour ses semis de l'année suivante. Ce privilège s'applique à trente-quatre espèces, comprenant les principales espèces de grande culture, céréales, pommes de terre... Il ne s'applique pas aux espèces horticoles ni aux variétés hybrides.

Ceci nous amène au sujet suivant du titre général...

Est-il possible d'utiliser des semences de ferme ou de les vendre ?

À la question est-il possible de vendre des semences de ferme la réponse est non.

En ce qui concerne l'utilisation de semences de ferme la situation est plus complexe :

- le droit de protection ne s'applique pas aux actes accomplis à titre privé et à des fins non commerciales, ce qui comprend les jardiniers amateurs. Afin d'aider à clarifier la situation un organigramme³⁰ a été établi en 2019 pour une bonne définition de « à titre privé et à des fins non commerciales » car cela n'est pas toujours facile à expliquer et à comprendre ;
- s'il s'agit d'actes à des fins commerciales, le privilège de l'agriculteur concernant les trente-quatre espèces précitées se traduit par la possibilité d'utiliser des semences de ferme sous certaines conditions :
 - un petit agriculteur défini comme produisant moins de 92 tonnes de céréales ou travaillant une superficie équivalente à cette quantité sur la base du rendement moyen calculé pour sa région peut utiliser les semences de ferme sans avoir à payer aucun droit.
 - les autres agriculteurs doivent payer des redevances à un niveau « sensiblement inférieur » à celui des redevances sur des semences commerciales. En France, ce niveau a été fixé à 50 %. Du fait de la difficulté de percevoir ces redevances par l'obteneur de la variété protégée, des accords interprofessionnels ont été mis en place depuis 2001. Le dernier, datant de mars 2019 est intitulé *Contribution recherche et innovation variétale* (CRIV). Si l'on prend le cas du blé, cet accord prévoit qu'à la livraison à un organisme stockeur une retenue de 0,90 € par tonne soit faite sur la valeur de cette livraison. Les agriculteurs ayant utilisé des semences certifiées bénéficient d'un avoir de 5 € du quintal afin qu'ils n'aient pas à payer deux fois les redevances. L'argent collecté est ensuite redistribué en partie aux obtenteurs et en partie, pour un montant de 1,5 millions €, à un

génétique. Il le rend un peu plus difficile car la variété obtenue après croisement ne doit plus contenir l'élément breveté.

30 *Can the exchange of self-produced seed be allowed under UPOV 1991? Report and recommendations of the project options to interpret the notion of private and non-commercial use as included in Article 15.1.i of the UPOV 1991 Convention*, by OXFAM, PLANTUM and EUROSEEDS.

Fonds de soutien à l'obtention végétal (FSOV) qui a pour unique vocation le soutien et la promotion de programmes de recherche collectifs visant au développement d'outils pour la création de variétés de céréales performantes, adaptées à une agriculture durable et respectueuse de l'environnement. Il s'agit d'un accord gagnant-gagnant les agriculteurs bénéficiant des progrès faits en amélioration des plantes et pouvant utiliser sur leur exploitation des semences de ferme. Le niveau de redevances est de l'ordre de 10 % du prix de la semence certifiée. Seuls les producteurs faisant de l'autoconsommation ne participent pas à ce fonds, mais il y en a peu en France.

Finalement reste la question...

Les hybrides F1 ne procurent-ils pas une protection technique ?

Nous avons vu que les hybrides étaient exclus des variétés faisant l'objet du privilège de l'agriculteur. Utiliser des semences de ferme de ces hybrides est donc illégal. Ceci étant dit, une analyse technique est intéressante. Un hybride F1 est, nous l'avons vu, une variété issue de la première génération d'un croisement entre deux parents. Un hybride F2 est la descendance d'un hybride F1. La réutilisation en semence de la récolte de ces hybrides conduit aux constatations suivantes :

- dans le cas du maïs³¹ la perte relative de rendement en passant de la F1 à la F2 c'est-à-dire en utilisant la récolte de la F1 en semence de ferme l'année suivante est de l'ordre de 15 % à 30 % pour les hybrides simples et de 7 % à 15 % pour les hybrides doubles. De plus, la culture n'est pas homogène. Par contre, en moyenne, les F2 des meilleurs hybrides restent supérieurs à la moyenne des populations.
- dans le cas du blé la perte de rendement n'est que de quelques pour cent mais la culture est plus hétérogène et il y a donc des risques de manque d'uniformité de maturité à la récolte.

Même si cela est illégal, il est donc possible techniquement de ressemer des semences récoltées sur un hybride F1 protégé, mais les rendements seront sans doute moindres avec une récolte hétérogène, comme c'est d'ailleurs souvent le cas avec des populations locales. La protection technique existe, mais est faible.

Ce comportement des hybrides F1 ressemés n'est pas dû à une manipulation de ces semences par les grandes sociétés semencières, il est inhérent au concept même d'hybride.

////////////////////

31 D'après André Gallais, *Hétérosis et variétés hybrides en amélioration des plantes*, Quae ed, 2009.

QUESTION 5

DES SEMENCES STÉRILES ONT-ELLES ÉTÉ COMMERCIALISÉES ? QUID DU « TERMINATOR » ?

La réponse à cette question est simple : il n'y a jamais eu commercialisation de semences stériles. D'où vient donc cette rumeur propagée par beaucoup ?

Tout d'abord, il y a l'affirmation, par de nombreux défenseurs des semences paysannes, que les variétés hybrides F1 sont stériles. Ce point est bien illustré dans l'émission de Radio Courtoisie animée par Paul Deheuvels « *Le combat pour la liberté des semences* » du 10 avril 2015. Plusieurs des intervenants, dont Paul Deheuvels lui-même, statisticien membre de l'Académie des sciences, répètent cette affirmation. Or il n'en est rien, les variétés hybrides F1 ne sont pas stériles, mais leur descendance est une population plus ou moins hétérogène. (voir supra question 4, les cas du maïs et du blé, par exemple).

La deuxième source de cette rumeur est le « *Terminator* ». Qu'en est-il exactement ?

Les termes *Terminator* ou « *Suicide seeds* » sont les surnoms alarmistes donnés par des ONG environnementalistes à une technologie qui aurait permis de contrôler l'expression de gènes. Il s'agit d'un travail mené conjointement par un des grands sélectionneurs de coton, la compagnie Delta and Pine Land et le département de recherche agricole du ministère de l'agriculture des États-Unis³². Ce travail a fait l'objet d'un brevet intitulé « *Control of Plant gene expression* » octroyé en mars 1998, technologie connue sous le nom de GURT — *Gene utilization restriction technology*. Il avait deux objectifs, l'un de rendre stériles les semences d'une variété, technique connue sous le sigle VGURT (V pour variété), l'autre de contrôler l'expression d'un gène spécifique TGURT (T pour Trait, ou caractère) permettant de contrôler l'expression d'un gène associé à une caractéristique de la plante. Nous ne parlerons ici que du VGURT qui avait hérité du surnom *Terminator*.

////////////////////////////////////

32 En fait, de nombreuses entreprises semencières travaillèrent sur des technologies de ce type.

Les usages potentiels étaient les suivants :

- les semences de ces variétés modifiées auraient permis de réduire la propagation de re-pousses lors de la saison suivante, donc la dissémination d'OGM et la facilitation de la rotation des cultures dans une exploitation. Cette technologie aurait également supprimé les risques de germination sur pieds qui se développe parfois en céréales dans les climats chauds et humides. Elle aurait, enfin, facilité la coexistence entre cultures OGM et non OGM.
- de nombreux pays ne respectant pas les traités internationaux sur la protection des obtentions végétales cette technologie aurait enfin permis de faire respecter la propriété intellectuelle de l'obteneur. Ceci était particulièrement important pour la compagnie Delta and Pine Land, ses variétés de coton étant souvent cultivées en Chine où l'on connaît souvent des difficultés à faire respecter la protection de la propriété intellectuelle. Lors de la réunion annuelle de la conférence de recherche de l'Association américaine du commerce des semences de décembre 1999 le représentant de la recherche publique américaine insista particulièrement sur ce point.

L'invention fut officiellement présentée lors de la séance de l'Organe subsidiaire chargé de fournir des avis scientifiques techniques et technologiques de la convention sur la diversité biologique à Bratislava en 1998. Alors qu'elle n'était encore qu'à l'état de concept, elle fut immédiatement attaquée par les représentants des ONG écologistes.

Les débats se sont poursuivis et, en 2000, la convention sur la diversité biologique recommanda un moratoire *de facto* sur les tests au champ et la vente de ce type de semences, moratoire réaffirmé et renforcé en 2006.

En conclusion il n'y a jamais eu de commercialisation de semences stériles. Il est même vraisemblable que le concept théorique développé dans le brevet n'a jamais pu être confirmé en pratique³³.

33 L'auteur avait des relations régulières avec le directeur de la recherche de Delta and Pine Land, Harry Collins, qui lui avait indiqué que la recherche n'avait pas abouti.

QUESTION 6

POURQUOI ACHETER DES VARIÉTÉS NOUVELLES ? QUELS SONT LES PROGRÈS DUS À L'AMÉLIORATION DES PLANTES ?

De nombreuses publications ont traité ce sujet et nous renvoyons le lecteur intéressé par une analyse exhaustive aux deux ouvrages suivants : *Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées*, C.Doré, F. Varoquaux, coordinateurs (2006) 812 pages, Inra éditeur et *Histoire de la génétique et de l'amélioration des plantes*, A.Gallais (2018) 286 pages, Quae éditeur.

Ceci étant dit, voici quelques éléments de réponse.

Il y a quelques dix mille ans a commencé ce que nous appelons la révolution néolithique qui a été, probablement, une longue évolution plutôt qu'une révolution. Durant cette période, les hommes ont commencé à domestiquer les plantes puis à les sélectionner en conservant les caractères intéressants apparaissant lors de mutations. Ces modifications de variétés étaient très lentes (voir question 3). L'émergence de l'amélioration des plantes proprement dite est née de deux grandes découvertes : l'existence du sexe chez les végétaux permettant de contrôler les croisements et les lois génétiques permettant de comprendre l'hérédité et donc le choix des parents. Des progrès continus en biologie ont fait progresser les méthodes d'amélioration des plantes, les progrès les plus récents étant ceux des techniques que l'on connaît sous le nom d'édition du génome et dont l'Académie des technologies avait souligné l'intérêt dans un avis publié en 2016³⁴.

Quelques exemples montreront les résultats obtenus par l'amélioration des plantes.

34 <https://www.academie-technologies.fr/blog/categories/publications-de-l-academie/posts/avis-sur-la-reglementation-des-mutageneses-ciblees-en-amelioration-des-plantes>

L'amélioration du rendement

De 1850 à 1950, le rendement du blé en France n'a que légèrement progressé de 10 à 16 q/ha malgré la révolution agricole et l'utilisation des engrais. Ce rythme faible est attribué au manque de productivité des blés. Entre 1950 et 2000, il a progressé de 16 à 74 q/ha. L'amélioration génétique classique, par croisement de parents et sélection de la descendance, compte pour 50 % de cet accroissement³⁵ sans que la rusticité n'ait été affectée [cf. *supra*]. Les principales raisons de ce progrès sont une meilleure structure de la plante avec un meilleur rapport grain sur paille, une meilleure valorisation de l'azote et une meilleure résistance aux maladies³⁶.

De nombreux autres exemples pourraient être cités³⁷.

L'adaptation à de nouveaux environnements

Les mouvements de populations sur la planète se sont peu à peu accompagnés de l'adaptation de leurs cultures à de nouveaux environnements, mais, en général, ces adaptations ont été lentes. Ainsi, il a fallu de nombreux siècles pour adapter le riz aux régions nord du Japon³⁸. Étant donné les variations climatiques, les cultures auront à s'adapter rapidement à de nouveaux environnements. Il est possible de citer quelques exemples :

- l'adaptation du maïs au nord de l'Europe : le maïs a été introduit en Europe à la fin du XV^e siècle. Toutefois, la culture est restée très longtemps limitée aux régions situées au sud du quarante-cinquième parallèle aux étés assez chauds et humides, ceci jusqu'aux années 1960. Grâce aux travaux des sélectionneurs de l'Inra³⁹, il a été possible d'étendre la culture vers le nord, non seulement en France, mais aussi dans des pays comme la Belgique et la Hollande. En Belgique, en quarante ans les surfaces sont passées de quelques dizaines d'hectares à deux cent cinquante mille ;
- l'adaptation du colza en Australie est particulièrement intéressante. Dans ce pays la première récolte de colza a eu lieu en 1969, mais, en 1972, la maladie dite du pied noir due à *Leptosphaeria maculans* et la présence d'une adventice de la même famille que le colza,

35 Brancourt-Hulmel et al, article cité.

36 Darrozes G. 1997. Le progrès génétique sur le blé tendre en France. In: *La Lettre de SIGMA*, No. 10, March 1997, 4pp

37 Le Buanec B. (2004) Plant breeding and diversity in seeds, in *Proceedings of the first world seed conference on organic seed*, ISBN3-934055-38-9.

38 Kingsbury N, *Hybrid, The history & Science of plant breeding*, The university of Chicago Press. 2009

39 Cauderon A., Les maïs hybrides en France. Étude de la précocité. *Ann. Amélior. Plant.*, 8, 272-289

donc difficile à combattre, ont ravagé une industrie naissante. En dix ans des variétés résistantes au pieds noir ont été mises au point grâce à une collaboration entre les Australiens, les Japonais et les Français. En 1993, la première variété résistante à un herbicide permettant de lutter contre les adventices difficiles à éradiquer a été cultivée grâce à la collaboration avec le Canada. En vingt ans, le problème a été résolu et l'Australie est aujourd'hui un des premiers producteurs et exportateur d'huile de colza. Que ce serait-il passé si les Australiens avaient attendu les mutations naturelles en pratiquant la sélection massale ?

Le développement d'une nouvelle espèce, le triticale

Le triticale est un hybride entre le blé et le seigle. Quelques hybrides naturels entre ces deux espèces, pour la plupart stériles, ont été décrits à la fin du XIX^e siècle. Quel était l'intérêt de créer cette nouvelle espèce cultivable à grande échelle : associer la productivité du blé à la robustesse et à la résistance au froid du seigle. Grâce à des techniques « avancées », la polyploïdisation et la cytogénétique, un programme de création initié en 1958 par l'Inra a permis de commercialiser la première variété en 1979. Cette nouvelle espèce, représentant un gain de biodiversité, est cultivée aujourd'hui sur plus de deux millions d'hectares en Europe, la France étant le troisième producteur. Du fait de sa robustesse, elle est fortement utilisée en agriculture biologique.

L'amélioration de la qualité des produits

L'amélioration de la qualité des produits ou leur adaptation aux évolutions technologiques sont également des résultats de l'amélioration variétale. Par exemple, les variétés d'orge sont modifiées pour s'adapter à l'évolution des techniques de brasserie. De même il ne serait pas possible de faire du pain en utilisant les techniques modernes de panification avec les variétés anciennes (voir la première question sur les aspects organoleptique et santé). Il est vrai qu'en ce concerne le pain, certains préconisent le retour à l'ancienne, mais le pétrissage à la main pendant plusieurs heures ne permettrait sans doute pas de nourrir économiquement la population actuelle.

Le colza est de nouveau un exemple intéressant. Le colza est une très ancienne culture qui a connu un fort développement au début du XX^e siècle. Dans les années 1950 il a été montré que le colza avait deux points faibles importants : une forte teneur en acide érucique nuisible à la

santé et une forte teneur en glucosinolate posant des problèmes d'utilisation des tourteaux⁴⁰ en alimentation animale. En une vingtaine d'années, les recherches publiques française et canadienne ont développé des variétés pauvres en acide érucique et en glucosinolate qualifiée de variétés double zéro⁴¹. Plus récemment, d'autres modifications ont été apportées à la composition des acides gras du colza par l'emploi de plusieurs techniques : faible teneur en acide linoléique et forte teneur en acide oléique par mutations induites et sélection par marqueurs moléculaires et forte teneur en acide laurique par transgénèse, c'est-à-dire l'introduction d'un gène étranger dans le génome du colza permettant d'obtenir un organisme génétiquement modifié ou OGM. En moins de cinquante ans, l'amélioration des plantes a débouché sur une culture profondément modifiée permettant plusieurs utilisations humaines, animales et industrielles. Aujourd'hui le colza est cultivé sur 36 millions d'hectares dans le monde et l'huile de colza est la troisième huile alimentaire la plus consommée.

Plus généralement

Il s'agit là de quelques exemples historiques. Pour plus de détails, le lecteur est invité à se reporter au livre *L'agriculture face à ses défis techniques, l'apport des technologies*⁴², rapport d'un groupe de travail conjoint des Académies des technologies et d'agriculture de France, en particulier au chapitre « Apports de la génétique et de l'amélioration des plantes » pp 152-172.

Pour conclure

Il est possible de reprendre ici la conclusion d'André Gallais (op. cité) :

« ... le sélectionneur crée une variété pour répondre (ou anticiper) à une demande de l'agriculteur, de l'industriel qui transforme le produit récolté ou du consommateur, voire, au-delà, à une demande de la société pour des variétés permettant un meilleur respect de l'environnement. De plus l'agriculteur reste libre d'accepter ou refuser l'innovation variétale ».

////////////////////////////////////
 40 Les tourteaux sont les résidus solides de l'extraction de l'huile des graines ou des fruits oléagineux. Ce sont les coproduits de la trituration, procédé de fabrication de l'huile. Ils représentent généralement de 50 à 75 % de la masse des graines.

41 Cette culture est aussi connu sous le nom de Canola (Canada Oil Low Acid)

42 *L'agriculture face à ses défis techniques, l'apport des technologies*, Bernard Le Buanec (Dir), Presses des Mines éditeur 2019.

QUESTION 7

Y-A-T-IL EU PERTE DE DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE AU COURS DES CENT DERNIÈRES ANNÉES ?

La plus grande perte de diversité génétique pour l'agriculture a été la domestication, en particulier en ce qui concerne les espèces utilisées pour l'alimentation humaine. En effet sur plusieurs milliers d'espèces, seules cent cinquante sont encore couramment utilisées, et une douzaine seulement procure 80 % de l'alimentation végétale mondiale. À eux seuls le riz, le blé, le maïs couvrent de l'ordre de 50 % des besoins. Depuis de très nombreuses années, il y a un débat tant en France qu'internationalement sur la perte de diversité des variétés cultivées de ces principales espèces du fait des méthodes modernes de sélection.

L'affirmation fréquente d'une perte de diversité génétique au cours des cent dernières années est en général fondée sur la mesure du nombre de variétés disponibles pour les agriculteurs, mais est-ce un bon indicateur de diversité ? Une des difficultés du débat tient au fait que l'on utilise différents indicateurs. En effet, pour caractériser la diversité, les experts en sciences sociales utilisent le nombre de variétés, la proportion des surfaces plantées avec ces variétés et le taux de passage par les agriculteurs d'une variété à une autre. Les biologistes utilisent plutôt des indicateurs généalogiques, l'analyse de caractéristiques morphologiques et des indices de fréquence de gènes mesurées par des marqueurs moléculaires. Non seulement ces indicateurs mesurent des phénomènes différents mais, de plus, leurs relations sont souvent faibles. Nous passerons en revue ces différents indicateurs.

Le nombre de variétés

C'est souvent le critère qui est utilisé pour indiquer que le passage des variétés locales aux variétés améliorées a provoqué une forte baisse de la diversité génétique. Comme nous l'avons vu dans la question sur le catalogue officiel des variétés, ce critère concernant les variétés anciennes n'est pas pertinent du fait des synonymies et des homonymies. Il faut donc prendre le nombre de variétés comme marqueur de diversité génétique avec beaucoup de circonspection si l'on n'a pas d'analyse morphologique ou génétique de ces variétés.

Par contre, on peut attacher plus de crédit en termes de diversité au nombre de variétés « distinctes » inscrites de nos jours. Il y a, par exemple, 437 variétés de blé tendre d'hiver au catalogue français et 1 171 variétés de maïs. Rien qu'en 2016, 33 variétés de blé ont été inscrites au catalogue français. Il y a aujourd'hui près de 9 000 variétés concernant 250 espèces au catalogue français dont 300 variétés de plantes potagères pour circuits courts et amateurs. Sur le plan international, on observe la même tendance : la base variétale de l'OCDE comprend actuellement 49 000 variétés et le catalogue européen 21 000 variétés légumières et 28 000 variétés agricoles⁴³.

Si l'on utilise le nombre de variétés, il faut aussi, selon Donald Duvick⁴⁴, noter qu'aujourd'hui les agriculteurs ont au moins trois sources de diversité pour assurer la stabilité de leur production et de leurs revenus, à savoir la diversité dans le temps, la diversité en place et la diversité en réserve. La diversité dans le temps est illustrée par le changement séquentiel de variétés par l'agriculteur, la mise en marché régulière de nouvelles variétés par les sélectionneurs et la rotation des cultures. En France, la durée de vie moyenne des variétés d'espèces agricoles et potagères n'excède pas 15 ans⁴⁵. La diversité en place concerne pour une même culture la culture en mélange de différentes variétés ou la culture de variétés différentes sur les parcelles de l'exploitation. Enfin, la diversité en réserve correspond aux milliers de variétés expérimentales, au grand nombre de matériels très divers des pools de sélection et les banques de gènes *ex situ* et *in situ*.

En plus du nombre de variétés commercialisables, il faut également tenir compte de ce que l'on appelle les banques de gènes. Très précocement, les sélectionneurs ont été conscients de l'importance de conserver et de maintenir les ressources génétiques. Dès la fin des années 1920, le pionnier Vavilov crée la première « banque de gènes » à Saint-Petersbourg pour stocker des semences récoltées dans les centres de diversité des cultures. Au cours des années 1930, d'autres pays, notamment le Royaume-Uni, l'Allemagne, la Suède et les États-Unis d'Amérique, organisèrent un grand nombre d'expéditions de collecte dans ces centres de diversité, et le matériel recueilli fut mis à la disposition des sélectionneurs.

43 Communication personnelle de Virginie Bertoux, le 23 avril 2020.

44 Duvick D. *Genetic diversity and modern crop varieties*, UPOV-WIPO-WTO joint symposium, The Protection of Plant

45 Boulineau F., Leclerc C. (2013) Évolution des variétés au travers du catalogue officiel. *Le sélectionneur français*, 35-50.

Plantes génétiquement modifiées (PGM) et diversité génétique

Le génie génétique *stricto sensu*, développé dans les années 1970 sur les bactéries et appliqué avec succès aux plantes au début des années 1980, en permettant le transfert de gènes entre les êtres vivants est, *ipso facto*, un moyen d'accroître la diversité génétique des plantes cultivées. Cependant, en affectant les nouvelles variétés ainsi obtenues du nom de l'évènement de transformation, par exemple le maïs MON 810, certains ont pensé qu'il ne s'agissait que d'une seule et même variété et qu'il y avait donc réduction de la diversité génétique mise à disposition des agriculteurs. Or il n'en est rien. Si cette réduction peut exister au début de l'utilisation d'un évènement de transformation comme dans le cas de l'amélioration variétale classique, très vite de nombreuses variétés différentes sont mises sur le marché. Les exemples sont nombreux et nous en citerons trois : en France, dès 1998, début d'autorisation de cette PGM, il y avait six variétés différentes MON 810 au catalogue français et de nombreuses autres ont été proposées dans les années suivantes. Celles-ci ne furent cependant pas inscrites du fait du moratoire décrété par le gouvernement. En Catalogne, en 2016, sur 35 000 ha cultivés avec des PGM MON 810, les agriculteurs ont utilisés 87 variétés différentes. En Inde en 2017, pour environ 12 millions d'hectares de coton, il y avait 205 variétés MON 531 et 309 variétés MON 15985 de disponibles. L'idée parfois répandue que la transgénèse diminue la diversité des variétés cultivées n'est donc pas confirmée.

Les sélectionneurs eux-mêmes maintiennent des banques de gènes. Une enquête menée par l'Association internationale des sélectionneurs en 1996 montrait que 88 % des entreprises semencières consacraient en moyenne 5 % de leurs budgets de recherche au maintien des ressources génétiques, que ce soient des variétés obsolètes, des variétés de pays ou des espèces sauvages apparentées aux espèces cultivées, que 80 % participaient à des programmes nationaux et 31 % à des programmes internationaux. Aujourd'hui, l'on admet qu'il y a environ 6 millions d'échantillons des espèces agricoles les plus importantes dans les banques de gènes publiques et privées. Il n'y a certainement jamais eu une telle préservation des ressources génétiques au cours de l'histoire. Mais préserver les ressources génétiques ne suffit pas. Il faut encore que les sélectionneurs puissent y avoir accès pour leurs travaux de recherche et de créations variétales. La banque de gène de Svalbard illustre la démarche.

La banque de gène de Svalbard ou Svalbard Seed Vault

La banque génétique des pays nordiques stockait depuis 1984 des échantillons de semences dans une ancienne mine de charbon au Svalbard, région où la température naturelle de la mine, permettait de maintenir une température de l'ordre de moins 20 degrés en assurant une sécurité à l'abri d'incidents techniques éventuels. Les semences peuvent y être conservées vivantes plusieurs centaines d'années. L'ouverture des débats sur le Traité International sur les ressources génétiques pour l'agriculture et l'alimentation (TIRPAA) au milieu des années 1990, a fait apparaître l'importance de la conservation des ressources génétiques et la faiblesse structurale des banques de gènes dans certains pays. Au début des années 2000, la Norvège a proposé, forte de son expérience, de créer une banque de gènes disponible à tous au Svalbard pour assurer la pérennité des collections. Cette proposition, discutée au début des années 2000 au Comité sur la politique des ressources génétiques des centres internationaux de recherche en agriculture (dont l'auteur était membre), a d'abord reçu un accueil mitigé, car il fallait éviter des frictions avec la FAO. Finalement, le principe de la banque de gènes de Svalbard fut adopté et le « *Global Crop diversity Trust* » fut créé en 2006 par la FAO et *Bioversity International* pour gérer le projet. Les travaux furent essentiellement financés par le gouvernement norvégien et les installations furent inaugurées en 2008. En 2020, 1 057 151 échantillons de quelques 4 000 espèces y sont stockés. Il s'agit essentiellement de dupliquer pour les sauvegarder les échantillons de ressources génétiques d'autres organisations. Le bien-fondé du principe a été démontré car, par exemple, l'ICARDA (*International Center for Agricultural Research in the Dry Areas*) a ainsi pu récupérer ses ressources génétiques détruites lors des combats d'Alep en Syrie. Comme dans de nombreux cas lorsque des travaux d'importance sont effectués, des théories conspirationnistes voient le jour. Dans le cas présent, de nombreux articles ont développé l'idée, en soutenant une théorie du complot, qu'il s'agissait d'une initiative de Monsanto soutenue par Bill Gates afin de s'approprier les ressources génétiques mondiales, ce qui est bien évidemment infondé. Dans une courte intervention lors d'une présentation Les Ernest-Le Monde de 2014 (<https://.dailymotion.com/video/x218hbg>),

Pool de gènes, indicateurs généalogiques et évolution variétale

Dans le passé, la sélection était faite par les agriculteurs dans des pools de gènes limités à ceux qui étaient disponibles dans le village ou, au mieux, dans la région. Olivier de Serre (*Le théâtre d'agriculture et mesnage des champs — Second Lieu, chapitre IV « des semences »*) conseille déjà de changer de semences régulièrement :

« Prendre du blé de votre voisin pour semer, n'est le changement que j'entens, car ce seroit tous-jours en revenir là, que de semer comme du vostre propre : mais le faut envoyer quérir loin de vous, une ou deux journées, afin que la diversité de l'aer vous satisface en cest endroit. »

Cette situation a changé de façon drastique depuis le développement de l'amélioration des plantes modernes à la fin du XIX^e siècle, avec le développement de l'hybridation et, par exemple, la

commercialisation du premier blé hybride « Dattel⁴⁶ » en France. Les croisements, d'abord intraspécifiques ont ensuite été étendu aux espèces apparentées et, en allant à l'extrême, à tout le monde vivant grâce à la transgénèse.

Pour en revenir aux indicateurs généalogiques classiques, quelques exemples montrent bien l'évolution récente.

En France les sélectionneurs devaient donner l'information sur les parents des variétés qu'ils souhaitaient inscrire au catalogue national des variétés commercialisables. Le nombre de parents utilisés dans les programmes de sélection comparés au nombre de variétés inscrites a été relativement stable des années 1930 aux années 1960, mais s'est accru de façon significative dans les années 1970 et 1980. De plus le matériel « exotique » représentait moins de 30 % des parents en 1960 et presque 50 % dans les années 1980⁴⁷.

En 1995, un chercheur du CYMMIT a effectué une approche plus systématique de la diversité des blés en Inde et aux États-Unis, fondée sur la diversité des variétés au catalogue pour juger de la diversité des cultures dans le pays⁴⁸. La comparaison de la diversité pondérée calculée, tenant compte du coefficient de parenté des variétés inscrites et de la part de marché des variétés les plus cultivées, démontre, qu'en fait, le choix des agriculteurs a une très grande importance sur la diversité réellement utilisée, mais qu'il n'y a pas perte de diversité des variétés disponibles.

Une étude de l'évolution du pedigree d'hybrides de maïs largement cultivés dans le *Corn belt* des États-Unis des années 1930 aux années 1990 montre l'apparition régulière de nouveaux parents, 35 % dans les années 1940, 36 % dans les années 1960 et 20 % dans les années 1980 avec une augmentation des parents d'origine exotique et disparition de certains parents utilisés les années antérieures⁴⁹. Le coefficient de parenté est resté très bas jusqu'aux années 1960, de l'ordre de 0,05 % puis a cru pour atteindre 0,17 % dans les années 1990.

De nombreuses études montrent l'absence de perte de diversité généalogiques pour de

////////////////////////////////////

46 1874 par Henry de Vilmorin.

47 Simon M.(1999) Les variétés de blé tendre cultivées en France au cours du XX^e siècle et leurs origines génétiques. C.R. Acad. Agric. Fr. 85(8) :5-26.

48 Smale M. (1995). Ongoing research at CYMMIT: Understanding Wheat Genetic Diversity and international Flow of Genetic Resources. In :Part 1 of CYMMIT World Wheat Facts and Trends, Supplement, 1995. Mexico, D.F: CIMMYT, 40 pages.

49 Smith JSG, Duvick DN, Smith OS, Cooper M,Feng L [2004] : Changes in Pedigree Backgrounds of Pioneer Maize Hybrids Widely Grown from 1930 to 1999. *Crop Sci.*44:1935-1946

nombreuses espèces⁵⁰.

Marqueurs moléculaires et suivi de la diversité génétique

La biologie moléculaire a révolutionné l'approche que l'on avait de la sélection variétale. Dès les années 1980, les marqueurs moléculaires sont de plus en plus utilisés pour étudier la diversité génétique des variétés utilisées par les agriculteurs. Comme pour toutes les autres méthodes, les résultats doivent être analysés avec précaution, du fait de biais statistiques ou méthodologiques possibles. Les quelques exemples ci-dessous permettent de se rendre compte des résultats obtenus dans différentes situations.

Les variétés de la liste recommandée du Royaume-Uni, orge de printemps depuis 1920, blé d'hiver depuis 1930 et colza depuis 1973 ont été analysées par deux techniques (AFLP⁵¹ ou RFLP) ainsi que phénotypiquement⁵². Les conclusions sont :

« Les données de l'étude démontrent que l'amélioration moderne des plantes, le droit d'obtenteur et la liste recommandée n'ont conduit à aucun rétrécissement significatif du niveau général de diversité des cultures au Royaume-Uni au cours des 60 à 70 dernières années ».

Au cours des années 1970 il y a eu un rétrécissement de la diversité à la disposition des agriculteurs, ce qui peut être expliqué par des adaptations rapides aux changements dans les techniques culturales et les idéotypes variétaux⁵³ comme les blés à paille courte et le colza sans acide érucique. Cependant après un tel rétrécissement de la diversité, on assiste à une augmentation rapide par la mise à disposition de nouvelles variétés (ceci est cohérent avec ce que nous avons vu pour le blé en Inde et peut probablement être comparé à l'évolution constatée après un syndrome de domestication, à une autre échelle de temps).

Dans le cadre du projet Gediflux de l'Union européenne, l'évolution de la diversité de quatre

50 Pour plus de détails voir Le Buanec B, La diversité génétique en agriculture, in Idées reçues et agriculture, parole à la science, Presses des Mines ed, 2018, pp 169-186.

51 AFLP et RFLP : *Amplification Fragment Length Polymorphism*, Polymorphisme de longueur des fragments d'amplification, et *Restriction Fragment Length Polymorphism*, Polymorphisme de longueur de fragment de restriction. Se reporter au dossier GNIS-pédagogie : <http://www.gnis-pedagogie.org/biotechnologie-amelioration-marqueur-moleculaire.html>

52 Law (1998) : communication personnelle sur le rapport de la Commission européenne : The assesment and interpretation of divesrity at the molecular and phenotypics levels in past and present varieties of wheat, barley and oil seed rape.

53 Variétés de plant de culture sélectionnées pour leur capacité à profiter de manière optimale d'un environnement donné.

cultures majeures d'Europe, le blé, l'orge, le maïs et la pomme de terre au cours des cinquante dernières années a été analysée en utilisant divers marqueurs ADN⁵⁴. Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes :

« La diversité génétique de l'orge n'a pas changé de façon quantitative au cours de la période considérée avec plus de diversité trouvée aujourd'hui dans les variétés les plus commercialisées. De même la diversité génétique est plus grande dans les variétés de blé les plus commercialisées et, globalement, une augmentation de la diversité a été notée. Une augmentation initiale de la diversité a été notée pour le maïs en Allemagne, suivie par une diminution. La diversité génétique du maïs en France montre des variations qualitatives plutôt que quantitatives mais aucune diminution globale n'a été trouvée. Pour les pommes de terre aucune perte d'allèle n'a été observée et plusieurs marqueurs sont présents seulement dans les variétés mises en marché après 1970. Il n'y a pas eu d'érosion génétique au cours des soixante dernières années mais au contraire une légère augmentation de la diversité globale. Ceci peut être dû à l'introgression de caractères de résistance aux maladies provenant de variété sauvages ».

Ici encore, comme pour les critères généalogiques, de nombreux autres exemples montrant qu'il n'y a pas eu perte de diversité génétique peuvent être donnés.

L'analyse de la variation de la diversité génétique de 504 variétés d'orge cultivées en Europe au XX^e siècle⁵⁵, regroupées en quatre périodes de 30 ans (20 ans pour la dernière période) montre que si 24 des 159 allèles du premier groupe ont disparu dans le dernier groupe, 51 nouveaux allèles y ont été trouvés. Les résultats montrent que l'effort de sélection et les systèmes de mise à disposition des variétés n'ont pas provoqué de perte quantitative de diversité au cours des quatre périodes considérées dans le lot analysé.

Concernant la betterave à sucre, un programme dénommé AKER a été mis en place dans le cadre des investissements d'avenir pour la période 2011-2020. Le projet AKER propose d'élargir la base génétique des variétés actuelles grâce à la découverte de nouveaux allèles favorables. Il a donc débuté par une analyse génomique précise de l'ensemble de la section *Beta Vulgaris* du genre *Beta* dans laquelle la betterave à sucre (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris* convar. *vulgaris* var. *altissima*) est classée. 29 000 marqueurs SNP⁵⁶ ont été testés sur le secteur sauvage, les

54 Reeves et al, Changes over time in genetic diversity of four European crops- a report of the GEDIFLUX Framework 5 project, *Proceedings of the 17th EUCARPIA General congress*, 8-11 September 2004.

55 Malysheva-Otto L., Ganai MW., Law JR., Reeves JC., Roder MS. (2007). Temporal trends of genetic diversity in european barley cultivars. *Mol Breeding* 20:309-322.

56 SNP *Single Nucleotide Polymorphism* ou Polymorphisme nucléotidique ; permet de repérer la variation d'une seule paire de bases du génome entre individu d'une même espèce.

sorties variétales de la recherche publique américaine, le matériel de sélection disponible chez le sélectionneur partenaire du projet (Florimond Desprez) et les variétés élites des principaux sélectionneurs mondiaux cultivées actuellement. Les premiers résultats obtenus dans ce cadre montrent que quarante plantes suffisent à représenter la variabilité allélique totale de la section *Beta vulgaris*. De même quinze plantes permettent de conserver toute la variabilité complémentaire au sein du compartiment des betteraves à sucre cultivées⁵⁷.

Il est particulièrement remarquable d'observer que très peu d'allèles sont caractéristiques des betteraves sauvages, 44 SNP sur 29 000 testés, et que la diversité au sens richesse est bien présente dans le matériel de sélection et les élites. Les travaux intenses de sélection qui en deux siècles ont permis de passer d'une production de 700 kg de sucre à l'hectare à 15 t et à des teneurs en sucre de la betterave de 7 % à 18 % n'ont donc pas provoqué d'érosion de la diversité génétique des betteraves cultivées.

De nombreuses études sur des blés européens, américains et australiens ont été effectuées au cours des dernières années^{58 59 60}. Toutes ces études indiquent qu'il n'y a pas eu de perte significative de diversité au cours des périodes étudiées. Soixante-quinze variétés de blé de printemps du nord de l'Europe ayant fait l'objet d'un programme intense d'amélioration ont été analysées à l'aide de la technique des microsatellites⁶¹. Les résultats suggèrent que la diversité génétique des blés de printemps nordiques a été augmentée par l'amélioration des plantes entre 1900 et 1940, qu'il y a eu ensuite diminution de 1940 à 1960 et de nouveau augmentation à partir de 1960, toujours par le biais de l'amélioration des plantes. L'on note cependant au cours de ces périodes, la perte de certains allèles, compensée par l'introduction de nouveaux.

Pour terminer cette analyse sur l'évolution de la diversité génétique du blé, qui très généralement ne montre pas de diminution, il faut cependant noter une étude sur les blés

57 Bounan-Henry K., Desprez B. (2016). Des espèces sauvages à la sélection génomique : l'exemple de la betterave, *Le Sélectionneur Français*, 41-56.

58 Donini P., Law JR, Koebner RMD, Reeves JC (2005). The impact of breeding on genetic diversity and erosion in bread wheat. *Plant Genetic Resources* 3(3): 391-399

59 Huang X-Q, Wolf M, Ganai MW, Orford S, Foebner RMD, Roeder MS (2007). Did Modern Plant Breeding Lead to Genetic Erosion in European Winter Wheat Varieties? *Crop Sci.* 47: 343-349

60 White J, Law JR, MacKay I, Chalmers KJ, Smith JSC, Kilian A, Powelle W (2008) The genetic diversity of UK, US and Australian cultivars of *Triticum aestivum* measured by Dart markers and considered by genome. *Theor Appl Genet.* 116: 439-453

61 Christiansen MJ, Andersen SB, Ortiz R. (2002) Diversity changes in an intensively bred wheat germplasm during the 20th century. *Molecular breeding* 9: 1-11, 2002

de force⁶² de printemps canadiens⁶³ qui montre, en utilisant des marqueurs microsatellites, une perte de diversité entre 1845 et 2004, perte attribuée à l'amélioration des plantes. Les auteurs suggèrent que cette perte de diversité est due à une très forte pression de sélection, en particulier vers les aspects qualitatifs à la demande du marché, dans un matériel génétique étroit.

Un débat récent

En 2011 et 2012 une équipe de chercheurs a établi un nouvel indicateur intégratif pour évaluer la diversité génétique des cultures et l'a appliqué à la culture du blé en Eure-et-Loir de 1878 à 2006. Deux publications ont été faites^{1 2}. Contrairement à toutes les études précédentes les auteurs concluent que ce nouvel indicateur révèle une forte homogénéisation de la diversité génétique du blé tendre cultivé sur le territoire français au cours du XX^e siècle, surtout entre 1912 et la fin des années 1960. Ils indiquent cependant que leur étude ne démontre pas *stricto sensu* qu'une érosion de la biodiversité cultivée, au sens de perte d'allèles, est en cours. Ces résultats ont été repris dans la version du livre Bordas SVT de 2012³ indiquant « ainsi le nombre de variétés ne cesse d'augmenter mais la diversité génétique intra et inter variétale ne cesse au contraire de diminuer ». Le problème est qu'en fait, ainsi que cela a été montré par André Gallais et François Lefèvre dans une lettre acceptée par la revue ayant publié le document initial, l'utilisation de ce nouvel indicateur utilisé dans les deux études citées n'a pas de base scientifique solide et que son emploi conduit donc à des conclusions qui peuvent être erronées⁴.

1 Goffaux R, Goldringer I, Bonneuil C, Montalent P, Bonnin I (2011). Quels indicateurs pour suivre la diversité génétique des plantes cultivées? Le cas du blé tendre cultivé en France depuis un siècle. Rapport FRB, série expertise et synthèse, 2011, 44 pages.

2 Bonneuil C, Goffaux R, Bonnin I, Montalent P, Hamon C, Balfourier F, Goldringer I : A new integrative indicator to assess crop genetic diversity *Ecological Indicators* (2012) 280-289.

3 Editions Bordas. collection Claude Lizeaux et Denis Baude. SVT Terminale S, Programme 2012, p. 271.

4 Gallais A, Lefèvre F (2020) : A new integrative indicator to assess crop diversity ? About the publication of Bonneuil and al 2012, *Ecological Indicators* 23, 280-289.

Il y a peu d'études concernant les plantes maraîchères. L'on peut cependant en noter une sur la tomate⁶⁴ et une sur la laitue⁶⁵. Ces études montrent une augmentation de la diversité au cours des périodes considérées en particulier depuis 1970.

62 Blé améliorant ou de force, BAF, dont la teneur en protéines permet d'améliorer la force boulangère de la pâte à pain (Wikipedia)

63 Fu YB, YU JK, Gao LF, Jia JZ, Richards KW (2006) Impact of plant breeding on genetic diversity of the Canadian hard red spring wheat germplasm as revealed by EST-derived SSS markers. *Theor Appl Genet.* 112: 1239-1247

64 Shouten HJ, Tikunov W, YerkerkeW, Finkers R, Bai Y and VisserRGF (2009) Breeding Has Increased the Diversity of Cultivated Tomato in the Netherlands. *Front. Plant Sci.* 10 :1606 doi : 10.3389/fpls. 2019.01606

65 Van de Wouw M. van Treuren, R. van Hintum T, A historical analysis of diversity trends in French and Dutch lettuce cultivars, *Euphytica* (2013) 190:229-239 Doi 10.1007/s10681-0811-0.

En conclusion, il est possible de dire que de nombreuses études montrent qu'il n'y a pas eu de perte de diversité génétique au cours des cinquante dernières années du fait de l'amélioration des plantes. Il faut cependant encourager les agriculteurs à utiliser plusieurs variétés différentes sur les exploitations, c'est-à-dire améliorer la diversité en place telle que la définissait Donald Duvick (cf.*supra*).

QUESTION 8

QUEL EST L'IMPACT DES OGM SUR LA SANTÉ ?

De nombreux débats ont eu lieu sur les effets de l'alimentation utilisant des plantes transgéniques (OGM) sur la santé des consommateurs. Deux aspects sont à considérer : les OGM ont-ils un effet négatif sur la santé ou, *a contrario*, les OGM peuvent-ils avoir un effet positif ?

Les OGM ont-ils un effet négatif sur la santé ?

Beaucoup de choses ont été dites à ce sujet, de nombreuses études ont été publiées, et il n'est pas possible ici d'entrer dans les détails. L'on peut se reporter, entre autres, au document « *Évaluation de la sécurité sanitaire des OGM* » de Gérard Pascal⁶⁶, directeur de recherche honoraire de l'Inra et expert auprès de la commission de Bruxelles et de l'OMS. Les conclusions de ce document sont les suivantes :

« Aucune publication dont le protocole et/ou les résultats sont reconnus par la communauté scientifique n'a pu apporter la preuve d'un risque avéré des plantes génétiquement modifiées (PGM) objets d'un dépôt de dossier de demande d'autorisation de culture ou de mise sur le marché. Les évaluations réalisées permettent de conclure que ces PGM ne posent pas plus de problèmes sanitaires que les aliments courants auxquels on peut les comparer ».

Les instances d'évaluation d'un grand nombre de pays, aussi différents que la Nouvelle-Zélande, la Commission européenne, le Japon, le Canada, les États-Unis, pour n'en citer que quelques-uns, vont toutes dans le même sens.

Les principaux produits utilisés directement en alimentation humaine sont le maïs, en particulier en tant qu'aliment de base en Afrique du Sud et aux Philippines, sous forme de corn flakes très consommés aux États-Unis, et le maïs doux. Parmi les produits dérivés on peut

66 Pascal G, [2008] *Évaluation de la sécurité alimentaire des OGM*, Bio8100, Techniques de l'ingénieur.

noter, entre autres, la lécithine de soja, les huiles de colza, soja et coton, la fécule et les sirops de glucose de maïs. Des légumes ou des fruits comme la courgette, l'aubergine et la papaye sont également consommés. Aucun cas d'intoxication avéré lié à la consommation directe de ces PGM n'a été signalé au cours de ces vingt dernières années.

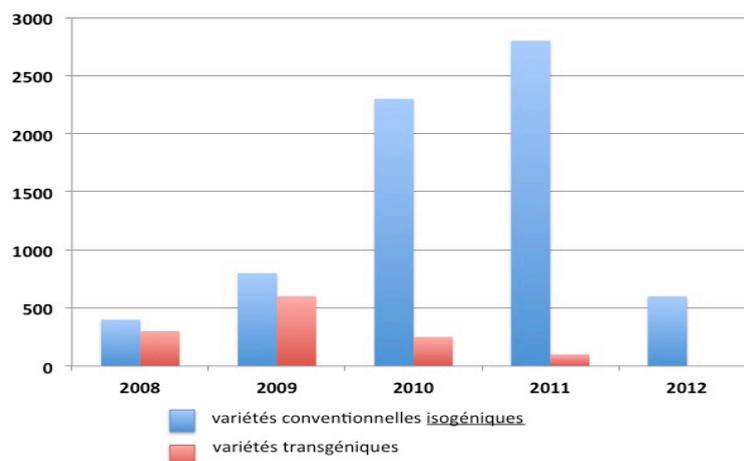
Une étude épidémiologique a été effectuée sur un cas suspect connu sous le nom StarLink™. Il s'agit d'un maïs transformé pour résister à un insecte par introduction d'un gène codant la protéine Cry9c qui avait été autorisé pour l'alimentation animale, mais accidentellement utilisé en alimentation humaine. Dès que l'information a été connue, plusieurs personnes se sont plaintes de maladies liées à l'ingestion d'aliments qui auraient pu être à base de ce maïs. La *Food and Drug Administration* américaine a aussitôt diligenté une lourde étude épidémiologique effectuée par le *Centre for disease control* (CDC) dont les conclusions⁶⁷ ont montré que le sérum des personnes ayant déclaré des symptômes ne contenait pas d'anticorps correspondant à la protéine incriminée et que le maïs StarLink™ n'était donc pas en cause. Il s'agissait, en fait, d'un effet nocebo.

Une autre approche est relative à l'alimentation animale. Un très grand nombre d'élevages de poulets, de porcs et de bovins dans différents pays du monde, utilisent des aliments à base de PGM durant toute la vie de l'animal. Non seulement il n'a pas été constaté d'accidents sanitaires sur les animaux ni de problèmes particuliers sur leur descendance, mais certains éleveurs demandent des maïs transgéniques car ils ont constaté un meilleur état de leur élevage avec ces produits⁶⁸.

Cela est vraisemblablement dû à des avantages sanitaires procurés par des maïs modifiés pour résister à la pyrale ou à la sésamie qui génèrent des taux de fumonisines, une mycotoxine cancérigène, nettement plus faibles que les variétés identiques non modifiées. De très nombreux résultats ont été publiés à ce sujet, en particulier aux États-Unis. Des résultats identiques ont été obtenus en France, mais les expérimentations n'ont pas pu être poursuivies du fait de l'interdiction rapide de la culture.

67 *Investigation of human health effects associated with potential exposure to genetically modified corn*. Center for Disease Control and Prevention, 2001. sur le site www.cdc.gov.

68 Chupeau Y. et Pagesse P., Communication lors du colloque Écologie d'avenir, 9 décembre 2001.



La figure ci-dessus indique les teneurs en fumonisines du maïs ($\mu\text{g}/\text{kg}$) en Catalogne⁶⁹.

Deux affaires relatives à la sécurité sanitaire des aliments transgéniques, que l'on ne peut pas passer sous silence, ont défrayé la chronique à quinze ans d'intervalle⁷⁰. Il s'agit des publications d'A. Pusztai en 1998 sur l'effet toxique du génie génétique et de G.E. Séralini indiquant qu'un maïs résistant au glyphosate induisait des tumeurs. Ces deux cas présentent le même profil : publication dans la presse grand public avant que la publication dans des revues spécialisées permettant aux confrères d'analyser les résultats. Dans les deux cas les instances scientifiques internationales ont conclu que les dispositifs expérimentaux ne permettaient pas de conclure. Concernant la publication de Séralini une étude européenne a été conduite sur une période de deux ans. Cette étude d'un coût de 15 millions d'euros, a confirmé que le maïs résistant au glyphosate et d'autres maïs transgéniques ne provoquaient pas de problèmes de santé.

Les OGM peuvent-ils avoir des effets positifs sur la santé ?

Trois types d'approche sont ici possibles : la suppression d'éléments défavorables à la santé, la modification de certains composants et particulièrement les acides gras, l'augmentation de la teneur en éléments favorables, dite biofortification.

69 Lopez A, Serra J, Capellades G, Betbesé JA. *Noves varietats de blat de moro per a gra. Dossier Tecnic DAAM 60* : 3-15, 2013.

70 Pour plus de détails voir *10 questions à Bernard Le Buanec sur les OGM*, Académie des technologies Edp sciences 2014.

La suppression d'éléments défavorables à la santé

Les plantes contiennent souvent des éléments défavorables à la santé et les travaux pour les éliminer sont anciens et bien antérieurs au génie génétique. Un cas typique datant d'avant la transgénèse, déjà cité, est celui du développement au Canada d'un colza à faible teneur en glucosinolate et en acide érucique ne posant plus de problèmes pour la santé.

En 2014, l'USDA a autorisé la culture d'une pomme de terre OGM produisant moins d'acrylamide, une substance toxique qui se forme durant la cuisson à haute température du fait de la réaction de Maillard⁷¹. Cette pomme de terre a été obtenue par l'inhibition de gènes précurseurs de l'asparagine qui est à l'origine de l'acrylamide lors de la montée en température.

Des travaux récents ont par ailleurs montré la possibilité de réduire, par génie génétique, la quantité d'arsenic dans les grains de riz⁷². Les teneurs en arsenic du riz ne posent pas en général de sérieux risques pour la santé, sauf dans quelques États des États-Unis où des limites ont été fixées pour les aliments pour bébés. De même, dans les pays asiatiques où la consommation journalière de riz est élevée les quantités d'arsenic ingérées peuvent être supérieures aux normes de sécurité sanitaire.

Enfin la transgénèse permet aussi de modifier la structure des protéines allergènes. Plusieurs programmes de recherche ont eu lieu dont ceux de l'université de Washington qui avait publié des résultats prometteurs en 2012⁷³. Bien que les transformants obtenus démontraient la possibilité de développer des variétés de blé consommables par les patients sensibles à la maladie cœliaque, ces recherches n'ont pas été poursuivies du fait de l'opposition générale à la culture des blés transgéniques.

La modification quantitative et qualitative des acides gras

La modification quantitative et qualitative des acides gras a été une des premières applications de la transgénèse et, dès 1996, Calgene a commercialisé un colza riche en acide laurique à des fins industrielles. De nombreux travaux ont été effectués depuis lors. Aujourd'hui, plusieurs entreprises et organismes publics de recherche développent des colzas et des sojas permettant d'enrichir la ration alimentaire en acides gras oméga-3, soit directement en faisant

71 La réaction de Maillard est une réaction complexe entre les acides aminés et les sucres de l'aliment chauffé. Elle produit des composés aromatiques et entraîne un brunissement de la surface de l'aliment (exemple : le pain grillé).

72 SongW-Y et al, A rice ABC transporter reduces arsenic accumulation of arsenic in the grain, *PNAS*, 2014, 111:15699-15704.

73 Wen S et al, Structural genes of wheat and barley 5-methyl-cytosine DNA glucosylase and their application for human health. *PNAS*, 2012, 109:20543-8

produire à la plante de l'acide eicosapentaénoïque (EPA) ou de l'acide docosahexaénoïque (DHA), soit indirectement en faisant produire à la plante un précurseur de l'EPA, l'acide stéaridonique (SDA). Une étude en double aveugle a montré que l'ingestion d'huile de soja enrichie en SDA provoquait une augmentation du niveau d'EPA dans les globules rouges⁷⁴. L'huile de soja enrichie en SDA a été commercialisée en Amérique du Nord en 2013 par Monsanto et DSM Nutritional Products. L'huile de soja représentant 30 % de l'huile consommée dans le monde, cette innovation devrait présenter un grand intérêt pour la santé humaine. Une autre approche est un soja avec un niveau d'acides gras mono-insaturés similaire à celui de l'huile d'olive. En Juin 2010, la FDA a annoncé l'autorisation de mise en marché de ce soja riche en acide oléique qui a été commercialisé en 2013 par Dupont et Perdue Agribusiness.

La biofortification

La troisième voie par laquelle la génétique peut avoir un effet important sur l'aspect santé des aliments est la biofortification, c'est-à-dire l'enrichissement des produits végétaux en vitamines et minéraux. La déficience en ces éléments dans de nombreux aliments de base, surtout dans les pays en développement, provoque souvent des maladies et est la cause de nombreux décès. Plusieurs programmes de biofortification en vitamine A, en vitamine C et en acide folique sont en cours sur plusieurs cultures soit par des méthodes de sélection assistée soit par transgénèse⁷⁵.

L'exemple emblématique du riz doré

Le riz doré est un riz qui a été génétiquement modifié pour produire et accumuler du beta-carotène, provitamine A dans la partie comestible du grain. La carence en vitamine A, connue pour être une cause de cécité et d'autres maladies affecte de nombreux enfants en particulier dans les populations pauvres d'Asie. Les travaux ont été initiés par Ingo Potrykus de l'Institut Fédéral de Technologie Suisse et Peter Beyer de l'université de Fribourg en Allemagne en 1982, grâce à un soutien de la Fondation Rockefeller. Ils ont abouti en 1999. Malgré l'intérêt important de ce nouveau riz son développement a été bloqué en particulier du fait d'actions de Greenpeace, dont des destructions de parcelles d'expérimentation aux Philippines. En 2014 l'un des fondateurs de cette ONG, Patrick Moore l'accuse, du fait de ce blocage de crime contre l'humanité, position soutenue par une lettre ouverte de cent huit Prix Nobel en 2008. Enfin, après de nombreuses années perdues, le riz doré a été autorisé à la consommation aux Philippines en décembre 2019, soit vingt ans après sa mise au point.

74 Lemke SL et al, Dietary intake of stearidonic acid-enriched soyabean oil increase the omega-3 index? *The American journal of clinical nutrition*, 2010, 92:766-775.

75 Voir <https://www.who.int/elena/titles/biofortification/en/>

Conclusion

Il n'y a pas aujourd'hui de cas avéré de toxicité alimentaire due aux OGM autorisés à la mise en culture. D'autre part, la transgénèse permet dans certains cas d'améliorer la qualité des aliments.

QUESTION 9

QUEL EST L'IMPACT DES OGM SUR L'UTILISATION DES PESTICIDES ?

A priori l'impact direct le plus « facilement » mesurable est la quantité totale de matière active utilisée via les produits de défense des cultures. Cependant, retenir comme critère de la quantité totale de produit ou de matière active utilisée à l'échelle d'un pays ou d'une région est loin d'être évident car de nombreux biais existent. En effet, de façon générale, on peut estimer que les agriculteurs ayant planté des PGM tolérantes à un herbicide ou résistantes à des insectes se situent dans les zones où les infestations sont les plus fortes. De ce fait, la comparaison PGM/conventionnel n'a pas beaucoup de sens car elle minimise les besoins des cultures conventionnelles et surestime les besoins des PGM. Dans le cas des herbicides, la situation est encore plus complexe car l'utilisation de PGM résistantes facilite la mise en œuvre d'itinéraires techniques sans labour dont le facteur limitant majeur est le désherbage. Ainsi la quantité globale d'herbicide peut avoir augmenté au niveau d'un pays, cela étant dû à une augmentation des cultures sans labour ou, plus simplement, à l'augmentation des surfaces de la culture considérée comme c'est le cas du soja en Amérique du Sud.

L'exemple suivant permet d'illustrer cette difficulté d'analyse : en Europe, la France est considérée, avec l'Espagne, comme le plus gros utilisateur de pesticides, soit environ 66 600 tonnes par an alors que Malte est un des plus petits utilisateurs. La France est souvent critiquée pour cette situation. Or, si l'on raisonne par hectare cultivé, en 2016, la France consommait 1,15 kg par ha et Malte 7,51. Ceci pose cependant une autre question : pourquoi une telle consommation à Malte ? Ceci est dû aux types de cultures de l'île, Malte étant un grand producteur de pomme de terre et de vignes, cultures grosses consommatrices de pesticides, dont la bouillie bordelaise, très pondéreuse. Nous voyons bien la prudence nécessaire pour interpréter certains chiffres. De plus, il faut aussi noter que les effets des diverses matières actives sur l'environnement ne sont pas les mêmes. Afin de mieux cerner ceux-ci des chercheurs de Cornell⁷⁶ ont établi un coefficient qu'ils ont appelé *Environmental Impact Quotient* (EIQ)

////////////////////////////////////

76 Kovach J. et al., A Method to Measure the Environmental Impacts of Pesticides. *New York's Food and Life Science Bulletin* n°139, 1992.

Ceci étant dit essayons d'y voir plus clair en séparant le cas des plantes résistantes à des insectes et celles tolérantes à des herbicides

Les plantes résistantes aux insectes (RI)

Commençons par un cas particulier de petite dimension⁷⁷ : les aubergines Bt c'est-à-dire des aubergines modifiées pour produire une toxine insecticide normalement produite par une bactérie, *Bacillus thuringiensis*. Cette bactérie, en l'état, est d'ailleurs l'insecticide le plus utilisé en agriculture biologique. Ces aubergines développées pour l'Inde, les Philippines et le Bangladesh ont été bloquées dans les deux premiers pays du fait d'actions de militants anti-OGM. La culture a débuté au Bangladesh pour la campagne de production 2013-2014 par vingt fermiers. En 2017-2018 elle était pratiquée par 27 012 fermiers. Il ressort de cette étude que l'utilisation des aubergines Bt permet une réduction de 61 % des insecticides utilisés. Cependant, la toxine produite par l'aubergine étant active seulement contre l'insecte foreur des tiges et des fruits, certains traitements sont encore nécessaires contre d'autres insectes moins dommageables à la culture. Cet aspect de la culture d'OGM Bt est bien connu et a été particulièrement bien étudié sur le coton⁷⁸.

Au plan mondial, les deux plus importantes espèces ayant des variétés RI sont le maïs et le coton. Pour le maïs, il s'agit de variétés résistantes aux insectes foreurs des tiges, pyrale et sésamie, et au ver des racines et, pour le coton, des variétés résistantes aux vers des bourgeons et de la capsule. Une méta-analyse⁷⁹ montre que l'utilisation de ces variétés a permis une réduction importante des insecticides, en particulier dans le cas du coton qui, non transgénique, subit des traitements intensifs. Depuis 1996, date des premières cultures, les gains de matière active ont été respectivement de 92 000 tonnes pour le maïs et de 288 000 tonnes pour le coton. En termes de coefficient d'impact sur l'environnement, le gain a été en moyenne de 58 % pour le maïs et de 32 % pour le coton.

77 Shelton A.M. et al (2018) : Bt Eggplant Project in Bangladesh: History, Present Status and Future Direction. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* doi.org/10.3389/fbioe.2018.00106

78 Bergé J-B, Ricroch A, La gestion de la durabilité des PGM résistantes à des insectes in *Biotechnologies végétales, Environnement, alimentation, santé*, Vuibert ed, 2011.

79 Brookes G et Barfoot P (2018), Environmental impacts of genetically modified (GM) crop use 1996-2016: impacts on pesticide use and carbon emissions, *GM Crops & Food*, 9:3, DOI: 10.1080/21645698.2018.1476792

Les plantes tolérantes aux herbicides (TH)

Le désherbage est une activité majeure de l'agriculture. Un désherbage mal effectué peut provoquer des pertes considérables de rendement en zone intertropicale, mais également en zone tempérée comme en France. Sans désherbage, en France, les pertes moyennes en blé sont de 26 q/ha (pour un rendement moyen de 75 q/ha) et en situation extrême peuvent atteindre 45 q/ha.

L'utilisation des herbicides est ancienne et la tolérance des plantes cultivées aux herbicides n'est pas un phénomène nouveau. Les désherbages dits de post-levée, c'est-à-dire lorsque la culture est déjà en développement, sont fréquents sur de nombreuses espèces. On utilise alors ce que l'on appelle des désherbants sélectifs qui détruisent les adventices et non la culture. La mauvaise utilisation de ces herbicides sélectifs provoque l'apparition d'adventice résistantes comme, par exemple, le ray-grass, le vulpin, les matricaires et les coquelicots dans les cultures de blé. Aux États-Unis les premières populations résistantes aux herbicides ont été citées en 1970. En France, de 1976 à 1984, des populations résistantes aux triazines⁸⁰, herbicides très utilisés à l'époque dans les cultures de maïs, ont été observées chez vingt-deux espèces et, dès 2005, des résistances au glyphosate⁸¹. Ces résistances sont donc bien antérieures à l'utilisation des PGM.

Mais revenons aux PGM TH. Leur différence avec les variétés non transgéniques est qu'elles sont résistantes à un herbicide total, le glyphosate dans la majorité des cas. Contrairement aux PGM RI, dont l'objectif est de se passer de pesticides, celui des PGM TH est de faciliter le désherbage en cours de culture. Quel a été l'impact de ces PGM sur l'utilisation des herbicides ?

Une analyse détaillée a été effectuée par Kniss aux États-Unis, pays ayant la plus grande surface en PGM⁸². Cette étude montre que l'utilisation des herbicides a augmenté au cours des vingt-cinq dernières années en maïs, coton (variétés transgéniques) et riz et blé (variétés non transgéniques). Le taux d'augmentation a été plus important pour le riz et le blé que pour le maïs et le coton. Les taux de toxicité pour le maïs et le coton ont nettement diminué du fait du remplacement de plusieurs désherbants par le glyphosate ; celui pour le riz a également diminué ; en revanche, il a augmenté pour le blé d'hiver. Il est possible de conclure de cette étude que

80 Herbicides aujourd'hui interdits en Europe.

81 Gasquez J, [2015] : Résistances à des herbicides, *Les mots de l'agronomie*. https://loexplor.istex.fr/Wicri/Europe/France/InraMotsAgro/fr/index.php/Résistance_à_des_herbicides

82 Kniss A R, [2017] : Long-term trends in the intensity and relative toxicity of herbicide use, *Nature Communications* vol 8, article 14865.

le désherbage reste un problème majeur, mais que l'utilisation des PGM TH n'a pas aggravé la situation, au contraire. L'étude conduit également à mieux réfléchir le désherbage comme cela est indiqué dans l'ouvrage commun des Académies d'agriculture et des technologies sur les défis techniques de l'agriculture⁸³.

Mondialement, si l'on reprend l'analyse de Brookes et Barfoot déjà citée, les résultats diffèrent selon les pays et les cultures. Dans certains pays, il y a eu à la fois réduction des quantités d'herbicides utilisés en termes de matière active et des impacts négatifs sur l'environnement mesurés par l'indicateur EIQ. Dans d'autres pays, les quantités d'herbicides utilisés ont augmenté mais, même dans ce cas, l'indicateur EIQ a diminué. Si l'on prend l'exemple du soja, en quantité de produit il y a eu, à surface comparable, une augmentation de 1,1 % en Argentine, de 2,4 % au Brésil et de 6,1 % au Paraguay et une diminution de 2,7 % aux États-Unis, 8,4 % au Canada et de 7,6 % en Afrique du Sud pour ne citer que quelques pays. L'agrégation de tous les pays donne une augmentation de 0,4 %. En revanche, l'agrégation de tous les pays pour l'EIQ donne une diminution de 13,4 %. Ceci est dû au fait que l'impact sur l'environnement du principal herbicide utilisé pour les plantes transgéniques HT, le glyphosate, est plus faible que celui de la plupart des autres herbicides.

Certains chercheurs⁸⁴ ont critiqué les variétés tolérantes au glyphosate du fait que l'apparition d'adventices résistantes provoquait une augmentation de l'utilisation des herbicides. Ceci est exact dans certaines situations, mais, comme nous l'avons vu, l'apparition d'adventices résistantes n'est pas liée à la culture de plantes génétiquement modifiées, mais à de mauvaises pratiques agricoles. Comme l'indique Kniss (déjà cité) ce phénomène existe également pour les cultures non tolérantes aux herbicides. En fait c'est l'ensemble de la lutte contre les adventices qui est à revoir.

Conclusion

L'utilisation de variétés résistantes aux insectes a diminué de façon significative l'utilisation d'insecticides au niveau mondial. Le bilan concernant les variétés tolérantes aux herbicides est plus contrasté, dépendant des cultures et des pays. La raison de cette situation pour les variétés TH est dû en grande partie à l'apparition de mauvaises herbes résistantes, mais, nous

83 *L'agriculture face à ses défis techniques, l'apport des technologies*, Bernard Le Buanec (Dir.), Presses des Mines 2019, pp. 31-36.

84 Benbrook, C.M. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the US-the first sixteen years *Environ. Sci.* EUR 24, [2012] et Perry, E.D., et al [2016]: Genetically engineered crops in US maize and soya-bean. *Sci. Adv.* 2 e 1600850 [2016].

l'avons vu, ceci est un problème général quelles que soient les variétés, TH ou non. Dans tous les cas, variétés RI et TH, l'impact sur l'environnement a été favorable.

QUESTION 10

LA COEXISTENCE DES CULTURES OGM ET NON OGM EST-ELLE POSSIBLE ?

Le problème posé par la coexistence entre différents types d'agriculture provient du risque de présence accidentelle d'une PGM dans des produits conventionnels ou biologiques. Le seuil de présence accidentelle fixé au niveau européen est d'ailleurs le même dans les deux cas, c'est-à-dire 0,9 %. Il faut insister sur le fait que ce seuil est réglementaire pour des raisons d'étiquetage et non pour des raisons sanitaires. Dans le cas d'un étiquetage positif « sans OGM » ce seuil tombe à 0,1 %, seuil qui, lui, n'est pas l'objet d'une réglementation européenne, mais existe seulement dans certains pays de l'Union, dont la France.

Le risque de présence accidentelle existe à tous les niveaux de la chaîne de production, depuis la semence jusqu'à la transformation par l'industrie agroalimentaire en passant par la culture au champ, la récolte et le stockage. Ces opérations de traçage sont bien connues et maîtrisées et ne s'appliquent bien évidemment pas qu'à la présence accidentelle d'OGM.

Lorsque l'on parle de coexistence d'OGM et de non OGM, l'on pense en général à la production agricole. En France, aujourd'hui, la culture de PGM étant interdite, les aspects à prendre en compte sont les aspects industriels, les risques pouvant venir des importations.

De nombreux pays pratiquent à la fois l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle avec ou sans PGM ce qui montre que la coexistence est possible, mais cela peut se passer dans des régions différentes de chacun des pays. Pour permettre la coexistence à des échelles réduites, la question qui se pose est, pour les plantes à fécondation croisée⁸⁵, de maîtriser les flux de pollen⁸⁶. Les semenciers, pour assurer la pureté de leurs productions, ont étudié depuis longtemps ces questions de flux de pollen et ont trouvé des solutions pour l'ensemble

85 Une espèce à pollinisation croisée, ou allogame, comme par exemple le maïs, le seigle, la carotte et le chou, est une espèce ou la reproduction fait intervenir le pollen de plantes différentes, à l'opposé des espèces à autopolinisation ou autogames dont chaque plante se féconde elle-même comme, par exemple, le blé, le pois, le haricot et la tomate.

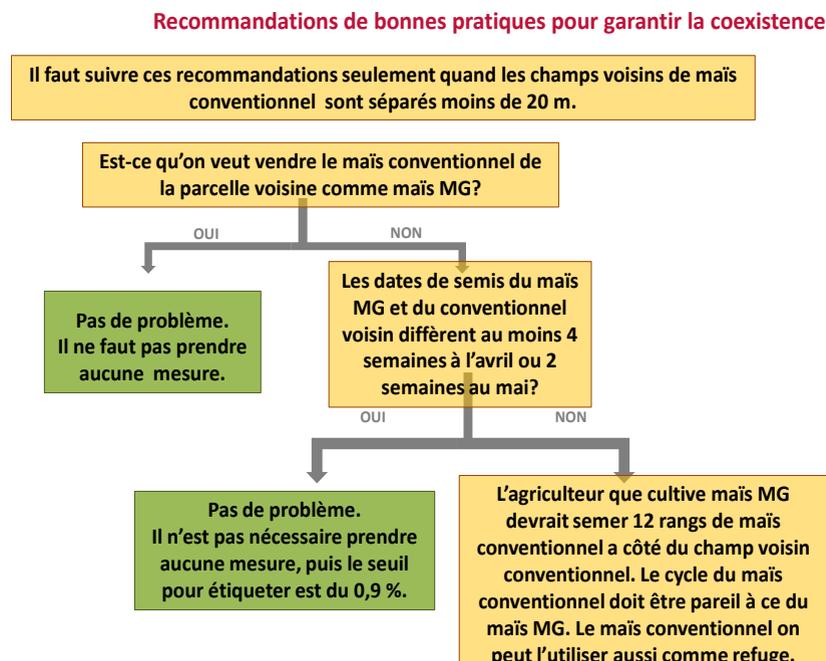
86 La question de difficulté de coexistence ne se pose donc pas pour les plantes autogames.

des cultures. Un programme interdisciplinaire européen SIGMEA⁸⁷ (2004-2007) a analysé les flux de gènes et la faisabilité technique de la coexistence pour les principales cultures. Globalement, les résultats montrent que les risques sont gradués et que la coexistence est techniquement possible pour satisfaire le seuil de 0,9 %. Cela est plus difficile pour un seuil de 0,1 %.

Analysons comme modèle la situation du maïs, espèce à fécondation croisée et seule PGM autorisée à la culture en Europe où elle est pratiquée en Espagne et, dans une moindre mesure, au Portugal.

De nombreuses études montrent qu'à partir d'une distance comprise entre 25 et 50 mètres le taux de fécondation croisée est en général inférieur à 0,9 %. Cependant, la situation peut être variable en fonction de la topographie, de la présence ou non de haies et de la direction des vents dominants. Il faut donc étudier chaque situation au cas par cas.

Le cas de l'Espagne est intéressant car il implique un dialogue entre agriculteurs qui ont mis en place, avec l'aide de l'IRTA, l'institut de recherche agricole de Catalogne⁸⁸, une charte de bonne conduite :



87 www.resogm.org/IMG/pdf/INRA_-_resultats_SIGMEA_coexistence_cultures_OGM_et_non-OGM.pdf

88 Serra J., *Audition par la Commission Biotechnologies de l'Académie des technologies*, 14 février 2013.

Dans le cas de l'agriculture biologique, il est recommandé de semer avec décalage dans le temps des variétés de précocité différentes qui n'arriveront donc pas à floraison en même temps, évitant de la sorte tout risque de fécondation croisée.

Cet exemple montre que si les agriculteurs s'entendent et font preuve de bonne volonté, il est possible de résoudre les problèmes de coexistence entre PGM, culture conventionnelle ou biologique, même pour des espèces très allogames comme le maïs. Comme pour toutes les cultures, il est essentiel de s'assurer avant semis de la pureté spécifique des semences, d'où l'importance d'une certification efficace (voir question 3).

Nous pouvons conclure qu'en cas de bonne volonté la coexistence est tout à fait possible. C'est une approche identique à celle que pratiquent les producteurs de semences.

Le débat sur les semences et les variétés cultivées divise depuis plusieurs années différentes parties prenantes dans de nombreux pays et tout particulièrement en France. En fait, ces différents acteurs ont souvent des référentiels différents : le scientifique ou le technologue, le politique, le lanceur d'alerte, les médias, les professionnels de l'agriculture et de l'amélioration des plantes. Il y a de plus en plus d'émissions de radio et de télévision consacrées à ce sujet, émissions souvent très générales et sans débat contradictoire. Les variétés anciennes sont-elles plus rustiques que les variétés modernes, sont-elles meilleures au plan gustatif ou sanitaire ? Qu'en est-il de la protection de la propriété intellectuelle et de la certification ? Quel est l'impact des OGM, la coexistence OGM-non-OGM est-elle possible ?

L'ambition de ce « Dix questions » est d'éclairer le débat en mettant à la portée de tous nos concitoyens les données essentielles fondées sur des publications scientifiques. Servir de relais entre le monde scientifique et technique et la société civile est en effet un des rôles majeurs dévolus à l'Académie des technologies.

Bernard Le Buanec, agronome et biologiste végétal, est membre fondateur de l'Académie des technologies et membre de l'Académie d'agriculture de France. Il s'est occupé d'agronomie et d'amélioration des plantes. Il a publié de nombreux articles et participé à plusieurs livres sur le sujet au cours des trente dernières années.

Académie des technologies
Le Ponant
19. rue Leblanc
Bâtiment A
secretariat@academie-technologies.fr
www.academie-technologies.fr
ISBN : 979-10-97579-20-3
ISBN : 979-10-97579-22-7