

La domestication des plantes

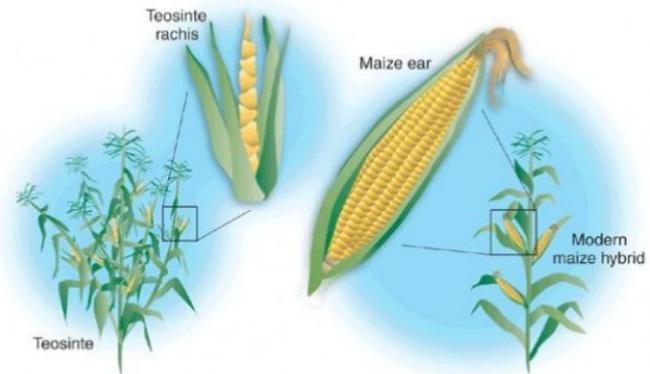
1 - Comment les plantes ont-elles été domestiquées ?

La sélection exercée par les populations humaines sur les plantes cultivées depuis environ 10 000 ans a permis leur domestication.

Les plantes cultivées **ont acquis** par sélection humaine des **caractères favorables à l'être humain et différents** de leurs ancêtres sauvages : taille , rendement de croissance , nombre de graines produites (ex maïs), facilitation de récolte (ex maïs), diminution de leur toxicité (exemple de la pomme de terre)...

Ces caractères sélectionnés par l'Homme constituent un **syndrome de domestication**. Ils sont **souvent défavorables à la survie et à la reproduction de la plante en milieu naturel**.

Exemple : Le maïs vs la téosinte



Éléments comparés	Plante	Épis femelles	Glumes	Grains par paire ou simple	Nombre de rangées de grains
Maïs	Une tige principale qui porte au sommet une panicule. Des ramifications latérales très courtes portant des spadices	Rachis important, qui ne se désarticule pas Grand nombre de grains (jusqu'à 500) Epi 4 fois plus long	Glumes souples qui n'entourent pas le grain	Par paire, 2 fois plus longs et 4 à 5 fois plus lourds	Plusieurs rangées autour de la rafle
Téosinte	Une tige principale portant au sommet une panicule, mais des ramifications latérales longues portant au sommet des panicules et sur des ramifications secondaires des épis femelles	Pratiquement pas de rachis, grains soudés entre eux qui se désarticulent à maturité peu de grains (8 à 10) épi : 4 fois moins long	Glumes indurées qui entourent le grain : protection	Simple	Deux rangées de grains

Tableau de comparaison entre le Maïs et la téosinte

L'espèce cultivée (Maïs par exemple) diffère de l'espèce sauvage (Téosinte) par des caractères qui facilitent sa culture, sa récolte et son utilisation par l'Homme comme le nombre de grains présents dans chaque épi et la grosseur de ces grains, leur richesse en amidon et leur enveloppe moins dure (plus facile à moudre)

Mais, par rapport au Téosinte, le maïs a perdu certains caractères, comme l'égrenage spontané des grains, la coque dure qui entoure chaque grain... caractères qui jouent un rôle important dans la dissémination de la plante sauvage adaptée à l'écosystème naturel et la protection de la graine. En conséquence, sans intervention humaine, le maïs, adapté à l'agrosystème, ne pourrait persister.

La pomme de terre sauvage vs la pomme de terre cultivée

Solanum sparsipilum est une espèce sauvage proche de *Solanum tuberosum* (la pomme de terre). Ces deux espèces contiennent des glycoalcoïdes, substances toxiques pour les animaux. Une étude a mesuré une teneur moyenne de 96 mg/100mg de ces toxines dans des tubercules de *Solanum sparsipilum*. On observe par ailleurs une résistance de cette espèce à des insectes dits « ravageurs » comme les Doryphores.

Une teneur en glycoalcoïdes de 20 mg/100g de tubercule est considérée comme une limite à ne pas dépasser pour les pommes de terre consommées actuellement. Les pommes de terre cultivées sont sensibles au Doryphore, l'utilisation d'insecticides permet de limiter leur impact.

4 Des productions de toxines différentes entre plantes sauvages et plantes domestiquées.

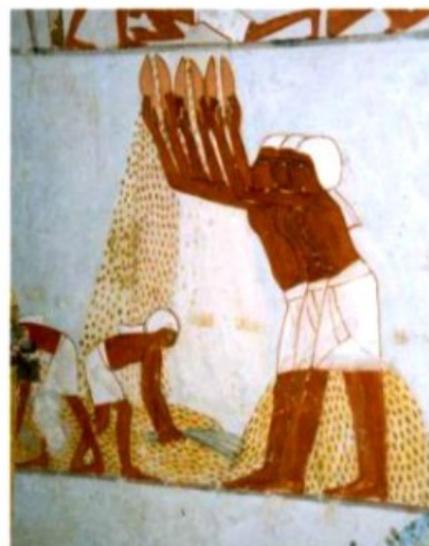


Pour la pomme de terre, perte de substances toxiques néfastes pour la consommation humaine mais affaiblissement de la plante par rapport à ses ravageurs (doryphores).

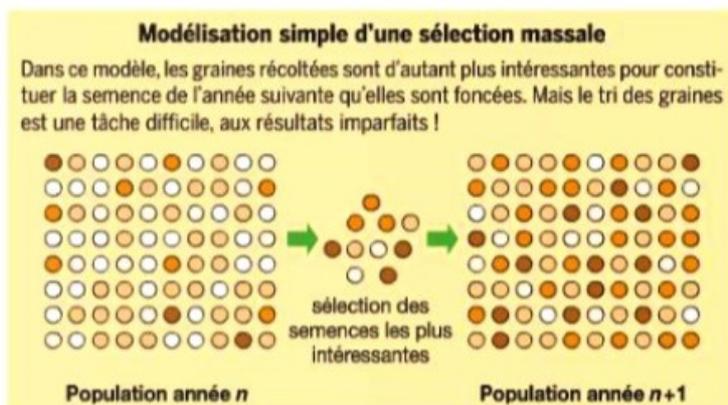
Pour passer de la plante sauvage à la plante cultivée, l'Homme a pratiqué **une sélection massale** : méthode d'amélioration des plantes qui consiste à sélectionner les graines des meilleures plantes d'une population donnée pour les utiliser comme semences. **Les variétés obtenues sont qualifiées de paysannes.**

Depuis des millénaires, les plantes cultivées germent, se développent, fructifient sous l'œil attentif des agriculteurs. Ils repèrent chaque année les individus les plus résistants aux maladies, aux intempéries, ceux qui produisent les meilleurs résultats... et choisissent leurs prochaines semences parmi ces « meilleurs » individus.

Cette méthode de sélection modifie très lentement les caractéristiques génétiques de la population de départ, sans jamais l'uniformiser. Les critères de sélection pouvant varier selon les lieux et au cours du temps, elle est à l'origine de l'immense diversité des variétés dites « de pays », ou « paysannes ».



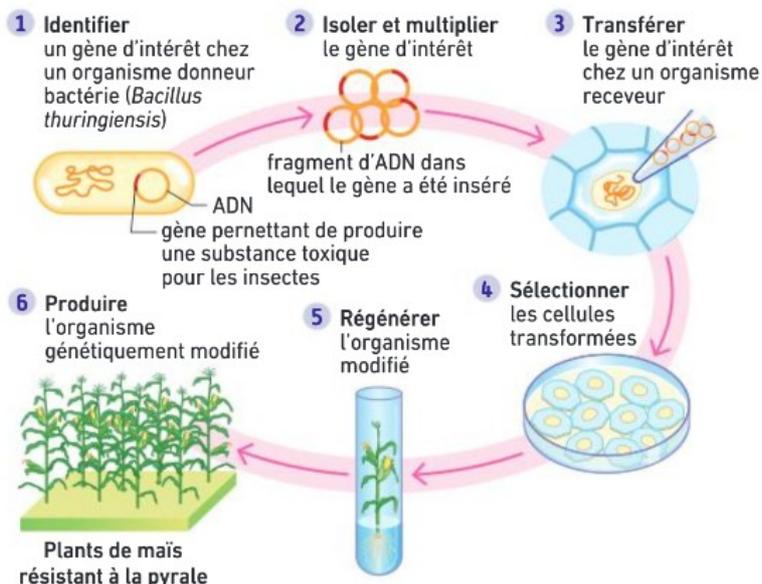
Depuis la plus haute Antiquité, les agriculteurs trient les plantes les plus performantes pour les multiplier.



L'apport des biotechnologies

Exemple de transgénèse classique :

La transgénèse classique consiste à introduire un gène d'intérêt dans le génome de la plante grâce à un vecteur (un plasmide de la bactérie *Agrobacterium* par exemple).



C Les étapes de la production d'un maïs génétiquement modifié.

Produire une nouvelle variété génétiquement modifiée nécessite généralement une dizaine d'années. Une technique consiste à utiliser une bactérie du sol naturellement capable d'introduire des fragments d'ADN dans les cellules végétales. Le gène d'intérêt peut aussi être collé à des billes microscopiques qui sont projetées sur les cellules cibles (canon à billes). Un champ électrique ou un agent chimique peuvent aussi être utilisés. Le transfert de gène et la régénération d'une plante entière sont les étapes les plus délicates de la transgénèse. La variété à modifier est donc choisie pour augmenter le taux de réussite de ces deux étapes, indépendamment de ses autres qualités. Pour retrouver l'ensemble des qualités recherchées, il est donc nécessaire de recourir à des croisements entre la plante transgénique et des variétés commerciales, sur plusieurs générations.

Caractère transféré (avantage)	% des OGM cultivés actuellement	Inconvénients
Résistance à un herbicide : seule la plante cultivée résiste à l'herbicide, désherbage facilité, moindre concurrence avec les mauvaises herbes.	88 % (Soja, maïs, colza)	– Utilisation massive d'herbicide, apparition de résistance (par sélection naturelle ou pollution génétique) – Innocuité sanitaire non démontrée
Résistance à la pyrale (insecte ravageur) : production endogène d'une toxine spécifique des lépidoptères, limite les recours aux insecticides.	12% (Maïs, coton)	– Innocuité sanitaire non démontrée – Risque de pollution génétique
Résistance à la sécheresse : meilleurs taux de survie en cas de sécheresse, baisse de l'irrigation.	Moins de 1%	– Innocuité sanitaire non démontrée – Risque de pollution génétique
Résistance à la salinité des sols : maintien de la productivité des sols subissant une augmentation de salinité.	Moins de 1%	– Innocuité sanitaire non démontrée – Risque de pollution génétique

La technique est rapide et bien maîtrisée et de nombreuses plantes OGM sont actuellement commercialisées. Les principaux inconvénients résident dans le manque de recul vis à vis des OGM qui sont utilisés depuis peu. Leur innocuité sanitaire n'a pas été démontrée (ya-t-il un risque pour l'Humain?) et il existe des risques de transmission de gènes indésirables lors de l'utilisation des vecteurs (pollution génétique).

L'édition génomique :

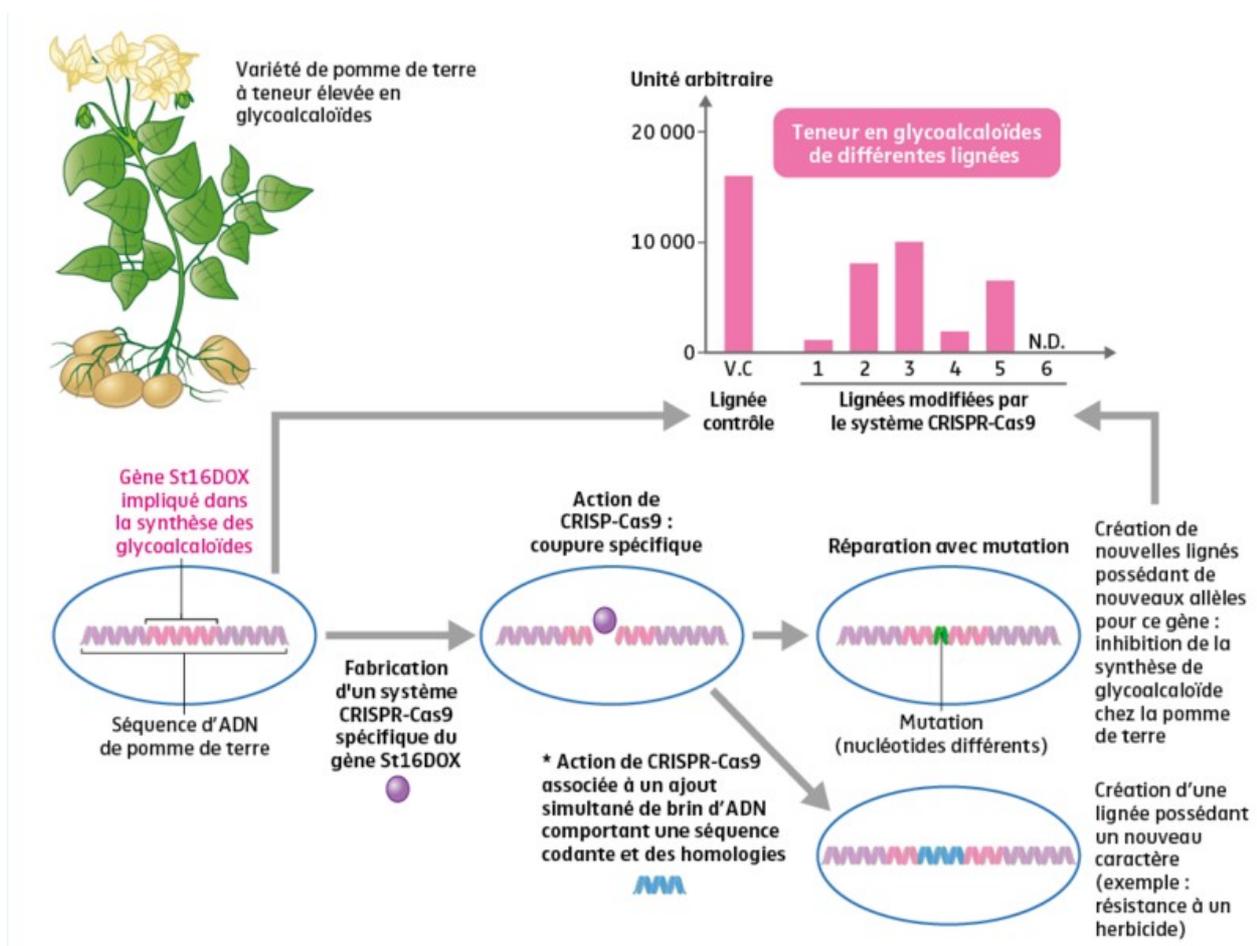
L'édition du génome (de l'anglais *genome editing*) consiste à modifier le génome d'une cellule avec une grande précision. Il est possible d'inactiver un gène, d'introduire une mutation ciblée, de corriger une mutation particulière ou d'insérer un nouveau gène. Cette technique de génie génétique fait appel à des nucléases (enzymes agissant comme des « ciseaux moléculaires »).

Ces nucléases coupent l'ADN à un endroit prédéfini du génome, dépendant de sa séquence. Un système de réparation naturel de l'ADN (NHEJ pour *Non-Homologous End-Joining*) se met alors en marche, pour « recoller » ensemble les deux extrémités libres générées par la coupure. Mais ce système de réparation introduit des erreurs, conduisant à la mutation du gène ciblé par la nucléase. Dans ce cas, la mutation introduite est donc aléatoire. C'est ce système qui est utilisé pour inhiber la synthèse des alcaloïdes de la pomme de terre.

Il est également possible de modifier la séquence visée selon ses souhaits. Il faut alors délivrer à la cellule, en plus des nucléases, un brin d'ADN présentant la séquence désirée, flanquée d'extrémités homologues à celles du site de coupure. Un autre système cellulaire de réparation va alors intervenir (la recombinaison homologue) et « incorporer » la séquence d'ADN fournie au moment de la réparation, conduisant à son insertion définitive dans le génome. C'est ce système qui est utilisé dans l'exemple de la résistance de la pomme de terre aux herbicides.

L'ensemble de ces techniques fonctionnent dans tous les types de cellules : humaines, animales, végétales, bactériennes, adultes ou embryonnaires

<https://www.youtube.com/watch?v=RplWR12npqM&t=108s>



L'édition génomique conduite à l'échelle du génome, portant sur le fonctionnement de l'organisme, d'un organe, d'une pathologie... permet d'effectuer des modifications génétiques ciblées dans tout type de cellule, grâce à des ciseaux moléculaires spécifiques. Disponibles depuis les années 80, ces outils ont gagné en efficacité et en spécificité au cours du temps. En 2012, l'avènement du système CRISPR-Cas9, caractérisé par sa très grande simplicité et son coût modeste, a révolutionné cette approche : l'édition génomique a désormais gagné tous les domaines

de la science et de la médecine.

Elle permet aux chercheurs d'effectuer les modifications génétiques de leur choix, afin de développer des modèles cellulaires et animaux sur mesure, pour progresser dans la connaissance du développement des organismes vivants, des maladies, ou encore pour tester des molécules thérapeutiques. Des premiers essais cliniques se fondant sur cette approche ont débuté, visant à à traiter des maladies monogéniques, certains cancers ou encore des maladies infectieuses.

L'édition génomique sans coupure d'ADN

Récemment, des nucléases Cas ont été transformées pour qu'elles ne coupent plus le site du génome reconnu : la nucléase sert de point d'ancrage pour l'acheminement d'autres protéines capables de transformer une base de l'ADN en une autre, induisant ainsi une mutation ciblée sans coupure. Cette technique, l'*édition de base*, pourrait s'avérer particulièrement intéressante dans les cellules où les processus naturels de réparation des cassures de l'ADN sont peu performants, rendant l'édition génomique *classique* (avec coupure double brin) inefficace.

Les limites de la domestication

Un objectif : nourrir l'humanité

La population mondiale et la production agricole ont doublé en 60 ans mais la surface des terres agricoles n'a pas augmenté. Ceci a été possible grâce à la sélection, l'obtention de nouvelles variétés en peu de temps suite aux progrès technologiques.

La production de semences est un secteur économique important : le marché mondial a un chiffre d'affaire de 35 milliards d'euros/ an. En 2018, la France était le 1^{er} exportateur mondial de semences agricoles avec un chiffre d'affaire de 1,64 milliards d'euros/ an.

Mais, depuis 1960, le nombre de variétés a considérablement augmenté mais la diversité génétique a baissé

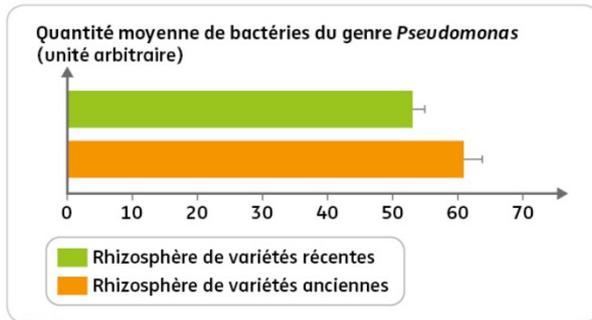
En sélectionnant les variétés les plus productives, l'Homme a réduit la diversité allélique et c'est ce qui rend les plantes cultivées plus fragiles face aux attaques des ravageurs ou des pathogènes.

Pour compenser, il faut intensifier l'utilisation des pesticides phytosanitaires , ce qui est dommageable pour la santé humaine ou introduire des gènes de résistance par génie génétique.

Il apparaît donc utile de conserver des variétés anciennes pour préserver la richesse allélique.

De plus, on a pu observer récemment que les bactéries du sol qui se trouvent au contact des racines peuvent jouer un rôle de stimulant favorisant la croissance des plantes et leur défense contre certains pathogènes. Les variétés anciennes (ex du blé) réagissent mieux à l'action bactérienne que les variétés récentes (c'est à dire obtenues après 1960).

Chez le blé, une étude a comparé la quantité de bactéries du genre *Pseudomonas* au niveau de la rhizosphère chez des variétés anciennes (d'avant 1960) et récentes. Ces bactéries du sol sont reconnues être des « bios-timulants » microbiens favorables à la croissance des plantes et à leurs défenses contre des pathogènes.



5 Évolution de la capacité à entretenir des relations interspécifiques favorables chez le blé. Les deux moyennes sont considérées comme différentes.



6 Rhizosphère de blé.

Cette étude ouvre de nouvelles perspectives de recherches en vue d'améliorer la production agricole.

L'étude des **génomés** montre un **appauvrissement global** de la **diversité allélique** lors des différents processus de sélection.

La perte de certaines caractéristiques des plantes sauvages (ex. les défenses chimiques) a favorisé le développement des **maladies infectieuses** végétales.

Les humains ont compensé par des pratiques culturelles spécifiques : Pesticides, lutte biologique.

La recherche et l'exploitation des ressources génétiques permet d'envisager la **création de variétés** à plus faible impact environnemental, permettant par exemple de **limiter** l'usage d'engrais et de pesticides (ex pomme de terre/ doryphore)

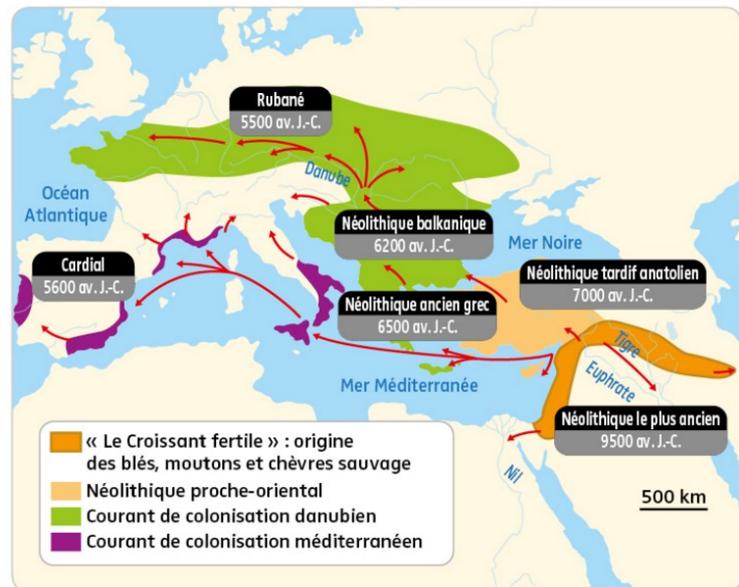
Les caractères favorisés par cette domestication ont rendu les plantes domestiquées **dépendantes des humains** pour leur reproduction et leur survie (ex maïs, les grains ne se dispersent pas).

La relation plantes domestiquées – êtres humains: mutualisme et coévolution.

La relation entre les plantes et les êtres humains peut être considérée comme une relation mutualiste car chacun participe à améliorer les chances de survie de l'autre.

Le développement de l'agriculture au niveau des foyers de domestication accompagne une modification des modes de vie, passant de tribus de chasseurs-cueilleurs à des communautés d'agriculteurs.

Des populations d'agriculteurs se sont déplacées et ont colonisé de nouveaux milieux, faisant suivre avec eux les semences des plantes qu'ils cultivaient. Sur leurs nouveaux milieux, les êtres humains ont déboisé et travaillé les sols pour les rendre cultivables, c'est-à-dire le plus favorable possible aux plantes cultivées.



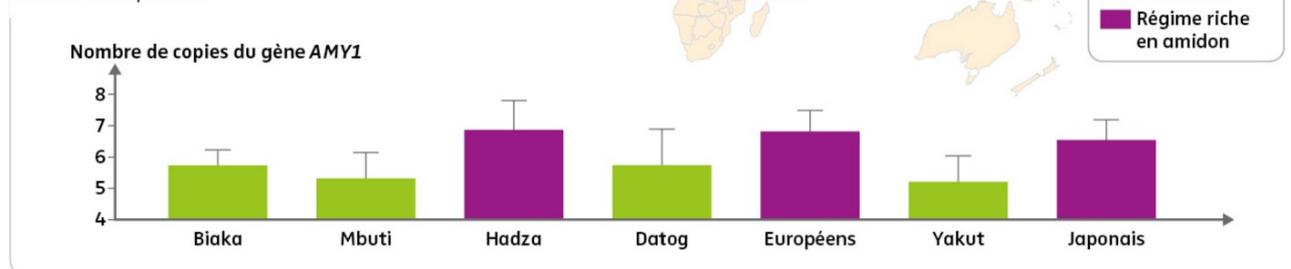
1 La diffusion de l'agriculture en Europe.

En se déplaçant et en emmenant leurs semences, les agriculteurs ont permis aux plantes de coloniser de nouveaux milieux ; En les sélectionnant, ils ont fait évoluer leur patrimoine génétique.

L'exemple des copies du gène de l'amylase montre qu'en retour, le régime alimentaire a fait évoluer le génome des populations humaines en fonction de leurs habitudes alimentaires.

AMY1 est un gène codant pour une amylase salivaire. Des analyses génétiques ont montré qu'il pouvait être présent en plusieurs exemplaires (duplication) dans notre génome. Le graphique présente le nombre moyen de copies du gène AMY1 pour quelques populations actuelles distinguées en fonction de leurs habitudes alimentaires (culture locale).

Remarque : le nombre de copies d'AMY1 est de 2 chez le chimpanzé.

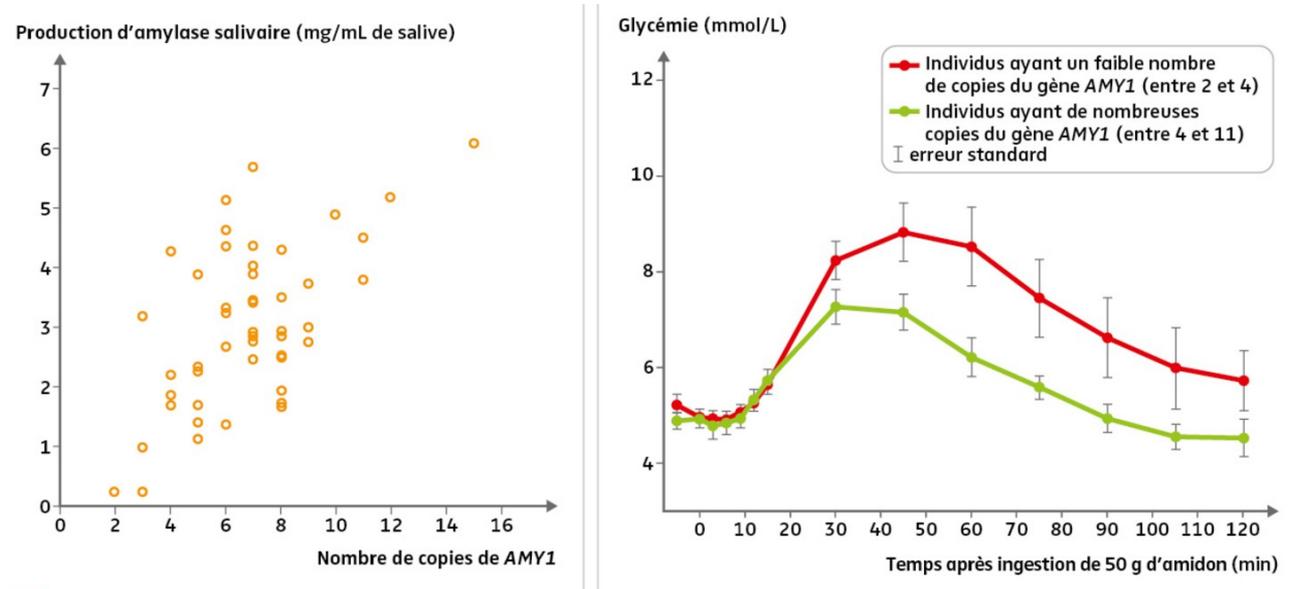


2 Distribution géographique du nombre de copies du gène AMY1 dans le génome humain.

Il y a donc eu coévolution.

Nos habitudes alimentaires ancestrales sont inscrites dans nos gènes.

On voit que des personnes ayant eu l'habitude de consommer de l'amidon donc ayant plus de copies du gène de l'amylase digèrent mieux l'amidon en sécrétant plus d'enzyme et ont une glycémie moins élevée après avoir consommé de l'amidon que les personnes non habituées à consommer beaucoup d'amidon.



Pour les passionnés !

Conférence de Marc-André Selosse - La domestication : un mutualisme entre hommes et plantes
Durée 45 minutes mais très intéressant

<https://www.youtube.com/watch?v=SCoY5FQQFQE>

Humains et plantes domestiquées :

Ils entretiennent une relation de type **mutualiste**.

L'humanité est dépendante des cultures végétales pour son alimentation... ..et les plantes cultivées sont **dépendantes** des pratiques culturales pour leur survie, leur reproduction et l'occupation de nouveaux milieux de vie (exemple : diffusion de l'agriculture en Europe).

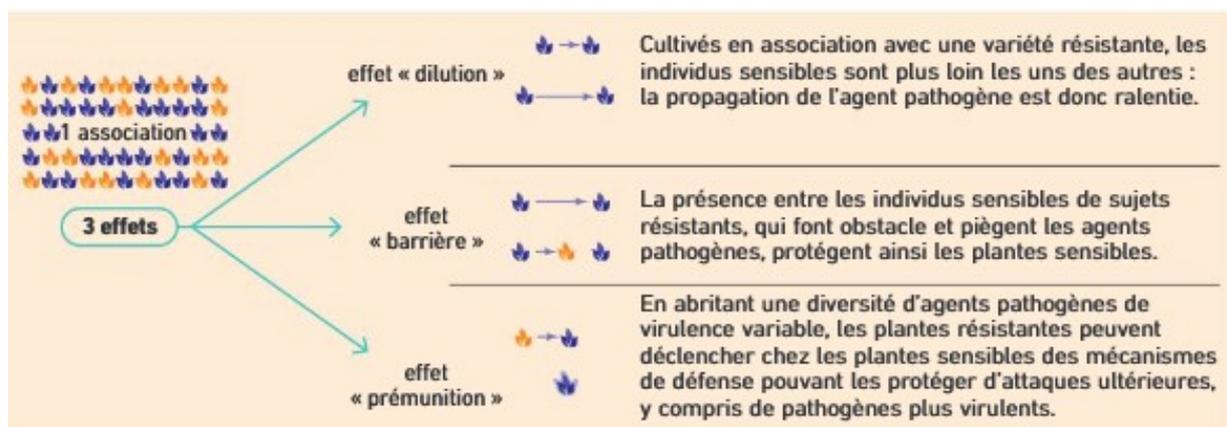
Cette relation a entraîné une modification des caractères génétiques des plantes **mais aussi** des populations humaines en sélectionnant les génotypes les mieux adaptés à l'utilisation de ces plantes dans leur régime alimentaire (ex amylase).

Ce phénomène caractérise alors une **coévolution**.

Les pratiques culturales constituent un **enjeux majeur pour nourrir l'humanité** et préserver la santé.

Pour préserver la diversité génétique, des mesures sont mises en place pour conserver les variétés anciennes (loi de 2018 autorisant les agriculteurs pratiquant l'agriculture biologique à produire et à commercialiser leurs propres semences, création d'une banque de semences).

Des pratiques culturales raisonnées associant, par exemple, des variétés sensibles et résistantes permet de limiter le développement des maladies infectieuses.



L'association de deux variétés, l'une sensible (violet), l'autre résistante (orange) permet de limiter le développement des maladies infectieuses.