

MENS

DOSSIER

Bricoler avec des gènes de plantes

Partie I : Une technologie comme (auc)une autre ?

AVANT-PROPOS



Cher lecteur MēNS,

Une fois de plus, un nouveau numéro de MēNS vous attend. À la lecture du titre de ce dossier, des images probables de champs de pommes de terre détruits et de scientifiques en colère vous viennent à l'esprit. Rapidement aussi le 'Procès des pommes de terre' surgit dans les médias. Et ça ne s'arrête pas là. Au sujet des peupliers OGM aussi les avis n'ont pas hésité à se faire entendre. Mais pourquoi tout ce tintouin ?

De tout temps, des personnes se sont impliquées pour tirer un maximum de leurs activités agricoles. On obtient de plus grosses récoltes en recherchant dans la nature des variétés qui génèrent un beau rendement ou en concevant du matériel agricole meilleur et plus efficace. L'agriculture est confrontée pourtant à bon nombre de problèmes. Cultiver des plantes en monoculture augmente le risque d'un échec total en raison de maladies. Dans les endroits où la production d'aliments est limitée, les gens courent le risque - à cause d'un régime monotone - de développer des manques en vitamines et minéraux. En outre, produire des aliments est une chose, les amener indemnes jusqu'au consommateur en est une autre. Nous avons peu à peu atteint les limites des possibilités de l'agriculture.

C'est alors que les chercheurs sont entrés en jeu. Vous avez certainement déjà entendu le Prof. Dr Van Montagu proposer des OGM, encore appelés des organismes génétiquement modifiés, le remède miracle contre les murs face auxquels se retrouvent parfois les agriculteurs ? À l'heure actuelle, il en existe de tous les types et toutes les dimensions. Des plantes qui protègent contre certaines maladies, des plantes qui sont résistantes contre certains herbicides, des plantes qui produisent des provitamines en concentrations plus importantes, des plantes offrant une plus longue durée de conservation... Ça paraît très spectaculaire et chaque problème semble être contourné. Dans certaines régions du monde, elles sont déjà bien établies, d'autres régions semblent s'y opposer.

Ce numéro de MēNS souhaite vous emmener dans ce monde pour comprendre comment un pareil OGM voit le jour et quelles possibilités existent déjà. La discussion sur les OGM peut réellement signifier le sauvetage de notre système agricole global ou devrions-nous être plus vigilants ? Nous réservons la réponse pour le prochain numéro.

À présent, il me reste encore à vous souhaiter beaucoup de plaisir à la lecture de ce dossier et j'espère que vous serez fasciné par cette prouesse technologique.

Ir Ariane Ooms

Table des matières



2



14



21

Variétés et sélection : dans quelle mesure nos plantes sont-elles encore naturelles ?	4
Du champ au labo : la mutagenèse	9
Silencage génétique	13
Les OGM dans le monde	15
<i>Bacillus thuringiensis</i> : en direct ou en différé ?	21
Golden Rice : remède miracle ou charlatanisme ?	23

Bricoler avec des gènes de plantes

Partie I : Une technologie comme (auc)une autre ?

Prof. Dr Geert Potters (École supérieure de navigation - Université d'Anvers)

La réalisation de plantes transgéniques est une invention belge. Les chercheurs Marc Van Montagu et Jeff Schell, conjointement avec leur équipe de collaborateurs et d'étudiants à l'Université de Gand, ont en effet appris au cours des années 1970 et 1980 comment une simple bactérie du sol, appelée *Agrobacterium tumefaciens*, peut introduire une partie de son propre ADN dans les cellules d'une plante réceptrice. Ces cellules commencent ensuite à se diviser en abondance et assurent ainsi un environnement dans lequel la bactérie peut faire son nid et se nourrir des stocks de la plante. Rien que le fait d'avoir dévoilé cette interaction était déjà une performance scientifique de haut niveau. Mais l'équipe gantoise a fait plus : elle a en effet découvert aussi que ce morceau d'ADN bactérien peut être remplacé par tout autre morceau d'ADN. Et là encore, nous parlons d'une

découverte de taille. Ainsi, des plantes pouvaient acquérir de nouvelles propriétés sans devoir passer par la voie des croisements classiques et de la sélection tellement gourmands en termes de temps. La naissance de l'ère transgénique était un fait.

Et pourtant, la Belgique ne regorge toutefois pas d'entreprises de biotechnologie végétale. Plus encore : le citoyen belge, et par extension le citoyen européen, n'est pas friand de tout ce bricolage génétique. Ainsi, des entreprises comme Bayer n'investissent plus dans la biotechnologie végétale sur le continent européen. Des associations environnementales renvoient à l'impact écologique éventuel de l'autorisation incontrôlée des organismes génétiquement modifiés (OGM) dans la nature. D'autres chercheurs soulignent les répercussions que le fait



Les professeurs Marc Van Montagu et Jeff Schell



de manger ces plantes pourrait avoir sur la santé du consommateur. D'autres encore déplorent que la technologie génétique soit surtout devenue une affaire de gros business, et que les entreprises intéressées comme Monsanto et Bayer sont seulement attentives aux bénéfices qu'elles peuvent retirer de ces plantes et n'accordent aucune attention au développement durable de l'agriculture, pas dans le riche occident, et certainement pas dans les pays en voie de développement. Et parfois, il en résulte de véritables "champs" de bataille, où se rencontrent les partisans et les opposants autour d'un essai de pommes de terre résistantes aux maladies. D'une part, on retrouve des promesses ambitieuses de professeurs et de multinationales biotechnologiques, d'autre part, on retrouve d'autres professeurs et des ONG qui se posent beaucoup de questions concernant l'opportunité et la sécurité de ces nouvelles cultures. Peut-être nous devons en effet mettre des bornes à cette technologie.

Ce dossier porte uniquement sur des plantes génétiquement modifiées pour de bonnes raisons. Tout d'abord, nous voulons conduire cette discussion d'une manière responsable et c'est pour ça qu'il y aura deux dossiers. Si nous voulions aussi aborder le thème (encore beaucoup plus controversé) des animaux transgéniques, nous ne ferions honneur à aucun des deux thèmes. En outre, les cultures génétiquement modifiées sont d'importants produits agricoles dans de grandes parties du monde, et la discussion (en tout cas en UE) porte surtout sur le fait d'autoriser ces cultures dans nos champs. L'élevage d'animaux transgéniques n'est pas aussi important, tout au moins pas en ce moment. Des bactéries génétiquement modifiées existent effectivement (par ex. pour la production de protéines thérapeutiques), mais ce n'est pas le sujet de la discussion.

Non pas que nous ne souhaitons pas un dossier sur les animaux et les personnes et de possibles modifications de leur matériel génétique. Nous aimerions écrire sur les clones, la recherche sur les cellules souches, la thérapie génique chez les hommes et les bébés à la carte. Et qui sait, nous le ferons peut-être. Et plus vite que vous ne le pensez.

Mais où doivent venir ces bornes ? Qu'en pensez-vous... Récemment sont apparues sur le marché aux USA les Arctic Apple. Dans cette pomme génétiquement modifiée, le fonctionnement des polyphénol-oxydases (PPH) est réprimé, de sorte que la pomme ne brunit pas à l'air (regardez vous-même sur youtu.be/g2-BqBZmVd0).

Ce fruit a pu dès le départ compter sur une bonne dose de publicité négative : les opposants ont clamé que les effets de la pomme sur les hommes étaient incertains, que certaines personnes allaient développer des réactions allergiques à cette pomme, que le pommier en fleurs allait pouvoir polliniser les vergers voisins et ainsi laisser 's'échapper' le gène. Le terme aujourd'hui connu de « nourriture de Frankenstein » n'est pas tombé du ciel. Cependant il existe un pendant naturel : une variante au raisin Sultana, découverte en 1962, dans laquelle ce même gène PPO est désactivé de façon naturelle. Personne ne se pose de questions à ce propos. Le raisin reste blanc et sert à



La Arctic Apple (à droite) brunit beaucoup plus lentement qu'une pomme habituelle



Des gènes qui changent : il s'agit parfois d'un élément naturel

Une batterie de termes et de mots

allèle	variante d'un gène, par ex. la couleur blanche de la fleur et la couleur rouge de la fleur sont deux allèles pour le gène déterminant la couleur de fleur.
gènes liés	des gènes qui pendant la méiose dans (presque) tous les cas sont transférés ensemble, car ils se trouvent l'un à côté de l'autre sur un chromosome et très rarement seulement lors d'un enjambement sont séparés l'un de l'autre
gène	fragment d'ADN qui correspond au code d'une propriété héréditaire spécifique, par ex. la couleur de fleur. Attention - certaines propriétés sont à imputer à plusieurs gènes conjointement.
génome	ensemble de tous les gènes et de l'ADN intermédiaire d'un organisme (voir aussi MeNS 50, Biologie systémique)
construction de gène	gène créé artificiellement pour s'exprimer dans un organisme transgénique
CGM	culture génétiquement modifiée
OGM	organisme génétiquement modifié
pléidie	nombre de copies de chaque génome présentes dans un tissu déterminé (indiqué par un chiffre suivi de la lettre n)
polyploïdie	la présence de plus d'une copie d'un génome dans une cellule ou un tissu

la production de raisins secs légèrement colorés et de vins à faibles concentrations en phénols. Tout le monde trouve ça parfait, personne ne demande d'enquête complémentaire, et ces raisins sont peut-être aussi sur des vignobles biologiques.

Néanmoins, ce raisin symbolise tout le malheur éventuel avancé par les opposants aux OGM pour éradiquer cette technologie. Dans ces raisins, non seulement le PPO était désactivé, mais une nouvelle protéine était aussi effectivement formée – laquelle se trouvait également à la base du changement de couleur de ces fruits. Par hasard, par des mutations aléatoires. Lorsque cela se passe consciemment et avec une précision scientifique, comme pour la Arctic Apple, apparaît à tort ou à raison tout un tintouin. Où se situe alors la frontière entre un processus naturel et un processus de laboratoire pour parvenir à une nouvelle culture, et pourquoi cela prend-il des années pour que l'un soit accepté et des secondes pour commencer à manger l'autre ? Admettons-le, il est temps que nous nous penchions sur la question.

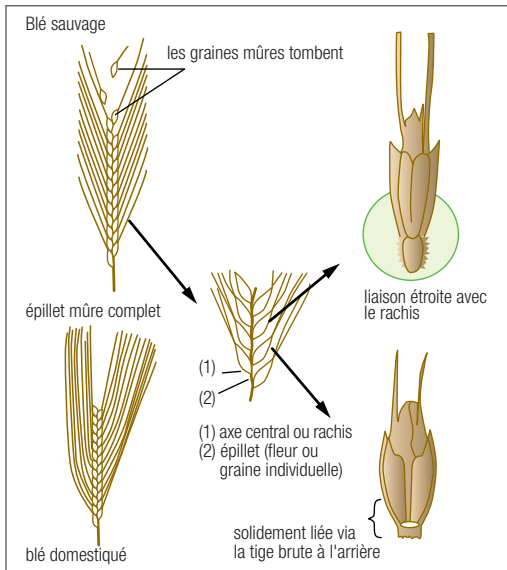
C'est pourquoi MeNS consacre deux numéros à cette problématique. Dans cette première partie, nous abordons la technologie pour modifier génétiquement des plantes : quelle est la différence entre un croisement classique et une modification génétique ? Comment crée-t-on une plante transgénique, quels sont les exemples que l'on retrouve dans le monde et sur quelles idées est-ce basé ? La deuxième partie étudie de manière plus approfondie les arguments des opposants : est-il sûr de manger des OGM ? Utilise-t-on effectivement plus ou moins d'herbicides aujourd'hui sur des cultures qui y sont insensibles ? Où en est-on avec les brevets et les grandes entreprises compriment-elles vraiment les petits agriculteurs ? Et qu'en est-il des OGM dans la problématique des aliments pour l'avenir ? Quiconque espère une solide discussion avec des arguments pour et contre est servi : à la fin de ce numéro, on parle du riz doré, et le prochain numéro approfondit la discussion.



Variétés et sélection : dans quelle mesure nos plantes sont-elles encore naturelles ?

De chasseur-cueilleur à biotechnologue-agriculteur

L'homme bricole depuis des milliers d'années déjà sur les informations génétiques qui sont dissimulées dans l'ADN des plantes et des animaux. Il le fait en croisant entre elles des plantes présentant les caractéristiques souhaitées : de gros fruits, une maturation rapide, des graines faciles à récolter, une bonne résistance contre les maladies, le froid... L'homme essaie ainsi de maîtriser entièrement la culture d'un certain nombre de plantes. Ainsi, un épi mûr de blé sauvage se décomposera plus vite (et donc, les graines se répandront), mais les graines resteront plus longtemps suspendues à une variété domestiquée (car ces graines restent plus longtemps accrochées, il y a donc plus de chance que l'homme les cueille). Les graines sont aussi systématiquement plus grandes à mesure que la plante est de plus en plus domestiquée par l'homme : c'est aussi en effet une caractéristique à laquelle l'agriculteur attache de l'attention.

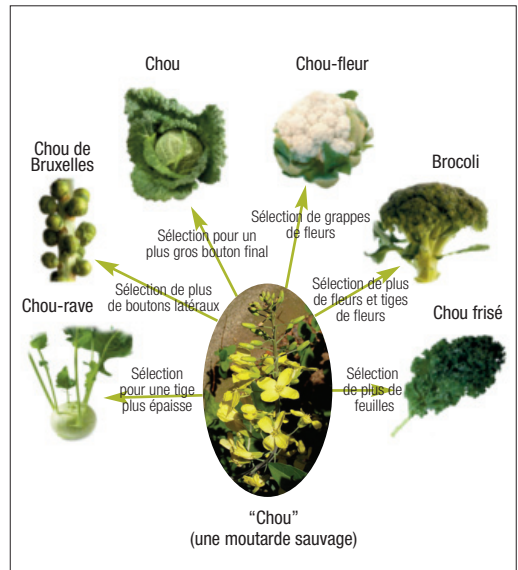


Caractéristiques de sélection du blé domestiqué

L'homme ne le faisait (et ne le fait !) pas uniquement avec les plantes. Il a sélectionné, cultivé et croisé aussi des animaux, il a brassé de la bière (et sélectionné pour cela les bonnes levures), et il s'est laissé charmer par les moisissures dans le fromage. Mais nous devons parler des plantes.

Dans d'autres cas, l'agriculture émergente a garanti plus de variétés de légumes et de fruits. Les plantes cultivées n'ont pas seulement l'air différent de leurs ancêtres sauvages, dans certains cas, elles subissent une véritable métamorphose suite à la sélection. Ainsi, le chou de Bruxelles est une variété de chou où apparaissent beaucoup de boutons latéraux, tandis que le brocoli est sélectionné sur la base des boutons de fleurs.

Bon nombre de plantes sont par ailleurs pleinement dépendantes de l'homme par cette sélection : en pleine nature, elles ne survivraient pas ou ne se propageraient pas. Les bananes commerciales sont un exemple d'organismes triploïdes qui ne peuvent plus former de graines.



Les variétés de chou sélectionnées par l'homme

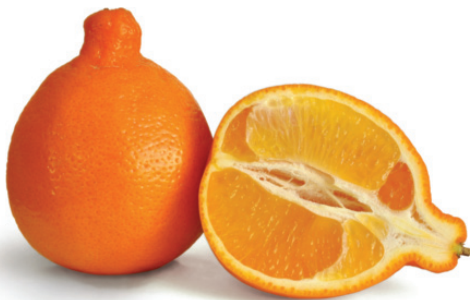


Le pluot (Prunus salicina × armeniaca) est une forme intermédiaire entre la prune japonaise (Prunus salicina) et l'abricot (Prunus armeniaca). Son nom est une contraction des noms anglais de la prune (plum) et de l'abricot (apricot). Ils ont le goût des prunes et la texture d'un abricot.

La seule manière pour ces plantes de se propager est par bouture ou ramifications. D'autres plantes, comme le chanvre ou les carottes, sont moins intensément modifiées et devraient encore pouvoir survivre en pleine nature.

Dans certains cas, il semble que la limite entre les variétés ne soit pas aussi infranchissable qu'il n'est souvent affiché. Certains genres de plantes connaissent un très grand nombre de formes intermédiaires hybrides... et notre réfrigérateur est plein de leurs fruits ! Ainsi, on trouve outre le citron, par exemple le minneola ou tangelo (un croisement entre une mandarine (tangerine en anglais) et un pomelo ou un pamplemousse) et un dekopon (un croisement entre deux variétés japonaises). Les Tayberries et Loganberries sont des croisements entre les framboises et

les mûres. Le rangpur est une forme intermédiaire entre une mandarine et un citron. Et enfin il existe le pineberry, un croisement entre la fraise hawaïenne (*Fragaria chiloensis*) et la fraise habituelle (*Fragaria x ananassa*). Le résultat du croisement est plus petit et son goût se rapproche de l'ananas.



Minneola

Pineberry – Tayberry – Rangpur

Polyploïdie: Multiplication par des chromosomes

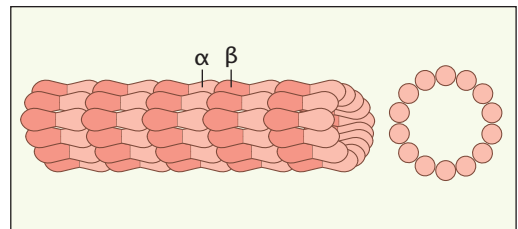
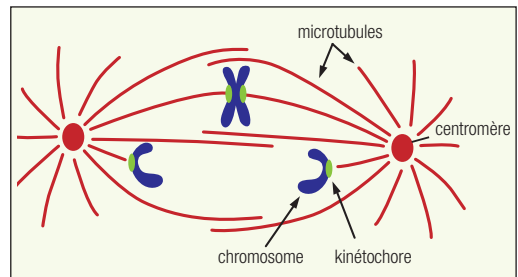
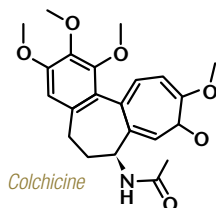
Une deuxième manière de parvenir à des plantes avec d'autres gènes que les plantes mères est de trouver des exemplaires polyploïdes. Les plantes normales contiennent deux exemplaires de chaque chromosome dans chacune de leurs cellules (et donc aussi deux allèles de chaque gène). Elles disposent ainsi de deux versions de leur génome complet. Pareilles cellules sont diploïdes ($2n$). Leurs gamètes apparaissent après une méiose ou une division de réduction, et contiennent seulement une seule copie de chaque chromosome (ou gène). Lorsque lors de cette méiose, quelque chose se passe toutefois mal, et que l'ADN n'est pas réparti équitablement entre les cellules filles, apparaissent des cellules avec une ploïdie divergente. Étant donné que tout l'ADN est originaire de la même essence parente, on parle de plantes autopolyploïdes. L'hybridation naturelle entre des plantes parentes fertiles avec des niveaux différents de polyploïdie peut produire de nouvelles plantes avec une ploïdie intermédiaire : ainsi, une plante triploïde ($3n$) peut voir le jour du croisement entre une diploïde et une tétraploïde ($4n$), ou une plante

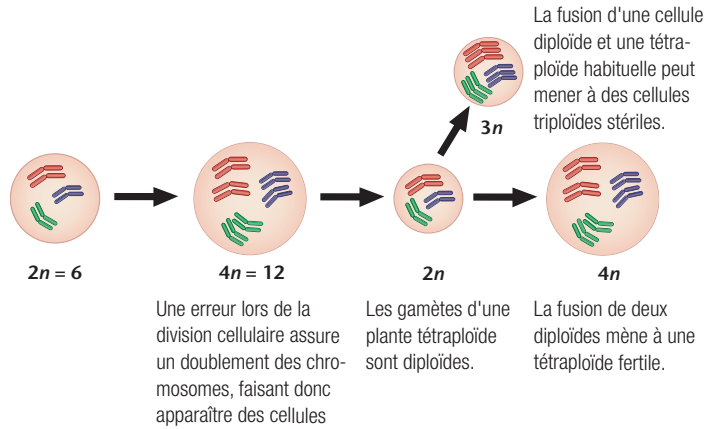
hexaploïde ($6n$) par croisement entre une diploïde ($2n$) et une octoploïde ($8n$).

Il est parfaitement possible d'obtenir une autopolyploïdie dans le laboratoire. Pour ce faire, le chercheur traite des cellules de plantes avec de la colchicine, une substance qui apparaît dans le *Colchicum autumnale*, le colchique d'automne. Cette substance bloque la formation de microtubules, et donc aussi du fuseau mitotique de la mitose/méiose. Des plantes dont l'appareil génital (étamine et ovaires) est traité avec de la colchicine (surtout les ovules et les grains de pollen) auront la moitié des cellules sans matériel génétique et l'autre moitié avec le double nombre de chromosomes. En cas de fusion de pareils gamètes, il en résulte des embryons avec deux fois le nombre habituel de chromosomes (et donc des plantes tétraploïdes au lieu de plantes diploïdes). Lorsque pareille plante tétraploïde est croisée avec une plante diploïde, on obtient une progéniture triploïde. Celles-ci sont stériles : en effet, une cellule triploïde ne peut subir aucune méiose, et donc ne former aucun gamète. Des plantes triploïdes ne produiront en outre aucune graine ni aucun pollen, et peuvent seulement être multipliées à l'état



Colchique d'automne





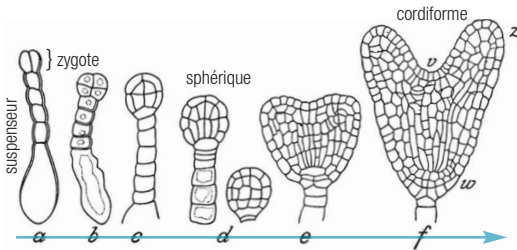
La mûre de Logan (*Rubus* × *loganobaccus*) est un hybride hexaploïde qui apparaît au hasard par le croisement d'une mûre sauvage octaploïde (*Rubus ursinus* cultivar 'Aughinbaugh') et une framboise diploïde (*Rubus idaeus*) qui peut être multipliée par bouturage ou greffe.

végétatif (via bouturage et ramifications). Dans certains cas, c'est à nouveau souhaitable. Ainsi, les bananes stériles citées précédemment et les pastèques sans pépins peuvent être créées volontairement via une triploïdie induite à la colchicine, car elle ne devrait plus produire aucune graine.

La polyploïdie est souvent appliquée comme technique pour rendre une plante hybride souhaitée fertile. L'exemple le plus connu est le titricale (×*Triticosecale*), un croisement de blé tétraploïde (*Triticum* spp.) et de seigle diploïde (*Secale cereale*) Cela fournit tout d'abord une culture triploïde stérile. Un traitement à la colchicine double toutefois ces chromosomes, de sorte que la plante devient à nouveau fertile. La plupart des variétés de blé sont du reste elles-mêmes des cultures allopolyploïdes. En d'autres termes, cela signifie que leurs chromosomes proviennent de plu-

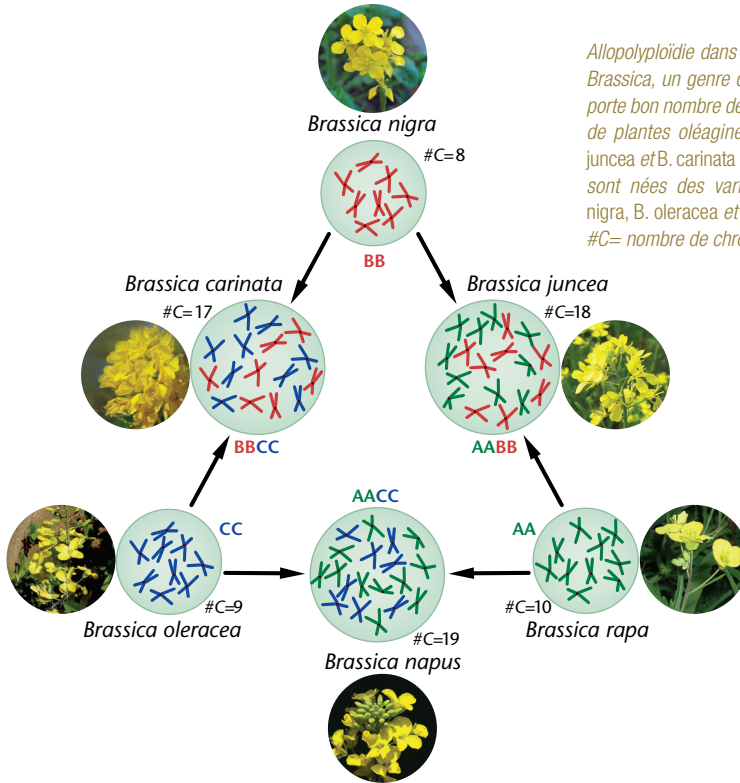
sieurs variétés. Le *Triticum aestivum* (blé tendre) est un hybride hexaploïde, émanant d'au moins trois graminées sauvages, et le blé qui est utilisé pour les pâtes (*Triticum durum*) est un hybride tétraploïde.

Toutes ces cultures sont apparues il y a des milliers et des dizaines d'années. Nous ne voulons pas affirmer qu'une modification génétique a été appliquée dès le début de l'agriculture (ce terme, nous préférons le conserver pour la transgénèse et la cisgénèse comme nous le définissons et le présentons dans le reste de ce dossier). Mais nous ne pouvons certainement pas nier que depuis les premières domestications des plantes et des animaux, nous jonglons avec les gènes et les génomes. Il y a assez bien de modifications génétiques entre la pomme sauvage et la jonagold d'aujourd'hui.

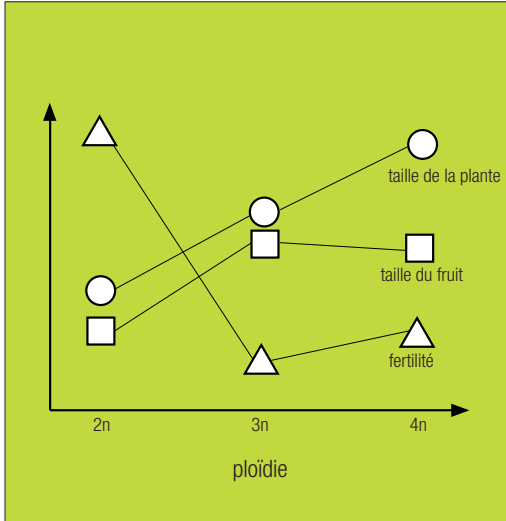


Embryons de la capselle





Allopolyploïdie dans le genre de plantes Brassica, un genre de plantes qui comporte bon nombre de légumes connus et de plantes oléagineuses. *B. napus*, *B. juncea* et *B. carinata* sont des variétés qui sont nées des variétés parentales *B. nigra*, *B. oleracea* et *B. rapa*.
#C= nombre de chromosomes



Comment la polyploïdie change la banane ? Naturellement, la plante et le fruit grandissent. Mais la fertilité n'est plus présente...

Banane sauvage



Le Dr Rutger a créé au début des années 1970 ce mutant de riz semi-nain (à gauche) avec l'aide du rayon gamma. Il s'est avéré fournir des rendements beaucoup plus élevés que la variété plus ancienne, car la plante mutée produisait plus de graines et se décomposait moins facilement et donc gâtait moins vite la récolte. En 1976, le riz muté a été lancé sur le marché en tant que Calrose 76. Environ 50 % de toutes les plantes de riz en Californie appartiennent à cette variété naine.



En 1929, des producteurs texans ont découvert le pampleousse mutant naturel Ruby Red, présentant une chair rouge vif. Toutefois après la maturation du fruit, celle-ci devenait plutôt rose. Ce n'était pas de la volonté des producteurs. En 1971 et 1985, deux nouvelles lignes sont créées via mutagenèse, respectivement la Star Ruby et la Rio Red. Leurs descendants représentent aujourd'hui environ 75 % de tous les pampleousses cultivés au Texas.

Du champ au labo : la mutagenèse

Toutes les procédures susmentionnées découlent toutefois toujours simplement des propriétés de plantes que nous offre la nature et que nous conservons ou pas dans la sélection ultérieure. En outre, nous sommes limités dans nos possibilités, car nous ne savons pas quels genres nous pouvons croiser. Croiser une pomme avec une tomate n'est pas possible via de simples croisements de pollen. Nous pouvons accroître la variation naturelle au sein d'un genre en causant des mutations à grande échelle dans le matériel des plantes. C'est ce que l'on appelle la mutagenèse. En faisant cela, nous modifions à l'aide d'un rayon radioactif, un rayon UV ou certains cocktails chimiques, au hasard un certain nombre de bases dans l'ADN de cette plante. La plante ainsi créée est alors appelée une mutante. La mutagenèse peut soit détruire complètement la fonction d'un

gène (il en résulte alors un mutant knock-out), soit uniquement réduire l'activité du gène concerné (et l'on parle alors d'un knock-down).

Le perfectionnement des plantes par la mutagenèse s'appelle aussi la sélection par mutation. Il y a environ 3000 variétés de plantes apparues de cette manière (dont aussi quelques plantes ornementales), ou après croisement avec les gammes mutées. Nous trouvons ici par exemple les variétés de riz semi-naines, les tournesols à fortes concentrations d'huile ou le colza avec peu d'acide linoléique. Cette méthode est rarement utilisée pour le perfectionnement des cultures. La raison de cet usage limité est qu'il en résulte rarement de vraies mutations favorables. En outre, il est très difficile, voire impossible, de déceler rapidement certaines modifications génétiques (et encore moins des conséquences nuisibles pour le consommateur).

De la prestidigitation classique impliquant des gènes à la prestidigitation moderne des gènes

Enfin, il y a les manières modernes d'appliquer des modifications dans le génome d'une plante. Transgénèse et cisgénèse sont deux variantes où de nouveaux allèles sont importés dans une plante. Ceux-ci peuvent provenir de tout autre organisme (transgénèse), ou peuvent déjà être présents chez d'autres individus de la même espèce de plantes (cisgénèse). Ainsi, une variété de pommes de terre qui est facilement touchée par la moisissure *Phytophthora infestans*, est pourvue de gènes de variétés de pommes de terre sauvages qui attaquées par cette moisissure s'en débarrassent activement. La manière dont les scientifiques procèdent dans leur travail est abordée dans le chapitre suivant.

Entre-temps, nous résumons encore dans le tableau ci-dessous les différentes manières avec lesquelles les propriétés génétiques de plantes sont modifiées. Dans la deuxième partie de ce dossier, nous le remplirons davantage.



Phytophthora infestans, la maladie de la pomme de terre

	Croisement lassique	Polypléidie	Mutagenèse	Croissements par-delà la frontière des types	Transgénèse	Cisgénèse
Exemples dans l'alimentation	presque tout	fraises, blé,, bananes, chou, ...	certaines bananes, des poires, des pommes, du riz, de la menthe, ...	le pluot, le tangelo, le blé, ...	le maïs, le colza, les fèves de soja, le coton, la papaya, ...	encore aucun
Les gènes vont d'une espèce à l'autre	parfois	souvent	non	oui	oui	non
A lieu dans la nature	oui	oui	oui (les mutations commandent l'évolution)	rarement, et rarement avec des descendants fertiles	oui (<i>Agrobacterium</i> , transfert génique horizontal)	Pas d'application
Intervention humaine	oui (la sélection commande la domestication)	parfois (peut être commandé chimiquement)	oui (pour augmenter fortement le processus naturel)	oui (pour une amélioration des cultures)	oui (pour une amélioration des cultures avec une grande précision)	oui (pour une amélioration des cultures avec une grande précision)
Nombre de gènes impliqués	10 000 - 300 000, dépend de l'espèce	10 000 - plus de 800 000	impossible à déterminer	10 000 - 300 000, dépend de l'espèce	1-3	1-3 (finalement 1)
Temps requis pour une nouvelle variété sur le marché	5-30 ans	>5 ans	>5 ans	5-30 ans	>5 ans	>5 ans



Galle du collet, causée par la bactérie pathogène *Agrobacterium tumefaciens*.

Du croisement à la transgénèse : le rôle de l'*Agrobacterium tumefaciens*

La grande percée dans la modification génétique des plantes (via la transgénèse) est arrivée grâce à une simple bactérie de sol : l'*Agrobacterium tumefaciens*. Cette bactérie parasite sur différentes plantes à fleurs (surtout de la famille des rosaceae, comme la pomme, la poire, la pêche, la cerise, l'amande et la rose, on constate aussi que les raisins n'y sont pas insensibles). Elle cause chez ces plantes la formation de tumeurs sur les tiges ou les souches infectées.

La bactérie infecte les plantes via leurs blessures. Si une plante est endommagée, toutes sortes de substances biochimiques vont se dégager à cet endroit, comme des dérivés de phénol (par ex. l'acétosyringone, la vanilline, le catéchol), ou des molécules de sucre. La bactérie détecte ces substances, se met en mouvement vers le lieu de la source de ces substances (nous les appelons des chimiotaxis) et pé-

Pour être exact : la bactérie est aujourd'hui reprise dans la famille des *Rhizobiums*. Le nom officiel est devenu *Rhizobium radiobacter*. Cependant tout le monde est tellement habitué au nom *Agrobacterium* que nous conservons ce nom ici.



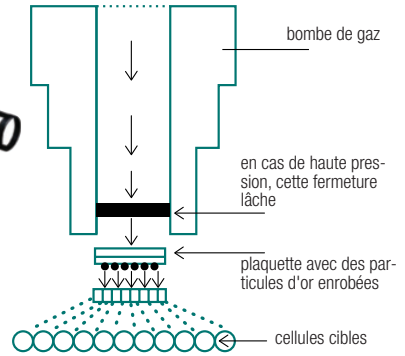
nère ainsi dans la blessure. La bactérie dépose un petit morceau d'ADN (le T-ADN) dans les cellules de la plante. Le T signifie ici 'transformant'. La cellule subit en effet sur le plan génétique, mais aussi en termes d'apparence, une réelle transformation. Ce T-ADN n'est en outre pas originaire du chromosome de la bactérie, mais d'un petit morceau d'ADN circulaire appelé Ti-plasmide. Ti signifie ici 'induisant la tumeur', et c'est bien le cas : la plante développe des tumeurs végétales, lesdites galls du collet. Il s'agit de grosses tumeurs ou pas au sein desquelles les bacilles d'*Agrobacterium* trouvent un toit. Outre le T-ADN, ce plasmide contient aussi d'autres gènes qui sont nécessaires pour transférer le T-ADN vers la cellule de la plante.

C'est une histoire tout à fait biologique. Lorsqu'un chercheur remplace le T-DNA par tout autre morceau d'ADN, ce nouveau morceau est tout aussi bien transféré sur la plante que le T-ADN lui-même. De cette manière, nous utilisons un système naturel pour rendre les plantes transgéniques.



L'*Agrobacterium tumefaciens* dispose de flagelles qui permettent à la bactérie de se déplacer rapidement dans le corps vers la blessure et de l'infecter.

Grâce à ce fusil à gènes, on peut transformer tout type de cellules (non seulement de plantes, mais aussi d'animaux ou de personnes). On peut également introduire de la même manière le matériel génétique dans les chloroplastes des cellules des plantes. L'ensemble du processus est aussi parfois appelé biobalistique ou biolistique.



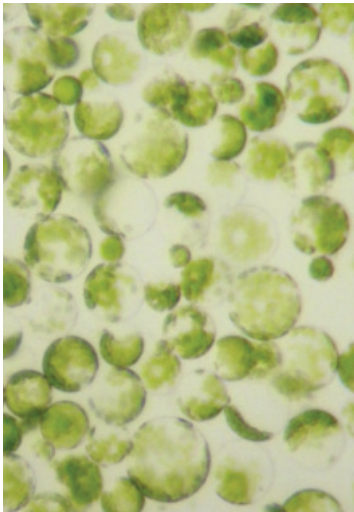
Ne tirez pas sur le chercheur : le canon à gènes

Malheureusement, la méthode avec la bactérie *Agrobacterium* ne peut pas être utilisée sur toutes les plantes. En réalité, certaines plantes dicotyles (dicotylédones) conviennent pour être transformées de cette façon. Les monocotyles (monocotylédones, dont les palmes, les orchidées, le riz, le maïs et toutes les autres cultures de céréales) sont beaucoup plus difficiles à transformer à l'aide de cette bactérie, et souvent les chercheurs doivent se contenter de très faibles efficacités de transformation.

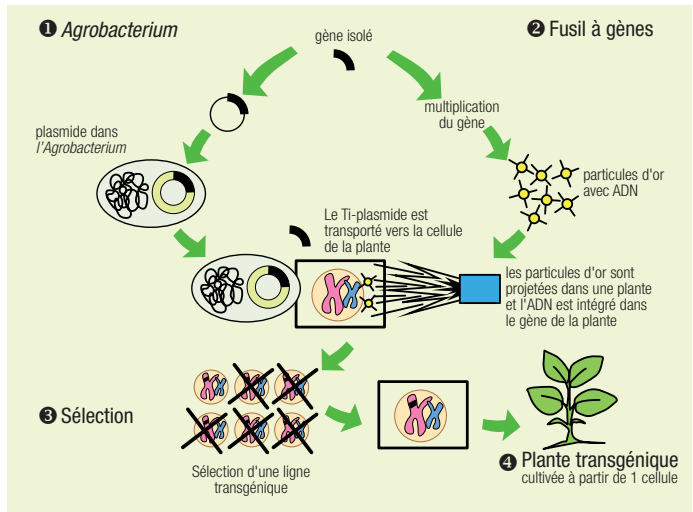
Une première alternative pour introduire de nouveaux gènes dans une plante monocotylédone est le fusil à gènes. Ainsi, de petites particules d'or ou de tung-

stène sont recouvertes d'ADN nu présentant la séquence de gènes souhaitée. Ces particules sont projetées sous haute pression dans un tissu de plante, où l'ADN peut alors être repris (dans une mesure limitée) dans le génome de la plante.

Une deuxième alternative est l'utilisation d'électroporation. Pour ce faire, on utilise essentiellement des protoplastes végétaux : des cellules où la paroi cellulaire a été retirée. Ceux-ci sont exposés à un champ électrique (de plusieurs centaines de volts par mm) permettant de retirer facilement un solide ADN nu. Ensuite, ces cellules sont très minutieusement cultivées jusqu'à ce qu'elles aient formé une nouvelle paroi cellulaire, et commencent à nouveau à se diviser et se développer en une nouvelle plante.



Protoplastes



Du gène à la plante transgénique

Silencage génétique

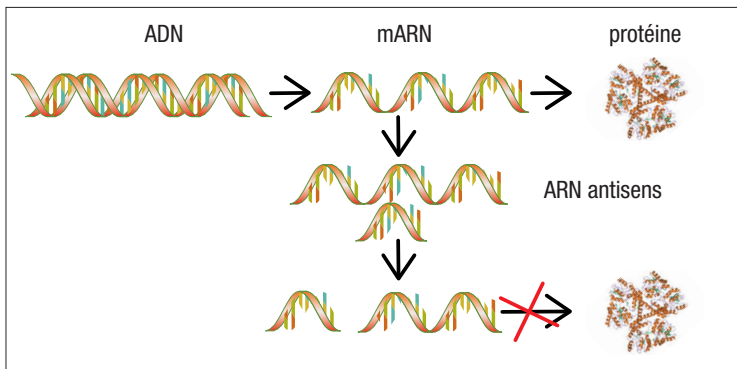
La plupart du temps, nous pensons que les plantes transgéniques ont obtenu un gène qui fait que la plante reçoit une fonction non présente auparavant. Ainsi, il y a des gènes qui permettent à la plante de survivre à une certaine dose d'herbicides ("résistance aux herbicides"). D'autres gènes concernent les insecticides, par ex. les protéines Bt tuant des insectes que nous passerons plus loin sous la loupe. Lors du silencage génétique, l'activité d'un certain gène est toutefois justement très réduite (70 % en moins que la normale ; comme indiqué, nous parlons aussi de gènes knock-downs).

Cela peut se passer de trois manières :

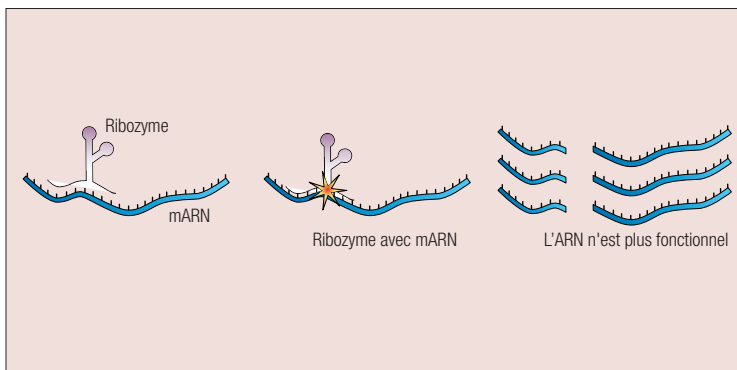
On obtient un **ARN antisens** en pilotant la version complémentaire d'un gène dans une nouvelle cellule. Lorsque ce gène est exprimé, apparaît un brin d'ARN

complémentaire (antisens) qui peut lier l'ARN (sens normalement orienté (du gène que l'on veut modérer)). Alors deux scénarios peuvent se produire : soit la liaison de ce morceau est suffisante pour empêcher la liaison de l'ARN sur les ribosomes, soit une **ARNse** (une enzyme) détruit cette structure ARN à deux brins. Ce dernier cas surtout mène à une baisse de 80 à 95 % de la protéine indésirable.

Une deuxième méthode s'appuie sur lesdits **ribozymes**. Contrairement aux enzymes habituels, qui appartiennent aux protéines dans la cellule, les ribozymes se composent d'ARN. Ces ribozymes également peuvent être à l'origine de réactions dans la cellule. Ainsi, il y a des ribozymes qui se lient à leur version complémentaire et ensuite la coupe. Des chercheurs peuvent eux-mêmes concevoir dans le laboratoire des ribozymes qui peuvent couper un morceau souhaité de mARN (messenger ARN).



Des oligonucléotides antisens : découverts en 1978 par Paul Zamecnik (à droite) et Mary Stephenson



Mécanisme général du fonctionnement des ribozymes, découvert par Thomas Cech (Prix Nobel, 1989).

Chez les plantes, c'est toutefois surtout la troisième méthode qui fonctionne bien. Celle-ci est en effet basée sur un processus naturel, l'**interférence ARN**. Elle a été découverte en 1998 par Andrew Fire et Craig Mello. Ces deux chercheurs ont reçu le prix Nobel en 2006.

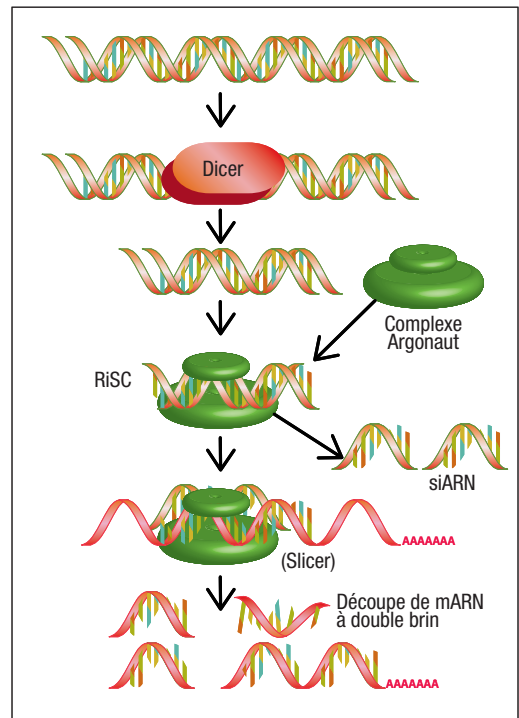
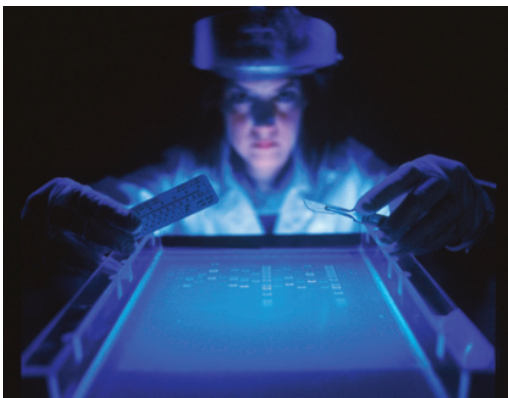
L'ARNi devrait apparaître chez les plantes comme une défense contre les virus ARN (avec un génome qui se compose d'ARN à double brin). Normalement, l'ARN existe uniquement en tant que molécule à un seul brin. Lorsque dans une cellule végétale apparaît toutefois une molécule ARN à double brin, c'est généralement le signe que cette cellule est infectée par un virus ARN. Un virus de ce type n'a pas d'ADN comme matériel génétique, mais utilise de l'ARN à simple ou à double brin. Et c'est contre ce dernier que la plante se défend à l'aide de sa machine ARNi.

Le fragment d'ARN à double brin est tout d'abord coupé en petits fragments (de 21-23 bases de long) par l'enzyme Dicer. Ces fragments portent le nom de petit ARN interférent (siARN) et microARN (miARN). Un brin des siARN et des miARN est ensuite repris dans un gros complexe d'enzymes portant le nom d'ARN induit complexe de silençage (RISC) ; l'autre est rompu. Chaque brin mARN complémentaire (donc du gène concerné dont l'activité doit être réduite) peut à présent être lié à de petits morceaux siARN ou miARN. À ce niveau entrent dans le premier cas en action lesdites protéines Argonaut : ce sont des enzymes qui coupent le mARN visé en mor-

ceaux (cette protéine est aussi parfois appelée Slicer). Dans le deuxième cas, la liaison du miARN sur le messager ARN bloque la traduction en protéines.

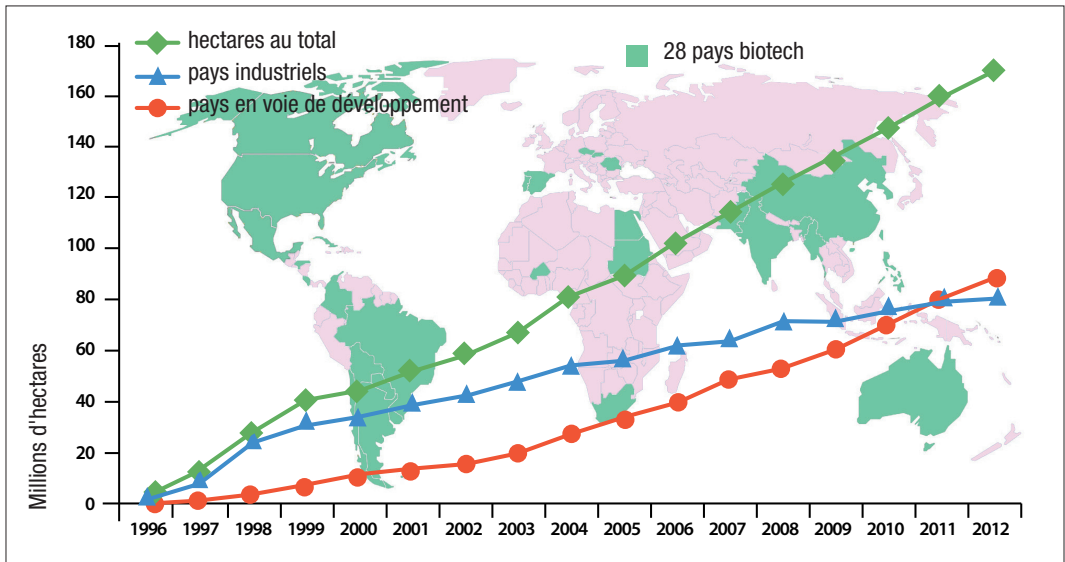
Pour pouvoir utiliser l'ARN interférent, une construction d'ADN est introduite dans la cellule, qui se compose d'un brin sens et un brin antisens du gène visé, chacun séparé par un intron (une séquence d'ADN inactive et non retranscrite). Lorsque cette construction de gène s'exprime, apparaît à nouveau une molécule d'ARN à double brin.

En résumé : par (1) une construction antisens, (2) un gène qui code pour le bon ribozyme ou (3) en introduisant une construction sens-antisens dans le génome d'une plante, on peut arrêter un gène spécifique de cette plante. Ici, aucune protéine supplémentaire n'est créée – au contraire, nous bloquons la création de certaines protéines. Les constructions dont nous avons besoin dans ce cas sont aussi réalisées avec des fragments d'ADN de la plante elle-même.



ARNi interférent

Les OGM dans le monde



Quelques chiffres ? En 2012, on comptait 17,3 millions d'agriculteurs dans 28 pays qui cultivaient des OGM. Au total, cela signifie qu'en 2012, il y avait une superficie de 170,3 millions d'hectares avec des OGM, soit 6 % de 10,3 millions d'hectares en plus par rapport à 2011.

Surface totale

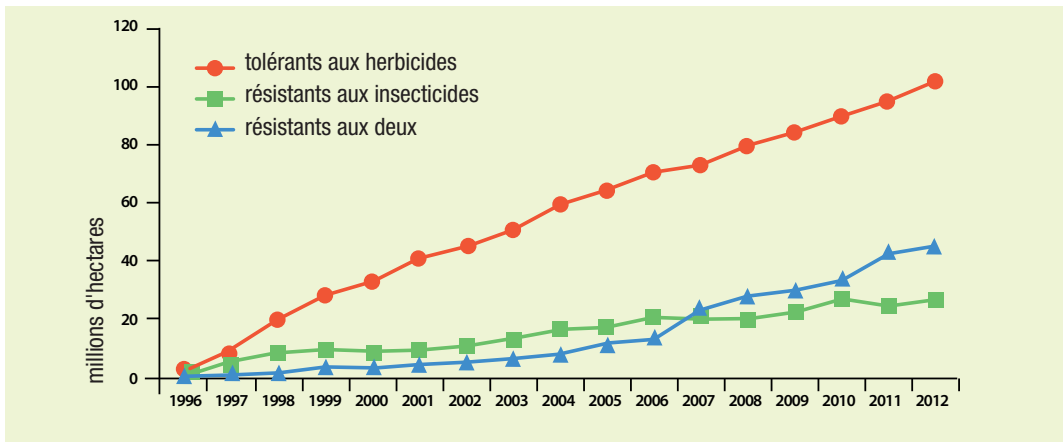
Où cultive-t-on au juste toutes ces cultures ? Et quelles sont exactement les variétés sur le marché ? Regardons tout d'abord l'importance de la surface occupée par ces plantes génétiquement modifiées. Ensuite, nous examinons quelques exemples de ce qu'on retrouve sur ces champs.

Les premières cultures génétiquement modifiées (CGM) sont arrivées sur le marché en 1996. Depuis lors, la superficie sur laquelle ces plantes sont cultivées a augmenté de 1,7 million d'hectares en 1996 à 170,3 millions d'hectares en 2012. Ainsi, les zones cultivées se sont multipliées sur une période de 17 ans (voir figure). Des CGM sont actuellement cultivées par un nombre record d'agriculteurs (17,3 millions) dans 28 pays, dont 20 pays en voie de développement. En 2012, il a en fait été pour la première fois cultivé plus de cultures transgéniques dans les pays en voie de développement (52 %) que dans les pays industrialisés (48 %). Aux

USA, au Brésil, en Argentine, au Canada et en Inde, on a à chaque fois cultivé 10 millions d'hectares ou plus, soit 152,4 millions d'hectares ou 89 % de la superficie mondiale. Les USA sont ici le pays avec la plus grande superficie, 69,5 millions d'hectares.

L'Union européenne autorise des CGM après une procédure détaillée. Une culture qui est acceptée peut ensuite être cultivée dans toute l'Union, mais chaque État membre peut interdire individuellement la culture des CGM. C'est aujourd'hui le cas en Autriche, en Hongrie, en France, en Grèce, en Allemagne, au Luxembourg, en Italie, en Bulgarie et en Pologne. Jusqu'à présent, il s'agit uniquement du maïs Bt (voir plus loin). La pomme de terre Amflora anciennement autorisée (voir plus loin) a disparu du marché en 2011.

Dans l'UE, on a atteint un record en 2012 avec 129.071 hectares de maïs Bt cultivés, soit une augmentation de 13 % par rapport à 2011. En comparaison avec le reste du monde, il s'agit seulement



Zone mondiale de cultures transgéniques suivant une propriété en millions d'hectares

de 0,00075 % de la superficie totale des CGM. La majeure partie se trouve en Espagne avec 116.307 hectares. Pour le reste, les CGM ont également augmenté au Portugal, en Tchéquie, en Roumanie et en Slovaquie. Par ailleurs, un nombre limité de cultures peuvent être importées en UE. Actuellement, l'UE compte 46 CGM acceptées pour l'importation (26 maïs, 3 colzas, 8 sojas, 8 cotons, 1 betterave sucrière). Un des principaux exemples ici est l'importation de soja comme produit riche en protéine destiné à l'alimentation du bétail. Dans l'UE, 40 millions de tonnes de soja sont introduites chaque année, dont 90 % proviennent des CGM.

Que fournissent les CGM ?

Pendant 17 ans de culture commerciale des CGM, les cultures tolérantes aux herbicides ont acquis une place dominante, suivies par les cultures résistantes aux insecticides et les cultures présentant des propriétés combinées. En 2012, les cultures tolérantes aux herbicides (soja, maïs, canola, coton, betterave sucrière et luzerne) prenaient à leur compte 100,5 millions d'hectares. Par contraste, il n'y avait que 26,1 millions d'hectares de cultures Bt résistantes aux insecticides. Le coton et le maïs avec des propriétés mélangées de tolérance aux insecticides et aux herbicides comptaient 43,7 millions d'hectares.

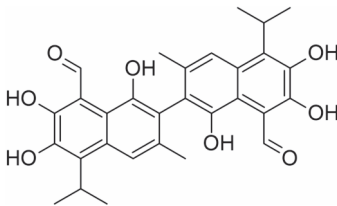
Dix principales cultures sur Terre (Production en millions de tonnes)		Dix principaux aliments de base sur Terre (Production en millions de tonnes)	
Canne à sucre	1794	Maïs	822
Maïs	883	Blé	690
Riz	722	Riz	685
Blé	704	Pommes de terre	314
Pommes de terre	374	Manioc	233
Betterave sucrière	271	Soja	231
Soja	260	Pommes de terre douces	110
Manioc	252	Sorghum	66
Tomates	159	Yams	52
Orge	134	Banane plantain	34

Source : FAO (2011)

Source : Business Insider (2008)



Coton



Gossypol

La culture la plus répandue (génétiquement modifiée ou pas), est la canne à sucre. Pas difficile – cette plante sert non seulement à la production de sucre de canne, mais aussi à la création de bio-éthanol, le carburant de substitution au Brésil. La principale culture aux USA et simultanément le principal aliment de base pour l'homme et l'animal est le maïs. De tout le maïs cultivé aux USA, 88 % sont génétiquement modifiés.

La modification génétique du soja est au moins aussi importante: 93 % de la récolte sont génétiquement modifiés. Les fèves de soja constituent la base d'un grand nombre de processus industriels, comme la production de lécithine (un mélange de graisses), des protéines, des tocophérols (vitamine E) et de l'huile végétale durcie (comme la margarine).

Les plantes de coton sont aussi à 94 % génétiquement modifiées aux USA, essentiellement via la construction Bt contre les dégâts des insectes (voir plus



Plantation d'OGM en Afrique

loin). Alors que les fibres du fruit sont naturellement utilisées dans la production textile, les graines de la plante doivent aussi pouvoir être utilisées comme source d'huile de coton, durcie en margarines, ou utilisées dans la production de chips de pommes de terre, sauces pour salades ou mayonnaise. Le polyphénol gossypol, un autre produit de la plante de coton, devrait aussi servir d'anti-inflammatoire, de médicament contre la malaria, de médicament anticancéreux ou même comme moyen de contraception masculine à prendre oralement. Aucun de ces faits n'est toutefois suffisamment prouvé. Si l'homme ou l'animal en reçoit trop de l'intérieur, cela serait nuisible pour la santé. L'huile de coton naturelle doit donc être d'abord purifiée. Pour éviter cela, des chercheurs ont aujourd'hui lancé sur le marché une plante de coton où la création de gossypol dans les graines est empêchée via un ARNi. Dans les feuilles et la tige de la plante de coton, la substance reste active et sert là d'insecticide naturel.

Flavr Savr et autres tomates

Une des premières cultures qui était destinée au marché américain était la tomate dite Flavr Savr, créée par la société Calgene et lancée sur le marché en 1994. L'entreprise voulait faire un fruit qui mûrirait plus lentement. La cible moléculaire de la modification était l'enzyme polygalacturonase. En effet, celle-ci rompt un des polysaccharides dans la paroi cellulaire des plantes (la pectine), rendant les tomates plus tendres et plus faciles à atteindre par une mycose. Calgene a stoppé cette enzyme dans une construction antisens dans le génome de la tomate. L'entreprise espérait que les tomates pourraient ainsi mûrir plus longtemps sur la plante, obtenir alors plus de saveur et être encore vendues comme des fruits fermes. Les tomates n'ont toutefois pas pu réaliser ces attentes : bien qu'elles commençaient moins vite à pourrir, elles étaient encore assez vite tendres, de sorte qu'elles devaient être cueillies encore immatures. La Flavr Savr a finalement été un flop commercial et a été retirée de la vente en 1997.

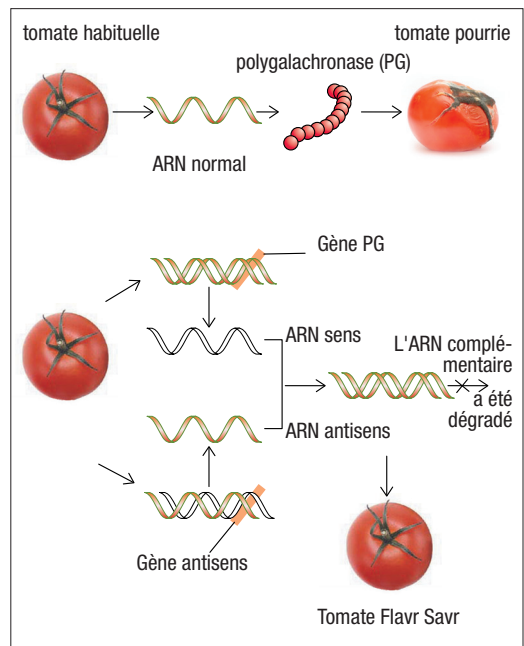
Une autre variété de tomates génétiquement modifiées est la Fish Tomato. Ces tomates contiennent un gène de plie rouge. Ces poissons vivent dans un environnement froid et disposent de protéines qui empêchent la formation de cristaux de glace dans leur sang, comme agent antigel. Dans des plantes aussi (par ex. des baies et fruits) des cristaux de glace peu-

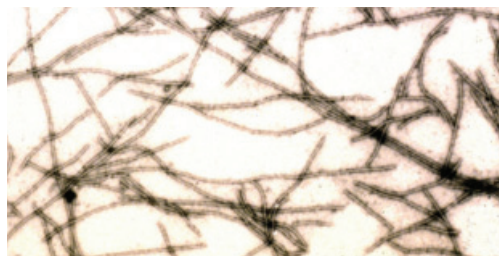
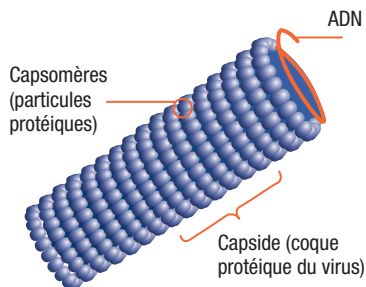


Plie rouge

vent entraîner beaucoup de dégâts. Leur texture change, et les cristaux rompent les membranes cellulaires, ce qui occasionne une grande perte de jus et aussi change le goût – pensez notamment à des fraises ou des framboises surgelées. En guise de test, le gène pour une de ces protéines a été introduit dans le génome de la plante de tomates. Lorsque les plantes ont été exposées à des températures de gel, elles se sont révélées moins sensibles au gel.

Ces tomates n'ont pas non plus été lancées sur le marché. La recherche n'était pas de nature commerciale, et servait uniquement à révéler si l'idée derrière la découverte était correcte. Le travail a toutefois eu à se battre contre une forte prise de responsabilité publique autour d'aspects éthiques : la combinaison de matériel génétique d'organismes si éloignés l'un de l'autre en termes d'évolution n'est pas exactement quelque chose de courant pour la société. Pour ceux qui s'inquiètent : il n'y a jamais eu aux USA la moindre plante sur le marché dans laquelle un gène humain ou animal avait été introduit.





Papaya ringspot virus

La papaye et son ringspot virus

À la fin des années 1980, l'Université d'Hawaï a développé une variété de papaye résistante contre le papaya ringspot virus, une maladie qui faisait fortement chuter le rendement de la culture de papaye. Celle-ci menaçait la prospérité de bon nombre de cultivateurs de papayes. Pour ce faire, ils ont introduit un gène dans la plante qui contient les codes pour une protéine qui a normalement sa place dans la capsid (la coque protéique) du virus (voir la figure). La présence de cette protéine éveille une réaction immunitaire dans la plante. La papaye génétiquement modifiée n'est dès lors plus sensible au virus.

Les premières papayes résistantes au virus ont été commercialement cultivées à Hawaï en 1999. Les papayes transgéniques couvrent aujourd'hui des milliers d'hectares, soit les trois quarts de toute la superficie hawaïenne réservée aux papayes. Les papayes transgéniques peuvent être consommées aux USA et au Canada. En Europe, vous ne les trou-

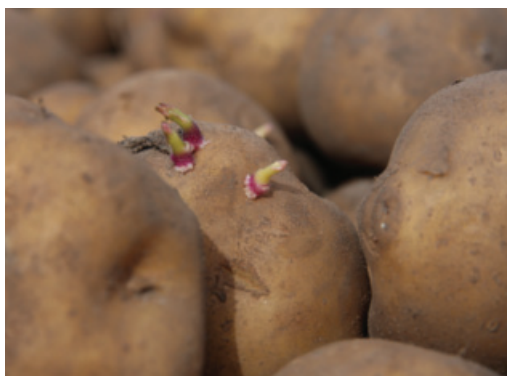


Plant de papaye et fruit infectés

vez pas : il n'y a même aucune demande introduite pour obtenir l'autorisation sur les marchés européens. La longue procédure représentait peut-être trop de travail pour le marché très limité réservé à ces fruits sur notre continent.

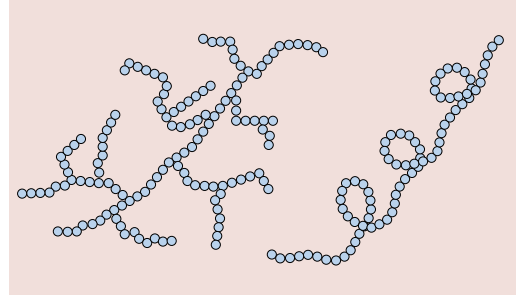
La pomme de terre Amflora

Normalement, l'amidon rassemble deux composantes : amylose et amylopectine. L'Amflora est une pomme de terre modifiée de sorte que l'amidon dans les tubercules contient uniquement de l'amylopectine. L'amylose dans la pomme de terre est en effet créée par polymérisation des sucres par l'enzyme GBSS (granule bound starch synthase). Dans l'Amflora, la technologie antisens empêche que la GBSS ne soit créée. Les plantes ne créent donc plus aucune amylose. Le gros avantage de cette amylopectine pure est qu'elle est directement utilisable dans l'industrie du papier, du textile et de la colle, alors que l'amidon habituel doit tout d'abord être purifié (car il contient environ 20 % d'amylose).



L'Amflora

Cette pomme de terre ne servirait pas à la consommation : pas parce qu'elle serait nocive, mais parce que le tubercule a plutôt une texture farineuse. Dès lors, elle n'a que peu de valeur en cuisine. Pour l'industrie, la plante pourrait fournir une plus-value considérable : jusqu'à plus de 100 millions d'euros par an – certainement en Union européenne, qui compte pour 80 % de la production mondiale de pommes de terre féculières, et surtout en Allemagne, aux Pays-Bas, en France, au Danemark, en Pologne et en Suède. En 2010, la Commission européenne a décidé d'autoriser cette pomme de terre sur le sol européen, avec pour argument principal qu'il s'agissait d'une plante qui n'était pas destinée à la consommation humaine. En 2011, Bayer a toutefois retiré la production de l'Amflora de l'UE en raison de

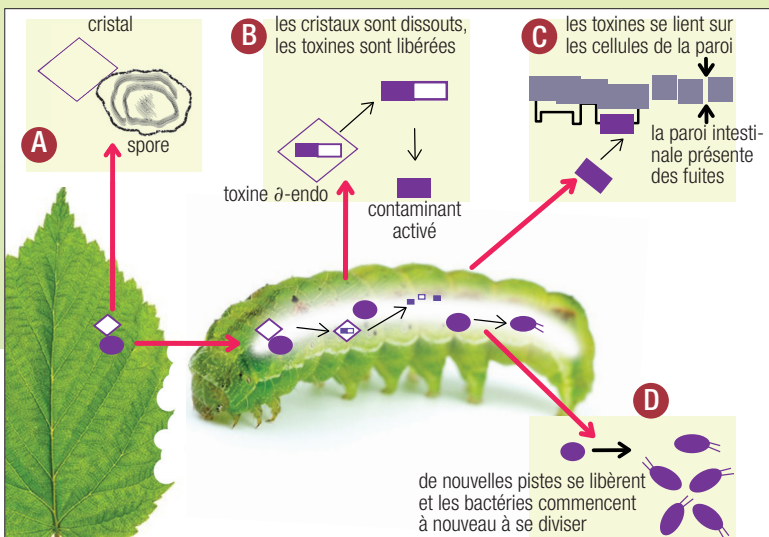


Deux formes d'amidon. Les deux sont des formes polymères du glucose. L'amylose n'est pas ramifiée, l'amylopectine bien.

l'opposition constante du public et de la politique. En 2013, la Cour européenne a finalement rejeté la décision de la Commission d'autoriser l'Amflora en raison de vices de procédure.

Comment une plante attaque une chenille

Pourquoi pensons-nous que les cultures Bt sont sûres pour les personnes et pourquoi sont-elles si efficaces contre les insectes ? La réponse réside dans la biochimie des toxines Bt. Les cristaux dans lesquels se trouvent les protéines doivent notamment tout d'abord se dissoudre. Cela se passe uniquement dans un environnement basique. Plus encore – le pH doit être bon (entre 8 et 11). Si le pH est trop faible, les cristaux se dissolvent, mais les toxines Bt sont aussi directement détruites. Si le pH est trop élevé, les cristaux ne se dissolvent pas en une fois et les protéines nocives ne sont pas libérées. Ensuite, les protéines doivent encore être coupées avant que leur part nuisible ne soit active, et ça ne se passe que pendant la digestion elle-même. Avant cela, elles ne sont pas actives. Une fois coupées, les substances nocives peuvent se lier sur des récepteurs dans la paroi intestinale. Par conséquent, la paroi intestinale est perforée, et ça tue l'animal. Dans le cas des mammifères comme nous, toutes les circonstances ne sont pas réunies : pour commencer, nous avons un système gastrique et intestinal trop acide. Même si elles peuvent se former, les toxines ne s'adaptent sur aucun récepteur dans la paroi intestinale.



Bacillus thuringiensis : en direct ou en différé ?

Le *Bacillus thuringiensis* (*Bt*) est une bactérie de sol apparaissant naturellement et affichant une propriété spéciale : dès que les conditions environnantes deviennent trop mauvaises pour la bactérie, elle forme une piste où elle emballe son ADN pour attendre de meilleurs moments. En outre, elle crée aussi des cristaux, composés pour au moins 20 % de delta-endotoxines, les protéines Cry et Cyt. Les protéines Cry sont nocives pour certains insectes, mais sont inoffensives pour l'homme et d'autres espèces animales. Il existe beaucoup de souches de *B. thuringiensis*, chacune avec un autre contenu de protéines Cry, de sorte qu'aujourd'hui on connaît plus de 100 variétés différentes de ces protéines. Chaque propriété Cry est active contre un petit nombre d'espèces d'insectes, généralement au sein d'un même ordre d'insectes. Ces endotoxines Cry cristallines appartiennent aux insecticides les plus spécifiques et les plus puissants qui existent. Lorsque nous cultivons la bactérie en laboratoire, celle-ci produit ses toxines *Bt*, que nous pouvons utiliser comme pulvérisation d'insecticide. Le pesticide *Bt* était connu comme biopesticide principal sur le marché, avec 90 % des ventes. Seulement, au sein du plus grand groupe de tous les insecticides, les pesticides biolo-

giques ont à peine une certaine signification. Bien que le *Bt* soit le biopesticide le plus utilisé, il représente seulement 1 % du marché total des insecticides.

En voici quelques bonnes raisons. Tout d'abord, les protéines Cry sont rapidement détruites par un rayon UV provenant du soleil. Dès lors, l'agriculteur doit pulvériser plusieurs fois. Ensuite, une souche *Bt* déterminée n'est active que contre quelques types de fléaux. Un seul produit n'est du reste jamais suffisant contre tous les fléaux qui surviennent dans le champ. Enfin, d'importants fléaux sont insensibles aux souches *Bt* connues.

Rapidement, apparaît toutefois une alternative révolutionnaire à ces pulvérisations sur le marché : une plante qui crée son propre insecticide. L'honneur revient à l'entreprise belge Plant Genetic Systems (aujourd'hui faisant partie de Bayer CropScience). C'était la première entreprise (en 1985) à développer des cultures modifiées (tabac) qui étaient résistantes contre certains insectes grâce aux gènes Cry de *B. thuringiensis*. Ce tabac *Bt* n'a jamais été commercialisé ; ces expériences servaient essentiellement



Le papillon monarque



Chenille du papillon monarque



comme test de l'idée elle-même sur une plante facilement génétiquement modifiée qui en plus n'était pas consommée. En 1995, une plante *Bt* a été autorisée dans un champ pour la première fois : une culture de pommes de terre *Bt*. En 1996, le maïs *Bt* a suivi.

D'un maïs et un papillon

Les plantes *Bt* ont elles aussi reçu leur dose de critiques à gérer. Ainsi, nous traitons dans le numéro suivant de MeNS de concept de résistance, de la répartition des transgènes via la pollinisation de congénères non transgéniques, et de l'effet des gènes de sélection.

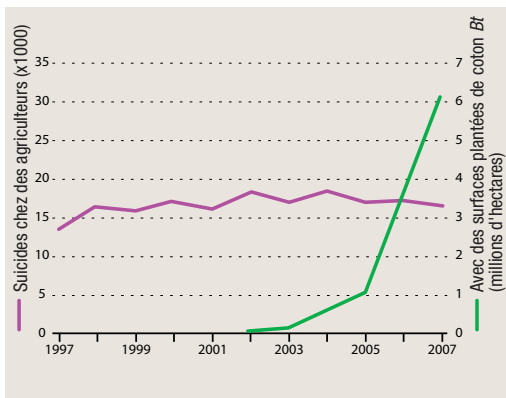
Nous aimerions à présent voir biffés deux récits erronés. Le premier parle du papillon monarque. Selon une enquête de 1999, les chenilles de ce papillon devraient mourir après avoir mangé les grains de pollen du maïs *Bt* qui se trouve sur d'autres plantes. En outre, les femelles de ce papillon devraient ignorer les plantes recouvertes de pollen *Bt*. Les résultats de cette enquête

n'ont toutefois pas été confirmés plus tard. Au contraire, Rick Hellmich, un des chercheurs impliqués, a fait savoir par la suite au National Geographic : "*(...) butterflies are safer in a Bt cornfield than they are in a conventional cornfield, when they're subjected to chemical pesticides that kill not just caterpillars but most insects in the field.*" En outre, nous savons aujourd'hui que le coton *Bt* n'est pas non plus nuisible pour le papillon monarque. Le papillon ne dépose pas ses œufs sur les plantes de coton, de sorte que les feuilles de plantes de coton *Bt* ne servent pas non plus de nourriture pour ces chenilles. Les concentrations de la protéine Cry dans le nectar des fleurs sont beaucoup trop faibles pour avoir des effets toxiques. Et pour quiconque se pose la question – non sans raison : les toxines *Bt* que nous utilisons à présent n'ont aucun effet sur les abeilles. Aujourd'hui, le papillon monarque est presque devenu un symbole de la lutte contre les OGM – mais nous en parlerons davantage dans le prochain numéro.

Et il y avait encore un deuxième récit. Selon certains écologistes, en Inde, les activités de la multinationale et

fabricant de semences Monsanto sur le marché indien ont amené le suicide de 270 000 agriculteurs indiens. Certains vont même jusqu'à parler de génocide. La plante responsable ? Le coton Bt. L'explication ? En premier lieu, on fait référence au prix des semences. Elles coûteraient cinq fois plus cher que les variétés de coton locales, et ça aurait poussé certains commerçants locaux à les mélanger aux variétés locales, à moindres prix. Naturellement, les pertes causées par des dégâts d'insectes se situaient bien plus haut, de sorte que l'agriculteur se sentait dupé et devait emprunter de l'argent auprès des usuriers locaux. Ensuite, ils ne pouvaient finalement pas rembourser et se retrouvaient face à de gros problèmes. Certains en arrivaient au suicide. Tout cela en raison du coton Bt. Cependant, il ressort d'une étude de l'Université de Göttingen qu'entre 2002 et 2008, les récoltes de coton en Inde centrale et Inde du Sud avaient augmenté de 24 %, et que les bénéfices des agriculteurs avaient augmenté de 50 %.

L'affirmation concernant le nombre de suicides ne s'appuie sur rien, comme le montre le graphique ci-joint. Bien que pendant des années en effet trop d'agriculteurs ont mis fin à leurs jours (et il s'agit sans nul doute d'un désastre social), les plantes de coton génétiquement modifié n'ont rien à voir avec cela.



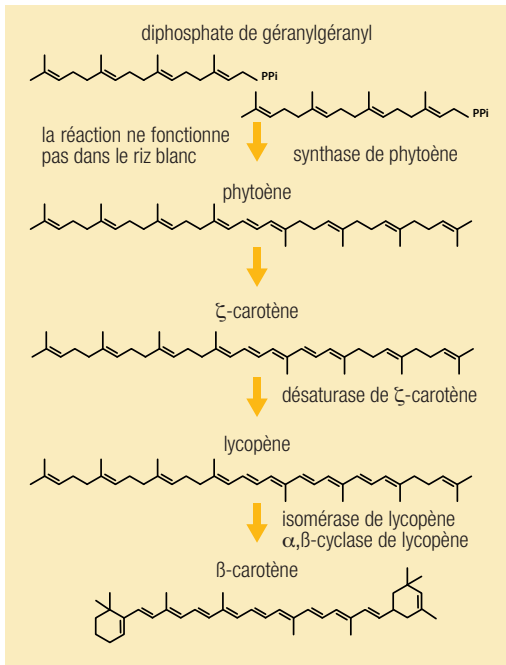
Golden Rice : remède miracle ou charlatanisme ?

Du riz contre la cécité

Les manques de micro-nutriments (comme le fer, la vitamine A, l'iode et le zinc) sont partout dans le monde une source de maladie et de malheur. Le manque de vitamine A touche essentiellement les personnes pauvres avec un régime simpliste, surtout riche en glucides, basé sur du riz et pauvre en micro-nutriments. Dans une alimentation variée, il y a suffisamment de bêta-carotène (provitamine A), qui est transformé dans notre corps en vitamine A. Le riz ne contient cependant pas de bêta-carotène, et celui qui mange surtout du riz, présentera donc une carence en vitamine A. Étant donné que cette vitamine est à l'origine du pigment rétinien dans nos yeux, les conséquences d'un manque en vitamine A sont navrantes : une réduction de l'acuité visuelle et dans des cas extrêmes, une cécité irréversible. En outre, les patients souffrent aussi d'une réponse immunitaire amoindrie, une production réduite de globules rouges (et donc aussi un moindre transport d'oxygène dans le sang) et des troubles du développement du squelette. Ce sont surtout les enfants et les femmes qui souffrent de ce manque. En 2012,



Golden Rice, par comparaison au riz basmati blanc habituel.



Le Golden Rice a été créé en introduisant simplement dans le riz deux gènes supplémentaires pour une biosynthèse de bêta-carotène : *psy* (synthase de phytoène) de narcisse (*Narcissus pseudonarcissus*) et *crtI* (désaturase de carotène) de la bactérie de sol *Erwinia uredovora*.



Champ de riz en Thaïlande

L'Organisation mondiale de la santé a communiqué qu'environ 250 millions de jeunes enfants souffraient d'un manque de vitamine A.

Chaque année un demi-million d'entre eux devient aveugle et la moitié de ce groupe décède dans l'année qui suit. La simple distribution de vitamines supplémentaires ne semble pas être en mesure de résoudre le problème.

Le riz qui contient plus de provitamine A peut réduire ces problèmes ou même les éviter. Le Golden Rice a donc été conçu pour produire du bêta-carotène dans la partie comestible du riz, l'endosperme. Normalement, la plante de riz produit le pigment végétal bêta-carotène uniquement dans les parties vertes de la plante, où la substance joue un rôle dans la photosynthèse. Étant donné que dans le Golden Rice du bêta-carotène est aussi créé dans les grains de riz, le régime de celui qui mange ce riz dispose d'une source directement disponible de provitamine A.

La provitamine A est normalement produite dans les tissus verts de chaque plante et est transformée en vitamine A dans le corps humain. Dans le grain de riz, cette synthèse n'a pas lieu, car il manque une enzyme cruciale. Les chercheurs Ingo Potrykus de l'Institut Fédéral Suisse pour la Technologie et Peter Beyer de l'Université de Fribourg ont vu qu'ils pouvaient résoudre ce manque en transformant les plantes de riz avec un gène de synthèse de phytoène (*psy*) conjointement avec un gène de désaturase (*crtI*). De cette manière, le riz transformé est en mesure de créer du lycopène (la couleur rouge des tomates), qui est ensuite transformé en bêta-carotène par une cyclase qui était déjà présente dans le grain de riz.

Cette CGM a été proposée pour la première fois dans une publication dans Science en 2000. En 2005, une deuxième variété a même été créée, avec 25 fois plus de bêta-carotène, de sorte que tous ceux qui mangeraient de ce riz ingéreraient chaque jour suffisamment de provitamine A.

Un débat aveugle ?

Quiconque lit le récit qui précède ne peut que se dire que le Golden Rice est une plus-value pour la société, et constitue un précieux essai de résoudre un drame humain avec la science. Mais rien n'est moins vrai. Avant de commencer à cultiver cette plante, il faut répondre à quelques questions. Sans mettre en doute les bonnes intentions des scientifiques impliqués, mais comme le dit le dicton... le chemin qui mène en enfer est pavé de ces mêmes bonnes intentions. Rester critique demeure le message.

La principale critique concernant le Golden Rice est que le manque de vitamine A est surtout une question de régime alimentaire non équilibré. En lançant sur le marché une variété de riz contenant plus de provitamine A dans les pays en voie de développement, on lutte uniquement contre ce symptôme, et le bien-être global des personnes sur place ne s'améliore pas. C'est tout à fait exact. Mais, des initiatives de promotion d'une alimentation plus variée n'ont eu que peu de succès jusqu'à présent. En outre, les personnes qui sont confrontées à ce manque en vitamine A ne peuvent généralement pas se permettre d'acheter une alimentation variée. Le riz est de plus un aliment de base facile à conserver, par opposition à des cultures alternatives riches en provitamine A. Cela n'écarte toutefois pas l'autre point de vue qu'une alimentation équilibrée saine doit être l'objectif final, et que le Golden Rice ne peut être qu'une solution intermédiaire, visant à résoudre le pire.

Il y a aussi d'autres questions qui tournent autour des CGM. Ne causent-elles aucun dommage à l'environnement ? Répandent-elles leur propriété transgénique aux champs environnants où poussent leurs congénères non modifiés ? Et – peut-être la question la plus importante - les partisans et les opposants ne sont-ils pas trop installés dans leurs tranchées, trop aveuglés pour parvenir à un consensus sur ce qui peut ou ne peut pas être planté ? Ces questions, nous les traiterons dans la deuxième partie de ce dossier. Jusque-là : ce que l'on peut aussi dire concernant d'autres cultures – et peut-être le Golden Rice est effectivement l'exception qui confirme la règle – cette CGM n'est nullement une menace, ni pour l'environnement, ni pour la santé de l'homme. La plante est développée par une université européenne et ne conduit pas donc à des profits pour une multinationale sur le dos des pauvres de ce monde (plus encore, les plantes sont distribuées dans les pays en voie de développement sans licence à tous les agriculteurs qui gagnent moins de 10 000 dollars par an, et ils peuvent conserver leurs semences et les replanter). Et dans l'attente de meilleures solutions, la plante contribue à lutter contre un manque réel en vitamine dans le monde qui menace des millions d'enfants et d'adultes.



© 2015 Bio-MENS asbl

MeNS est une édition de l'asbl Bio-MENS. A la lumière du modèle de société actuel, elle considère une éducation scientifique objective comme l'un de ses objectifs de base.

www.biomens.eu

Coordination académique

Prof. Dr. Roland Caubergs

Rédacteur en chef et rédaction finale

Dr. Ing. Joeri Horvath, UA

Rédaction centrale

Lic. Karel Bruggemans
Prof. Dr. Roland Caubergs
Dr. Guido François
Prof. Dr. Geert Potters
Dr. Lieve Maesele
Lic. Els Grieten
Lic. Chris Thoen
ir. Marjolein Vanoppen
ir. Ariane Ooms
Prof. Dr. Diane Van Strydonck
Ludwig Callaerts

Coordination communication Bio-MENS

Kaat Vervoort
Herrystraat 8b, 2140 Antwerpen
Tél. +32 (0)3 609 52 30
Fax +32 (0)3 609 52 37
contact@biomens.eu

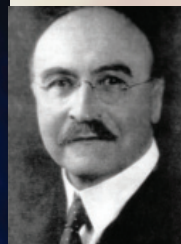
Coordination

Dr. Sonja De Nollin

Conception et mise en page

Peter Faes - www.odevie.com

PRIX DE LA JEUNESSE 2016 BAEKELAND



Les OGM permettront-ils de résoudre la faim dans le monde?

Mangerons-nous un jour des pommes de terre modifiées avec des gènes d'un poisson ?

Pourrons-nous guérir des victimes d'une maladie tropique en leur donnant des carottes GM ?

Produirons-nous des fiouls à l'aide des algues adaptées d'un gène ou deux provenant d'une chèvre ?

Vous êtes passionnés par le thème OGM et la prochaine année scolaire (2015-2016) vous atteindrez la 3ème degré de l'enseignement secondaire ? Réjouissez-vous déjà du Prix de la Jeunesse Baekeland 2016 qui sera marqué par le thème OGM !

A partir de juin 2015 vous trouverez de plus amples informations sur www.biomens.eu ou prixbaekeland.tumblr.com.



www.facebook.com/prixbaekeland
prixbaekeland.tumblr.com

