

Chapitre 1

Pourquoi améliorer les plantes ?

L'homme a commencé à cultiver les plantes il y a 10 000 ans environ. Suite à de profonds changements climatiques qui ont eu lieu à cette époque, parce que ses activités de cueillette, chasse et pêche n'étaient plus suffisantes pour le nourrir, il est passé de l'état nomade à l'état sédentaire, et a commencé à récolter les produits issus des plantes qu'il avait semées. Pour les espèces choisies, l'alternance du semis et de la récolte pendant de nombreux cycles a alors entraîné leur adaptation à la culture (Gallais, 2013a). C'est ce que l'on appelle la domestication des plantes. Elle constitue une sélection, à la fois par les conditions de culture, par les conditions de récolte et par les choix de l'homme qui a retenu et ressemé les plantes les plus adaptées à ses goûts et ses besoins. C'est bien la première forme de sélection opérée par l'homme pour mieux se nourrir, même si elle n'était pas toujours consciente.

Depuis cette période, le but de l'agriculture a toujours été de produire suffisamment, tant sur le plan quantitatif que sur le plan qualitatif, afin de mieux nourrir l'homme. Dans les pays à agriculture développée, celle-ci s'est intensifiée après la deuxième guerre mondiale grâce à l'utilisation d'engrais azotés de synthèse, au développement de la mécanisation et au recours aux fongicides, insecticides et désherbants. En France, en particulier, cette intensification a été encouragée par la politique agricole, car il fallait assurer notre autosuffisance alimentaire. Nous verrons que l'objectif a été parfaitement atteint et que la France est même devenue exportatrice de productions agricoles. Cependant, cette intensification a eu un coût environnemental. Aujourd'hui, le but de l'agriculture est aussi de limiter les intrants (engrais, pesticides, eau) afin de mieux respecter l'environnement.

Le problème est que les populations végétales naturelles, ou celles résultant de la domestication, ne permettent pas de répondre à toutes ces exigences. L'amélioration génétique des plantes vise alors au développement de populations, appelées variétés, qui soient, selon les espèces et les situations, plus productives, plus résistantes aux maladies et aux insectes, valorisent mieux l'eau et l'azote, soient mieux adaptées aux milieux de culture ou conditions d'utilisation (incluant la mécanisation) et possèdent de meilleures qualités (nutritionnelle, technologique...). Il s'agit de réunir dans une même variété le maximum de caractères, et donc de gènes, favorables pour les objectifs recherchés.

► Différentes contributions de l'amélioration des plantes

Augmentation de la disponibilité alimentaire

L'agriculture doit être suffisamment productive afin de nourrir la population de la planète, qui ne cesse de croître. Globalement, au niveau mondial, la production agricole a heureusement augmenté un peu plus vite que le nombre de personnes à nourrir. Ainsi, selon les données de la FAO⁴, essentiellement grâce à l'augmentation des rendements, la production en calories disponibles pour l'alimentation humaine a été multipliée par 3 entre 1961 et 2011 alors que la population de la planète a été multipliée par 2,3 (passant de 3,1 à 7 milliards) (figure 1.1). Pour les trois céréales majeures réunies (blé, riz, maïs) la production totale en calories a même été multipliée par 3,6 (mais il y a des usages non alimentaires de cette production). Il en est résulté une augmentation du nombre de calories par personne apportées par ces céréales, et une diminution de l'importance des famines. Cependant, cette augmentation a été insuffisante, car si le pourcentage de personnes sous-alimentées en énergie a diminué, en valeur absolue ce n'est pas aussi net ; dans les années 1960, il y avait de l'ordre d'un milliard de personnes sous-alimentées en énergie, et aujourd'hui on estime ce nombre à encore 850 millions, ce qui est une diminution assez faible. De plus, maintenant, il semble y avoir un ralentissement dans la progression du nombre de calories disponibles par personne.

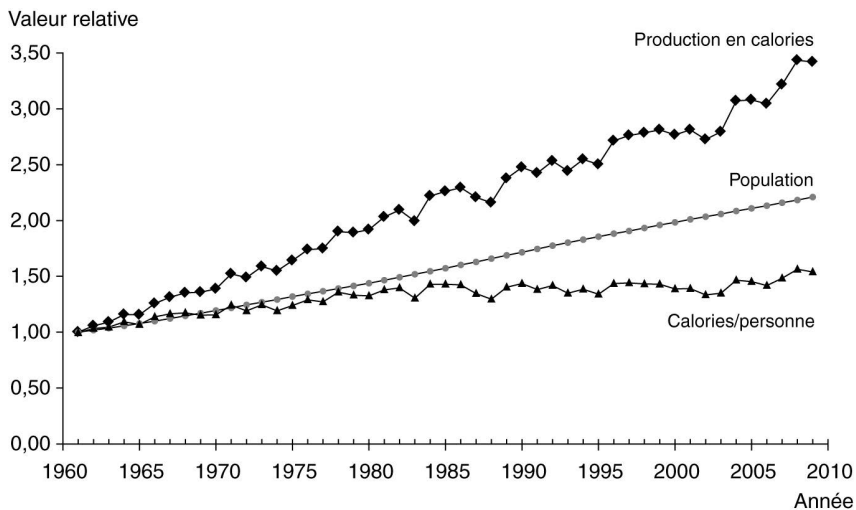


Figure 1.1. Pour l'ensemble des trois grandes céréales qui nourrissent le monde (blé, riz, maïs), évolution relative de la production en calories, comparée à l'évolution de la population mondiale.

Les courbes ont été établies d'après les données de la FAO (FAOstat) ; les valeurs des trois paramètres étudiés sont exprimées en proportion de leur valeur en 1961. Il ne s'agit pas de ce qui est disponible pour l'alimentation humaine, mais de la production totale de calories. Cela inclut donc aussi tous les usages autres, en particulier l'alimentation animale et maintenant les biocarburants.

4. Food and Agriculture Organization.

Pourtant, la population mondiale va encore fortement augmenter et passer de 7,2 milliards d'hommes en 2013 à 9,6 milliards en 2050. Pour satisfaire la demande de l'humanité, en tenant compte des changements des modes alimentaires (augmentation de la consommation de viande dans les pays qui n'en consomment que peu aujourd'hui), selon la FAO, il faut augmenter d'au moins 60 % la quantité des produits agricoles disponibles, entre 2005 et 2050⁵.

Compte tenu de l'abandon de terres agricoles pour perte de fertilité (érosion des sols, salinisation, sécheresse...), de l'aménagement des territoires et de la nécessité de préserver le plus possible les espaces naturels, tels que les forêts et les pâturages permanents, la FAO prévoit qu'entre 2005 et 2050 l'augmentation de la surface en terres arables, de suffisamment bonne qualité, sera limitée à environ 110 millions d'hectares (soit 7 % des surfaces cultivées dans les années 2005, ce qui est dans le prolongement de l'évolution passée) (Alexandratos et Bruinsma, 2012 ; Neveu, 2014). D'autres approches sont un peu plus optimistes et estiment que, hors les surfaces consacrées aux biocarburants, 350 à 400 millions d'hectares supplémentaires (20 à 25 % des surfaces cultivées actuelles) pourraient être cultivés (Paillard *et al.*, 2011). On reste encore assez loin des 930 millions d'hectares qui seraient nécessaires, en supposant qu'il n'y ait pas d'augmentation des rendements, pas de diminution des pertes de production, pas de changement des modes de consommation et pas d'augmentation de la disponibilité en calories par personne, qui pourtant est actuellement insuffisante.

De plus, ces raisonnements ne tiennent pas compte des conséquences du changement climatique, qui risque d'accélérer l'abandon de certaines surfaces ; cependant, celui-ci pourrait être plus ou moins compensé par la mise en culture de nouvelles surfaces. Enfin, ne sont évidemment pas considérés les facteurs géopolitiques, l'absence ou la défaillance des politiques agricoles dans les pays qui ont le plus besoin d'augmenter leur production, qui peuvent encore aggraver la situation.

Puisque la superficie cultivée semble ne pas pouvoir être augmentée de façon assez significative, une augmentation de 60 % de la disponibilité alimentaire passe donc par deux grandes voies complémentaires : d'une part, la limitation des pertes de production et des pertes post-récolte et, d'autre part, l'augmentation de la production par unité de surface cultivée.

Réduction des pertes de production

D'abord, il faut réduire fortement les pertes de production après la récolte ainsi que le gaspillage à la consommation, l'ensemble étant estimé à environ 30 % de la quantité récoltée. Ces pertes peuvent être diminuées, surtout celles survenant au cours du stockage dans les pays en développement, mais la solution ne relève guère de l'amélioration des plantes. Le gaspillage alimentaire dans les pays développés peut sans doute être réduit. L'amélioration des plantes peut y contribuer, et y contribue, par exemple grâce à des variétés de légumes-feuilles ou de légumes-racines dont la

5. La FAO avait d'abord annoncé un chiffre de 70 % puis a revu son calcul (Alexandratos et Bruinsma, 2012). Ses estimations supposent toutefois que la quantité de produits agricoles utilisés pour la production de biocarburants reste stable entre 2020 et 2050, ce qui n'est pas certain.

partie consommée est plus saine, des variétés de pomme de terre dont le tubercule est sain et ne noircit pas à la cuisson, des variétés produisant des fruits sans traces de maladies (ni dégâts d'insectes) et se conservant bien (p. 171), mais cette réduction relève avant tout d'un changement dans notre mode de vie.

Il y a aussi les pertes de potentiel de production dues aux agresseurs des cultures (insectes, maladies, adventices), qui en moyenne atteignent environ 45 %. La seule suppression de ces pertes de potentiel et des autres pertes évoquées ci-dessus résoudrait pratiquement le problème de la disponibilité alimentaire. La lutte contre les insectes et les maladies, qui provoquent environ 30 % des pertes de potentiel de production, peut relever de l'utilisation de pesticides, mais cela induit un risque de pollutions environnementales et pose le problème de l'accès à ces produits dans les pays en développement. Les pratiques culturales, en particulier les rotations, voire les associations d'espèces, peuvent contribuer à limiter les dégâts des agresseurs des cultures. Mais il y aura toujours des risques importants de dégâts dus aux insectes dans les zones favorables à leur développement, en particulier dans les zones tropicales ou intertropicales. La protection la plus sûre et la meilleure pour une agriculture durable est la résistance, ou la tolérance, d'origine génétique qui peut être apportée par l'amélioration des plantes.

Les accidents climatiques, tout comme les agresseurs des cultures, peuvent être aussi à l'origine de pertes de rendement ainsi qu'à des variations importantes de production d'une année à l'autre. Il faut donc des variétés adaptées aux basses températures, pour éviter les dégâts dus au froid mais aussi pour avoir une croissance suffisante à température fraîche, et également des variétés adaptées aux hautes températures et à la sécheresse. En France et ailleurs en Europe, ces caractères ont été améliorés chez de nombreuses plantes cultivées. Globalement, les variétés modernes sont mieux adaptées au milieu physique et à ses variations. Ainsi, grâce à une adaptation aux basses températures, la culture du maïs, plante d'origine tropicale, a pu se développer au nord de la Loire à partir des années 1955-1960. Quelles que soient les espèces de grande culture, on peut dire que les variétés modernes sont plus rustiques, c'est-à-dire mieux adaptées à des conditions défavorables (p. 203). Aujourd'hui, à cause du réchauffement climatique, il faut développer des variétés qui soient encore mieux adaptées au risque de températures élevées et plus tolérantes au stress hydrique (p. 147).

Augmentation du potentiel de production

L'augmentation de la disponibilité alimentaire doit aussi passer par une augmentation de la production par unité de surface. Elle peut être atteinte de deux façons complémentaires : par le développement de techniques culturales impliquant l'utilisation optimale des intrants, mais aussi par l'augmentation du potentiel génétique de production, qui correspond en fait à l'augmentation de l'efficacité d'utilisation des intrants par la plante. Cette augmentation du potentiel de production sera un élément favorable, même s'il y a des dégâts dus aux insectes, aux maladies ou à des accidents climatiques. Selon la FAO, au moins 80 % de l'augmentation de la disponibilité alimentaire nécessaire entre les années 2000 et 2050 devront venir, comme cela a déjà été le cas par le passé, de l'accroissement des rendements, par la combinaison

des voies agronomiques et génétiques. La voie génétique est une voie essentielle pour que l'on puisse continuer à produire plus sans nécessairement augmenter les intrants.

Grâce à une véritable dialectique entre l'amélioration des plantes et l'amélioration des techniques culturales, l'augmentation des rendements des plantes de grande culture en France a été spectaculaire de 1950 à 1990 : les rendements du blé ont été multipliés par quatre et ceux du maïs, par plus de quatre (figure 1.2). Une part importante de ce progrès est due à l'amélioration des plantes (entre 35 et 50 %, pour le blé, et jusqu'à 70 ou 80 %, pour le maïs, bien qu'il soit difficile de séparer les effets des différentes sources de progrès). L'objectif d'augmentation de la production, fixé après la deuxième guerre mondiale, a été parfaitement atteint en France. Cependant, aujourd'hui, le ralentissement dans la progression des rendements est très net, particulièrement en France pour le blé (figure 1.2), et s'observe aussi au niveau mondial. Sont en cause la réduction des intrants, ou une limite dans leur disponibilité, l'évolution de la fertilité des sols (en Asie, en particulier, on peut noter une détérioration de la fertilité des sols et l'accumulation de toxines dans les rizières de culture intensive), le changement climatique (Cassman *et al.*, 2010 ; Lobell *et al.*, 2011), et un progrès génétique de plus en plus coûteux à obtenir, car demandant des méthodes de plus en plus sophistiquées (Gallais *et al.*, 2010 et Gallais, 2012).

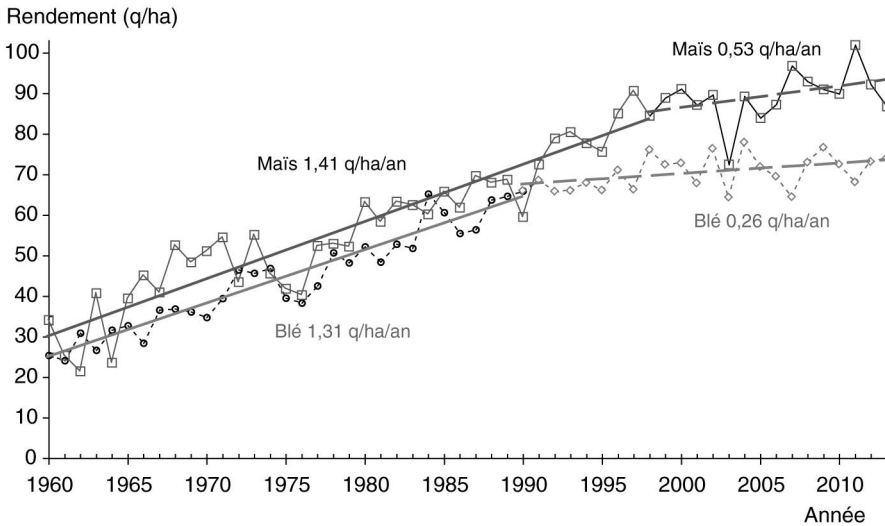


Figure 1.2. Évolution des rendements du blé tendre et du maïs, en France, depuis 1960.

Les rendements du blé semblent désormais plafonner (Gallais *et al.*, 2010) et ceux du maïs montrent une nette inflexion (Gallais, 2012). On peut remarquer deux phases, à savoir une progression, à une vitesse assez élevée, jusque dans les années 1990 pour le blé tendre et jusqu'en 2000 pour le maïs, puis un ralentissement.

Afin d'obtenir une amélioration génétique des plantes cultivées à une vitesse suffisamment élevée pour répondre à la demande, y compris au niveau mondial, le sélectionneur doit alors mettre en œuvre tous les outils et méthodes à sa disposition, y compris ceux issus de la génomique et des biotechnologies afin d'utiliser au mieux la variabilité génétique (chapitre 4).

Respect de l'environnement

En France, comme dans de nombreux pays développés, l'intensification de l'agriculture a eu un coût environnemental, en provoquant par exemple la pollution de certaines nappes phréatiques par des nitrates, voire par des pesticides, et une réduction de la biodiversité dans les agrosystèmes. Aujourd'hui, la préservation de l'environnement, notamment dans les pays à agriculture développée, passe par une meilleure utilisation des intrants comme les engrais et les pesticides, voire par leur réduction, par une bonne valorisation de l'eau, par des économies d'énergie et par l'utilisation de systèmes de culture préservant mieux la biodiversité, par le biais de la remise en place de haies et l'installation de bandes enherbées autour des parcelles, par exemple. L'amélioration génétique des plantes peut aussi contribuer à cette préservation de l'environnement.

Économies de pesticides

Pour diminuer l'impact environnemental de l'agriculture, il faut limiter l'utilisation de pesticides. En France, le plan Ecophyto 2018⁶ s'était donné comme objectif une réduction de 50 % des quantités utilisées en 2008, si possible avant 2018. En 2014, face aux difficultés rencontrées, cet objectif a été repoussé à 2025.

Cette réduction de l'usage des pesticides demande évidemment une optimisation de l'utilisation de tous les produits phytosanitaires, des fongicides et des insecticides en particulier, avec la mise en place de réseaux d'épidémiosurveillance pour ne traiter qu'en cas de besoin. Dans ce cadre, il faut souligner l'intérêt des rotations et des associations inter- et intraspécifiques. Mais, combinée à la mise en œuvre de ces bonnes pratiques culturales, l'amélioration des plantes, par la mise au point de variétés tolérantes ou résistantes aux maladies ou aux insectes, peut permettre de mieux atteindre l'objectif (chapitre 7). Le changement climatique va encore augmenter la pression des agresseurs et renforce la nécessité d'obtenir de telles variétés.

En France, et dans de nombreux autres pays à agriculture développée, la résistance aux maladies a toujours été un critère de sélection pris en considération, et des progrès importants ont été réalisés sur différentes espèces. Ainsi, pour le blé tendre en France, 30 % du progrès en rendement obtenu en l'absence de traitements fongicides sont dus à l'amélioration de la résistance aux maladies (figure 11.2, p. 204). Chez les fruits et les légumes, de nombreux gènes de résistance ont été introduits par croisement. Les variétés obtenues, résistantes aux maladies, entraînent des économies de fongicides et respectent donc mieux l'environnement ; elles permettent aussi d'avoir des produits plus sains, contenant par exemple moins de mycotoxines et moins de résidus de produits phytosanitaires. L'objectif est d'avoir des résistances durables, c'est-à-dire stables dans le temps, non facilement contournées par des mutations de l'agent pathogène (p. 133). Des systèmes de culture avec rotations peuvent favoriser cette durabilité. Mais l'amélioration des plantes peut encore beaucoup apporter.

Pour diminuer l'utilisation d'herbicides, il apparaît aussi possible de mettre au point des variétés qui toléreront mieux la présence d'adventices, voire même seront

6. Décidé au Grenelle de l'environnement à la fin 2007.

compétitives à leur égard ou empêcheront leur développement (ce qui est indispensable en agriculture biologique)⁷.

Meilleure utilisation de la fumure azotée

Pour limiter les pertes de nitrates dans le milieu, des solutions agronomiques ont été mises en œuvre, par un pilotage plus optimal de la fumure azotée (fractionnement des doses d'azote et apports en fonction des besoins de la plante, pour la culture du blé, par exemple). L'amélioration des plantes a aussi apporté sa contribution (chapitre 8). Les variétés actuelles de blé ou de maïs absorbent en effet mieux l'azote apporté (ce qui limite les pertes de nitrates) et le métabolisent mieux. Grâce à la combinaison des techniques culturales et de l'amélioration génétique, la fumure azotée de la betterave sucrière a pu être pratiquement divisée par deux en 50 ans, sans que cela soit aux dépens du rendement (figure 11.3, p. 205). Avec des outils plus adaptés (sélection assistée par marqueurs et sélection génomique, voire transgénèse), il est possible de mettre au point des variétés encore plus efficaces pour la nutrition azotée. D'autres améliorations pourraient être obtenues à long terme puisque la fixation de l'azote de l'air par les plantes naturellement non fixatrices est en cours d'exploration (p. 168).

Meilleure utilisation de l'eau

L'eau est une ressource à utiliser au mieux. La pression sur cette ressource devient en effet de plus en plus forte, d'une part, à cause de l'augmentation des besoins (pour l'agriculture elle-même, mais aussi pour la consommation humaine et l'industrie) et, d'autre part, à cause du changement climatique. Il faut donc mieux utiliser l'eau d'irrigation. Cela passe par la mise au point de variétés plus économes en eau. Nous verrons (chapitre 8) que les variétés modernes sont plus économes en eau, ou plutôt qu'elles produisent plus pour une même quantité d'eau prélevée. Avec la mise en œuvre des outils issus de la génomique, voire des biotechnologies, il doit être possible de créer des variétés encore plus efficaces.

Économies d'énergie

L'agriculture consomme de l'énergie (fioul, gaz, électricité), directement, car elle est largement mécanisée, mais aussi indirectement, car de l'énergie est nécessaire à la fabrication et au transport des engrais, aliments, phytosanitaires et matériels. Les engrais azotés sont des intrants particulièrement coûteux en énergie. Ainsi, en France, pour la culture de blé tendre ou de colza, la part de l'énergie consommée correspondant aux fertilisants azotés est comprise entre 58 et 63 %. Pour des raisons environnementales, il faut donc favoriser des systèmes de culture économes en énergie, notamment en créant des variétés de plantes demandant moins d'intrants et moins d'interventions mécanisées (nécessitant un nombre réduit d'applications

7. Notre but n'est pas de mentionner ici toutes les méthodes de contrôle des adventices dans une culture, mais il est évident que l'utilisation des rotations est également nécessaire pour éviter le développement de résistance à une molécule herbicide.

de produits phytosanitaires, par exemple). Indirectement, cela permettra aussi de diminuer les charges des exploitations, qui sont liées au coût de l'énergie.

Préservation de la biodiversité

La durabilité de l'agriculture passe par la préservation de la biodiversité dans les paysages agricoles. Il faut réussir à obtenir simultanément l'augmentation des rendements (produire plus), une meilleure utilisation des intrants (produire avec moins), et la réduction des impacts négatifs sur l'environnement (produire mieux). Des systèmes de culture favorisant la biodiversité peuvent être mis en œuvre grâce à la culture d'espèces variées et à l'utilisation d'interactions positives possibles entre les éléments du système (par exemple, les associations inter- et intraspécifiques, les rotations avec légumineuses, les relations d'allélopathie⁸, l'association entre agriculture et élevage). L'amélioration des plantes a beaucoup contribué, et peut encore contribuer, à ce point, par l'amélioration de toute une gamme d'espèces et, pour chaque espèce, par la mise à la disposition de l'agriculteur d'une gamme de variétés, adaptées à différentes conditions et différents objectifs (p. 191).

Qualité des produits

La qualité des produits de l'agriculture est évidemment très importante à considérer. Elle dépend de l'utilisation des plantes, selon qu'elles sont destinées à la consommation humaine ou animale, ou à une transformation industrielle. L'amélioration des plantes a porté, et porte toujours, selon les espèces et leurs utilisations, sur différents types de qualité des produits : qualités technologique, nutritionnelle, ou organoleptique (chapitre 9). Elle a conduit, par exemple, à des variétés de colza donnant une huile sans acide érucique (dangereux pour le cœur) et des tourteaux sans glucosinolates (goïtrigènes pour les bovins les consommant), à des variétés de blé adaptées à différents types de panification, à des variétés de plantes fourragères plus digestibles pour les animaux... Pour les fruits et les légumes, des progrès importants peuvent encore être faits sur le plan de la qualité gustative et nutritionnelle, mais leur valorisation nécessitera la modification des circuits de commercialisation (p. 190).

Autres exemples d'adaptation des plantes au mode de culture

L'amélioration des plantes contribue largement au développement de variétés adaptées à leur mode de culture. L'adaptation peut passer, nous l'avons vu, par une meilleure résistance aux agresseurs, ou par l'économie en engrais azotés et en eau. Il peut s'agir aussi d'une adaptation des variétés à la mécanisation. L'exemple le plus clair est celui de la betterave. Sans la mise au point de variétés monogermes⁹, la

8. Effet d'une plante d'une espèce sur une plante d'une autre espèce, par l'intermédiaire de substances chimiques exsudées par les racines, ou volatilisées, ou libérées par décomposition des résidus des plantes.

9. Avant l'introduction du gène de monogermie, ce sont des glomérules de plusieurs graines qui étaient semés, il fallait alors démarier manuellement les plantes pour avoir des plantes isolées, ce qui était très coûteux en main d'œuvre. La segmentation mécanique des glomérules a cependant été une solution de transition.

culture de la betterave sucrière, qui demandait beaucoup de main d'œuvre, aurait complètement disparu. Cette modification, en permettant un semis de précision, qui a été combiné à la mise au point du désherbage chimique, a en effet permis la mécanisation de la culture. Celle-ci a bénéficié au confort de l'agriculteur, mais aussi à la baisse des coûts de production, et permet à la betterave à sucre de garder une certaine compétitivité par rapport à la canne à sucre. Les plantes cultivées en agriculture biologique constituent un autre exemple d'une adaptation nécessaire à la mécanisation, car ce mode de culture, ne faisant pas appel au désherbage chimique, demande des variétés plus faciles à désherber mécaniquement (p. 194).