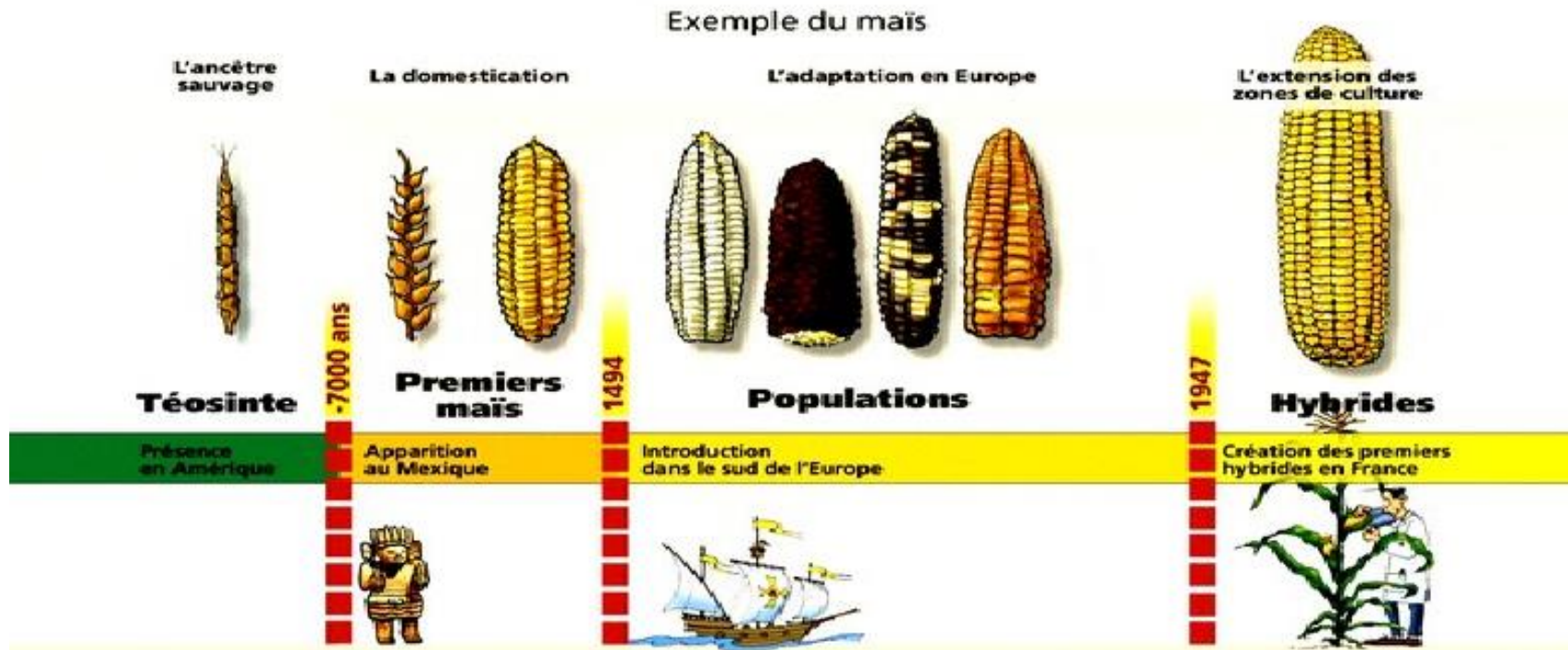


La plante domestiquée

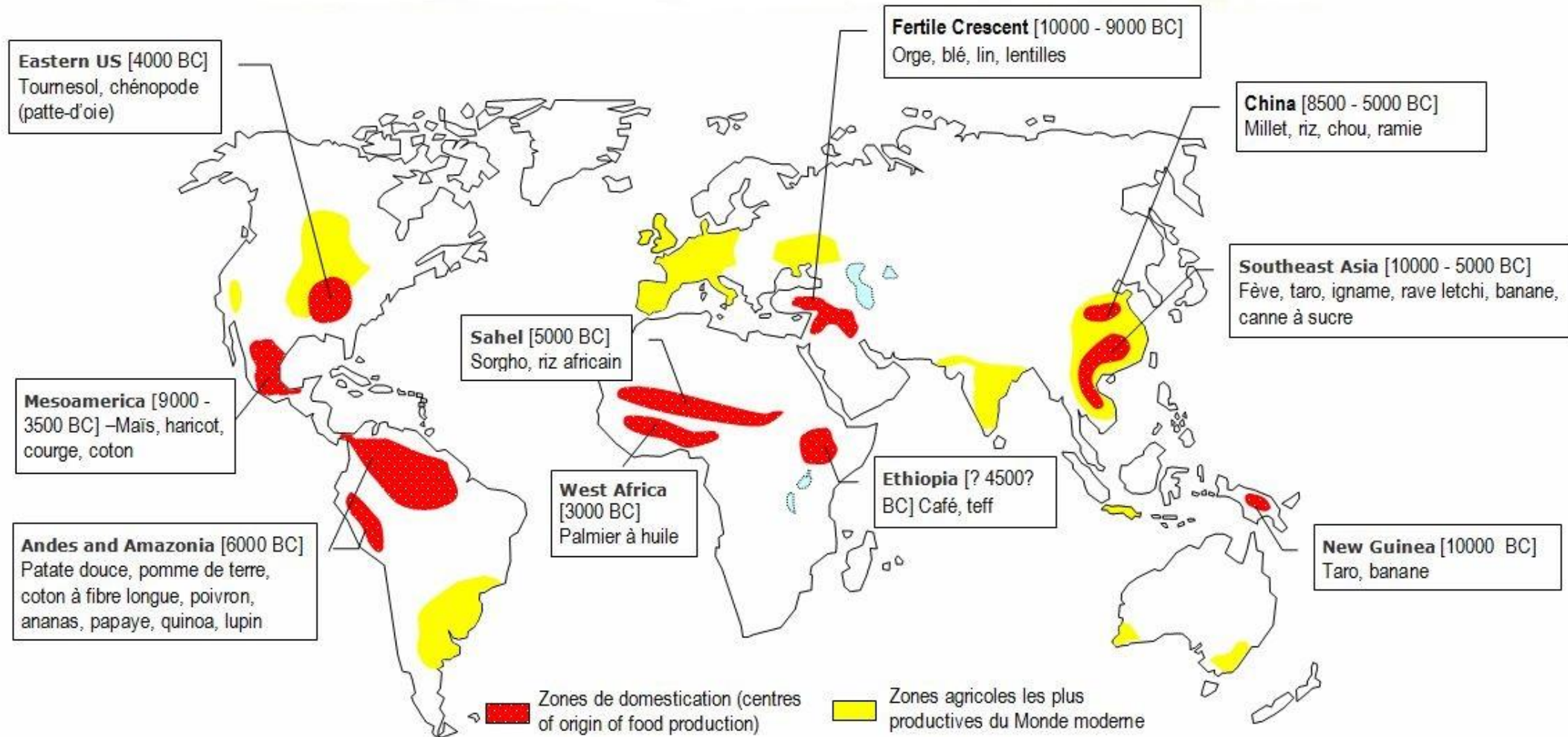
L'utilisation des plantes par l'homme a commencé avec la cueillette, s'est développée avec l'agriculture et se poursuit aujourd'hui par l'utilisation des technologies modernes. Les plantes sont à la base de l'alimentation humaine et constituent également des ressources dans d'autres domaines (industrie pharmaceutique, biocarburants etc...) Maîtriser l'exploitation des plantes constitue donc un enjeu majeur pour l'humanité. **Comment est-on passé des espèces sauvages aux espèces cultivées d'aujourd'hui ?**



La plante domestiquée

De la plante sauvage à la plante cultivée : foyers de domestication

D'après **Jared Diamond** : 2002 *Nature Magazine*, Vol 418. ; **Jared Diamond** : de l'inégalité parmi les sociétés Folio essais 2000 [*Guns, Germs, and Steel: the Fates of Human Societies* (Norton, New York, 1997)] ; <http://www.nature.com/nature/journal/v418/n6898/full/nature01019.html> ; http://archaeology.about.com/od/domestications/a/plant_domestic.htm; complément de http://www.versailles-grignon.inra.fr/partager_les_connaissances/ressources



La plante domestiquée: la carotte

Il y a environ 10 000 ans un long processus d'évolution a conduit certaines communautés de chasseurs cueilleurs à cultiver des plantes sauvages pour leur alimentation, leurs habits, leur médecine. A partir de ces foyers dits « d'origine », l'agriculture s'est en suite répandue à travers le monde. Ex : carotte en Afghanistan



**Carotte
sauvage**



**Carotte
cultivée**



La plante domestiquée: la carotte

La présence de pigments conditionne la couleur de la racine



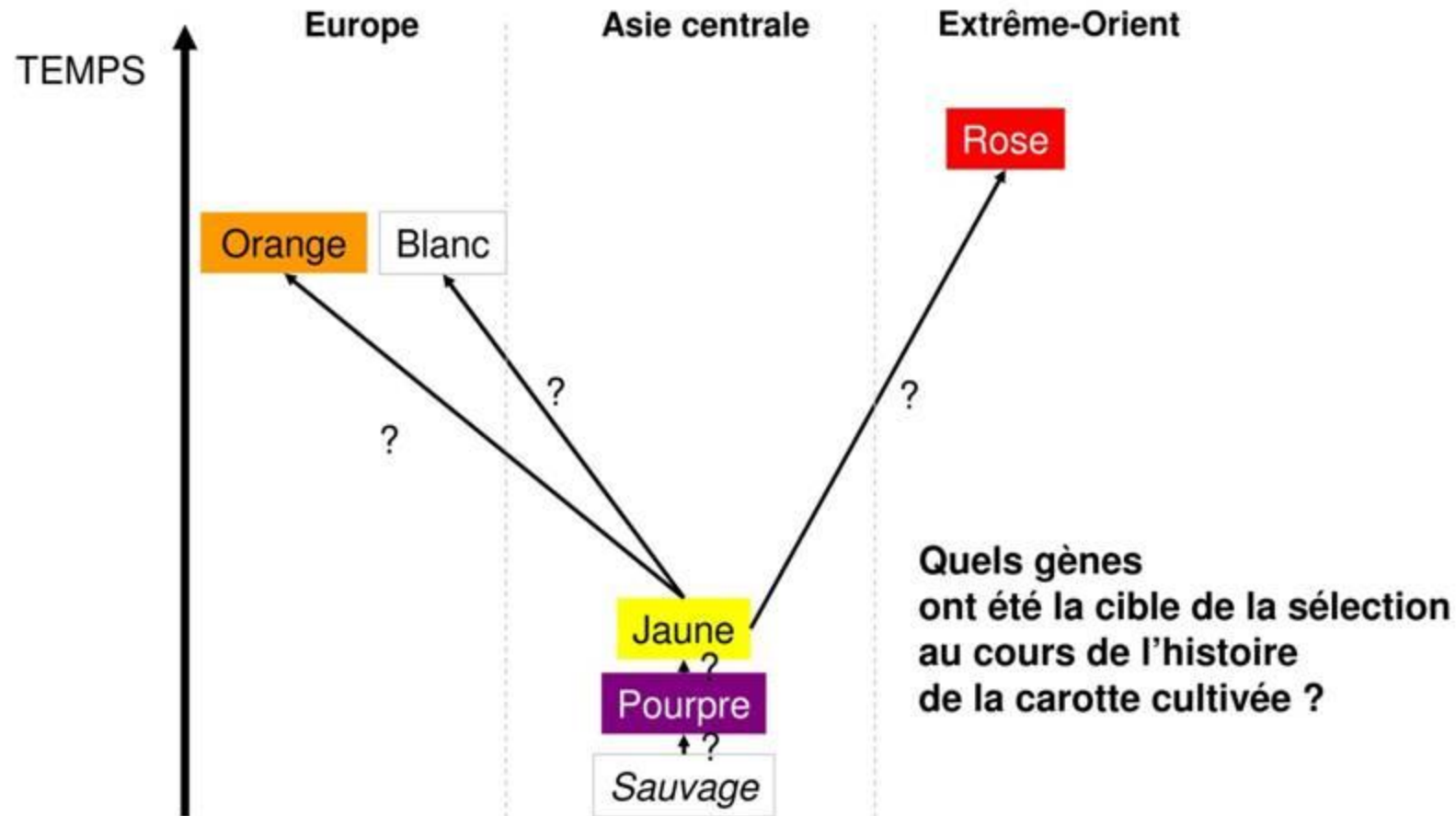
Surles *et al.* 2004
Sun *et al.* 2009

Caroténoïdes	lycopène			++++	
	β -carotène	+	+++++	++	+
	α -carotène		++++		
	lutéine	+	+	+	+
Anthocyanes					++++

Comment cette diversité est-elle apparue ?



Cette variabilité de couleur est le fruit d'une histoire de sélection pour ce caractère



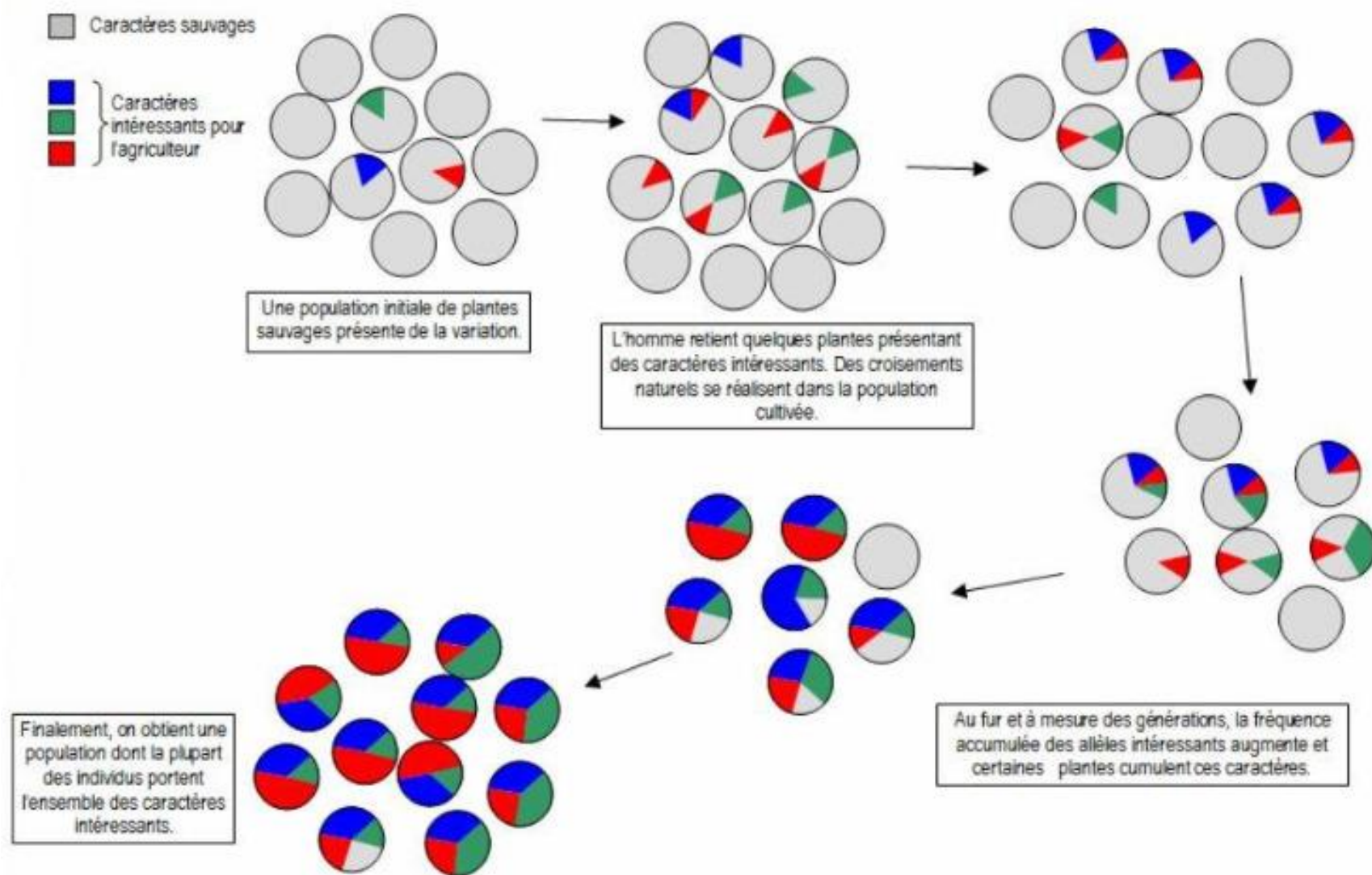
Quels gènes ont été la cible de la sélection au cours de l'histoire de la carotte cultivée ?

Apparition et filiation supposée des types colorés (Banga 1963)



Mécanismes de la domestication : de la plante sauvage à la plante cultivée

http://www.versailles-grignon.inra.fr/partager_les_connaissances/ressources_a_partager/posters_d_expositions/genomique_vegetale_et_bilogie_integrative/la_domestication_des_plantes



« Au cours de la domestication des plantes, nos ancêtres ont retenu les individus qui présentaient des **caractères** adaptés à la culture ou à l'utilisation alimentaire (mais défavorisés dans les populations naturelles). Ainsi ils ont favorisé les allèles (version des gènes) qui codent pour ces caractères. Ceux-ci deviennent majoritaires dans la population qui n'exprimera donc plus que la forme cultivée. »

La plante domestiquée

Isolées des populations naturelles, les populations de plantes cultivées ont divergé du point de vue génétique. Une sélection naturelle s'est produite sous l'effet des pratiques culturelles et la diversité naturelle s'est considérablement réduite. Par exemple les plantes dont le rythme de croissance était nettement plus lent ou plus rapide ont eu moins de chance d'être récoltées et semées. Génération après génération, les cycles de développement des individus sont donc devenus homogènes.

Des caractères indispensables aux plantes sauvages ont été éliminés au profit de caractères mutés, normalement défavorables dans la nature : exemple les graines capables de se détacher seuls de la plante mère ont eu moins de chance d'être récoltées et semées que celles qui restaient attachées à la plante (ex tournesol)

Ce processus a fait apparaître en quelques siècles, des plantes génétiquement mal adaptées à la vie sauvage et au contraire bien adaptées à la vie domestique

La sélection variétale

Il ne faut pas confondre espèces et variétés ! Au sein d'une même espèce végétale, il existe une variabilité exprimée sous la forme de variétés différentes. Comment ces variétés sont-elles apparues ? Localement les agriculteurs, à partir de l'espèce sauvage, vont réaliser une sélection variétale, à savoir choisir des individus adaptés aux conditions locales et qui présentent donc des traits agronomiques et nutritionnels variables. Les différentes variétés, bien que morphologiquement différentes, appartiennent à la même espèce.

La contrepartie de la sélection variétale, a été la domination de quelques variétés dites élites, celles qui plaisent aux consommateurs : fruits volumineux, aspect parfait, pas de bosses, bonne conservation, qualité gustative ciblée... Conclusion : bon nombre de variétés anciennes ont aujourd'hui disparu : la biodiversité des espèces cultivées s'effondre !

Les choux comestibles sont tous d'une même espèce (*Brassica oleracea* L. de la famille des Brassicacées, appelée aussi Crucifères).

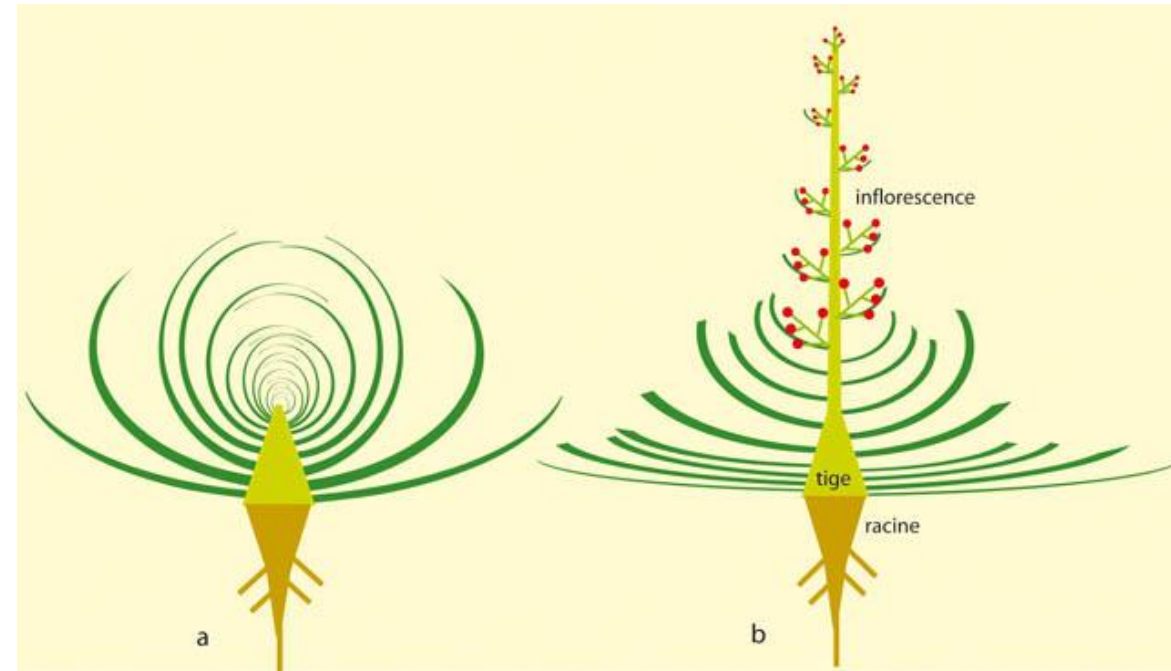
Les choux les plus communs sont en forme de pomme plus ou moins compacte dont on mange les feuilles (chou rouge, chou cabus, chou pommé, chou frisé et chou chinois, etc.), mais il existe de très nombreuses autres variétés de choux.

Développées à partir de l'Europe de l'ouest depuis la plus grande antiquité, les différentes variétés sont cultivées aujourd'hui dans la plupart des continents (Europe, Asie, Amérique).

Structure et développement

A partir de la graine, le chou développe une rosette de feuilles. Arrivé à un certain stade de développement, le chou « monte à fleur » en développant une grande inflorescence. C'est ce qui se passe pour les choux sauvages. Pour les choux cultivés, la rosette de feuille se développe sans que la tige ne s'allonge et donne une sorte d'énorme bourgeon à feuilles très serrées (choux pommés) ou plus lâches (chou frisés par exemple). C'est à ce stade qu'il est consommé, il monte ensuite à fleur et n'est plus consommable.

La sélection variétale



Ce type de développement est celui des choux rouges, choux cabus, choux pommé à feuilles serrées et des choux frisés, choux verts pointus et chou chinois etc. Ce sont les choux les plus consommés après cuisson ou après conserve (choucroute).



Chou frisé



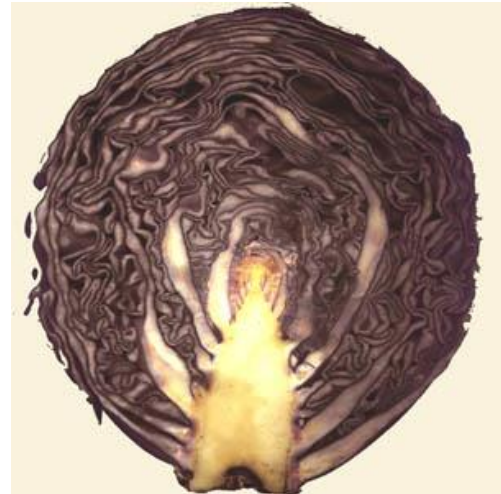
Chou pommé



Chou pointu



Chou vert



Chou rouge

La sélection
variétale



Chou chinois

La plante domestiquée

En plus des choux communs dont on consomme les feuilles, la sélection a permis de développer des choux chez lesquels l'inflorescence très condensée est consommée : chou fleur (var. botrytis), chou brocoli (var. cauliflor) et chou Romanesco (var. italica). C'est la base de la tige ou la racine qui s'est tubérisée et devenue comestible dans le cas du chou rave (var. gongylodes) et du chou navet. Enfin, dans un cas très spectaculaire, les bourgeons secondaires se sont développés et la tige produit de nombreux petits choux miniatures (chou de Bruxelles, var. gemmifera).

<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/Marche/choux.htm>

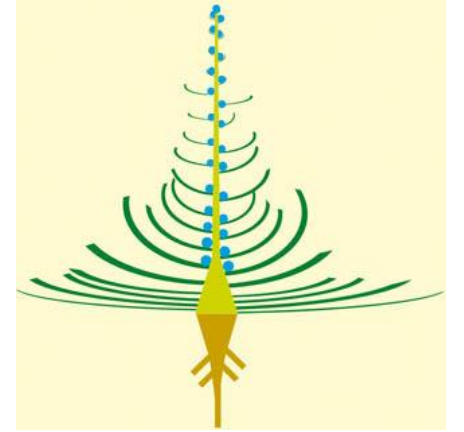
Le chou fleur



La sélection variétale



Chou de Bruxelles



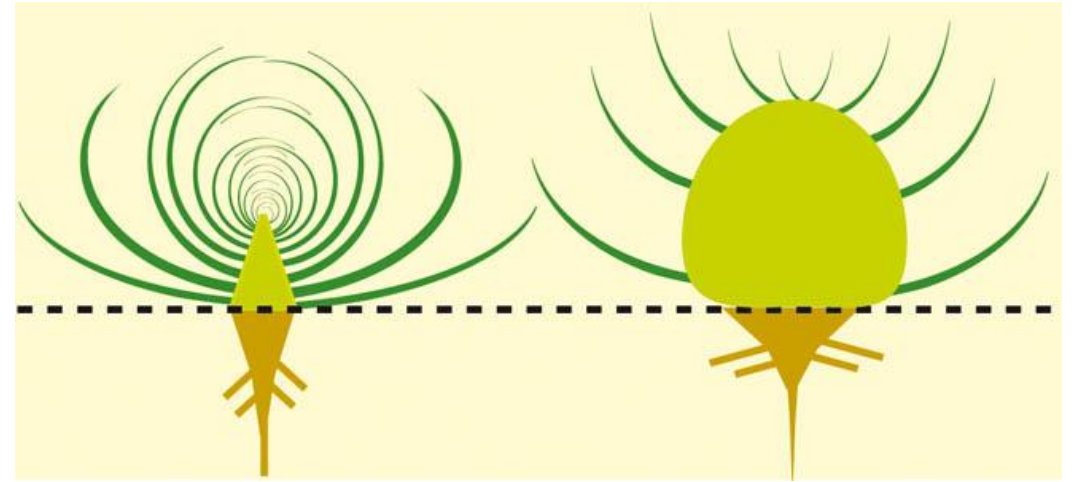
Chou brocoli



La plante domestiquée



Le chou rave



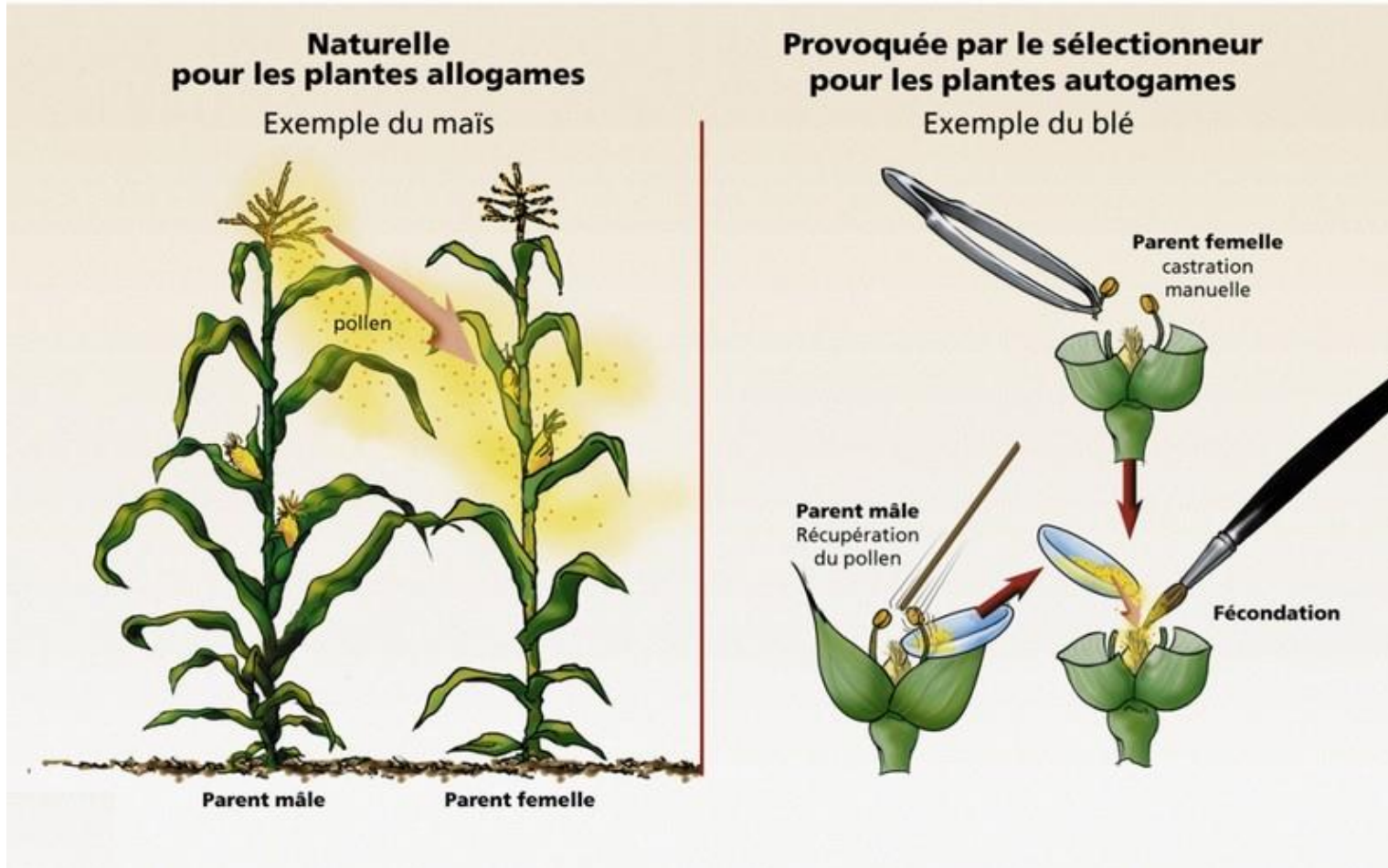
Chou romanesco



La plante domestiquée



L'hybridation



La majorité des plantes commercialisées sont des hybrides obtenus par croisements de différentes variétés de lignée pure. Ces hybrides bénéficient des avantages génétiques des deux parents et permettent d'obtenir de meilleurs rendements : c'est l'effet d'hétérosis, appelé également vigueur hybride.

L'hybridation interspécifique est très rare et peut donner un plant fertile par polyploïdisation : c'est le cas du blé tendre (résultat d'une hybridation entre blés sauvages) ou du colza (hybridation naturelle entre la navette et le chou).

La plante domestiquée



L'obtention de protoplastes

**Parenchyme
de jeunes feuilles**



**Digestion
enzymatique
de la paroi**

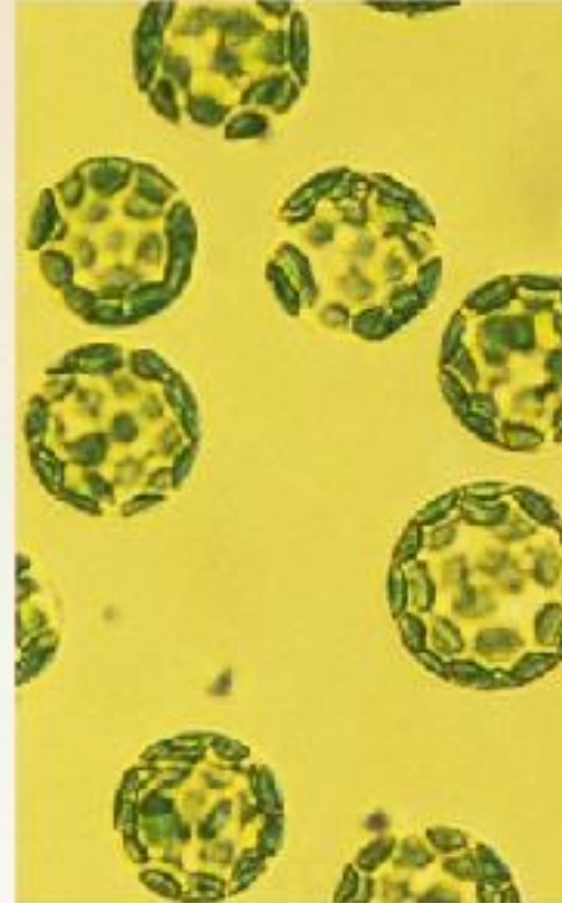


**Enzymes
de lyse
de la paroi
pectocellulosique**



**Ajouts
d'éléments
stabilisants
sucrés,
sels minéraux**

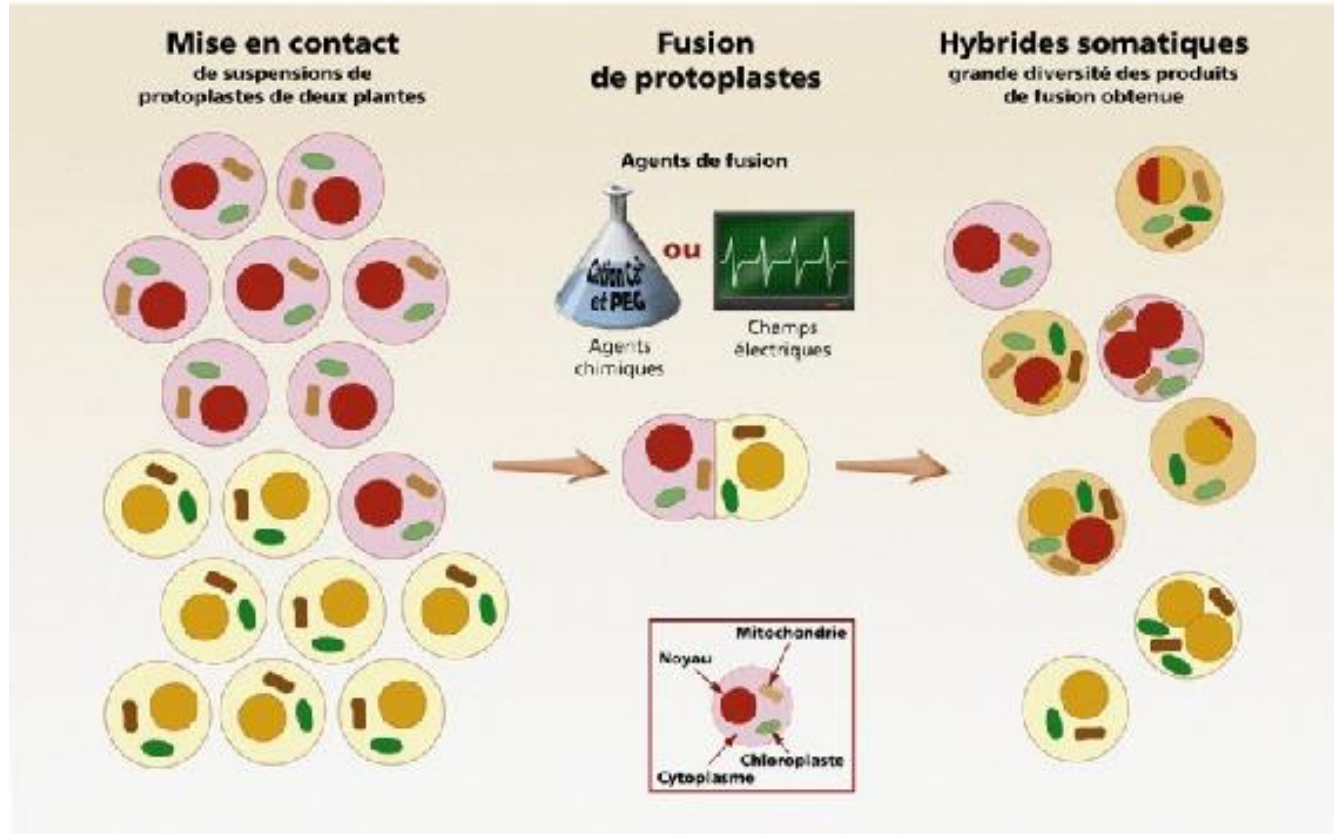
**Suspension
de protoplastes**



La plante domestiquée

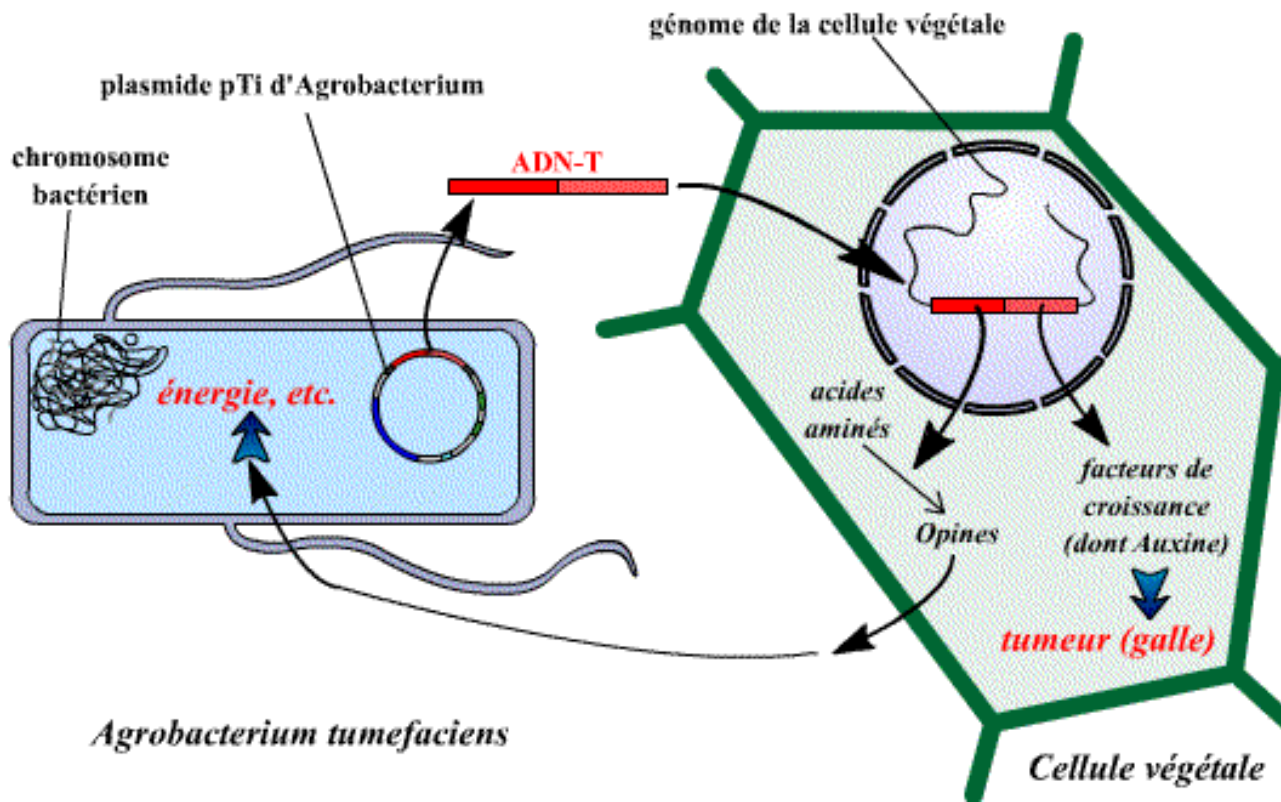


L'hybridation somatique

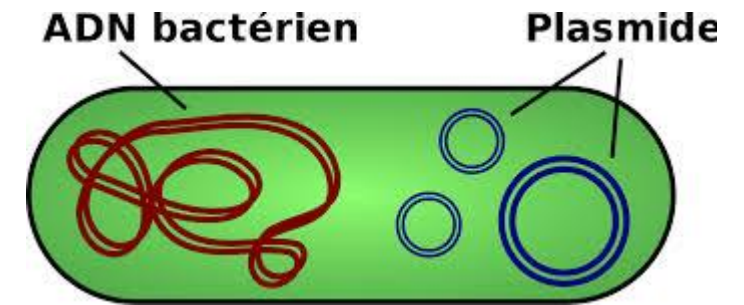


Avec l'hybridation sexuée, entre deux espèces végétales voisines, deux compartiments génétiques ne seront pas exprimés dans l'hybride : les plastes et les mitochondries, qui sont hérités par la mère. Avec l'hybridation somatique, en fusionnant deux protoplastes d'espèces différentes, plus ou moins proches, les deux cytoplasmes peuvent s'exprimer dans la cellule obtenue, c'est-à-dire confronter les génomes chloroplastiques et mitochondriaux. Or de nombreuses résistances sont d'origine chloroplastique ou mitochondriale, donc difficilement transférables par les voies classiques. A l'aide de l'hybridation somatique, des résistances contenues dans les espèces sauvages ont pu être introduites dans une souche cultivée.

- Exemple : L'hybridation entre *Brassica napus* et *B. hirta* a permis le transfert, de la moutarde blanche au colza, des résistances à l'*Alternaria* et aux Nématodes.
- Le frein essentiel à la mise en oeuvre de ces technologies est la difficulté de régénération d'une plante entière à partir de protoplastes, en particulier chez les Céréales et les Légumineuses, groupes à grand intérêt agronomique.
 - Ces manipulations restent un peu aveugles dans la mesure où la qualité des modifications introduites est mal contrôlée.
- Il est possible d'infecter les protoplastes qui ne possèdent plus qu'une simple membrane par *Agrobacterium tumefaciens* pour y introduire de nouveaux gènes.



La plante domestiquée



Une bactérie infectant naturellement les végétaux supérieurs

La transgénèse consiste à ajouter un nouveau gène dans un organisme. Chez les végétaux, plusieurs techniques de transgénèse ont été développées. La possibilité de régénérer une plante entière à partir de quelques cellules végétales est d'un grand intérêt lors de ces transgénèses. Une des techniques les plus utilisées en transgénèse végétale est l'utilisation d'une bactérie du sol, *Agrobacterium tumefaciens*.

Agrobacterium tumefaciens est une bactérie en forme de bâtonnet, de la famille des Rhizobiacées. Elle se développe dans le sol.

Elle est attirée par des composés phénoliques dégagés par les plantes dicotylédones lorsqu'elles sont blessées. Au niveau de cette blessure, *Agrobacterium* est capable de se fixer sur les cellules du végétal. À la suite de ce contact, ces cellules végétales se multiplient de manière importante, donnant naissance à une formation tumorale. Elle est en général située au niveau du collet, d'où le nom de cette formation : la galle du collet (crown gall).

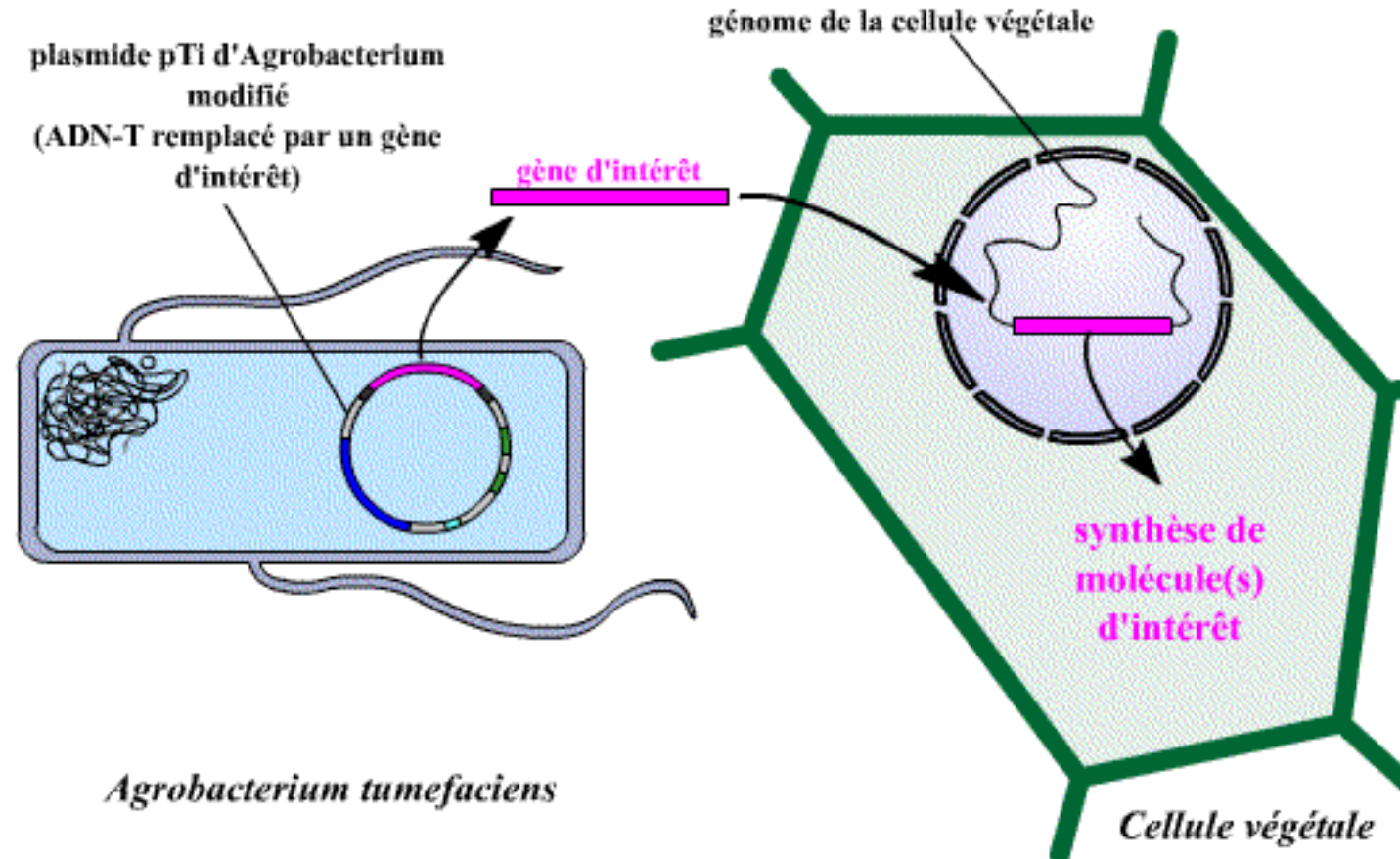
Les cellules de la galle libèrent des composés chimiques particuliers dans le milieu : les opines, molécules formées de deux acides aminés couplés. Les bactéries *Agrobacterium* présentes près de la galle, dans le sol, sont capables d'utiliser alors ces opines comme source d'azote, mais aussi de carbone et d'énergie.

Agrobacterium tumefaciens est donc capable d'induire, chez une plante dicotylédone, la formation d'une galle lui fournissant un substrat. Depuis 1974, on sait que cette induction est due au transfert d'un petit ADN plasmidique depuis la bactérie jusque dans le génome des cellules de la plante.

La plante domestiquée

Agrobacterium tumefaciens (tout comme, d'ailleurs, d'autres bactéries de la famille des Rhizobiacées) est donc capable d'injecter un ADN dans une cellule végétale où il s'insère dans le génome chromosomique. Cet ADN, qui peut circuler ainsi d'un organisme à un autre, est un fragment de plasmide (ADN circulaire bactérien de petite taille) : le plasmide pTi.

Agrobacterium réalise donc, naturellement, une transgénèse d'une partie de ses gènes (grâce à pTi) dans un organisme végétal. L'ADN qui est ainsi transféré est nommé ADN-T. Il a donc été rapidement proposé, une fois ce mécanisme connu, de le détourner dans un but de transgénèse. Pour cela, il « suffit » de remplacer l'ADN-T par un autre ADN portant un gène d'intérêt, par exemple.

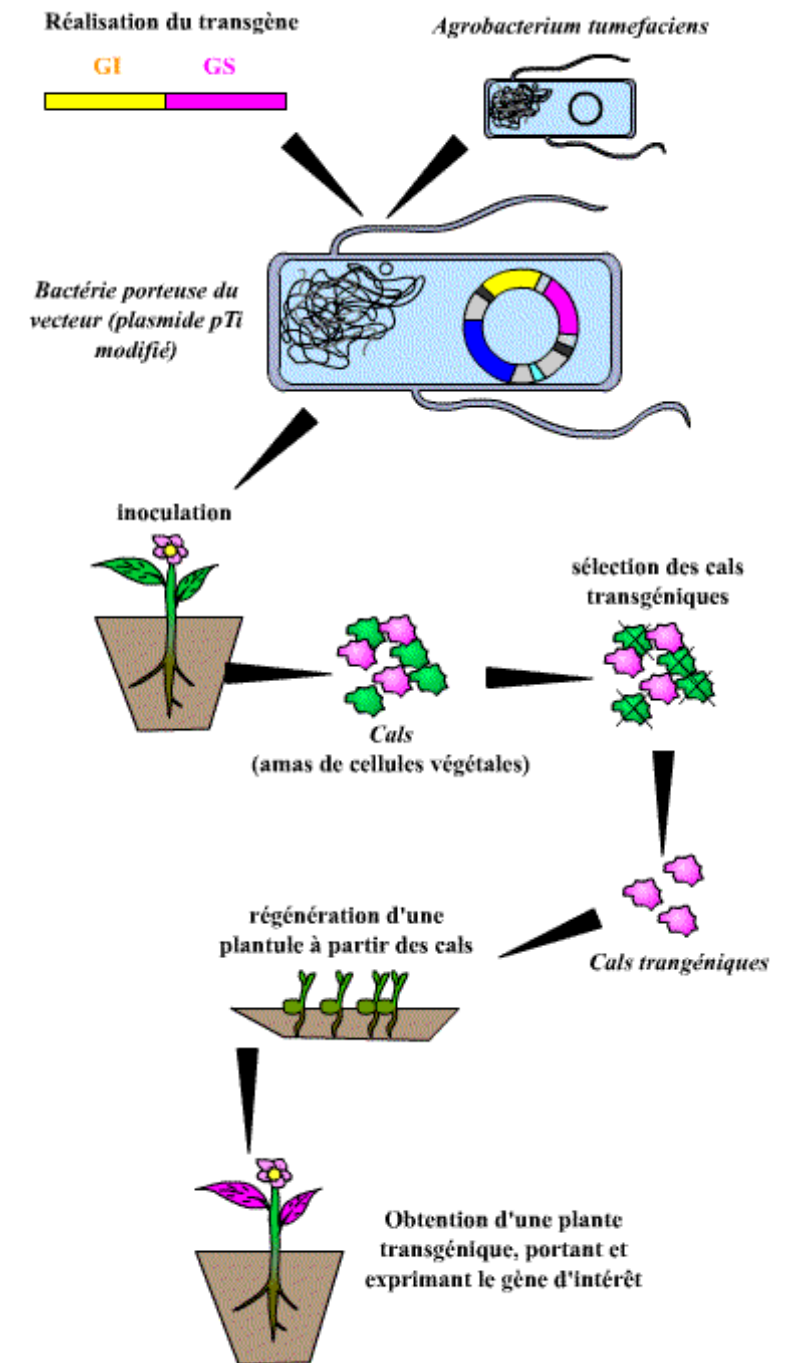
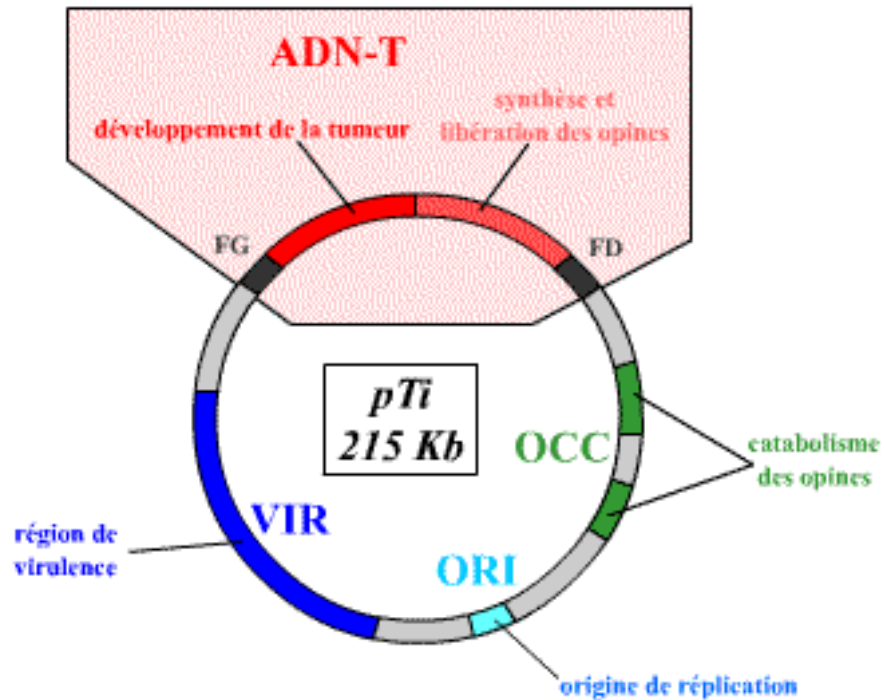


La plante domestiquée

La réalisation d'un vecteur de transgénèse par *Agrobacterium tumefaciens* implique donc de remplacer l'ADN-T, qui sera transféré, par le gène que l'on souhaite introduire dans le végétal. Il existe de nombreuses stratégies dans ce but. Les méthodes les plus complexes permettent désormais d'obtenir des plantes où le transgène se limite au seul gène d'intérêt, sans aucune séquence supplémentaire.

Le vecteur le plus simple à obtenir est un vecteur où l'ADN-T a été remplacé par un ADN comportant en particulier le gène d'intérêt (GI) accompagné d'un gène de sélection (GS).

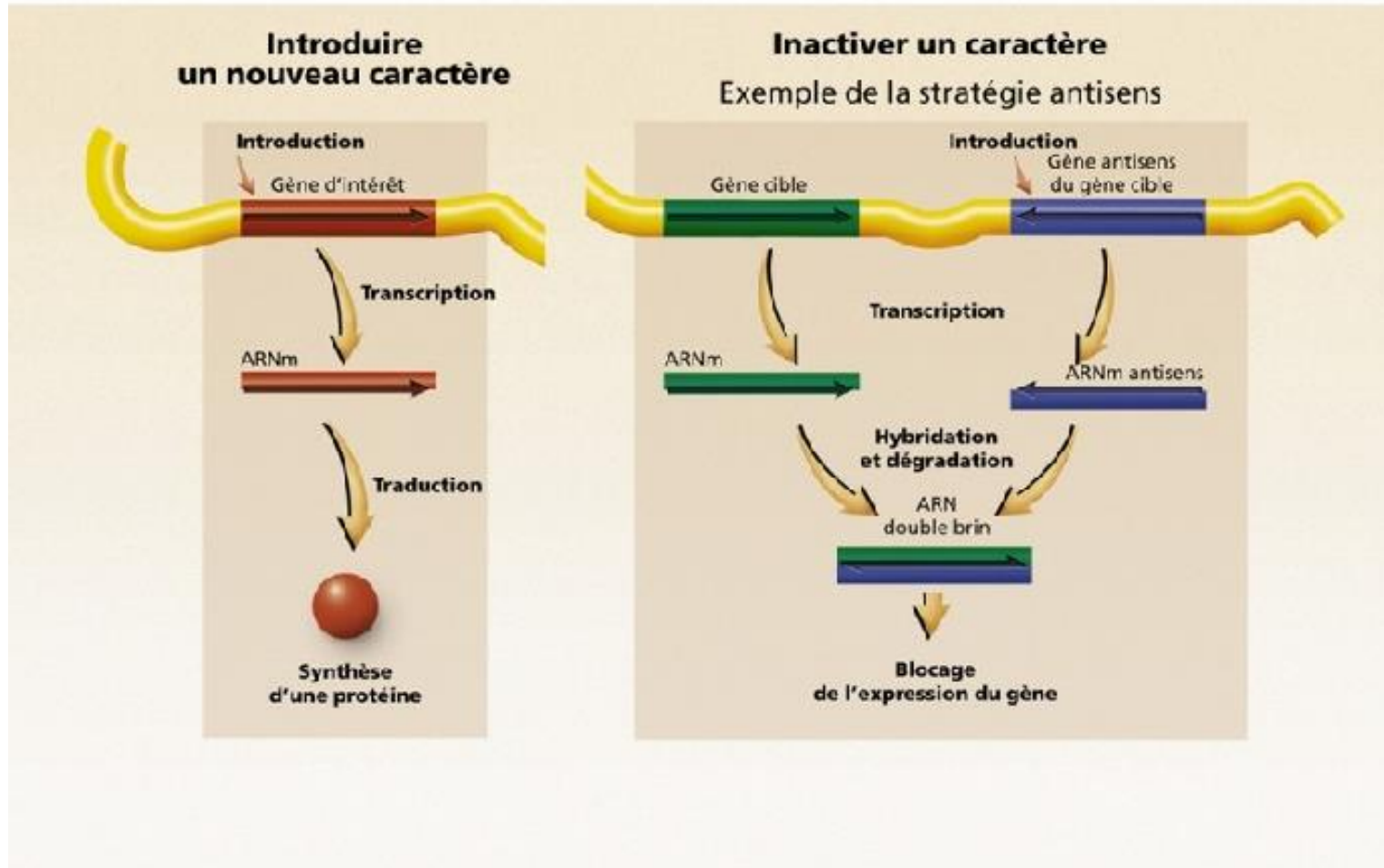
Le gène de sélection permet de repérer facilement les cellules ou amas de cellules qui ont intégré l'ADN transgénique à leur génome. Il s'agit en général d'un gène permettant la survie de ces cellules dans certaines conditions particulières, ou bien d'un gène aboutissant à la présence d'une molécule repérable facilement.



La plante domestiquée



La transgénèse : différentes stratégies





La tomate

Tomate cultivée
Solanum lycopersicum var esculentum Cultivar *Giant Heirloom*)
à côté de *S.pimpinellifolium*



Tomate sauvage
Solanum
pimpinellifolium



Tomate cultivée
Solanum lycopersicum var cerasiforme



La tomate



Figure 2: Evolution de la production de tomate (en rouge) et de la superficie des cultures (en vert) dans le monde (FAO, 2009).

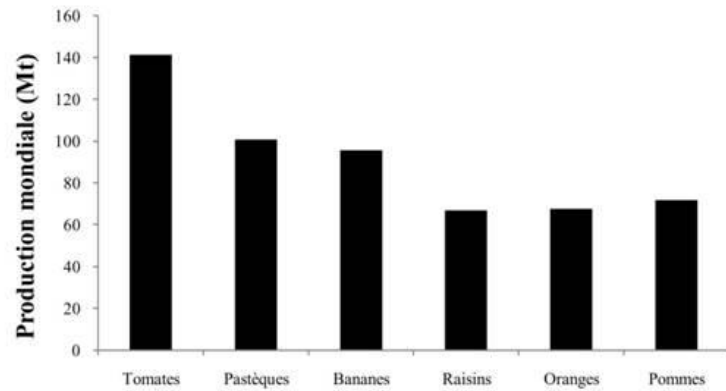
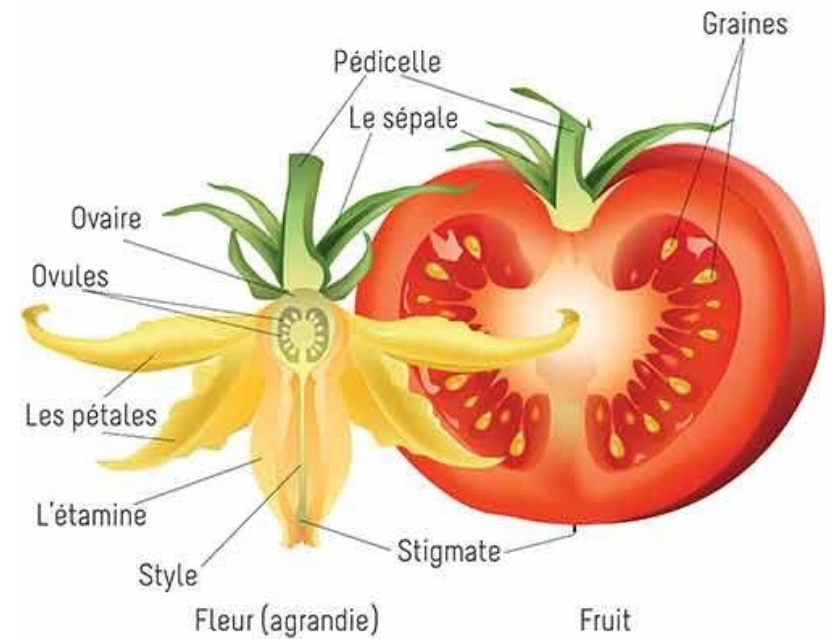
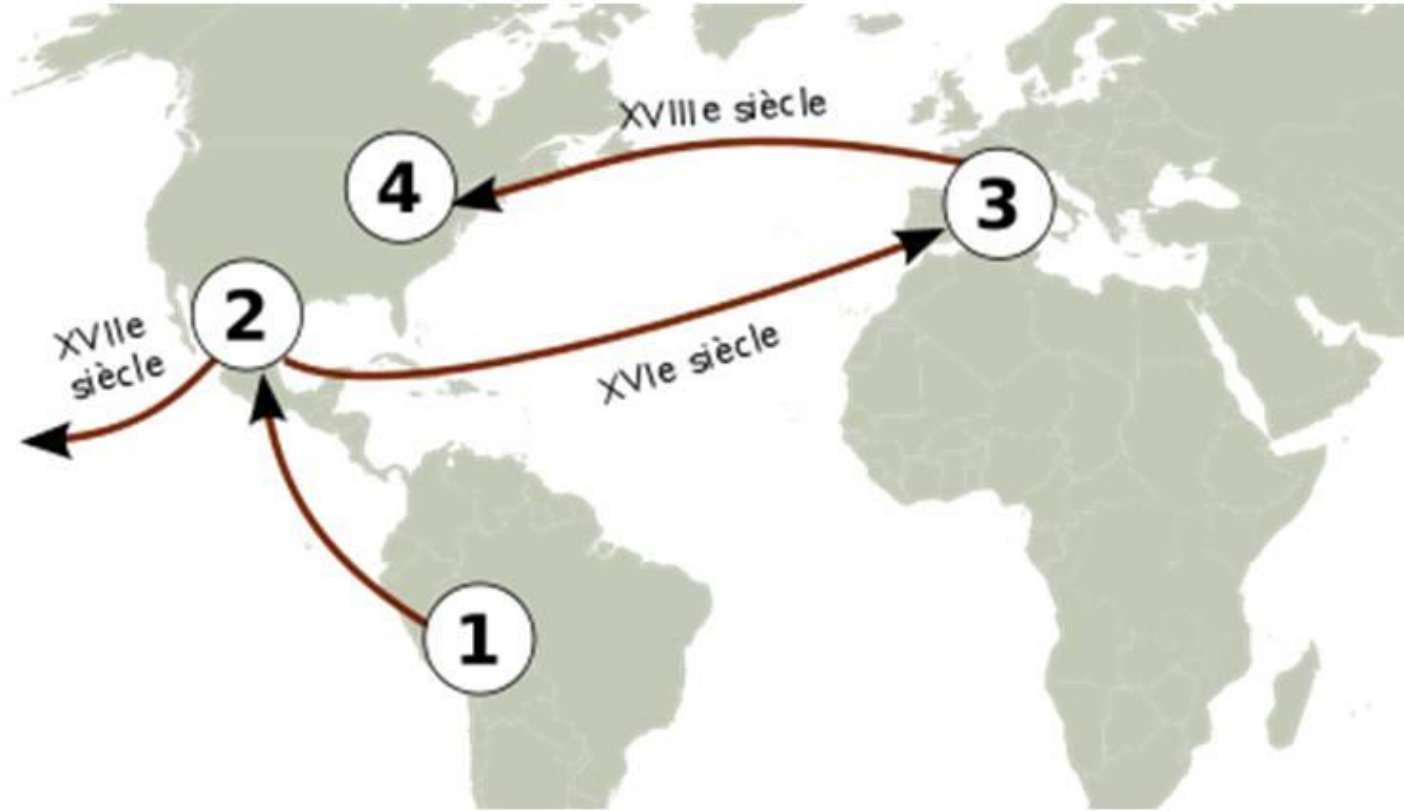


Figure 3: Production mondiale des principaux fruits dans le monde (FAO, 2009)





1= localisation de l'espèce ancestrale et début de domestication dans les Andes par les Aztèques


2= domestication des variétés plus grosses, importation d'une variété ancestrale aux Galápagos

3= plants rapportés en Europe, élargissement des variétés

4= installation des variétés domestiques aux Etats Unis.



QUELQUES VARIETES DE TOMATES ET LEURS CARACTERISTIQUES

Genre espèce	localisation	Qualités
<i>Solanum cheesmaniae</i>	Endémique des Galápagos	Appréciée des tortues Résiste aux sols salins
<i>Solanum pimpinellifolium</i> Outomate groseille	Sud de l'Equateur et Nord du Pérou dans les vallées côtières	La plus proche de la variété cultivée, fruits comestibles, résistante à la verticilliose et la fusariose vasculaire ainsi qu'à la maladie bronzée de la tomate (virus TSWV)
<i>Solanum peruvianum</i>	Zones sèches de la côte péruvienne et des vallées andines du Pérou et nord Chili	Résistance au virus de la mosaïque du tabac Résistance aux nématodes à galles du genre <i>Meloidogyne</i>  Résistance à la fusariose des racines menaçant en culture hors sol.
<i>Solanum chilense</i> , très proche de <i>peruvianum</i>	Pérou et Nord du Chili	Gène de résistance sécheresse
<i>Solanum habrochaites</i>	Andes, 500 à 3000 m d'altitude, zones humides jusqu'au Sud de l'Equateur	Fruits verts à maturité Résistance au froid
<i>Solanum pennellii</i>	Centre Pérou	Résistance sécheresse A l'origine du véritable ketchup
<i>Solanum chmielewskyi</i>	Sud du Pérou et nord de la Bolivie	Haute teneur en sucres Forte teneur en matière sèche
<i>Solanum lycopersicum</i> var <i>esculentum</i>	Equateur et Pérou	Taille importante Formes variées Sensible aux maladies
<i>Solanum lycopersicum cerasiforme</i> ou tomate cerise	Equateur et Pérou Première forme domestiquée par les Aztèques	Petite taille Couleurs et formes variées Sensible aux maladies

http://www7.inra.fr/internet/Projets/Diaporama/tomate_histoire_et_ameliorations





Solanum peruvianum



Solanum chilense



Solanum cheesmaniae



Solanum lycopersicum var
cerasiforme cultivar poire
jaune



Solanum lycopersicum var
esculentum cultivar ALAMBRA



Solanum lycopersicum var
esculentum cultivar grosse
rouge plate du portugal



De nombreux
croisements ont été
faits pour obtenir
les plus de 300
variétés de tomates
actuelles !

Le gène *FW2.2* s'exprime après l'anthèse (ouverture de la fleur). L'allèle sauvage *FW2.2+* code pour un facteur de transcription qui limite l'expression du gène *ORFX* impliqués dans la prolifération cellulaire ce qui donne des fruits de petite taille. Quand il y a une mutation (*FW2.2-*) celui-ci n'est pas exprimé et plus rien ne régule *ORFX*. La surexpression de *ORFX* consécutive modifie jusqu'à 30% la taille du fruit sans en modifier la forme.

**Tomate cerise *FW2.2+*
1 cm**



Tomate *FW2.2-* 4 cm



Le gène *fas* ou *fasciated* peut être responsable à lui seul d'une augmentation de 50% de la taille des tomates. Il code pour un facteur de transcription (protéine FAS) activant des gènes de développement de l'ovaire contrôlant le nombre de carpelles et leur fusion. Il s'exprime avant l'anthèse. Ce caractère *fasciated* existe chez les variétés anciennes.

FAS+ : 2 à 3 loges dont les cloisons sont fusionnées, forme sauvage

FAS-1 : plusieurs loges fusionnées dominant

FAS D : plusieurs loges non fusionnées dominant

FAS-1



FAS D



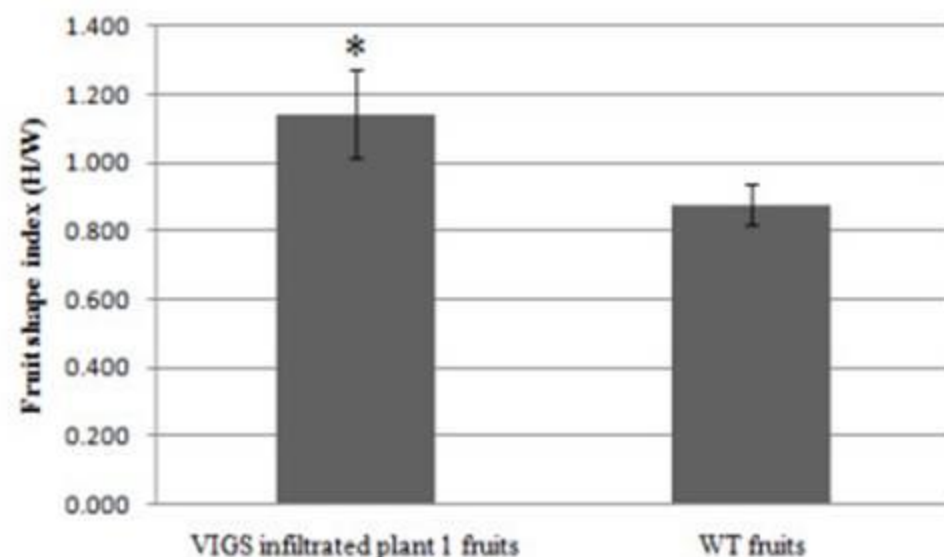
Le gène FS8.1 muté induit une forme « carré » du fruit. Ce caractère a été utilisé en amélioration variétale des cultivars destinés à la production industrielle et a notamment permis d'augmenter la résistance mécanique du fruit pendant la récolte mécanique. Les changements dans la forme du fruit induits par FS8.1 commencent très tôt au cours du développement floral et carpellaire (Ku, Grandillo et al. 2000).



Le gène *OVATE* code pour un facteur de transcription activant un gène de développement impliqué précocement dans le développement du fruit (moins de 10 jours après pollinisation) et jusqu'à 2 semaines après l'anthèse et responsable de la variation de l'indice longueurmaxi/largeurmaxi le long du fruit.

***OVATE* + : pas de variation de l'indice longueurmaxi/largeurmaxi, tomate ronde, forme sauvage**

***OVATE* - : variation de l'indice longueurmaxi/largeurmaxi, élongation asymétrique, telle que l'élongation du haut du fruit est plus importante que celle du bas (forme pyriforme, de poire).**



Des plants modifiés ont été obtenus en injectant précocement un facteur (VIGS) inhibant l'expression du gène *Ovate*. Leur forme ou rapport Hauteurmaxi/largeurmaxi (H/W) est nettement différente de celui des fruits WT (Wild Type) provenant de plantes n'ayant pas reçu ce facteur. (*Shape = forme*)



Bilan: La plante domestiquée

Les biotechnologies ont permis d'augmenter considérablement le nombre de variétés en s'affranchissant des barrières interspécifiques. Il est possible aujourd'hui de sélectionner non pas un plant entier mais une cellule seulement pour la cultiver in vitro après l'avoir modifiée génétiquement.

- La fusion de protoplastes (cellules végétales débarrassées de leur paroi) est une technique d'hybridation somatique utilisée pour exprimer des gènes chloroplastiques ou mitochondriaux.

- La transgénèse est une technique visant à introduire un gène d'intérêt ou un gène répresseur dans le génome de toutes les cellules de la plante. Pour ce faire, il suffit d'intégrer le transgène dans un protoplaste capable de se diviser pour former la plante tout entière. De nombreux vecteurs naturels permettent ce transfert : ce sont des virus ou des bactéries (ex : *Agrobacterium tumefaciens*). Les plantes génétiquement modifiées sont aussi appelées PGM ou OGM et leur mise en culture tout comme leur commercialisation soulève de grands débats.

Les hybrides spécifiques sont stériles (incompatibilités des génomes, nombre impair de chromosomes...). Soit ils sont exploités pour leur appareil végétatif soit pour leurs fruits. On pourrait s'étonner que de telles plantes produisent des fruits alors qu'elles sont stériles! En fait, certaines plantes sont parthénocarpiques : elles sont capables de former des fruits en l'absence de fécondation. La parthénocarpie peut être naturelle (ex : concombre), ou provoquée par des hormones végétales (ex : banane triploïdes)...

Le risque réel des OGM vient du fait que les espèces végétales ont la capacité à s'hybrider entre elles. Un gène transféré, comme par exemple celui codant pour la résistance à un herbicide, pourrait passer « facilement » de l'OGM à une espèce sauvage plus ou moins proche.