

## La phytogénétique d'aujourd'hui et celle de demain : protéger et enrichir la biodiversité

Claude-André Saint-Pierre, Yves Demarly

La domestication des cultures a considérablement modifié le cours du long processus de l'évolution des végétaux. Cette révolution, issue de l'intervention de l'homme sur la nature, s'est déroulée au rythme d'environ une nouvelle culture par siècle. C'est dans la région du Croissant Fertile, au Proche-Orient, que les principales cultures domestiquées (blé, lin, vesce, lentille...) ont vu le jour. Depuis environ 10 000 ans, cette lente appropriation des ressources génétiques a transformé l'évolution naturelle des végétaux en une coévolution désormais soumise à l'intelligence humaine. Depuis environ un siècle, par une approche empirique, le phytogénéticien (en anglais : plant breeder) a pris la relève de la sélection empirique du paysan. Le phytogénéticien contemporain maintient et exploite la diversité interne de chaque espèce du règne végétal.

La découverte du code génétique par Watson et Crick en 1953, révolution comparable à celle des lois de Mendel, est aujourd'hui à l'origine de changements profonds des théories de la sélection. De multiples découvertes complètent l'ensemble des méthodes modernes qui vont permettre une production encore plus rapide de nouveaux cultivars plus performants et de meilleure valeur nutritionnelle. Dès maintenant, et encore plus demain, le

phytogénéticien fait éclater les barrières entre les espèces afin d'enrichir la biodiversité des végétaux.

### Les ressources végétales

#### Aujourd'hui

Partant de 240 000 espèces végétales, le nombre d'espèces qui a gardé une place importante en agriculture a été réduit à environ 130 au cours de la domestication par l'homme. Moins de 30 espèces servent à couvrir nos besoins énergétiques et à produire presque toutes les protéines végétales. De plus, le rythme de cet appauvrissement semble s'accélérer.

Le Bureau international des ressources phytogénétiques (*International plant gene resource institute*, IPIR) existe depuis une quarantaine d'années. Il a mis sur pied un réseau de conservation des collections internationales de semences et de plants des principales espèces cultivées. Plus de 100 000 lignées de blé sont conservées à Fort Collins et plus de 50 000 lignées d'orge le sont à Ottawa. Ailleurs, pour d'autres espèces (riz, pomme de terre, palmier, maïs...) la richesse entreposée est également impressionnante.

L'année dernière, une commission de la FAO sur la diversité s'est fixée comme objectif de conserver toute source de vie, tant animale que microbienne ou végétale. Les intentions de la FAO sont louables, mais le financement des collections pose des problèmes presque insurmontables.

Des efforts de recherche et une réflexion doivent se poursuivre afin que les principaux réservoirs de gènes ne soient pas détruits. L'avenir de la phytogénétique appliquée en dépend.

#### Demain

Les collections de semences deviendront sans doute des collections d'embryons ou de cellules cryopréservées dans des congélateurs. A la limite, ce sont les gènes eux-mêmes qui se retrouveront à la disposition du phytogénéticien.

En attendant, la conservation des espèces végétales dans des réserves naturelles semble être la meilleure solution. Le Plan Vert du gouvernement du Canada prévoit que 12 % de son territoire (9 976 000 km<sup>2</sup>) sera consacré aux réserves écologiques : il s'agit de deux fois la superficie de la France.

Les espèces présentes dans ces réserves sont faiblement apparentées aux espèces domestiquées et les hybridations inter-spécifiques deviennent essentielles à l'exploitation de cette diversité nouvelle. On pourra donc utiliser la diversité génétique de toutes les espèces dans la combinaison choisie. Certains résultats permettent même de penser que les gènes des micro-organismes et des animaux pourront servir à l'amélioration des végétaux.

Une recherche novatrice, axée sur la science de l'analyse de sommes colossales d'informations, permettra de classifier et de mieux structurer la diversité génétique. Elle sera appuyée par une stratégie d'hybridation inter-spécifique permettant d'enrichir le patrimoine héréditaire des végétaux.

C.-A. Saint-Pierre : Département de Phytologie, Université Laval, Québec, Canada G1K 7P4.

Y. Demarly : 35, bd de la République, 78000 Versailles, France.

## Les quatre types de cultivars

A ce sujet, la réalité confond à la fois les concepts et le temps. En effet, tout producteur agricole, horticole ou forestier débute sa culture aujourd'hui à partir de 4 types de structures génétiques :

— la variété population a une structure génétique complexe formée d'individus qui sont théoriquement tous différents. Les cultivars de luzerne sont de ce type. Leur force est la richesse de la diversité génétique et leur faiblesse leur manque d'uniformité ;

— la lignée fixée a une structure simple qui est formée d'individus tous semblables les uns par rapport aux autres et qui, étant homozygotes et autogames, donnent des descendants identiques entre eux. Un grand nombre de cultivars de céréales sont de ce type : ils sont uniformes et homogènes. Leur facilité de multiplication est un avantage pour le paysan mais elle peut entraîner des problèmes pour les industriels des semences ;

— l'hybride a également une structure génétique simple mais difficile à produire. L'industrie favorise cette structure puisqu'elle nécessite un renouvellement annuel de la semence. Elle a vu le jour à partir des célèbres hybrides de maïs qui offrent une vigueur maximale et un produit très uniforme ;

— le clone donne également un produit très uniforme et conforme à la structure génétique initiale. Le retour à la base génétique des parents de ces clones devient toutefois difficile. Des cépages de vigne ont ainsi été multipliés végétativement depuis des centaines d'années sans aucun retour au croisement initial.

Demain, la situation sera probablement la même. Nous entrevoyons peu de changements au niveau de la structure génétique des cultivars. Les 4 types de cultivars possèdent des forces et des faiblesses. Demain comme hier, les besoins de chaque culture favoriseront tantôt l'hybride, tantôt le clone. Ces structures génétiques permettent déjà toute introgression de gènes étrangers dans les espèces agricoles et forestières.

Certains craignent l'instabilité des cultivars produits en laboratoire lorsqu'ils

seront semés en pleine terre. Les tests, au cours de l'évaluation, ont éliminé la variabilité indésirable du passé ; au champ, ces tests seront adaptés et ils permettront d'éliminer les lignées instables. Nous nous permettons d'affirmer que la sélection de cultivars reposera sur des stratégies modernisées grâce au progrès de la génétique. Simultanément, la protection biologique ou légale [1] d'une structure génétique bien définie garantira la commercialisation du nouveau cultivar.

### Summary

#### Plant breeding today and tomorrow : preserving and enhancing biodiversity

C.-A. Saint-Pierre, Y. Demarly

*The present paper puts forward four criteria demarcating the differences and similarities between plant breeding (phyto-genetics) today and tomorrow : geared towards conservation in the former and biodiversity in the latter. A description of the state of current knowledge and its potential impact on plant gene resources is followed by an analysis of the four primary states of reproduction in cultivars used across the world. Genetic progress is examined in the light of seed-industry requirements. We believe a new genetic theory concentrating on the exploitation of inter-specific diversity will emerge from the strategic alliance between the know-how of today's botanist and tomorrow's plant breeder. Partnerships between university and industrial researchers should prove not only productive and stimulating, but also operate in a world where patent rights are a real factor. The plant breeder of tomorrow will develop a new code of ethics for industrial application based on a new economic order respecting human and environmental rights in both northern and southern hemispheres.*

*Cahiers Agricultures 1993 ; 2 : 207-10.*

## La théorique génétique

### Aujourd'hui

La variété population vise à combiner un maximum de vigueur hybride dans des individus tous différents. La sélection de masse d'individus ayant survécu à de fortes contraintes est très simple et très utile. Les individus recherchés doivent être soumis à des essais de descendance pour vérifier l'héritabilité de leurs performances et maximiser ainsi la fréquence des gènes favorables dans la variété population. La lignée fixée repose sur la loi des nombres et consiste bien souvent à tirer au hasard une combinaison gagnante. Alors que dans la sélection de masse on opère en éliminant certains individus dans des conditions définies de pression de sélection, avec la sélection de descendance unipares, on donne dès la deuxième génération une chance à chaque individu. Toutes ces méthodes permettent d'isoler de nouveaux génotypes homozygotes qui donneront des individus semblables entre eux et génétiquement stables. L'hybride combine les meilleurs éléments et les meilleures structures en un seul individu. La sélection récurrente et la sélection récurrente réciproque servent à incorporer dans une population les gènes désirables. Cette population plus riche permet d'isoler les lignées qui entreront dans la formation d'un hybride spécifique après des essais de descendance. Les aptitudes générales et spécifiques à la combinaison aident à choisir scientifiquement les lignées qui, une fois réunies, donnent un maximum de vigueur hybride.

Le clone, structure génétique statique, permet de conserver et de multiplier végétativement une combinaison génétique particulière.

La théorie génétique de Mendel a surtout contribué à la sélection intraspécifique des végétaux. Bien qu'incomplète et ayant peu évolué depuis quelques décennies, la génétique traditionnelle recèle encore un potentiel inexploité (figure 1).

### Demain

Nous présentons ici succinctement diverses méthodes susceptibles de pro-

poser une théorie nouvelle de la phytogénétique.

L'haploïdisation permet de régénérer une plante à partir d'un tissu haploïde (grain de pollen, sac embryonnaire) ; le doublement de sa garniture chromosomique redonne une structure polyloïde. Les chercheurs de Guelph [2], au Canada et de l'Université Paris-Sud [3], en France, ont contribué à la production de tels cultivars.

La fusion de protoplastes permet d'unir en une seule cellule le bagage génétique de deux espèces. Les cellules sexuelles ne sont désormais plus les seules à enrichir le patrimoine génétique. Au laboratoire du Dr Kao à Saskatoon, on réussit à fusionner presque toutes les espèces entre elles.

La voie sexuée a permis de produire des hybrides intergénériques. Par exemple, le blé et l'élyme des sables ont été croisés à l'université Laval. Le réservoir de gènes utiles à l'agriculture s'élargit constamment.

La découpe de gènes à l'aide des enzymes de restriction permet au biochimiste de répertorier et de séquencer l'ADN. Plusieurs laboratoires unissent leurs efforts afin de produire des cartes montrant l'emplacement précis des gènes sur les chromosomes. On peut étiqueter les gènes et les transporter d'une cellule à l'autre. On utilise déjà des bactéries et des « fusils » de laboratoire pour intégrer des gènes nouveaux dans une cellule végétale.

Le gène artificiel sera bientôt synthétisé en laboratoire et son créateur prétendra en être le propriétaire, comme Bayer est propriétaire de l'aspirine. Ce fait va générer un grand débat sur le droit de propriété intellectuelle et matérielle du patrimoine génétique [1]. La semence artificielle permettra de placer les gènes de toutes espèces dans un noyau, d'introduire ce noyau dans une cellule, de multiplier ces cellules et de les enrober de réserves nutritives (figure 2).

C'est dans les laboratoires des pays riches que cette révolution génétique a lieu. Les produits qu'elle génère risquent d'élargir l'écart entre les riches et les pauvres. Le besoin d'équipements lourds et de personnel compétent pose de nouveau les problèmes de transfert de connaissances et de mise sur pied de réseaux et de contrats de recherche.

## L'industrie des semences

### Aujourd'hui

La majorité des cultivars actuellement multipliés par les producteurs de semences et de plants provient d'une recherche qui a été financée surtout par les deniers publics.

Les compagnies de sélection privées, présentes en France depuis le début du siècle, n'ont diffusé de manière généralisée des cultivars de céréales autogames que depuis 50 ans. Le cultivar hybride de maïs, produit abondamment dans les années 1950 aux États-Unis, est maintenant distribué aux quatre coins du monde. Sa spécificité biologique, conférée par la formule hybride, permet une protection des investissements privés. Cette protection biologique naturelle des hybrides est actuellement complétée par une protection légale des lignées fixées, des variétés populations et également des clones.

L'impact de cette nouvelle forme de protection des investissements de recherche se fera de plus en plus sentir. Les répercussions de la protection des droits de propriété des cultivars, à la suite de la convention de Paris de 1961, demeurent très importantes. Le gouvernement du Canada a d'ailleurs voté, en 1990, une loi afin de se joindre au cortège des nombreux pays reconnaissant cette convention.

L'évaluation agronomique des critères génétiques d'adaptation au sol et au climat demeure inévitable. Aucune autre méthodologie n'a été inventée à ce jour. Le niveau de résistance à un pathogène permet de contrer de nombreuses maladies. Il s'agit en fait de résultats spectaculaires dans plusieurs cas.

La valeur alimentaire et la qualité industrielle d'un nouveau cultivar sont souvent médiocres. Ces paramètres résultent des interactions de nombreux gènes, leur amélioration est donc difficile. Les cultivars étalons de qualité, comme le blé Marquis, ne seront donc pas oubliés rapidement. Il faut souligner que l'usage généralisé de semences et de plants améliorés a assuré une progression du rendement de 0,5 % par an pour le blé depuis 50 ans.

### Demain

Malgré le développement de tests précoces en laboratoire et de méthodes de diagnostic de plus en plus sensibles, l'évaluation va aussi continuer de se faire de façon traditionnelle :

- agronomique au champ ;
- pathologique sous infection ;
- qualité en industrie.

Diverses simulations et des analyses variées laissent entrevoir des progrès quant à la classification des cultivars et à la mesure de la diversité globale du règne végétal.

La mécanisation et l'informatisation des réseaux d'évaluation permettront une analyse poussée des données à partir d'ordinateurs personnels. Ainsi, les producteurs agricoles pourront-ils disposer d'une information riche et circonstanciée.

Ces technologies permettront d'assurer un changement annuel des cultivars. Non seulement l'industriel cherche de nouveaux cultivars, mais le consommateur et l'écologiste les réclament. On réduira ainsi l'emploi de pesticides à l'aide de gènes de résistance aux maladies et aux insectes. On fixera l'azote de l'air chez des céréales devenues vivaces et résistantes à la sécheresse. Des cultivars possédant une meilleure valeur nutritionnelle assureront une alimentation saine de l'homme.

Les chercheurs de l'industrie des semences suivent de près les changements profonds de phytogénétique [4]. Le cultivar privé sera, dans de nombreuses espèces, le seul disponible dans plusieurs pays. La protection des droits de propriété intellectuelle et celle des produits modifieront le commerce des semences et des plants. Le gène de résistance à un parasite présent dans une espèce sauvage quelconque sera enregistré, sujet à propriété intellectuelle et transféré dans un cultivar commercial. Pour rester des acteurs efficaces, les universitaires devront accompagner les industriels dans cette quête du droit de propriété des gènes et des cultivars.

## Conclusion

Nous sommes actuellement dans une période de transition entre deux ères : celle de la phytogénétique traditionnelle, qui a permis d'exploiter la diversité génétique intra-spécifique, et celle

du génie génétique qui, par ses technologies transcendant la notion d'espèce, promet d'enrichir la biodiversité. La place du phytogénéticien de demain suscite de nouveaux espoirs pour réaliser des progrès rapides permettant la mise sur le marché d'une diversité nouvelle. Elle possède une énorme puissance de création de produits nouveaux qui résulteront de l'hybridation ou de la recombinaison inter-spécifique.

Certains annoncent la fin des investissements publics dans la production de cultivars. Le refus malheureux des États-Unis de signer l'entente portant sur la biodiversité, lors du sommet de Rio, est fondé sur le respect de la protection de la propriété intellectuelle. De nombreux problèmes de droit de propriété accompagneront la recherche de gènes des espèces indigènes et même des gènes artificiels.

L'évaluation du matériel génétique continuera de se faire sur le terrain. Ici, les progrès des simulations en laboratoire et des analyses des données piétinent. Le « test » du champ, celui du phytogénéticien comme celui du producteur, reste essentiel ; lui seul permet de mesurer correctement toutes les interactions des gènes avec le milieu. La phytogénétique intéresse de plus en plus les secteurs agro-industriels en aval, et elle réclamera demain un nouveau partenariat entre le chercheur, le producteur de semence et l'utilisateur

du nouveau cultivar. Elle permettra donc un retour écologique et elle sera aussi sûre que la phytogénétique d'aujourd'hui. Au fait, pourquoi n'affirmons-nous pas haut et fort que la phytogénétique a préservé et contribuera à sauvegarder l'environnement ? Une nouvelle alliance entre les chercheurs des diverses disciplines et les phytogénéticiens assurera un renouveau de la théorie génétique. Il est urgent qu'un partenariat entre botanistes et sélectionneurs émerge de cette réalité. Il est temps de montrer que la crainte de produire des monstres n'a aucun fondement et ne doit pas entraver une planification optimiste de l'avenir des ressources alimentaires de la planète. La phytogénétique de demain possède tous les outils permettant, tout en satisfaisant les besoins de l'humanité, de conserver et d'enrichir la biodiversité du règne végétal ■

### Références

1. *Intellectual Propriety Rights Associated With Plants*. American Society of Agronomy 1991 ; hors série 52 : 206 p.
2. Ho KM, Jones GE. Mingo Barley. *Revue canadienne de phytotechnie* 1979 ; 60 : 279-80.
3. Buysier J, De Henry Y, Lonnet P, Hertzog R, Hespela A. Florin : doubled haploid wheat variety developed by the anther culture method. *Plant Breed* 1987 ; 98 : 53-6.
4. *Plant Breeding and Sustainable Agriculture : Considerations for Objectives and Methods*. *Crop Science Society of America* 1991 ; hors série 18 : 39 p.

## Résumé

Nous proposons quatre critères permettant de délimiter les contrastes et de souligner les similitudes entre la phytogénétique d'aujourd'hui, axée sur la conservation, et celle de demain qui permettra d'enrichir la biodiversité. La description de l'état actuel des connaissances et de leur impact prévisible au niveau des ressources génétiques végétales est suivie d'une analyse des quatre structures de cultivars utilisés par les agriculteurs et forestiers du monde. Les fondements du progrès génétique sont confrontés aux besoins de l'industrie des semences. A notre avis, une nouvelle théorie génétique, axée sur l'exploitation de la diversité interspécifique, devrait émerger de l'alliance stratégique du savoir du phytologiste avec celui du phytogénéticien de demain. Le chercheur universitaire est invité à se lier au chercheur industriel dans un partenariat productif et stimulant conditionné par la réalité de la protection des droits de propriété intellectuelle. Ce nouveau phytogénéticien développera un code d'éthique des applications industrielles qui s'appuiera sur un nouvel ordre économique respectant les besoins et les droits de l'homme ainsi que l'environnement, tant au Nord qu'au Sud.

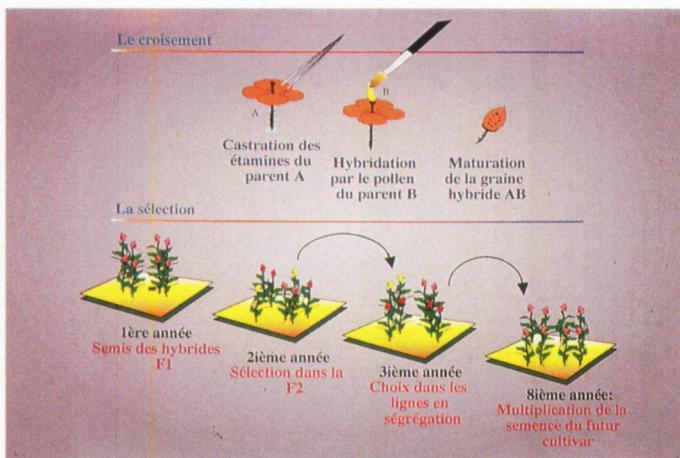


Figure 1. La phytogénétique d'aujourd'hui.

Figure 1. Plant breeding today.

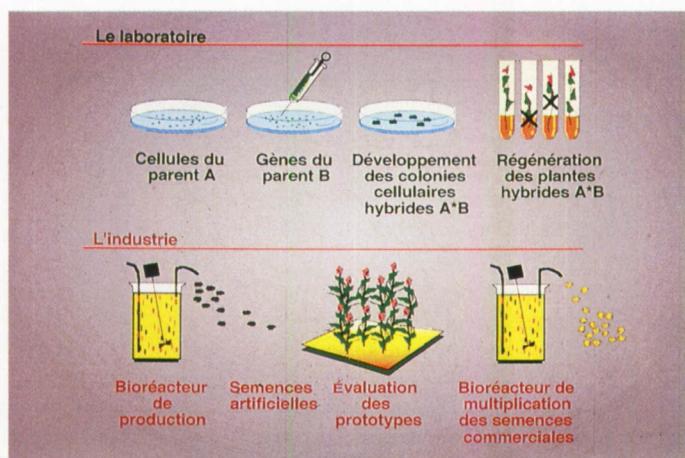


Figure 2. La phytogénétique de demain.

Figure 2. Plant breeding tomorrow.