

MOOC « Semences végétales, quels enjeux pour notre avenir ?

Semaine 3 Parcourez les chemins de la sélection des semences : vers la sécurité alimentaire, l'environnement et la santé

Manuel de MOOC

Session du Printemps 2019



Votre cours de la semaine 3

Semaine 3	Parcourez les chemins de la sélection des semences : vers la sécurité alimentaire, l'environnement et la santé	1
	Introduction du module avec Maria MANZANARES-DAULEUX & Lucien LAIZE – vidéo 22	3
1)	Quels sont les différents chemins de l'amélioration des plantes ?	3
	La diversité et la complémentarité des approches en amélioration des plantes de Dominique DESCLAUX - vidéo 23	3
	La sélection participative de Dominique DESCLAUX - vidéo 24.....	8
2)	Pourquoi sélectionner des plantes ? (5 vidéos)	12
	La présentation des différents objectifs de sélection de Maria MANZANARES-DAULEUX - vidéo 25.....	12
	Sélectionner pour mieux protéger l'environnement : l'exemple de la lutte contre les maladies des plantes de Bernard DUPERRIER - vidéo 26	14
	Sélectionner pour améliorer le goût des aliments : l'exemple de la tomate de Mathilde CAUSSE - Vidéo 27	17
	Sélectionner pour l'agriculture biologique de Yannick CHEVRAY - vidéo 28.....	19
	Sélectionner pour favoriser la biodiversité de Laurence POINSARD - vidéo 29.....	21
3)	Les bases génétiques des méthodes de sélection ? (3 vidéo)	24
	Focus sur les effets de consanguinité et hétérosis d'Anne LAPERCHE - vidéo 30.....	24
	Quelques éléments de définition de Loïc LEPINIEC -vidéo 31.....	27
	Pourquoi sélectionner différents types de variétés ? de Philippe BRABANT - vidéo 32.....	28
4)	Des exemples de méthodes de sélection des variétés ? (3 vidéos).....	32
	La sélection massale et généalogique de Philippe BRABANT - vidéo 33.....	32
	Illustration de la sélection généalogique de Philippe BRABANT - vidéo 34.....	36
	L'évolution des techniques de sélection et l'apparition des biotechnologies de Pierre DEVAUX - vidéo 35.....	41
	Focus sur certains outils modernes de sélection de Loïc LEPINIEC - vidéo 36	44
	Conclusion du module 3 avec Maria MANZANARES-DAULEUX et Lucien LAIZE - vidéo 37.....	49

Introduction du module avec Maria MANZANARES-DAULEUX & Lucien LAIZE – vidéo 22

Après avoir vu l'origine de la diversité génétique des espèces cultivées et la domestication des plantes, vous allez parcourir les chemins de la sélection. C'est un module un peu compliqué, on le reconnaît. Prenez donc votre temps, et surtout n'hésitez pas à échanger entre vous et à nous poser vos questions.

Bonne découverte !

1) Quels sont les différents chemins de l'amélioration des plantes ?

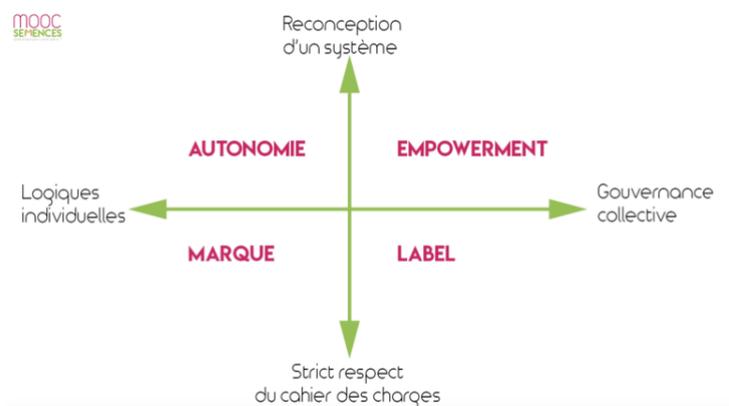
La diversité et la complémentarité des approches en amélioration des plantes de Dominique DESCLAUX - vidéo 23

L'amélioration des plantes n'est pas monolithique. Il y a une réelle nécessité aujourd'hui de considérer la diversité des approches en amélioration des plantes et d'apprécier leur complémentarité.

Un agriculteur choisit une variété non seulement en fonction des conditions de sol et de climat dans lesquelles il va la cultiver, mais aussi en fonction de son système de culture et du débouché qu'il vise. Cette variété, quant à elle, aura été créée puis évaluée par un sélectionneur, dans un ou des contextes pédoclimatiques définis, sous la dépendance d'une **réglementation** notamment celle de **l'UPOV (union pour la protection des obtentions végétales)**, et dans un certain contexte de dynamique sociale.

L'agriculture évolue et aujourd'hui majoritairement vers une diversification. Diversité des territoires, des lieux de culture, l'évolution du climat, diversité des façons de cultiver (agriculture biologique, agroforesterie, techniques de non-labour, faibles intrants, permaculture, tout ceci cohabitant avec l'agriculture intensive), diversité des techniques de transformation de produits (filiale paysanne, filiale artisanale, filiale industrielle), diversité des circuits de commercialisation (des grandes surfaces au marché local), tout cela questionne les acteurs de la sélection, les dynamiques sociales et contraint la réglementation à évoluer.

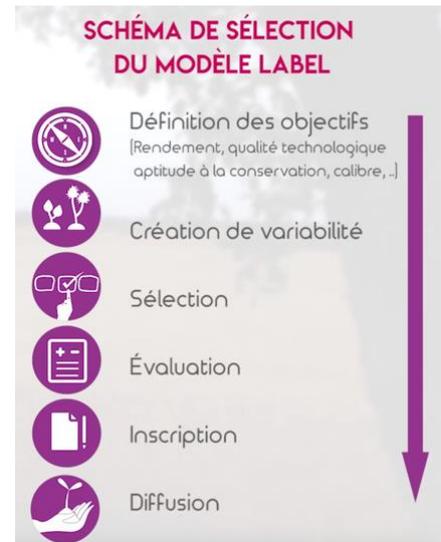
Au risque de simplifier à l'extrême, on peut toutefois tenter de modéliser cette pluralité selon deux axes : un **axe agrotechnique en vertical**, et un **axe socio-économique en horizontal**, allant des logiques individuelles à une gouvernance collective. Quatre modèles d'agriculture peuvent ainsi être différenciés. Si l'on décide de se focaliser sur la diversité rencontrée, ne serait-ce qu'en agriculture biologique, on va retrouver ces 4 modèles que nous avons nommés et que l'on va rapidement détailler.



- Le modèle « LABEL » pourrait aussi être nommé modèle de substitution, car on trouve des agriculteurs qui substituent les produits chimiques qu'ils utilisaient en conventionnel par des produits organiques permis par le cahier des charges de l'AB.

Ce sont en général des agriculteurs nouvellement convertis qui recherchent l'insertion de leurs produits dans les filières classiques, voire longues, ou d'exportation. La variété qui convient est donc principalement définie par la réglementation d'inscription des variétés au catalogue national : elle satisfait aux **critères de DHS (Distinction, Homogénéité, Stabilité)** et de **VATE (Valeur Agronomique, Technologique et Environnementale)**.

Le schéma de sélection est très classique, et peut, quelle que soit l'espèce, être résumé en 5 étapes : le sélectionneur définit ses objectifs, crée de la variabilité dans laquelle il sélectionne et évalue quelques lignées, hybrides ou clones, puis les inscrit et les diffuse.



- Le modèle « de MARQUE » s'inscrit dans des logiques individuelles de type filières intégrées ou clubs. Il s'agit généralement de grands groupes coopératifs qui maîtrisent l'ensemble de la filière : de la sélection au produit fini.

Ils sélectionnent donc les variétés les mieux adaptées à leurs propres contraintes de transformation. Les variétés sont inscrites en liste **VUIR (variétés à usages industriels réservés)**, ou bien font l'objet d'un simple contrat qui garantit aux agriculteurs membres du club le rachat de la totalité de leur récolte.

L'objectif pour le club est d'entièrement contrôler et cibler la diffusion de la variété.

Donc tout se passe comme si le schéma de sélection était inversé avec une étape d'inscription réduite à son minimum.



- Dans le modèle « **AUTONOMIE** », on va trouver des agriculteurs qui maîtrisent l'ensemble de la chaîne, depuis la sélection, la production des semences, jusqu'à la valorisation du produit fini. Les exemples les plus connus sont les « paysans-boulangers » ou les « paysans-pastiers ».

Parmi les pionniers, il y avait des boulangers par exemple qui, ne trouvant pas de variété correspondant à leurs attentes dans le catalogue officiel des variétés, ont décidé de créer leur propre variété ou de retrouver le plus souvent les variétés anciennes, locales, patrimoniales, identitaires, présentant une typicité. Les produits sont généralement valorisés en vente directe ou en partenariat local solidaire entre producteurs et consommateurs de type AMAP.

Les moyens mis en œuvre sont simples, pouvant aller de la culture de populations soumises à sélection naturelle ou à une gestion dynamique avec parfois des sélections massales. Ce qui intéresse l'agriculteur c'est beaucoup plus le goût de son produit, partager la satisfaction de ses clients, que de rechercher un progrès génétique type rendement.



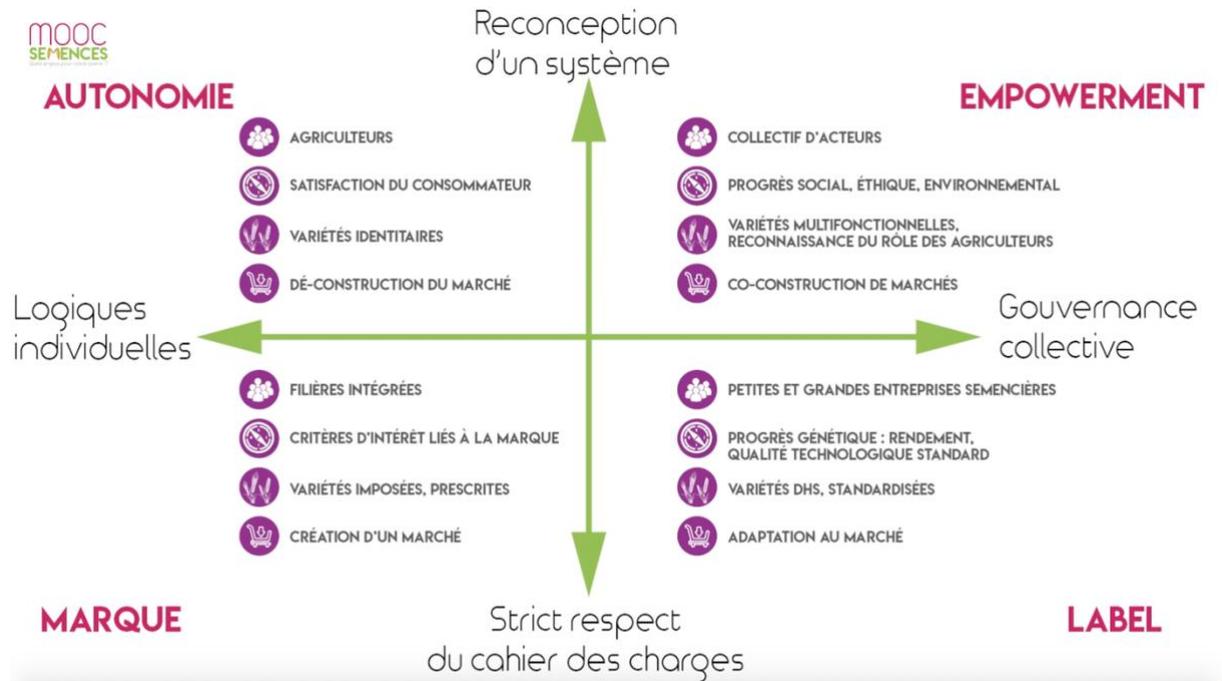
- Enfin, dans le quatrième modèle dit d'« **EMPOWERMENT** », l'objectif est de trouver un équilibre de durabilité en s'intéressant tout autant aux interactions agroécologiques que socio-économiques. Ce système d'interactions complexes n'est possible que dans le cadre d'une démarche participative.

Nous allons donc trouver des collectifs d'acteurs œuvrant ensemble dans des projets de sélection participative et recherchant des variétés diverses et multifonctionnelles.

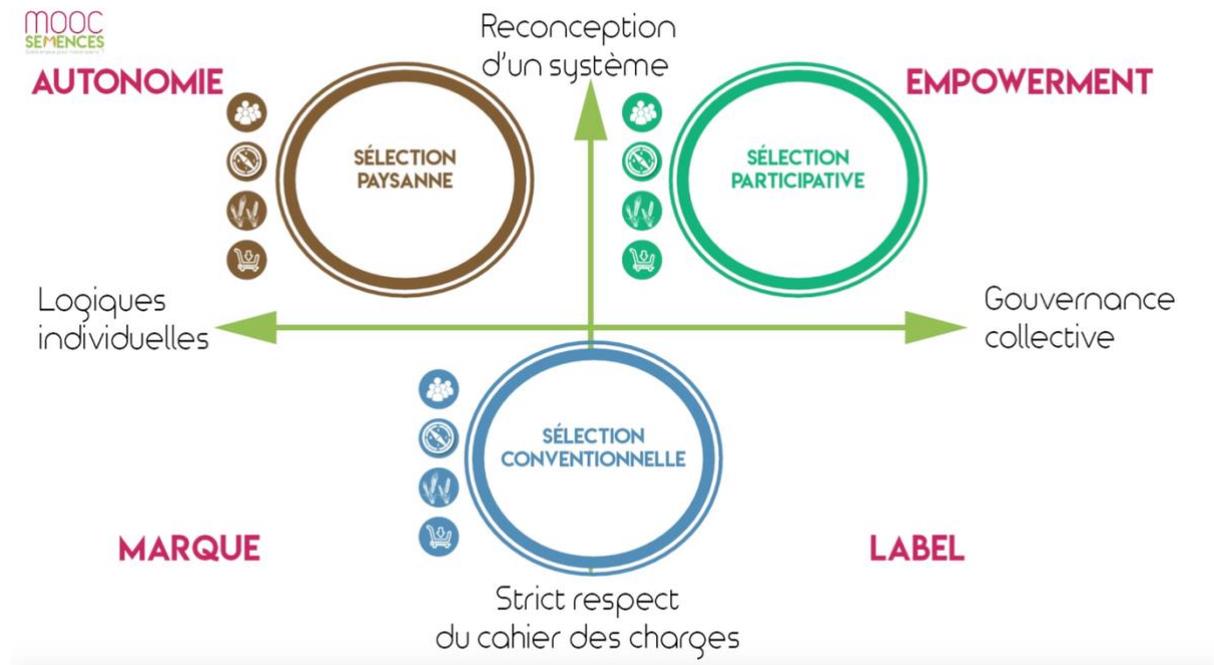
Ce modèle modifie profondément chaque étape de sélection au sens où chacune devient une fonction qui va exacerber les interactions entre la variété et l'environnement pris dans son acception large, intégrant des composantes environnementales, marchandes, sociales et sociétales.



Ces 4 modèles, bien que très schématiques, ont le mérite de rendre compte de la diversité actuelle des attentes concernant les variétés recherchées (de la ressource patrimoniale jusqu'à la variété multifonctionnelle), les objectifs de sélection (simple progrès génétique ou progrès social, éthique et environnemental), les acteurs de la sélection (des multinationales semencières à l'agriculteur).



On peut coller sur ces modèles 3 grandes approches de sélection : conventionnelle, paysanne, participative.



Sous-jacent à ces modèles, à ces approches, s'exprime un débat riche, parfois passionné, sur la manière dont est considéré le végétal (bien commun ou bien économique), la manière de l'améliorer et finalement c'est le lien que chacun entretient avec le vivant qui est en jeu.

Loin de s'exclure, ces modèles sont à considérer dans leur complémentarité et dans leur capacité à renouveler la façon d'aborder l'amélioration des plantes au service d'une agriculture et d'une alimentation dans sa pluralité et pour sa durabilité. Et il est urgent que les variétés issues de ces diverses démarches de sélection soient reconnues, acceptées et utilisables par tous.

L'enjeu autour des variétés et des semences est tel que ce secteur ne doit pas être laissé à une poignée de multinationales, qui de toute manière, ne pourront pas satisfaire l'ensemble des demandes.

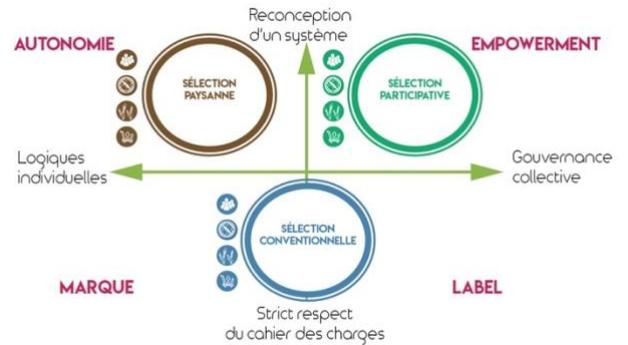
Il est indispensable et urgent que le plus grand nombre d'acteurs s'implique dans des programmes de sélection, d'amélioration des plantes afin que des variétés, des semences puissent répondre aux réalités systémiques et à l'hétérogénéité des environnements biophysiques, marchand, social et sociétal.

La sélection participative de Dominique DESCLAUX - vidéo 24

La sélection participative n'est pas une méthode de sélection, mais bien une **démarche** qui propose de mobiliser **un grand nombre de personnes qui habituellement ne participent pas à des programmes de sélection**.

Elle est complémentaire d'autres approches de sélection, que ce soit la sélection conventionnelle ou la sélection paysanne et s'en différencie principalement par :

- le nombre et la diversité des acteurs qui participent ;
- le type de variétés et les caractères qui sont recherchés ;
- et surtout par l'objectif principal qui est, dans le cas de la sélection participative, de partager des méthodes, des savoirs, des variétés, de manière à considérer, à prendre en compte et à renforcer le rôle de chacun (agriculteurs, transformateur, collecteurs, citoyens, etc.).



Donc, au-delà d'un simple objectif de création de variétés adaptées à un terroir et à des besoins particuliers, c'est surtout un **objectif de capacitation ou d'empowerment** qui est visé.

Le plus souvent la sélection participative est à l'initiative d'agriculteurs, mais aussi des autres acteurs de la filière qui n'ont pas trouvé dans le catalogue, et donc dans le commerce, les variétés qui leur conviennent. Pourquoi ne conviennent-elles pas ? Soit elles ne sont pas bien adaptées à un terroir donné, à un contexte pédoclimatique bien particulier ou encore à un type de transformations (artisanales, à la ferme) ou à un circuit de commercialisation.

En outre, le lieu de sélection la différencie aussi de la sélection dite conventionnelle dans la mesure où les premières étapes de sélection sont souvent faites directement chez les agriculteurs si nécessaire.

Comme on l'a vu, et même en focalisant sur une petite région agricole, il existe une grande diversité des environnements de culture, mais aussi de conduites de culture avec un nombre croissant de systèmes de culture considérés comme innovants (agriculture biologique, agroforesterie, permaculture, etc.), une grande diversité également des marchés et des débouchés visés par les agriculteurs (transformation artisanale des produits, cahiers des charges liés aux circuits courts, vente directe). Tous ces objectifs de sélection sont encore trop peu



ou non pris en compte par les démarches de sélection classique. Par conséquent, les agriculteurs ne trouvent pas dans le catalogue officiel national ou européen des semences et des variétés, les variétés

répondant à leurs attentes. Il est donc important que la réglementation évolue et c'est le cas actuellement pour permettre par exemple aux agriculteurs d'utiliser des variétés dites hétérogènes (variétés populations en céréales par exemple). Les acteurs de la sélection doivent aussi se diversifier pour répondre à la pluralité des demandes. Et enfin les dynamiques sociétales sont également amenées à évoluer.

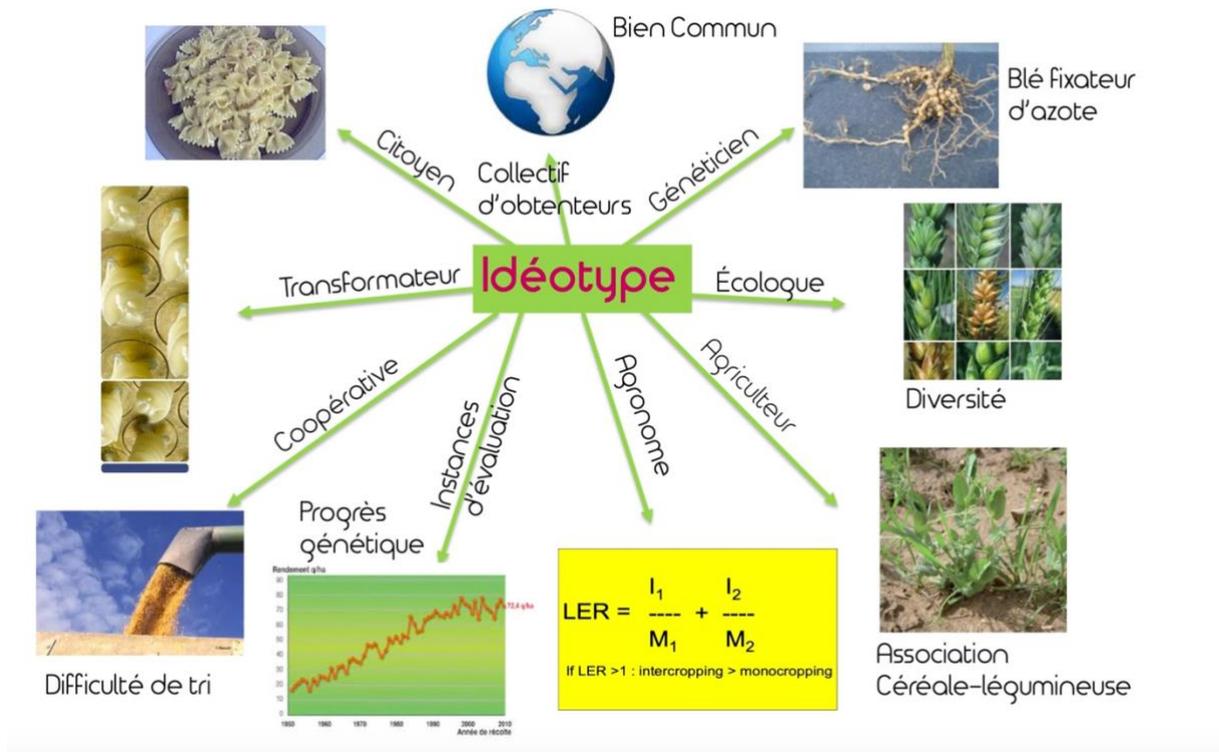
La sélection participative représente parfois l'unique solution lorsqu'il y a une réelle urgence c'est-à-dire quand l'absence de variétés adaptées représente un réel verrou pour toute une filière.

Ce fut le cas par exemple de la **filière blé dur biologique** française et notamment des producteurs de blé dur biologique qui ne pouvaient pas vendre leur récolte pour cause de qualité non conforme aux attentes de la filière aval : les grains qui devaient être bien vitreux (comme ceux de gauche sur la photo ci-contre), étaient farineux (on parle de **mitadinage**) et devenaient impropres à la transformation en semoule. La filière aval : semouliers et pastiers, ne trouvant pas de production de blé dur de qualité en France, était dans l'obligation de s'approvisionner dans d'autres pays sans réelle assurance de traçabilité.



Tous les acteurs de cette filière, producteurs, collecteurs, transformateurs, et citoyens se sont donc mobilisés et ont commencé par poser un diagnostic, pour mieux connaître et identifier les contraintes de chacun, les verrous et les besoins. L'objectif étant d'élaborer un cahier des charges et de co-construire un idéotype.

L'**idéotype** est une sorte de variété idéale qui cumulerait, regrouperait tous les caractères recherchés par chacun. Si l'on recherche par exemple à améliorer la teneur en protéine du grain de blé, il est clair que chaque participant va proposer son idée, depuis le blé fixateur d'azote jusqu'aux associations de cultures tout en intégrant les problématiques de tri et les critères de qualité demandés par les transformateurs. Ces critères seront bien sûr différents selon que l'on s'adresse à une filière de transformation paysanne, artisanale ou industrielle.



C'est par une démarche dynamique et participative, liée à la discussion et la participation de chacun que l'on est amené à dépasser la notion d'idéotype, qui reste associée à des critères de sélection *a priori* (variété idéale), pour préférer le terme de « réalttype », qui traduit la mise à l'épreuve de l'idéotype à la réalité du terrain. Le **réalttype** représente la ou les variétés recherchées et permises par un dispositif collectif représentant la diversité des acteurs concernés et des compétences nécessaires. C'est pourquoi il y a plus souvent des réalttypes qu'un seul.

Ce réalttype se construit par un processus de sélection qui n'est pas linéaire, contrairement à la sélection conventionnelle, mais circulaire, avec de nombreuses boucles de feedback.



Les agriculteurs mettent à disposition leurs champs pour évaluer, expérimenter une diversité de variétés. Les transformateurs, qu'ils soient paysans, artisans ou industriels, assurent les analyses qualité de chacun des lots produits, les chercheurs accompagnent la démarche en fournissant les ressources génétiques si nécessaire, en contribuant à la mise en place des parcelles chez les agriculteurs avec des outils appropriés à l'expérimentation, en procédant aux croisements éventuels de plantes décidés ensemble, les consommateurs goûtent les produits fabriqués (ici les pâtes) à partir des divers lots produits.

Mais outre ces diverses contributions, la spécificité de la sélection participative est que chacun est présent sur l'ensemble des étapes, donne son avis. Lors de l'étape de sélection, des méthodes utilisées classiquement, telles que sélection massale, sélection généalogique, sélection récurrente peuvent être mobilisées en fonction de la biologie de l'espèce.

C'est donc l'ensemble d'une filière qui, autour des parcelles et des produits, aide à l'émergence de variétés adaptées non seulement aux conditions environnementales de chaque ferme, mais aux souhaits, contraintes et nécessités de chacun.

L'objectif est bien d'élaborer conjointement et localement des variétés et des systèmes écologiquement durables, socialement acceptables et économiquement viables.

C'est une démarche et à ce titre elle réinterroge totalement la manière de penser l'amélioration des plantes.

Nous ne cherchons plus à adapter l'environnement à la variété, ni à adapter la variété à l'environnement, mais bien à rechercher des variétés qui peuvent contribuer positivement à l'environnement non seulement biophysique, mais aussi économique et social. On parle alors de variétés multifonctionnelles.

Cela nous a amenés à proposer le terme « **Ecobreeding** » qui montre la nécessité de considérer la variété au cœur d'un écosystème prenant en compte les dimensions biophysiques, écologiques, économiques et sociales.

La **sélection participative** est une démarche qui cherche à **hybrider** non pas les plantes, mais les **savoirs** de chacun, savoirs empiriques, académiques, techniques, professionnels, opérationnels, hybrider les contraintes de chacun, les attentes de chacun. Le résultat est souvent la mise à disposition de filières émergentes, de groupements d'agriculteurs, d'un pool de variétés qui peuvent évoluer et s'adapter à chaque terroir, et à partir duquel chacun vient puiser les plantes qui l'intéressent.

Plusieurs variétés ont ainsi déjà vu le jour en France grâce à des programmes de sélection participative.

Cette forme de sélection, parce qu'elle intègre une complexité majeure et qu'elle incite à réinterroger certains concepts, enrichit et met en perspective les autres façons de concevoir l'amélioration des plantes.

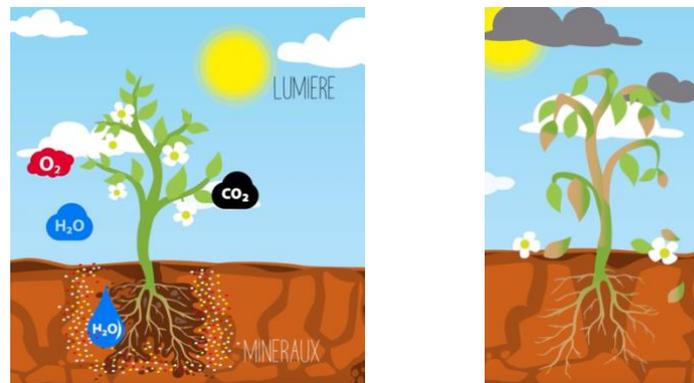
Je finirai sur l'importance de l'éthique en amélioration des plantes et notamment dans les démarches participatives où une grande confiance doit s'instaurer entre tous les participants, une grande transparence sur les objectifs de chacun avant le démarrage de tout programme de sélection.

2) Pourquoi sélectionner des plantes ? (5 vidéos)

La présentation des différents objectifs de sélection de Maria MANZANARES-DAULEUX - vidéo 25

Les plantes font face à des environnements fluctuants et parfois hostiles : sécheresse, inondations, salinité des sols, attaques de ravageurs-insectes, infection par des parasites, bactéries... et subissent aujourd'hui de plein fouet les conséquences du changement climatique qui affecte leur développement, leur santé et leur production.

À la différence des animaux, les plantes sont des organismes sessiles, c'est-à-dire qu'elles ne se déplacent pas et doivent donc trouver sur place les nutriments nécessaires à leur survie et développer des stratégies leur permettant d'éviter et/ou de tolérer les contraintes du milieu.



L'objectif de la sélection végétale, de l'amélioration des plantes, est de créer des variétés présentant des caractéristiques définies qui vont permettre à la plante de s'adapter à l'environnement dans lequel elles seront cultivées.

Quels sont les principaux traits que le sélectionneur va améliorer ?

Historiquement, c'est le **rendement**. Depuis le Néolithique, époque à laquelle la sélection des plantes apparaît de façon concomitante à l'agriculture, l'Homme choisi des plantes avec plus de graines, des graines plus grosses... c'est ainsi que débute la domestication des premières espèces végétales, les graminées, domestication qui concernera par la suite la précocité de floraison, la taille des fruits ou la ramification.

L'augmentation du rendement constitue encore aujourd'hui l'un des principaux objectifs des programmes de sélection, mais pas l'unique. Il ne s'agit pas simplement de produire plus, mais de stabiliser la production : ainsi la **résistance aux maladies** – provoquées par une grande diversité d'**agents pathogènes** tels que des **champignons, virus, bactéries** – et aux **ravageurs (insectes)**, et la tolérance à des **stress abiotiques**, principalement le **manque d'eau**, le **gel**, l'**augmentation de la température** sont des critères recherchés pour la plupart des espèces de grande culture (blé, riz, maïs, pomme de terre), mais aussi pour les espèces horticoles (laitue, choux, haricot), les arbres fruitiers (pommier, abricotier) ou forestiers (pin, peuplier).

L'évolution aussi bien de l'agriculture que des demandes sociétales ainsi que les nouveaux enjeux environnementaux fait apparaître d'autres objectifs de sélection : le développement de nouveaux

types de production agricole comme l'agriculture à bas intrants, ou l'agriculture biologique couplée aux nouvelles exigences environnementales (interdiction des néonicotinoïdes pour lutter contre les insectes ou interdiction future du Glyphosate pour lutter contre les mauvaises herbes) nécessitent des variétés adaptées à ces nouvelles pratiques culturales impliquant moins d'azote, moins ou pas de pesticides, moins ou pas d'herbicides. Des nouveaux critères de sélection sont ainsi inclus dans les programmes tels que l'amélioration de la capacité d'absorption ou d'utilisation de l'azote par la plante ou la capacité de compétition des cultures vis-à-vis des adventices.

Les demandes des consommateurs orientent aussi les objectifs de sélection vers des critères de qualité, par exemple : l'amélioration de la qualité gustative de la tomate, la diminution de la mauvaise odeur à la cuisson des choux, l'amélioration de la qualité technologique-boulangère des blés, la diminution des composés antinutritionnels chez le colza, la réduction des allergènes, du gluten.

Bref, nous n'allons pas continuer avec une liste à la Prévert, il y a beaucoup d'objectifs de sélection et beaucoup de caractères qui peuvent être sélectionnés.

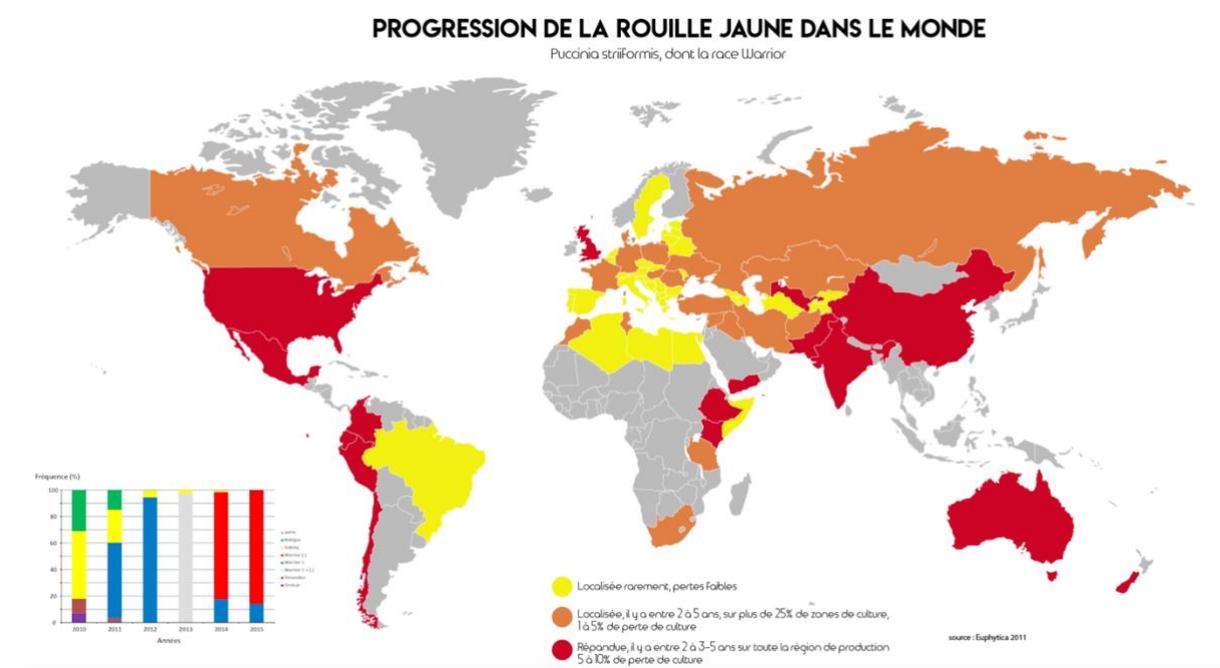
Mais pour que la sélection opère, il faut de la diversité et pour pratiquement tous ces caractères on peut trouver une variabilité naturelle dans les populations cultivées et/ou sauvages. Le travail du sélectionneur consistera alors à grouper et combiner les meilleurs allèles ou les allèles favorables au sein de la même variété.

Sélectionner pour mieux protéger l'environnement : l'exemple de la lutte contre les maladies des plantes de Bernard DUPERRIER - vidéo 26

Le **blé** est **apparu en Mésopotamie il y a environ 10 000 ans**. Il a rapidement été cultivé partout dans le monde. Aujourd'hui, avec le riz, le blé est un composant essentiel de l'alimentation humaine. Un Français adulte consomme environ une demi-baguette de pain par jour.

Comme pour les autres cultures, les maladies se succèdent tout au long du cycle de vie du blé, et peuvent altérer fortement la récolte. Elles sont donc une menace pour notre sécurité alimentaire, car, si l'on ne récolte pas assez de blé, on fera moins de pâtes et moins de pain !

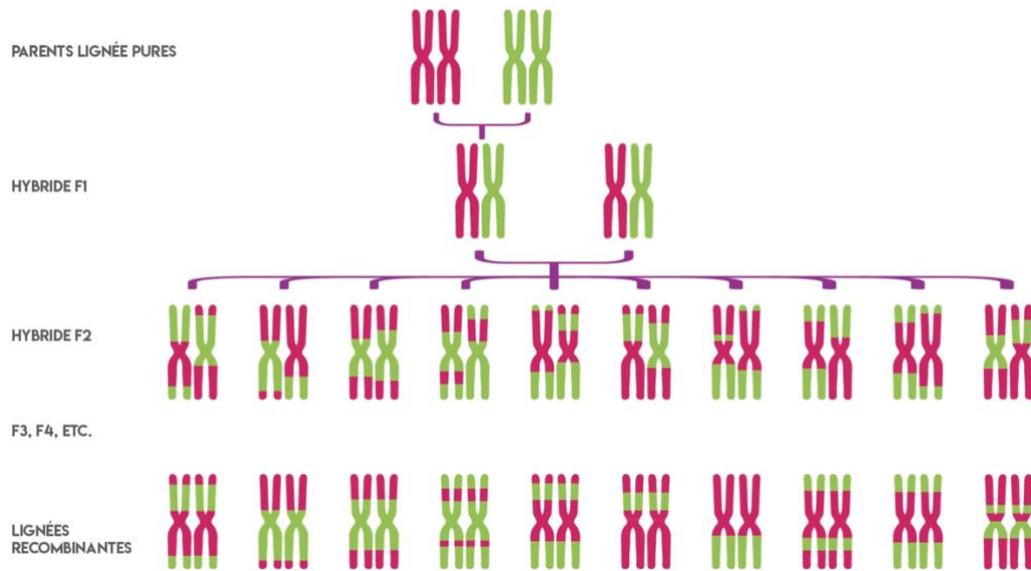
Cette menace est renforcée par le changement climatique qui accélère le développement des maladies. Par exemple, en 2011, la race **Warrior** de **rouille jaune**, du fait de son agressivité et du changement climatique, a envahi en quelques années l'Europe, l'Asie et l'Afrique du Nord. Il est donc essentiel de continuer à chercher et à sélectionner des blés résistants aux maladies.



Prenons l'exemple de la **fusariose**, c'est une **maladie causée par un champignon qui contamine l'épi du blé**. Quand le blé est malade, les récoltes sont beaucoup plus faibles et les grains ne peuvent pas être consommés. En Auvergne, la pression fusariose est régulièrement forte. Afin de valoriser la production en alimentation humaine où les exigences sanitaires sont très élevées, je sélectionne des variétés résistantes à la fusariose.

Des gènes de **résistance** à cette maladie sont présents dans la variété de **blé chinois Sumai 3**. Par croisement, j'ai **combiné les gènes** de Sumai 3 avec les variétés adaptées au terroir auvergnat, pour leur donner les moyens de se défendre elles-mêmes contre cette maladie. La première étape pour combiner ces gènes de résistance avec les variétés adaptées est le **croisement**. On fait une **castration** et **l'on apporte le pollen de l'autre variété**. À partir du croisement, le sélectionneur produit une **descendance**. Selon les lois de la génétique, cette descendance donnera une multitude de combinaisons des caractères des deux parents. C'est à partir de cette diversité que le sélectionneur

cherche pendant une dizaine d'années la meilleure combinaison pour faire une nouvelle variété.



Imaginez qu'il a fallu un million de plantes la première année pour aboutir au bout de 12 ans à une variété présentant les caractéristiques souhaitées !



La sélection s'effectue dans les champs sous pression naturelle. C'est-à-dire que les différentes étapes de la sélection vont être soumises aux mêmes conditions de climat, de maladies que les cultures de blé pour la consommation. Cette pression naturelle permet d'identifier les plantes qui ont le meilleur comportement par rapport aux maladies présentes. Les observations sont répétées chaque année afin de valider la durabilité de la résistance. Pour certaines maladies comme la fusariose, l'on crée des conditions favorables au développement du champignon (contamination et humidité) afin d'augmenter la pression parasitaire. Ceci permet de mettre en évidence les plantes les plus résistantes.

Si la réalisation d'essais en plein champ et l'observation phénotypique restent la base du métier de sélectionneur le marquage moléculaire permet d'être plus efficace. L'utilisation de cette technique renseigne sur la part génétique des observations. Lorsque deux ou plusieurs gènes confèrent une résistance à la même souche d'une maladie, il est normalement impossible de savoir par observation à l'œil nu si un seul ou plusieurs gènes porteurs de résistance sont présents. Mais, en étiquetant les gènes au moyen de marqueurs, il est possible d'identifier des génotypes renfermant plusieurs gènes de résistance, qui sont disposés en pyramides.

Pour cela, on prélève un échantillon sur la plante et l'on recherche dans son ADN la présence des gènes grâce aux marqueurs. Identifier, par des marqueurs, le nombre de gènes porteurs de résistances aux maladies est très utile. En effet, s'il y a plusieurs gènes de résistance, l'agent pathogène pourra difficilement contourner la résistance. Ainsi, la résistance sera mieux assurée dans le temps et la plante pourra mieux se défendre elle-même contre les maladies.

À l'aide des connaissances accumulées durant sa carrière, le sélectionneur met en place des stratégies pour créer des variétés performantes adaptées. La diversité des mécanismes de défense de la plante

et les outils de compréhension de la génétique offrent de nombreuses possibilités de lutte contre les ravageurs. Contrairement aux idées reçues, ce travail lent et rigoureux a entraîné une progression de la résistance du blé aux maladies.

Par exemple : **Apache** variété leader du début du 21^e siècle cumule tolérance fusariose, régularité de rendement et qualité boulangère. Des progrès significatifs sont encore possibles notamment sur la durabilité et la qualité sanitaire. Notre rôle en tant que sélectionneur c'est d'éviter les dommages que pourraient provoquer une épidémie sur une plante aussi importante pour notre alimentation que le blé. Pour cela nous avons besoin de 3 choses : de diversité génétique, de temps (il nous faut 10 à 12 ans pour un programme de recherche), et d'accès aux biotechnologies, complémentaires des observations que nous faisons en plein champ.

Sélectionner pour améliorer le goût des aliments : l'exemple de la tomate de Mathilde CAUSSE - Vidéo 27

La tomate, le légume le plus courant, est aujourd'hui cultivée dans le monde entier, dans des conditions de culture très diverses (plein champ, tuteuré ou non, tunnel plastique ou serre hors-sol). Mais il n'en a pas toujours été ainsi. La tomate a été domestiquée il y a environ 8 000 ans en Amérique du Sud, où se retrouvent toutes les espèces sauvages qui lui sont apparentées (en quelque sorte ses cousines). Au XVI^e siècle, c'est du Mexique qu'elle était cultivée depuis longtemps par les Aztèques, que les conquistadors ont ramené quelques graines de tomate en Espagne. Mais c'est à partir du XX^e siècle que sa culture s'est étendue dans le monde entier. Elle s'est peu à peu implantée en Italie et en Espagne où étaient sélectionnées des variétés locales par sélection massale, mais la sélection moderne, professionnelle n'a commencé qu'au XX^e siècle. Les objectifs de sélection concernent le rendement et l'adaptation aux conditions de culture, les résistances aux maladies et la qualité des fruits.

La sélection a tout d'abord visé l'introduction de résistances à des maladies. En effet plus de 200 maladies (virus, bactéries, champignons, insectes) attaquent les tomates.



Elles varient suivant les régions et les conditions de culture. Les premières variétés étaient sensibles à toutes les maladies. C'est en allant prospecter en Amérique du Sud qu'un chercheur américain, **Charles Rick** (photo ci-contre), a pu trouver dans les espèces sauvages apparentées à la tomate les premières sources de résistance. Ces espèces ont des fruits tout petits, qui restent souvent verts à maturité. En croisant certaines plantes sauvages à la tomate cultivée, on crée des variétés résistantes. Mais cette sélection peut être très longue, car les croisements sont souvent difficiles et les descendants stériles. Grâce au travail des sélectionneurs, aujourd'hui **les variétés modernes possèdent environ 6 à 8 gènes de résistance à des maladies** diverses. Toutefois, nous n'avons pas encore de résistance à toutes les maladies. C'est pourquoi **la serre protège des multiples agressions de l'environnement et réduit la nécessité de traitements phytosanitaires.**



La qualité n'est apparue en tant qu'objectif de sélection que dans les années 90. **La sélection a d'abord recherché la qualité visuelle** : belle couleur, homogénéité de forme et de calibre. On pensait que le goût était intrinsèque à toutes les variétés. Dans les années 80, on a recherché l'amélioration de la conservation pour satisfaire la grande distribution et sélectionné des variétés dites « *long life* », qui se conservaient plusieurs semaines. Malheureusement, cette conservation était associée à des fruits très fermes et peu aromatiques. Finalement qu'est-ce que la qualité gustative : Le goût d'un fruit se décline en saveurs (sucrée, acide), arômes (arôme tomate, floral, bonbon, herbe, pharmaceutique, terreux...) et texture (que l'on perçoit en croquant : farineux, ferme, fondant...). Et il n'y a pas une seule bonne tomate : on dit que « tous les goûts sont dans la nature » : effectivement, en faisant tester des variétés de tomates à plus de 800 consommateurs, on a montré que certains aiment les tomates fondantes, d'autres les aiment plus fermes ; de même, certains aiment les petites tomates acidulées, d'autres les

gros fruits pas forcément très aromatiques. La réponse de la sélection à ces attentes s'est donc faite par la diversification, avec un grand nombre de formes, de calibres, de couleurs offertes sur le marché. Mais l'aspect n'est que peu lié au goût des fruits et la sélection doit poursuivre son travail. À l'INRA, nous menons des recherches pour tenter d'identifier des variétés qui puissent être source de qualité, mais aussi des méthodes pour sélectionner efficacement cette qualité qui est contrôlée par un grand nombre de gènes. Nous avons donc opté pour la recherche de marqueurs de l'ADN liés aux critères de qualité. Mais pour une même variété, la qualité des fruits peut encore varier considérablement suivant les conditions de production, le stade de maturité à la récolte et les conditions de conservation post-récolte : **ne jamais mettre les tomates au frigo, sinon, les arômes seront bloqués**. Et puis, pour que le consommateur déguste de bonnes tomates, il ne faut pas oublier que tous les acteurs de la filière (sélectionneurs, producteurs, commerce) s'accordent pour optimiser les conditions, et ce, parfois, au détriment de la productivité. En conclusion, la sélection est très dynamique : aujourd'hui, **plus de 300 variétés "modernes" et plusieurs dizaines de variétés amateurs sont disponibles au catalogue des obtentions variétales en France. Mais dans le monde entier, ce sont plusieurs dizaines de milliers de variétés**, adaptées aux multiples conditions locales qui sont conservées dans des collections.

Sélectionner pour l'agriculture biologique de Yannick CHEVRAY - vidéo 28

La sélection pour l'agriculture biologique : En quoi les objectifs de sélection diffèrent de ceux de l'agriculture conventionnelle ?

Tout d'abord, l'amélioration des plantes par la création des variétés sert à répondre aux besoins de l'Homme. Ces besoins semblent être à la fois similaires et différents entre l'agriculture biologique et l'agriculture conventionnelle.

Similaires, car les deux agricultures exigent aujourd'hui d'avoir accès aux mêmes innovations garantissant la qualité du produit fini. Nous sommes convaincus que le secteur biologique doit avoir accès, comme le secteur conventionnel, aux dernières résistances, technologies de la semence et aux solutions durables d'optimisation de la germination et de la vigueur.

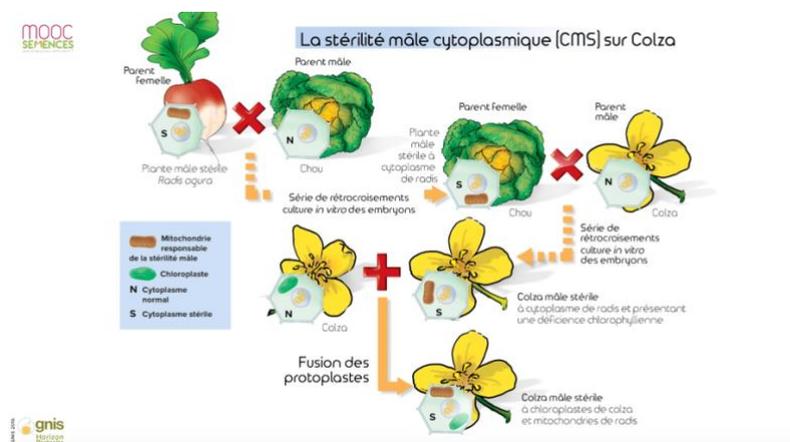
Mais aussi différents car nous devons prendre en compte les attentes sociétales qui sont beaucoup plus fortes en agriculture biologique. En plus des exigences qualitatives et quantitatives qu'il s'agit pour un sélectionneur de combiner dans un même génotype, il y a également des exigences d'**équité dans les échanges commerciaux**, de **respect de la nature** et d'**intégrité de la plante**, c'est-à-dire : **ne pas modifier par des techniques intrusives le génome** de la plante.

Ces exigences interviennent donc dans la détermination des méthodes que nous employons dans la sélection des variétés que nous proposons pour l'agriculture biologique.

Il faut **trouver un équilibre entre les exigences sociétales et technologiques**. Notre conviction est que cet équilibre se trouve dans la fourniture d'hybrides modernes avec un haut niveau d'uniformité.

Pour cela, nous n'utilisons que des méthodes de sélection acceptées notamment par l'**IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements ou Fédération internationale des mouvements d'agriculture biologique)**, une organisation internationale de l'agriculture biologique qui contribue par ses prises de position à cadrer le travail du sélectionneur en agriculture biologique.

Par exemple, la stérilité mâle cytoplasmique par fusion de protoplastes (CMS) qui a été développée à la fin des années 80 pour les choux n'est pas une technique considérée comme OGM. Mais, le côté intrusif de cette méthode la rend incompatible avec les attentes sociétales pour un grand nombre d'acteurs de la filière biologique.



Du coup, pour le chou et les autres espèces dites allogames, nous utilisons le mécanisme de l'auto-incompatibilité naturelle plutôt que la CMS.

Cette **auto-incompatibilité empêche la plante de s'autoféconder et l'oblige à se croiser avec une autre** plante, clé du succès de la production de l'hybride. Mais, ce mécanisme n'est pas efficace à 100 % et nécessite une importante maîtrise du semencier pour garantir la pureté de l'hybride.

Malgré ces restrictions, un grand nombre de techniques permettent d'obtenir des variétés de qualité en agriculture biologique, notamment des variétés résistantes aux maladies. C'est devenu un des principaux axes de recherche, car en agriculture biologique, le producteur ne peut pas utiliser de produits chimiques de synthèse. Nous devons donc lui fournir des variétés naturellement résistantes.

Pour aboutir à des variétés résistantes, de nombreuses techniques modernes, mais respectueuses de l'intégrité de la plante sont disponibles pour le sélectionneur qui est maintenant appuyé par plusieurs départements.

Par un département phytopathologie qui sait maîtriser l'élevage d'un pathogène ou d'un ravageur et assure la bonne contamination d'une population de plantes pour déterminer les génotypes résistants.

Une fois le matériel résistant sélectionné, il s'ensuit un processus de nombreuses générations de sélection, par rétrocroisement jusqu'à obtenir une **lignée ne contenant que le gène favorable** en ayant éliminé les gènes défavorables.

Les challenges en sélection actuellement sont par exemple l'incorporation de résistance fusariose sur les oignons, de hernie chez les choux ou de mildiou chez la laitue.

Le sélectionneur est également aidé par la technologie des marqueurs. Une fois que nous savons quel gène est responsable de la résistance à la maladie, nous pouvons tester les plantes via une analyse ADN qui vient remplacer le test de maladie.

La **culture tissulaire** permet également de réduire le temps de sélection et respecte l'intégrité de la plante tout en assurant la reproduction de lignes parentales uniformes.

Pour un programme de sélection biologique, il est intéressant de ne pas exclure tout son programme de sélection conventionnelle. Dans ce dernier, de la génétique intéressante et compatible avec les attentes de la bio est disponible.

Si nous devions faire un programme de sélection absolument séparé, en repartant de zéro, nous serions limités par des ressources liées au marché biologique, qui sont encore faibles par rapport au marché conventionnel.

Si nous prenons le **ratio moyen de 5 % de bio**, cela limiterait considérablement le nombre de lignées disponibles et d'essais de croisements, ou nécessiterait des coûts de sélection très supérieurs à ce que la filière pourrait financer.

Sélectionner pour favoriser la biodiversité de Laurence POINSARD - vidéo 29

Qu'est-ce que c'est les engrais verts ? C'est compliqué... **Engrais verts**, c'est une expression qui regroupe plein de choses : plantes de services, cultures intermédiaires, pièges à nitrates. Tout ça regroupe un ensemble d'espèces.

Nos utilisateurs pour ces espèces-là ce sont les agriculteurs, avec différents profils.

Ça peut être un **éleveur**, qui va avoir tendance surtout à vouloir, en plus d'un engrais vert, implanter quelque chose qui va produire du **fouillage** pour continuer à donner à manger à ses animaux.

Ou l'on peut avoir au contraire un profil plus **céréaliériste**, quelqu'un qui produit des semences de céréales. Cette personne-là va s'intéresser plutôt à la structure du sol, à essayer d'implanter des espèces qui permettent de faire des ruptures de rotation pour éviter les cycles de maladie.

Donc derrière le mot engrais verts il y a une multitude d'usages et d'utilisateurs, d'agriculteurs qui ont des profils différents.

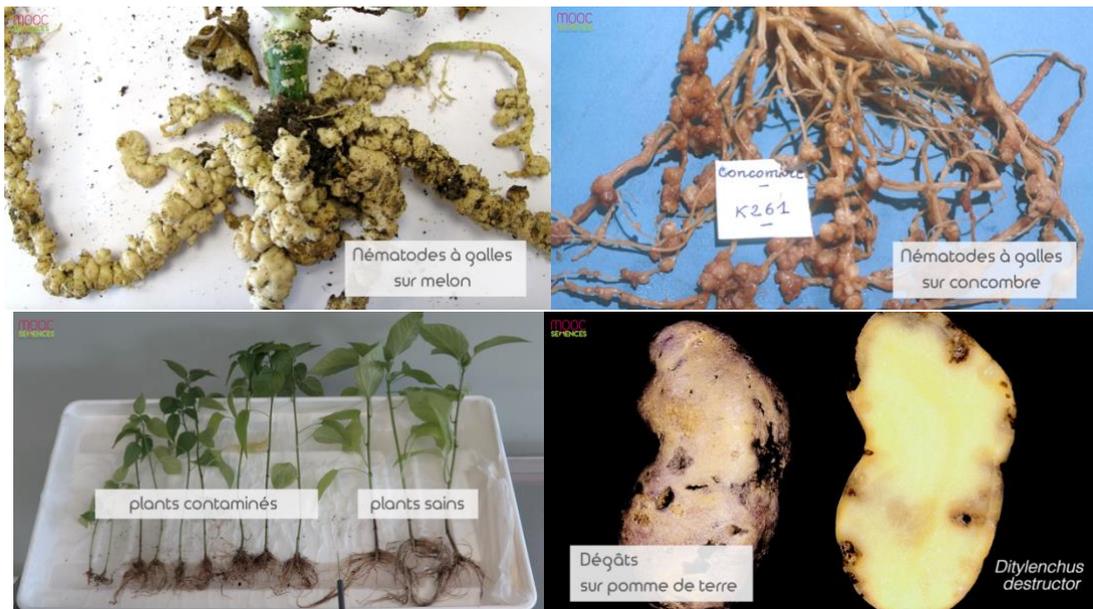
Après sa récolte, un agriculteur ne peut pas laisser sa terre à nue. Il est obligé de couvrir son sol. Soit avec ses propres semences, soit avec des semences achetées, spécifiques, pour essayer d'optimiser les caractéristiques de son sol.

Donc l'objectif pour l'agriculteur en implantant un engrais vert c'est : éviter l'érosion par la pluie et éviter le lessivage des nitrates dans le sol. **Dans le sol**, il y a de l'**azote** qui est présent sous forme de **nitrates**, c'est assez soluble, donc s'il pleut ça va s'infiltrer dans le sol et aller peut-être polluer les nappes phréatiques.

Donc, en implantant en quelque chose une culture, la culture va pomper cet azote de façon naturelle et l'on va pouvoir derrière, en broyant, restituer dans le sol cette capacité d'azote.

Il y a aussi un autre **intérêt agronomique** : les plantes ont des **racines** qui vont influencer sur la structure du sol. Si l'on plante un engrais vert, on le broie derrière, on va apporter de la matière organique au sol, donc c'est intéressant de façon agronomique également pour l'agriculteur.

Il peut aussi y avoir des caractéristiques particulières. On peut décider d'implanter des engrais verts pour la **résistance aux nématodes** par exemple. On a des variétés de moutarde qui sont résistantes aux nématodes de la betterave. Donc, quand l'agriculteur a une problématique particulière dans son champ, on peut également lutter de façon biologique contre certains parasites ou certaines maladies, c'est aussi intéressant pour lui.



Les **nématodes** sont des petits **vers microscopiques**, qui sont présents naturellement dans le sol, et qui **gênent les productions** ou de **pommes de terre** ou de **betterave** ou de **céréales**. Le fait pour un agriculteur de mettre une moutarde en engrais verts, va lui permettre d'assainir ce sol, de limiter les cycles de reproduction du nématode, et donc de pouvoir remettre une culture principale dans un sol plus sain. Donc, de manière naturelle, l'agriculteur a une solution pour **lutter de façon biologique contre un parasite**. Ça lui évite de mettre des produits chimiques par exemple.

On peut jouer également sur l'aspect **biodiversité** : il y a certaines espèces, comme la **phacélie** par exemple, qui fleurissent à une période où il y a peu de fleurs dans les champs. Donc si l'on implante de la phacélie en août, elle va **fleurir en septembre** et **les abeilles auront des fleurs à butiner**, ce qui participe à la biodiversité existante.

On voit aussi souvent des **mélanges d'espèces**. On peut décider d'associer une moutarde, par exemple, ou un **radis**, qui va avoir une **racine pivotante** qui va aller en profondeur et jouer sur la structure du sol, avec des variétés qui peuvent être **résistantes aux nématodes** de la betterave ou de la pomme de terre. Ou on peut **associer une moutarde avec un trèfle d'Alexandrie** qui **va monter haut** et qui va avoir tendance, vu que c'est une légumineuse, à faire des nodosités et à produire de façon naturelle de l'**azote**. On essaye d'assembler différentes espèces pour essayer d'avoir les meilleurs avantages suivant ce que l'agriculteur souhaite.

Ça contribue également à l'environnement. Avoir des **plantes mellifères** c'est intéressant pour les **insectes**. Il ne faut pas oublier non plus qu'on implante à cette saison-là pour le **gibier** : préserver la faune sauvage. Et également, multiplier les espèces, les variétés, c'est aussi une manière pour nous de conserver des usages très particuliers et la biodiversité.

Lorsqu'on fait de la sélection, on utilise la biodiversité existante. Sans la **biodiversité naturelle**, on ne pourrait rien faire. Prenez une variété à l'instant T ; quand vous la regardez toute seule, certes la biodiversité n'est pas existante, mais pour créer une variété, vous avez besoin de 10 ans de sélection, vous avez besoin de faire des croisements, on est donc forcément utilisateurs de biodiversité.

En tant que **sélectionneur**, on utilise la biodiversité, mais on est aussi **créateur de biodiversité**. Avant de faire une variété on a peut-être fait 10, 20, voire même plutôt 30 ou 50 croisements. Des choses qui marchent et qui ne marchent pas ! 50 croisements, ça veut dire 50 variétés potentielles qui ne vont pas toutes être exploitées au niveau commercial, mais vous avez créé de la biodiversité, des choses qui vont servir après dans le programme de sélection.

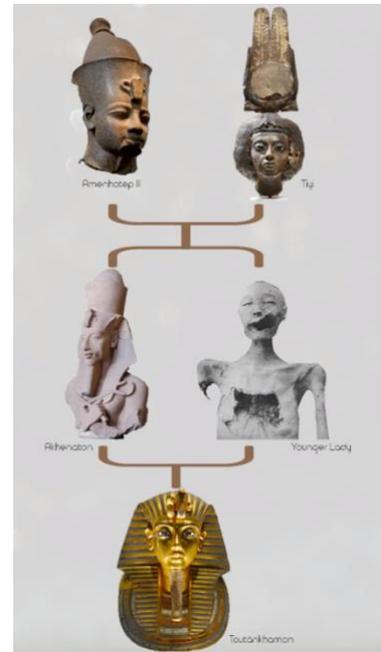
On ne crée pas juste pour se faire plaisir, l'objectif c'est d'améliorer le matériel existant. Mais donc, on multiplie également, et on crée de la biodiversité. Et ensuite il faut qu'on puisse la conserver, parce que les usages évoluent. Ce qu'un utilisateur demandait il y a 40 ans, ce n'est plus vrai maintenant, et ce qu'il demande maintenant ne sera peut-être plus vrai dans 5 ans. Donc il faut qu'on puisse garder trace de l'historique. Conserver cette biodiversité pour pouvoir l'utiliser et la ressortir au moment venu.

3) Les bases génétiques des méthodes de sélection ? (3 vidéo)

Focus sur les effets de consanguinité et hétérosis d'Anne LAPERCHE - vidéo 30

Quel est le point commun entre Toutankhamon et les guépards ?

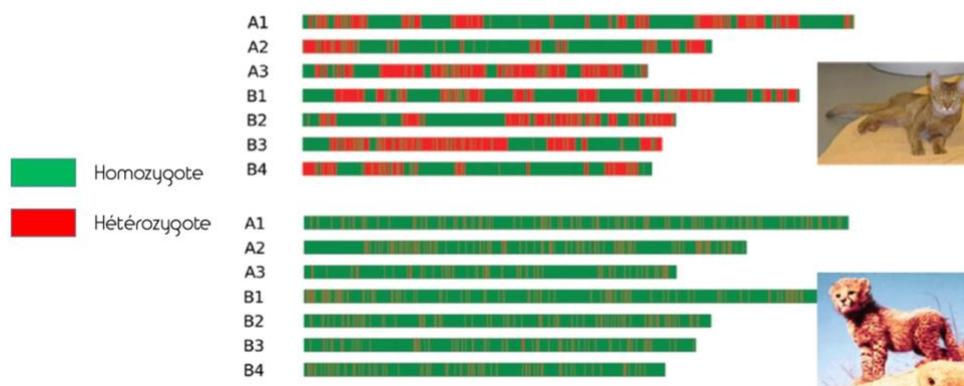
Toutankhamon ne serait pas mort suite à une chute de char, mais bien à la suite d'une maladie liée à un dérèglement hormonal, entraînant des modifications physiques, une fragilité des os, et un pied bot. Cette maladie est liée au fait que le père de Toutankhamon (Akhenaton) et sa mère (Young Lady) étaient frère et sœur ! Quand deux personnes qui ont un lien de parenté (et donc un ou des ancêtres proches en commun) se reproduisent, elles ont plus de chance de transmettre les mêmes allèles à leurs descendants, et donc d'augmenter le taux d'homozygotie à l'échelle du génome. On dit alors que les descendants sont des individus **consanguins**.



Chez les guépards, on observe aussi ce phénomène de consanguinité : suite à la dernière ère glaciaire, **il y a 12 000 ans, une seule population de guépards a survécu** et est à l'origine de l'ensemble des individus actuels. Ainsi le génome des guépards présente une très grande **homozygotie**, même quand on le compare au génome d'autres félins comme le chat. Cette forte consanguinité s'accompagne d'une **perte de fertilité mâle** et constitue une **menace** pour l'espèce.



Comparaison des régions génomiques des chromosomes des Félines entre le guépard et un chat de race domestique

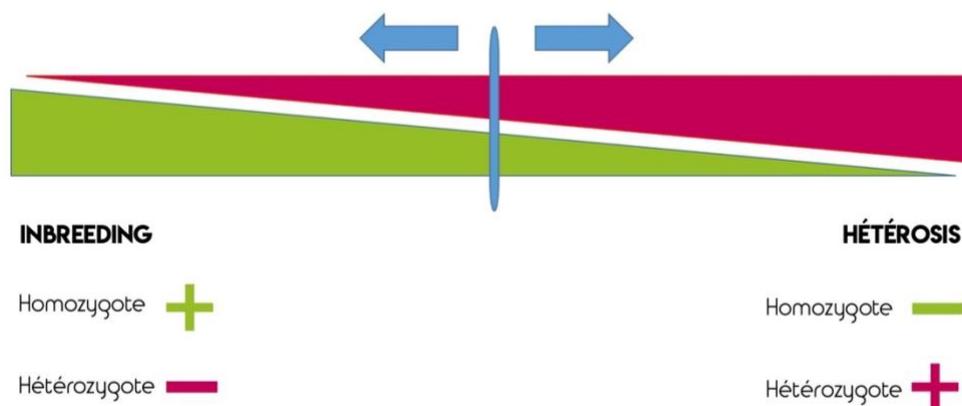


Dans ces deux exemples, l'augmentation du taux d'homozygotie chez les individus a entraîné une perte « de vigueur », ou l'apparition de caractères défavorables comme la fragilité des os de Toutankhamon, ou la perte de fertilité du guépard.

Quel est le point commun entre le maïs que vous voyez dans les champs et le cochon ?

Dans ces exemples, les **descendants** ont la particularité de présenter un **génome plus hétérozygote que chacun des génomes de ses parents**. On remarque alors que la valeur d'un individu est supérieure à la valeur de chacun de ses parents. C'est le phénomène souvent qualifié de **vigueur hybride**.

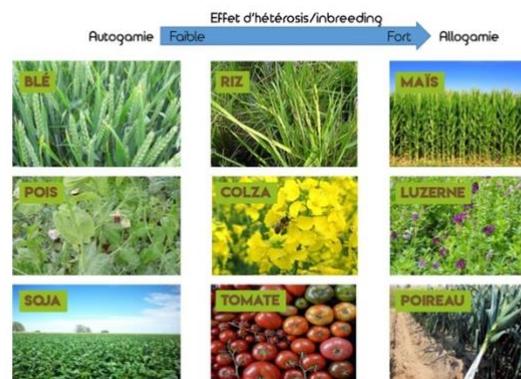
Ces deux phénomènes, dépression de consanguinité (Toutankamon et guépard) et vigueur hybride (maïs et cochon) résultent du même mécanisme, largement utilisé en amélioration des plantes. Cet effet se définit à l'échelle de l'individu et est lié à la proportion de son génome hétérozygote ou homozygote. Plus l'individu est hétérozygote, plus il est vigoureux, et inversement, plus l'individu est homozygote, plus il est soumis à un effet de dépression de consanguinité, aussi appelé effet d'*inbreeding* !



Si l'on reprend l'illustration du maïs, on note à la fois une forte vigueur chez l'hybride, et un fort effet d'*inbreeding* chez ses parents.

La vigueur hybride est l'expression de ce que les sélectionneurs définissent comme l'hétérosis. L'**hétérosis** correspond à la supériorité de l'hybride par rapport au meilleur de ses parents. La notion d'hétérosis se définit sur la base d'observations phénotypiques, sans hypothèse génétique, même si ses bases génétiques peuvent ensuite faire l'objet de nombreuses études et modèles.

Chez les plantes, on peut observer une grande diversité de sensibilité des espèces à ces phénomènes d'hétérosis. Certaines espèces, souvent les espèces avec des régimes de reproduction autogames comme le pois, vont très bien supporter l'état homozygote, elles présentent peu d'effet d'*inbreeding*, mais sont aussi peu sensibles à l'hétérosis. Concrètement, le blé ne va jamais être très vigoureux ni très défavorisé. Alors que d'autres espèces, souvent avec un régime de reproduction allogame comme la luzerne, vont être très sensibles à ces effets,



Par conséquent, cela peut être intéressant pour certaines espèces de pouvoir proposer des variétés de type hybride. Un **hybride** résulte du **croisement entre deux parents, choisis de manière à ce que l'effet d'hétérosis soit maximisé chez leurs descendants**. Ainsi, sélectionner un hybride est un peu différent de sélectionner une lignée, il s'agira en effet de sélectionner les parents pour leur capacité à être une bonne mère ou un bon père d'hybrides, et non pas sur leurs propres performances.

Quelques éléments de définition de Loïc LEPINIEC -vidéo 31

On peut définir différents types de variétés en fonction des caractéristiques de reproduction de l'espèce concernée c'est-à-dire si la plante est **allogame, avec une fécondation croisée** comme le **maïs** ou si la plante est **autogame** comme le **blé**, ou encore s'il s'agit de **clone** comme pour le **bouturage** par exemple.

Comme variétés connues, il y a les **variétés populations**, qui sont faites d'individus similaires, mais ayant des génotypes variés, ce qui d'une façon générale limite les performances dans le contexte d'une agriculture productive ou mécanisée avec apport d'intrants, mais a l'avantage, à l'inverse, de procurer une stabilité de production, une meilleure réponse à des variations climatiques et conditions limitantes de l'environnement.

Le second type de variétés, ce sont les **lignées**, qui sont en théorie constituées d'**un seul génotype, homozygote** et qui sont donc reproductible à l'identique par autofécondation. On peut donner comme exemple le **blé**, ou l'**orge**.

Il y a ensuite des **variétés hybrides** qui résultent du croisement de lignées, comme chez certaines **plantes annuelles allogames**, le **maïs** ou le **tournesol** par exemple. L'hybride ayant en général des performances agronomiques supérieures à celles des deux parents.

Enfin, il existe des **variétés synthétiques**, qui sont des populations provenant de quelques **croisements d'un nombre limité d'individus** voire de quelques lignées sélectionnées. Ce sont les variétés vendues pour de nombreuses **graminées et légumineuses fourragères allogames** chez lesquelles il n'est pas rentable, en général, de développer des variétés hybrides.

Enfin, il y a des **variétés-clones**. Ce sont des variétés obtenues par multiplication végétative ou on dit par clonage. On ne passe pas, dans ce cas-là, par la reproduction sexuée. C'est le cas par exemple de la **pomme de terre**, de la **vigne** ou de **certains arbres fruitiers**.

Pourquoi sélectionner différents types de variétés ? de Philippe BRABANT - vidéo 32

En quoi le système de reproduction d'une espèce influence-t-il sur les types de variétés que l'on va pouvoir développer ?

Chez les plantes, il y a essentiellement 3 systèmes de reproduction :

- Un système de reproduction qui ne fait pas appel à la reproduction sexuée, qui est la **reproduction végétative**. Ce sont des éléments de la plante qui vont permettre de donner en génération plusieurs individus identiques à la plante mère, on dit que c'est du **clonage**.

Autrement, il y a deux systèmes de reproduction qui font appel à la **reproduction sexuée** :

- un dans lesquelles **les plantes échangent des gamètes entre elles** : les gamètes mâles, les pollens, vont polliniser des ovules sur des plantes qui ne sont pas les mêmes que les plantes qui ont émis le pollen. On parle de plantes à l'allogame, de régime de **reproduction allogame** ;
- et puis l'autre système de reproduction où les gamètes mâles, **les pollens** par exemple d'une plante, **vont féconder les ovules de la même plante**. On parle de système de **reproduction autogame**.

Alors effectivement dans la nature, il peut y avoir des plantes à reproduction mixte qui font un peu de végétatif et un peu d'allogamie, ou d'autres qui vont avoir un système de reproduction mixte où il y a un taux d'allogamie par exemple de 30 ou 40 % et un taux d'autogamie complémentaire. Donc la majorité des plantes cultivées peuvent être classées dans un des trois groupes.

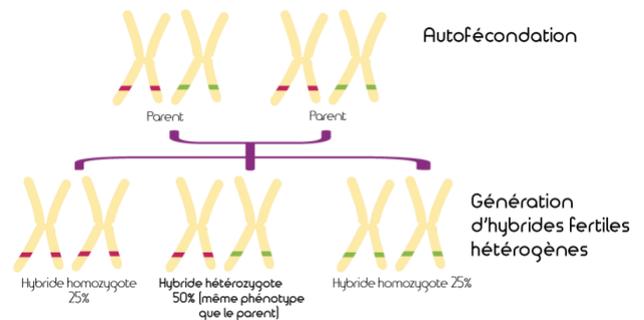
Influence des systèmes de reproduction sur la création variétale

Dans le système traditionnel d'agriculture paysanne, la notion d'homogénéité n'est pas du tout à l'ordre du jour. Donc les gens ne cultivent que des ensembles de plantes qui sont différentes, quel que soit le système de reproduction. D'ailleurs, la question du système de reproduction entre végétative et sexuée, c'est assez simple quand on cultive de l'igname ou des plantes de ce type, on voit bien qu'on peut couper des morceaux, les replanter, faire pousser. Mais au sein des plantes à reproduction sexuée par graine, l'idée de savoir si c'est autogame ou allogame, ne vient quasiment que de l'observation et de la réflexion scientifique du début du XX^e siècle.

Quand on va vers les variétés modernes, on va vers des variétés qui sont beaucoup plus homogènes, et donc, c'est potentiellement la multiplication d'un seul individu par multiplication végétative qui va donner des variétés clonales, monoclonales. Ou alors, l'on va essayer de fabriquer des variétés dans lesquelles il n'y aura qu'un seul génotype.

Vers la production de variétés homogènes – comment faire des variétés homogènes ?

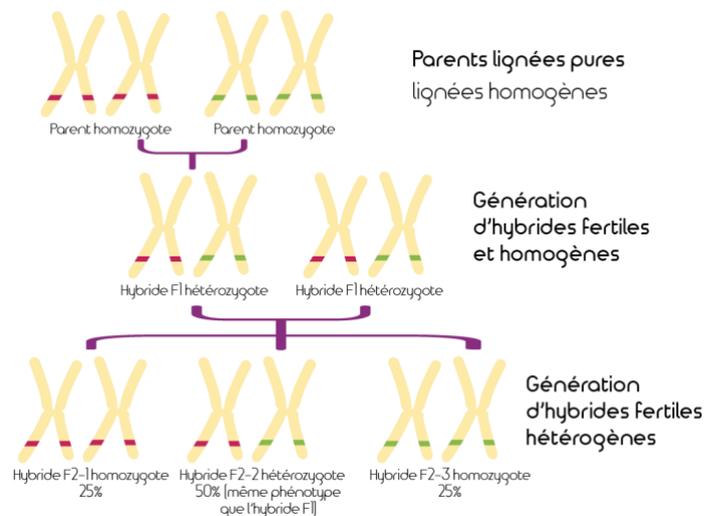
Pour fabriquer des variétés **monogénétiques** chez les plantes autogames, depuis Henri de Vilmorin on sait que par autofécondations successives, on peut isoler différentes lignées et qu'on obtient des lignes vigoureuses. Alors que si l'on fait la même chose chez les plantes allogames, on va voir apparaître ce qui est connu sous le nom de dépression, de consanguinité, que l'on constate aussi chez les animaux domestiques, chez l'homme, etc. Si l'on fait se reproduire entre eux des individus trop apparentés, la descendance est moins vigoureuse. Elle peut présenter des maladies diverses, des défauts de développement.



Si l'on veut avoir de l'homogénéité, tout dépend du niveau d'homogénéité que l'on veut obtenir. Pendant très longtemps on a essayé de fixer des caractères qui définissent la variété, des critères phénotypiques, qui soient les plus ressemblants possible tout en laissant de la variabilité génétique, c'est ce qu'on appelle des **populations**.

Mais si l'on veut aller vers de l'homogénéité génétique, chez les plantes allogames, cela ne sera pas possible via les lignées pures. Ce que l'on va faire, c'est créer des lignées pures différentes. C'est un travail en amont, dans l'entreprise de sélection.

Une fois que l'on a ces lignées pures qui ne sont pas de bonne qualité, qui produisent peu, on va chercher parmi toutes ses lignes pures, des lignées qui ne sont pas apparentées du tout. Parmi ses lignées de généalogies différentes, on va faire des **hybrides F1** dans lesquels la **consanguinité** va être **annulée**, puisque l'on a remis à l'**état hétérozygote** l'ensemble du génome. Cet état hétérozygote introduit une forte vigueur chez les hybrides F1, et l'hybride F1 est homogène puisqu'il a deux parents de lignées pures.



Une lignée pure est homozygote à tous ces locus, elle ne fabrique qu'un seul type gamétique. Donc, tous les ovules d'une lignée pure sont les mêmes, tous les pollens d'une lignée pure sur les mêmes. Ainsi, quand on fait les croisements, les graines qu'on récolte, ce sont des hybrides F1, même si on a fait dix mille plants, ces dix mille individus sont strictement identiques les uns aux autres.

Pourquoi faire des hybrides ?

Chez les plantes autogames, la différence de performance entre un hybride et une lignée est beaucoup moins importante. Cette différence on va l'appeler hétérosis. Chez certaines espèces autogames, ça peut aller jusqu'à 10 ou 12 %, chez certaines autres comme le blé, ça va être de l'ordre de 2 ou 3 %.

Mais il y a aussi le fait que, même si l'on est chez les autogames, les hybrides ont souvent une capacité à tamponner, à relativiser, les différences de milieu un peu plus importantes que les lignées.

L'autre raison renvoie au fait que, pour un certain nombre de caractères comme les résistances aux maladies, la majorité des gènes de résistance qui permettent de résister à différentes maladies et à différentes races de la même maladie sont des gènes qui sont dominants, voire co-dominants quand on est au même locus. Et en ayant une lignée qui résiste, on va dire à 7 ou 8 souches parasites et une autre à 5 ou 6, quand on fait l'hybride F1, on va cumuler les résistances à l'ensemble des souches, donc on va être d'emblée à 13 ou 15 souches pour lesquelles on va pouvoir résister.

Quand tu fais de la sélection généalogique, tu croises 2 lignées, tu fais une F1, tu fais la F2, tu sélectionnes dedans et tu cherches les recombinaisons. Et tu vas les fixer, tu vas faire de la sélection. Entre le moment où tu fais ta F1 et le moment où tu proposes à l'inscription ta nouvelle lignée qui a recombinaison les bons caractères, etc., tu vas avoir mis 10 ans.

Si tu trouves d'emblée un hybride F1 qui te plaît, tu vas faire 3 ans d'expérimentation après. C'est-à-dire que tu as une capacité à mettre sur le marché des variétés, une fois que tu as fait l'hybride et qu'il t'intéresse, quasiment 4 ans après, chez le maïs, si tu cultives une F1, tu récoltes une F2, et du passage de F1 à F2, tu as mis la moitié des locus à l'état homozygote, donc tu as fait la moitié du parcours vers la lignée en une génération.

En cultivant des F2, si tu as gagné 60 quintaux en F1, tu en perds 30 avec une F2. Le fait qu'en une génération, d'abord tu crèves la diversité, donc tu n'as plus une variété homogène et qu'en plus tu perds de la vigueur, **ça dissuade complètement l'agriculteur de cultiver des F2.** Donc soit il passe aux populations, soit il reste aux hybrides, mais il ne va pas faire une F2.

Alors que si tu achètes un blé hybride ou si tu achètes une orge hybride, que tu ressèmes la F2, tu ne vas pas prendre la tasse. Mais ce qu'il faut quand même avoir en tête, c'est que **les agriculteurs ont du conseil, ils ont Arvalis, ils ont les Coop**, etc. Ils ne vont pas adopter des F1 si c'est moins bon que les lignées. Donc ils les adoptent, ils voient si ça leur plaît, s'ils les remettent, s'ils en achètent l'année suivante et s'ils y trouvent un intérêt.

Pourquoi faire des variétés homogènes ?

Ces variétés homogènes, qu'elles soient des variétés monoclonales, des variétés lignées pures, ou des variétés hybrides F1 se sont beaucoup développées à partir du moment où l'agriculture s'est intensifiée, et où des filières de production et de commercialisation sont mises en place avec de très gros débouchés. Donc ça revient à se dire que l'agriculture s'est industrialisée. Dans ce contexte-là, les variétés sont un facteur de production, de gain pour les agriculteurs, et l'on est dans des systèmes qui ont de hauts potentiels de rendement, en général, où l'ensemble du milieu est bien contrôlé par les intrants, par les conditions de culture, par la mécanisation.

Si l'on passe dans des systèmes où les potentiels de rendement, les itinéraires techniques qu'on emploie visent des potentiels de rendement plus bas, pour être peut-être plus respectueux de l'environnement, utiliser des systèmes biologiques et écologiques pour apporter les éléments nutritifs, etc., on a en général, à l'heure actuelle de la connaissance et son application, des potentiels de rendement qui diminuent et donc ce potentiel diminue pour les hybrides, c'est évident.

Ce n'est pas pour ça que les hybrides ou les lignées s'écroulent, mais elles vont avoir un rendement beaucoup plus faible, qui correspond au potentiel. Prenons le cas des allogames, dans ces conditions, pour les allogames, la différence entre un hybride F1 homogène et une population qui aurait été améliorée avec suffisamment d'efforts techniques, la différence va être beaucoup plus faible que ce qu'on verra dans un système fortement intensif. Et la différence peut devenir quasiment nulle et du coup ne pas justifier pour l'agriculteur d'acheter tous les ans de la semence F1, mais plutôt de rester sur une structure variétale plus hétérogène qui, au besoin, suivant les conditions dans lesquelles il fait sa culture, peut être autoproduite. Il peut vouloir acheter ses structures hétérogènes à des coûts semences, qui sont plus bas que la semence F1 ; parce que dans son système d'exploitation, il ne voit pas une grosse différence entre la variété hétérogène et la variété homogène.

4) Des exemples de méthodes de sélection des variétés ? (3 vidéos)

La sélection massale et généalogique de Philippe BRABANT - vidéo 33

Depuis le début de l'agriculture, le paysan ou le producteur de semence récupèrent les graines des plantes les plus intéressantes pour les ressemer l'année d'après. Ce choix se fait sur des critères dits **phénotypiques**, c'est-à-dire sur des critères visibles, tels que la **morphologie de la plante ou la quantité de grains par plante**.

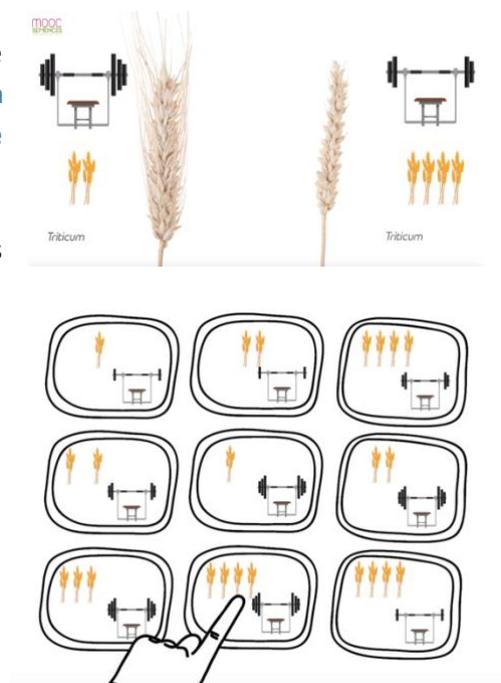


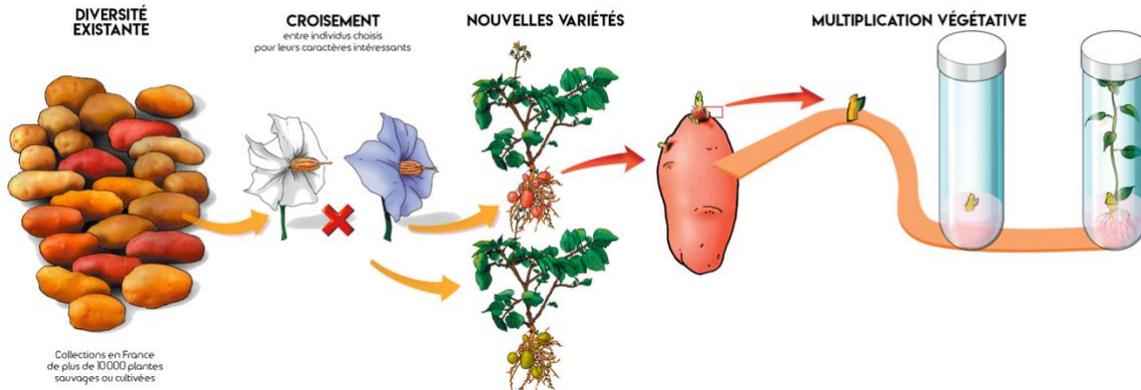
Cette sélection basée sur le choix des meilleurs phénotypes parentaux pour produire la génération suivante est appelée « **sélection massale** ». À cette sélection s'est progressivement substituée, au cours du XX^e siècle, la création de nouvelles variétés sélectionnées dans la descendance de croisements contrôlés.

Principes de la création de nouvelles variétés après croisement entre deux parents.

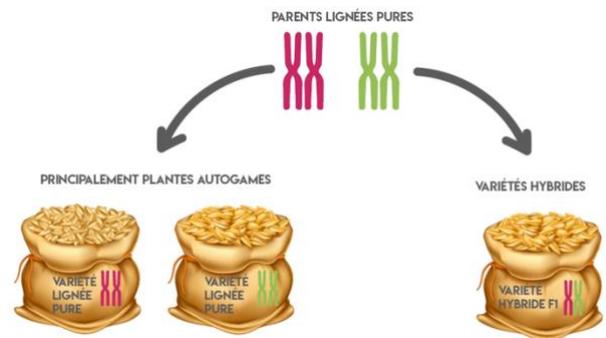
Le choix des parents du croisement se fait sur leur performance et sur leur complémentarité. On pourra par exemple **croiser un blé à forte teneur en protéines et rendement moyen avec un blé à fort rendement et teneur en protéine moyenne**.

La sélection s'opère ensuite parmi les descendants issus des recombinaisons entre les informations génétiques des parents de départ. Si l'espèce que l'on cherche à améliorer est commercialisée sous forme de plants issus de multiplication végétative, on croisera deux clones différents et l'on sélectionnera directement dans la descendance les individus les plus intéressants. Ils seront ensuite multipliés végétativement et testés dans différentes conditions afin de confirmer leurs caractéristiques avant leur mise sur le marché. C'est par exemple de cette manière que sont sélectionnées les nouvelles variétés de pommes de terre.





Si l'espèce est commercialisée sous forme de graines, le but du sélectionneur sera de créer de nouvelles lignées pures plus performantes que celles déjà existantes. Ces lignées seront commercialisées directement pour les espèces autogames dont les variétés sont principalement des lignées pures. Et elles seront utilisées comme parent d'hybride pour les espèces dont les variétés sont des hybrides F1.

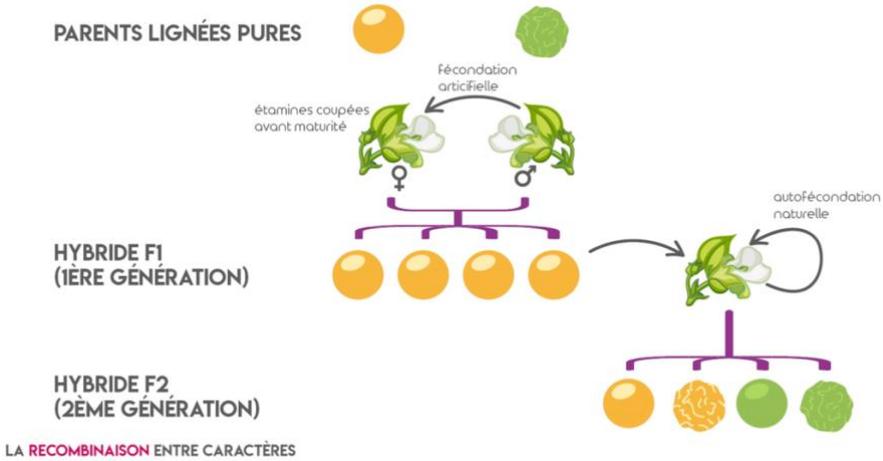


Nous présenterons grâce à un schéma simplifié la méthode de sélection généalogique utilisée pour la création de nouvelles lignées pures (voir vidéo 34 suivante).

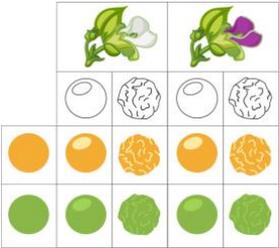
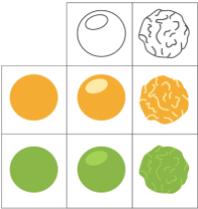
Avant cela, et pour bien en comprendre le principe, il faut préciser deux notions, la première concerne la **recombinaison des caractères parentaux**, la seconde porte sur **l'acquisition de l'homozygotie** grâce à l'autofécondation.

La recombinaison entre caractères est illustrée par l'expérience historique de **Mendel**. Lorsqu'il croise **deux lignées de pois**, l'une à **grains lisses et jaunes** et l'autre à **grains ridés et verts**, la plante **F1** obtenue est à **grains lisses et jaunes**. Après autofécondation de cette plante F1 il obtient une **descendance F2** dans laquelle apparaissent **quatre types différents**, les deux types parentaux lisses-jaunes et ridés-verts, mais aussi les deux types recombinaison lisses-verts et ridés-jaunes.





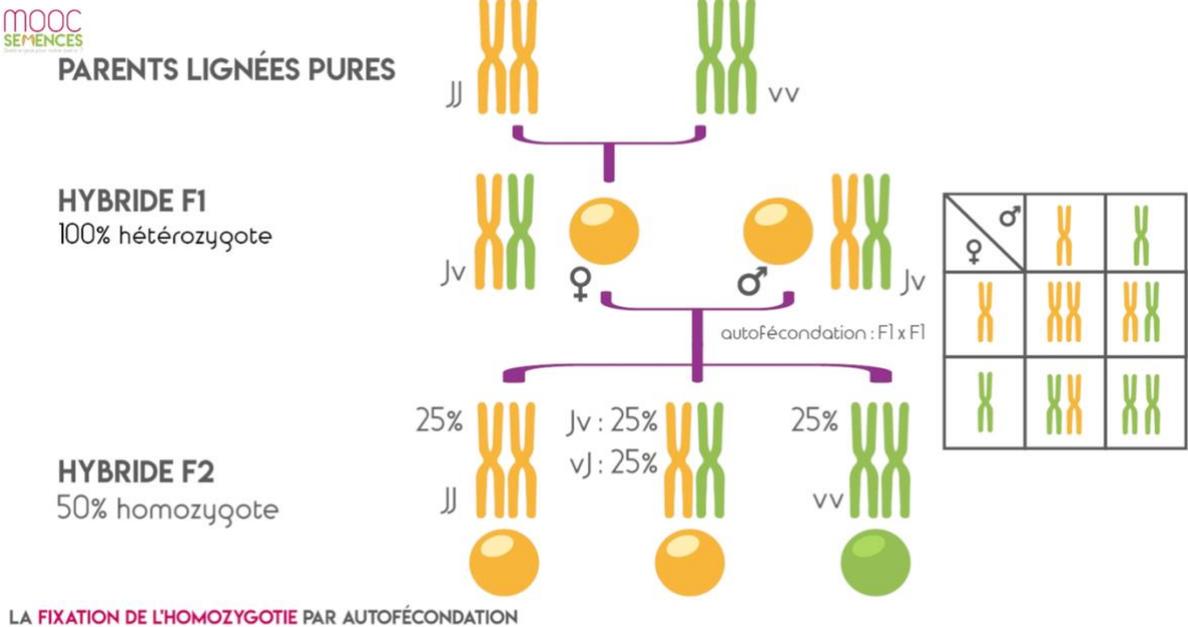
Il existait deux différences entre les parents, une sur la forme, l'autre sur la couleur et cela a permis de générer $2 \times 2 = 4$ types différents.



Si l'on ajoute une troisième différence entre les parents, exemple des fleurs blanches pour l'un et des fleurs mauves pour l'autre, ce sera 8 types différents qui apparaîtront. Et s'il existe 50 différences entre les parents, cela engendrera plus d'un million de milliards de types différents.

La recombinaison des caractères parentaux est donc un extraordinaire outil pour générer de la variabilité. Dans cette variabilité, il sera possible de sélectionner des individus associant des caractéristiques complémentaires transmises par chacun des parents.

Seconde notion : Que se passe-t-il dans une descendance de plante autofécondée ? Dans l'exemple précédent, la lignée à graines jaunes était homozygote JJ et celle à graines vertes homozygote vv.



LA FIXATION DE L'HOMOZYGOTIE PAR AUTOFÉCONDATION

La plante F1 était hétérozygote Jv mais elle exprimait le caractère jaune : jaune est donc dominant sur vert. Les gamètes produits par la plante F1 sont pour moitié J et pour moitié v. Lors de l'autofécondation, les gamètes J et v s'unissent au hasard, on retrouvera donc dans la F2 :

- ¼ d'individus JJ,
- ¼ d'individus Jv,
- ¼ d'individus vJ
- et ¼ d'individus vv.

Ce qui montre qu'après une génération d'autofécondation, la fréquence des hétérozygotes a été divisée par deux (100 % en F1, 50 % en F2 et le même raisonnement s'applique à tous les gènes qui étaient hétérozygotes dans la plante F1.

À partir de cet exemple, on comprend que **chaque génération d'autofécondation divise par deux le nombre de gènes hétérozygotes**. Donc, si on autoféconde une plante F1 puis ses descendants (F2, F3...) pendant suffisamment de générations (7 ou 8 en pratique), on obtient de nouvelles lignées pures homozygotes, toutes différentes entre elles. Ces lignées sont appelées « **lignées recombinantes** » suite aux recombinaisons intervenues au cours des générations. En effet, les chromosomes de chaque lignée sont constitués d'assemblages de portions de chromosomes provenant de l'une ou l'autre des deux lignées parentes de la F1.

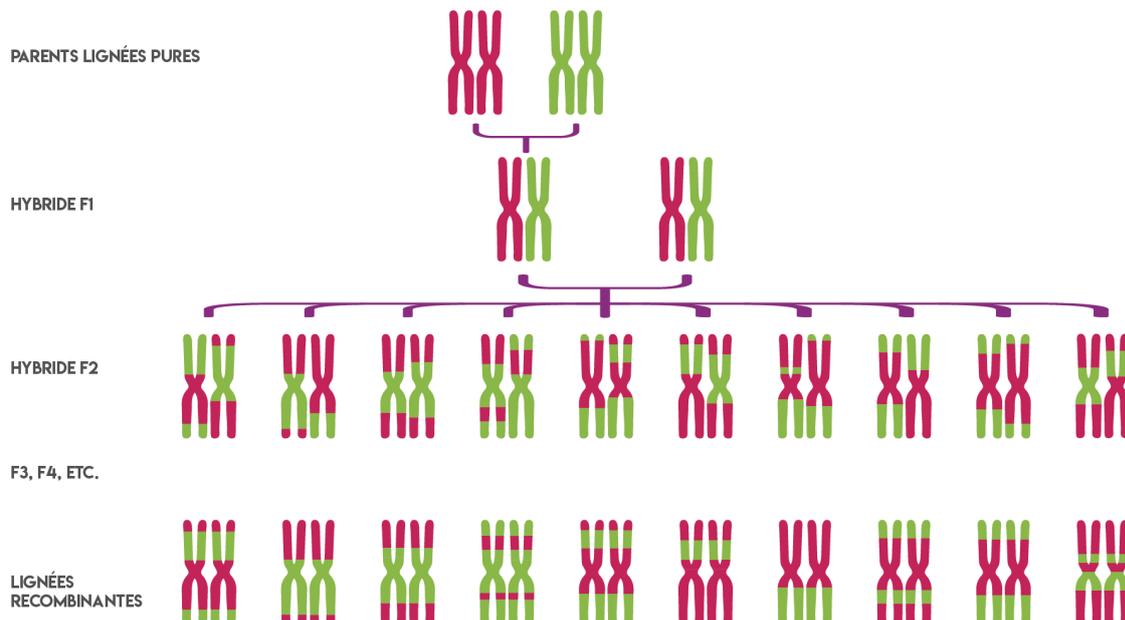


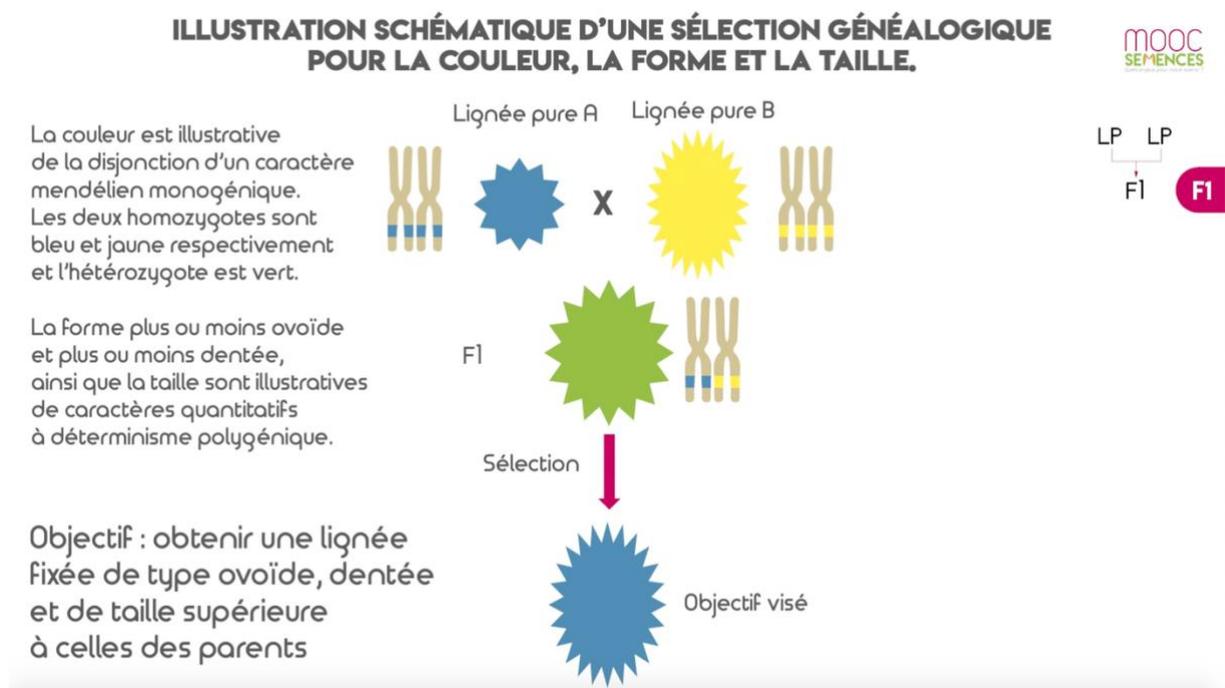
Illustration de la sélection généalogique de Philippe BRABANT - vidéo 34

La sélection généalogique, qu'est-ce que c'est ?

La sélection généalogique consiste à croiser des parents avec des caractéristiques intéressantes et complémentaires et, dans les générations successives, à sélectionner les individus qui auront recombinaison des caractéristiques intéressantes de chacun des deux parents, de manière à obtenir de nouveaux individus, plus performants que chacun des deux parents de départ. La sélection généalogique se caractérise par le fait qu'on réalise en même temps la fixation par autofécondation et la sélection.

Sélection des lignées parentales et définition de l'objectif

Nous allons illustrer, grâce à un schéma simplifié, le principe de la sélection généalogique. Au départ, on va croiser deux lignées pures, qui sont de couleurs, de formes et de tailles différentes, avec comme objectif d'obtenir une future lignée, qui sera différente des deux parents par la taille, par la forme. Le caractère bleu/jaune est gouverné par un seul gène à deux allèles, la ligne A est homozygote bleu, la ligne B est homozygote jaune. Nous avons pris ce caractère pour illustrer la disjonction d'un caractère mendélien simple dans les générations successives. Par contre, la forme et la taille sont des caractères quantitatifs, à déterminisme plus complexe sous le contrôle de la variabilité à de très nombreux locus.

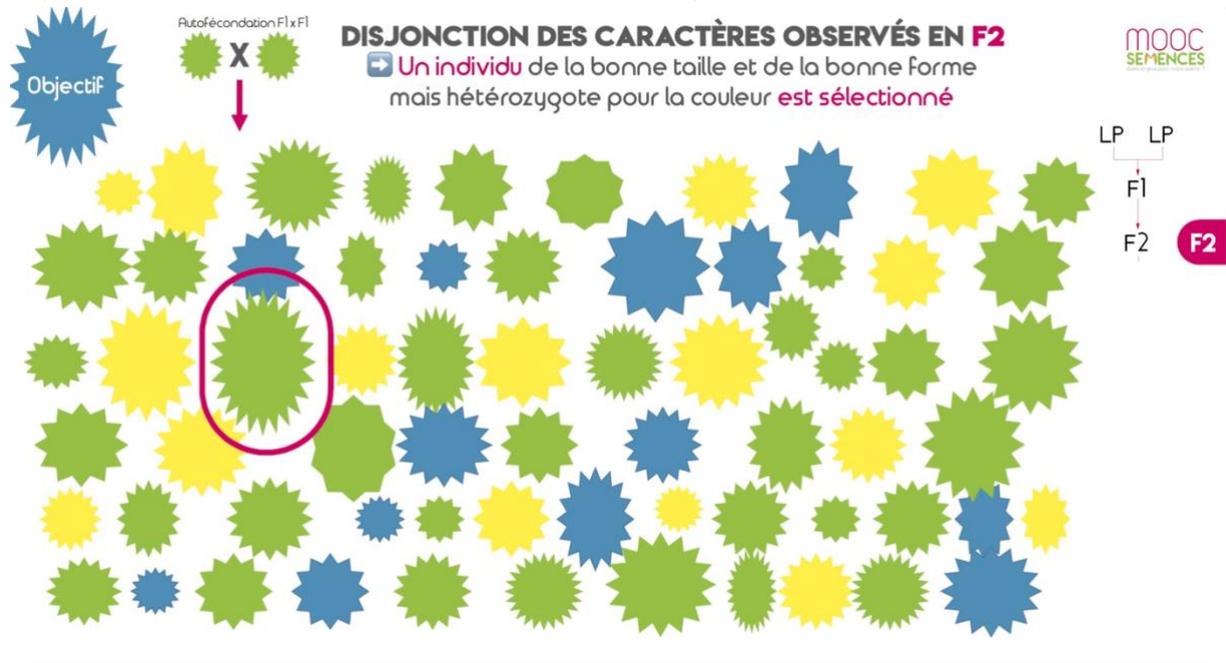


Création de l'hybride F1

La première étape consiste à obtenir une plante F1. Ici on voit que la plante F1 en termes de taille et de forme est différente de ses deux parents. Et la couleur verte provient du fait qu'elle possède les deux allèles : bleu et jaune.

Génération F2 et disjonction des caractères

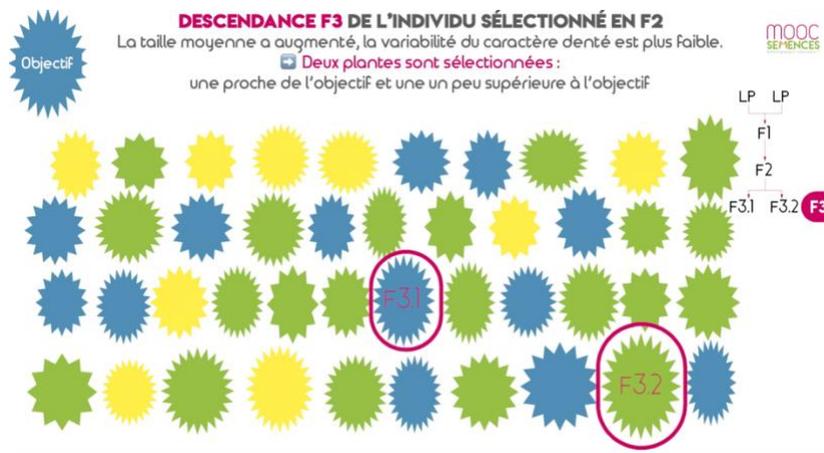
À partir de la F1, on réalise une autofécondation, qui va nous donner une descendance F2.



Dans cette population F2 on voit toute la diversité potentielle apparaître aussi bien sur la couleur, que sur la forme et la taille. On voit une disjonction pour le caractère monogénique puisque l'on a, en gros $\frac{1}{4}$ d'individus bleu, $\frac{1}{4}$ d'individus jaune et $\frac{1}{2}$ d'individus vert. Parmi toutes les plantes observées, l'une correspond, du point de vue forme et taille, à l'objectif visé. Elle est encore hétérozygote pour la couleur puisqu'elle est verte. Nous allons sélectionner cette plante, l'autoféconder et regarder dans sa descendance F3, la disjonction des caractères.

À la recherche du bon individu

Dans cette famille F3, puisque l'individu était hétérozygote pour la couleur, on retrouve les proportions $\frac{1}{4}$ de jaunes, $\frac{1}{4}$ de bleu, $\frac{1}{2}$ de vert. Et la forme est nettement moins variable que dans la population F2, tout en restant très variable. La famille est de base génétique plus étroite donc a moins de diversité qu'en F2.



Parmi l'ensemble des plantes disponible, deux nous paraissent intéressantes :

- une qui n'est vraiment pas loin de l'objectif, elle est bleue, mais elle est un petit peu plus petite qu'attendu,
- et une autre qui est verte, qui a la bonne forme, un peu plus grande que l'objectif.

Nous allons maintenant regarder ce qui se passe dans la descendance de ces deux plantes.

On commence par la première descendance de la plante bleue et plus petite. Dans sa descendance, qui est maintenant une famille F4, de plus en plus homozygote, on voit que le caractère bleu est fixé, et que la variabilité, sur la forme et la taille, a encore diminué. Toutefois, cette famille, lorsqu'on la regarde, ne possède pas d'individu suffisamment grand par rapport à l'objectif qu'on s'est fixé.



Cette famille sera donc abandonnée, car on n'espère pas retrouver des individus génétiquement conformes à l'objectif dans la descendance de cette plante.

Si l'on regarde maintenant la deuxième plante qui avait été sélectionnée en F3, l'on voit qu'il y a encore disjonction sur la couleur, que la taille des plantes et leur morphologie sont relativement homogènes, bien qu'il y ait encore de la diversité. Et l'une des plantes nous paraît satisfaire à l'objectif, nous allons regarder sa descendance en F5.



Homogénéisation de la famille sélectionnée

On voit que dans cette descendance l'homogénéité est forte. Même s'il y a encore des différences de formes, de tailles, tous les individus ont fixé le gène à l'état homozygote pour la couleur, ils sont tous bleus.

Objectif

DESCENDANCE F5 DE L'INDIVIDU F4-1

La couleur est fixée, la forme et la taille sont peu variables.
☑ Trois individus conformes à l'objectif sont sélectionnés.

LP LP
F1
F2
F3.1 F3.2
~~F4.0~~ F4.1
F5.1 F5.2 F5.3 **F5**

Et trois individus paraissent répondre à l'objectif qu'on s'est fixé. Ces trois individus vont être autofécondés et nous allons maintenant voir comment se comportent les descendance de chacun de ces trois individus.

Lorsqu'on regarde ce qui se passe dans les descendance de chacune des plantes au niveau F6, on voit que chacune des descendance est devenue très homogène.

Objectif

DESCENDANCES F6 DES 3 INDIVIDUS SÉLECTIONNÉS EN F5

La descendance de l'individu F5-2 est plus homogène,
☑ elle sera choisie pour finaliser la sélection en F7 et F8.

LP LP
F1
F2
F3.1 F3.2
~~F4.0~~ F4.1
F5.1 F5.2 F5.3
F6 **F6**
F7
F8

Malgré tout, la descendance de l'individu qu'on avait noté 2, paraît plus homogène que les autres. C'est cette famille qui sera encore autofécondée pendant une ou deux générations de manière à fixer les caractères et à pouvoir éventuellement la proposer à l'inscription. Les deux autres plantes, très apparentées à la famille qui servira à l'inscription, vont être récoltées et ce sera la récolte en mélange de ces familles qui permettra de fabriquer suffisamment de semences pour commencer à faire des essais en conditions agronomiques et à évaluer des caractères difficiles à évaluer sur des plantes isolées.

Chez les plantes, les caractères difficiles à évaluer en plantes isolées sont par exemple le rendement, si l'on parle du blé, la qualité boulangère, des teneurs en protéines dans la graine, etc. Donc il faut se mettre dans des conditions normales de peuplement. L'on sait que, par exemple, pour les céréales à paille, il va y avoir des compétitions entre plantes qui sont très différentes de ce qu'on observe en plantes isolées, et comme le rendement est évalué sur une population, il faut forcément qu'elle soit dans des conditions agronomiques, ce n'est pas en plantes isolées que l'on peut faire ces mesures.

L'évolution des techniques de sélection et l'apparition des biotechnologies de Pierre DEVAUX - vidéo 35

Les biotechnologies, qu'est-ce que c'est ?

Les biotechnologies, ce sont toutes les technologies qui sont appliquées au vivant et, en ce qui nous concerne, à l'amélioration des plantes dans le domaine végétal.

Et concrètement ? Comment les biotechnologies peuvent-elles aider dans la création variétale ?

Le but du sélectionneur, c'est d'avoir un choix dans les plantes, il va essayer d'obtenir de la variabilité génétique. Cette variabilité génétique est obtenue en regardant un grand nombre de plantes et en les croisant entre elles.

Si je prends l'exemple du blé, on est allé chercher des blés augmentant la fertilité, c'étaient des blés anglais qui s'appelaient *Square Ahead*. On a introduit ces blés pour augmenter la fertilité de nos blés. On a utilisé de plus en plus de géniteurs amenant de la variabilité génétique nouvelle dans nos programmes de sélection et l'on est arrivé à un point où cette variabilité est relativement faible. Il a fallu aller chercher de nouvelles sources de variabilité génétique dans des espèces hybridables avec le blé.

Par exemple ici, on a des blés, voyez la hauteur, pour lesquels on a été chercher des gènes de résistance à des maladies dans des variétés anciennes, et qui sont croisés et introduits dans le matériel élite. Les techniques ont évolué, bien entendu, et on fait appel à des technologies de plus en plus sophistiquées pour arriver à étendre le gain génétique qu'on pouvait faire, en utilisant ces sources de variabilité nouvelles, en faisant ces croisements.

Les premières étapes d'utilisation des biotechnologies dans le domaine de l'amélioration des plantes sont venues avec la culture *in vitro*, la culture de tissus végétaux où on a pu maintenir des clones de betteraves, par exemple chez des plantes allogames pour garder réellement une copie conforme de la plante. C'était déjà une première étape significative.

Ensuite, on va utiliser la culture *in vitro*, pour faire du sauvetage d'embryon, et permettre, dans certaines combinaisons, de donner des plantes viables. Alors que si l'on avait laissé les grains *in situ*, ils se seraient dégénérés et n'auraient rien donné. La culture de tissus a été introduite dans les programmes d'amélioration des plantes à peu près dans les années 1980.

C'est ensuite un *continuum* de toutes ces technologies, avec l'apparition des marqueurs moléculaires. Les premiers **marqueurs moléculaires** sont apparus dans les années **1985**. À titre d'information, à l'époque, pour extraire l'ADN de 8 plants il fallait passer une journée, c'était assez laborieux et difficile et surtout le nombre et le coût d'extraction n'étaient pas du tout compatibles avec les programmes d'amélioration des plantes.

Sont donc arrivés plus tard des outils permettant d'analyser plus finement les génomes et de permettre des extractions d'ADN, par exemple, beaucoup plus rapides. Ce qui a permis d'augmenter significativement le nombre d'individus pouvant être traités par jour. Actuellement, dans un

programme de marquage moléculaire, **on extrait régulièrement 4 000 individus par jour de travail**. Donc il y a une évolution considérable. Bien sûr, il y a eu une évolution aussi des outils d'informatiques qui ont permis de mieux gérer tout le travail, et d'avoir surtout une traçabilité de chaque plante qui est testée. Voilà l'évolution de toutes ces technologies.

Et pour arriver beaucoup plus récemment, un peu sur le modèle animal, à la sélection génomique dans les programmes de sélection de plantes allogames, telles que la betterave, mais aussi de plantes autogames, telles que le blé.

La **mutagenèse** est utilisée depuis très longtemps, soit avec des produits chimiques, soit avec des irradiations pour créer des **mutations ponctuelles dans des génomes**. Mais le problème de ce système c'est qu'on va créer les mutations un peu partout, et qu'il va falloir après faire des sélections sur les individus qui vont répondre réellement aux critères pour lesquelles la mutagenèse a été réalisée. Cela demande énormément de temps.

On utilise aussi des outils d'incorporation d'ADN exogènes. Par exemple, les OGM, où on introduit une séquence dans un génome.

Et puis récemment on a eu aussi les technologies de mutagenèse dirigée avec des outils de **réécriture du génome**, tels que les **CRISPR**. On arrive à modifier une ou quelques bases précises dans un génome complet. En sachant que par exemple le génome du blé, c'est 16 milliards de paires de bases et on est capable d'aller changer une ou deux bases dans ces 16 milliards, dans un endroit bien ciblé.

Quels sont les avantages des biotechnologies ?

Les biotechnologies viennent en complément d'un programme d'amélioration des plantes.

Pour augmenter l'efficacité des programmes d'amélioration, parce que le sélectionneur va mieux connaître ces plantes, les gènes présents dans les plantes. Et il va pouvoir orienter ces croisements en disant, je vais prendre cette plante-là et cette plante-là, parce qu'elles vont avoir des qualités et des caractéristiques complémentaires. Et ses caractéristiques complémentaires, je vais pouvoir les associer sur un même individu en croisant ces plantes. On a donc à une meilleure connaissance de son matériel.

On va être capable aussi de retourner beaucoup plus rapidement, avec un grand nombre de marqueurs moléculaires, sur du matériel élite. Des croisements, par exemple avec du matériel un peu plus exotique, vont amener des caractéristiques intéressantes, mais aussi ce que l'on appelle du **lean cash drag**, c'est-à-dire des **caractères** qui sont **indésirables** ; le sélectionneur va vouloir se débarrasser de son matériel pour créer des variétés élites plus rapidement.

Donc une amélioration de l'efficacité, une réduction du temps pour valoriser son travail et chercher des gènes intéressants. Si je prends par exemple des travaux qui ont été faits dans les années 60 où l'on a essayé d'introduire des gènes de résistance à des maladies sur du chiendent. Cela a demandé pratiquement la vie d'un chercheur pour arriver à du matériel concret, retomber sur des blés qui avaient introduit des gènes de résistance à certains pathogènes, et se débarrasser, au fil des recombinaisons génétiques, des caractères indésirables apportés par le matériel exotique. Cela demande énormément de temps.

Avec ces systèmes-là, on va beaucoup plus vite puisqu'on est capable d'avoir une carte d'identité des génomes et de retomber beaucoup plus rapidement sur du matériel élite.

Et les inconvénients ?

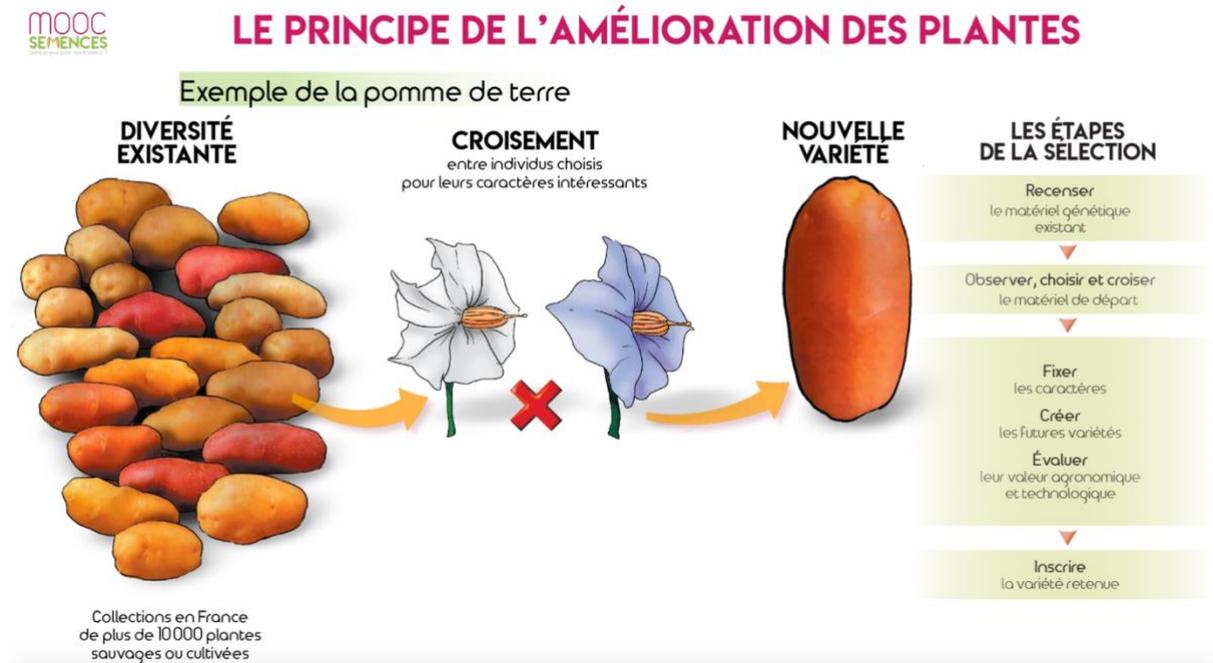
Les inconvénients c'est d'arriver à avoir une visibilité à long terme sur la réglementation. Je prends par exemple, la **décision de la Cour de Justice de l'Union européenne du 25 juillet 2018, concernant les modifications du génome portées par le *gene editing***, ces technologies de CRISPR qui sont capables de modifier une base ou quelques bases du génome. Il y avait des programmes depuis quelques années, qui ont été lancés justement avec ces outils-là tellement ils sont performants et intéressants puisque l'on n'introduit pas d'ADN exogène. Avec cet arrêt de juillet 2018, il est sûr que **certains programmes vont être allégés ou même arrêtés**. Il faut donc une visibilité un peu plus lointaine.

Je dirais aussi au niveau des investissements, puisque pour mettre en œuvre toutes ces technologies de séquençage de l'ADN, etc., sont des outils coûteux.

Donc le retour sur investissement n'est pas aussi évident que ça. Toutes ces contraintes, il faut les anticiper, en tenir compte dans les investissements et faire les choix les plus judicieux pour continuer à augmenter les caractéristiques des espèces.

Focus sur certains outils modernes de sélection de Loïc LEPINIEC - vidéo 36

Pour bien comprendre l'intérêt des biotechnologies végétales, il me semble nécessaire de faire un bref rappel sur le principe de l'amélioration des plantes. L'obtention de nouvelles variétés repose sur des croisements permettant d'associer différents caractères de différents individus d'une même espèce, et la sélection de plantes qui rassemblent ces différents traits. C'est un processus complexe, empirique, lent et aléatoire.



De plus, la sélection a par définition un effet globalement réducteur de la base génétique utilisée. Elle porte sur un nombre limité d'espèces qui ont pu être domestiquées ou non. Et d'autre part, on a produit des **cultivars** les plus homogènes possibles pour des raisons agronomiques et d'utilisation agroalimentaire. Or l'innovation qui sera nécessaire pour répondre à l'évolution de nos besoins, repose sur l'existence de la variabilité et la possibilité de l'utiliser.

Il existe différents freins à l'amélioration des plantes qui sont dus essentiellement aux types de reproduction sexuée de ces plantes. On ne peut utiliser que la variabilité existante au sein d'une même espèce. Il y a un risque d'introduire des caractères indésirables lors des croisements.

Enfin, le processus d'introgression d'un caractère d'intérêt est très long et prend plusieurs générations

Les biotechnologies, au sens large, peuvent apporter des améliorations sur tous ces aspects : **augmenter la variabilité génétique utilisable, faciliter la sélection** et la **propagation des génotypes** d'intérêt, des plantes d'intérêt si vous voulez.



LIMITES DES TECHNIQUES D'AMÉLIORATION CLASSIQUES > CONTRAINTES DE LA REPRODUCTION SEXUÉE

LIMITATION de la variabilité génétique utilisable
Difficultés de réaliser des croisements entre espèces

RISQUES d'introduction de caractères indésirables
dans la nouvelle variété, lourdeur de la sélection phénotypique

TEMPS et MOYENS nécessaires pour créer une nouvelle variété
liés aux cycles de végétation, nombre de générations
et aux analyses du phénotype au champs,
nécessaires pour introduire un caractère

LES BIOTECHNOLOGIES PEUVENT APPORTER DES AMÉLIORATIONS SUR TOUS CES ASPECTS

- ⇒ Augmenter la variabilité génétique,
- ⇒ Faciliter la sélection et la propagation des génotypes d'intérêt

Tout d'abord, la **culture *in vitro*** de tissus et de plantes permet, sans passer par la reproduction sexuée, de multiplier ces plantes. Cette reproduction n'est pas nouvelle, elle est même très ancienne. On connaît, dans l'antiquité déjà, le bouturage qui a permis de multiplier, par exemple le figuier, à l'identique.

On connaît maintenant également, depuis quelques années, la **culture de méristèmes**. On peut dire *in vitro* que les méristèmes sont des **cellules souches végétales**. Cette culture permet de régénérer des plantes dont certaines sont même débarrassées des pathogènes qui ne se multiplient pas dans ces cellules. Et cela a permis, par exemple, de sauver des variétés comme la Belle de Fontenay chez la pomme de terre.

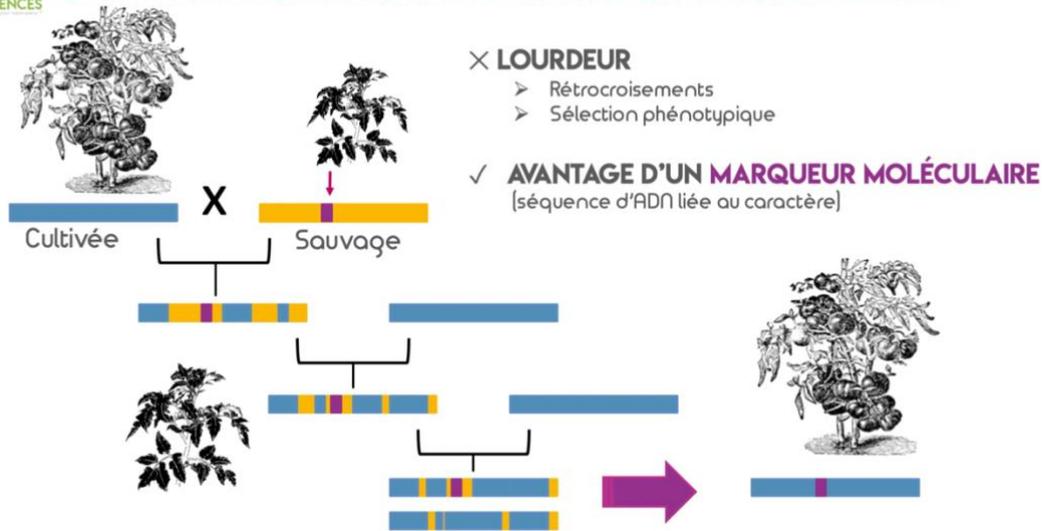
On peut également par culture *in vitro* de cellules sexuelles, comme le pollen, obtenir des plantes n'ayant qu'un seul lot de chromosome puis le doubler et ainsi avoir des plantes homozygotes, homogènes en une seule génération (**haploïdisation**). On obtient des lignées pures, comme cela a été obtenu pour le maïs, colza, riz, orge.

Dernièrement, **l'embryogenèse somatique**, qui est une culture *in vitro* un peu particulière, permet de régénérer à partir de tissus directement des embryons. Cela est utilisé par exemple pour la production de caféier.

Le second apport important des biotechnologies concerne les **outils de sélection** proprement dits.

En amélioration classique, pour introduire un caractère d'intérêt, comme un gène de résistance à un insecte par exemple, qui proviendrait d'une espèce sauvage de tomate, on va croiser cette variété sauvage de tomate avec des plantes cultivées. Puis, on va sélectionner en descendance les plantes qui ont les traits de la plante cultivée et cette résistance à l'insecte. Ça permet de rassembler au sein d'une seule variété cultivée, les différents traits d'intérêt.

2) APPORT DES BIOTECHNOLOGIES AUX MÉTHODES DE SÉLECTION

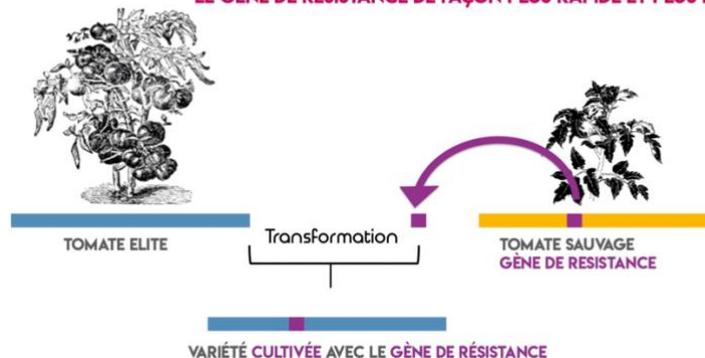


Malheureusement, cette approche est très lourde, car elle exige de nombreux croisements successifs pour introduire le caractère d'intérêt dans la plante cultivée. Et ça nécessite également de nombreux tests aux champs pour vérifier la résistance à l'insecte de la nouvelle plante obtenue.

Donc, si vous pouvez avoir un **marqueur moléculaire** d'un gène qui correspond à la résistance, au trait que vous recherchez, en général c'est une séquence d'ADN qui est liée au caractère, cela facilite énormément la sélection des plantes en descendance. Vous pouvez, juste sur la base de l'existence de ce marqueur moléculaire, sélectionner les plantes qui ont intégré le trait d'intérêt, sans les passer au champ, sans avoir à faire des tests de résistance aux insectes. Durant les dernières décennies, nous avons fait d'énormes progrès sur la connaissance des génomes, leur structure et leur fonctionnement. Les génomes des principales plantes cultivées sont même aujourd'hui tous séquencés. Ceci a permis d'obtenir des marqueurs moléculaires et de suivre et de sélectionner les caractères recherchés de façon beaucoup plus précise et efficace.

Enfin, étape ultime, si l'on connaît précisément le gène impliqué dans le caractère, par exemple la résistance à cet insecte, on peut directement transférer ce gène dans la plante cultivée en une seule génération, par **transgénèse**. On comprend bien le gain de temps et de précision de cette approche par rapport à l'introduction par des croisements.

LA TRANSGÉNÈSE PEUT PERMETTRE D'INTRODUIRE LE GÈNE DE RÉSISTANCE DE FAÇON PLUS RAPIDE ET PLUS PRÉCISE

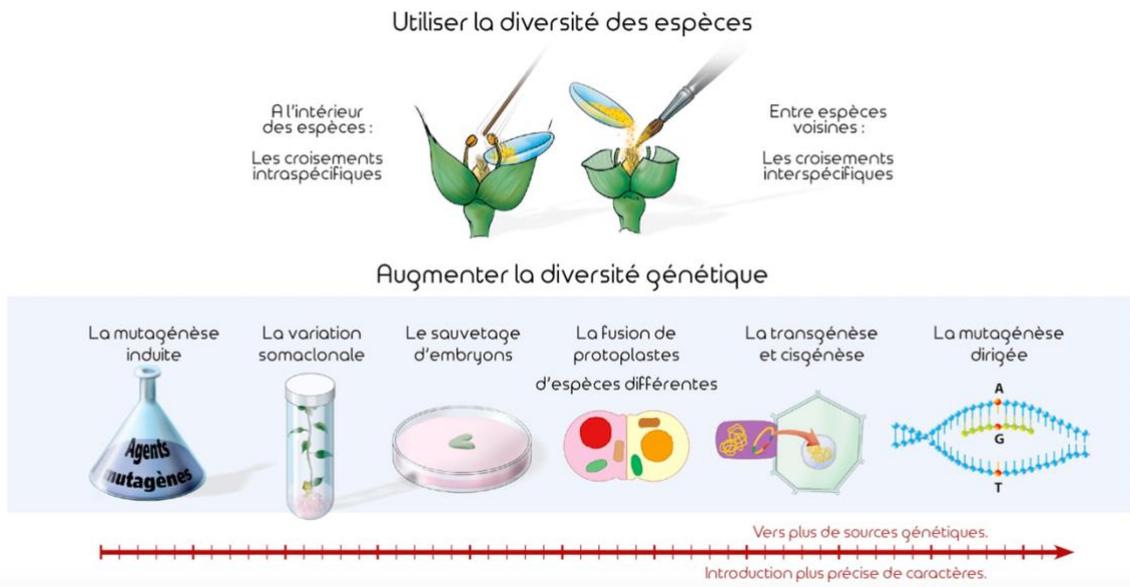


Le troisième apport fondamental des biotechnologies concerne **l'augmentation de la diversité génétique utilisable en amélioration**.

On peut tout d'abord par mutagenèse ou par culture *in vitro* accélérer le processus d'apparition de variants, de mutation. Depuis maintenant des décennies, de nouvelles variétés ont été obtenues par sélection d'espèces ayant subi des mutagenèses. Selon la FAO, plus de 3 000 variétés obtenues sont ainsi cultivées aujourd'hui.

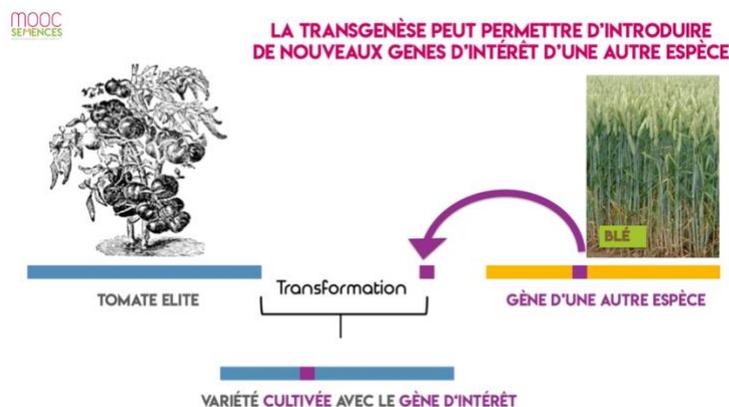


3) AUGMENTATION DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE UTILISABLE



On peut également faire fusionner des cellules végétales ou sauver des embryons infertiles pour réaliser des croisements interspécifiques.

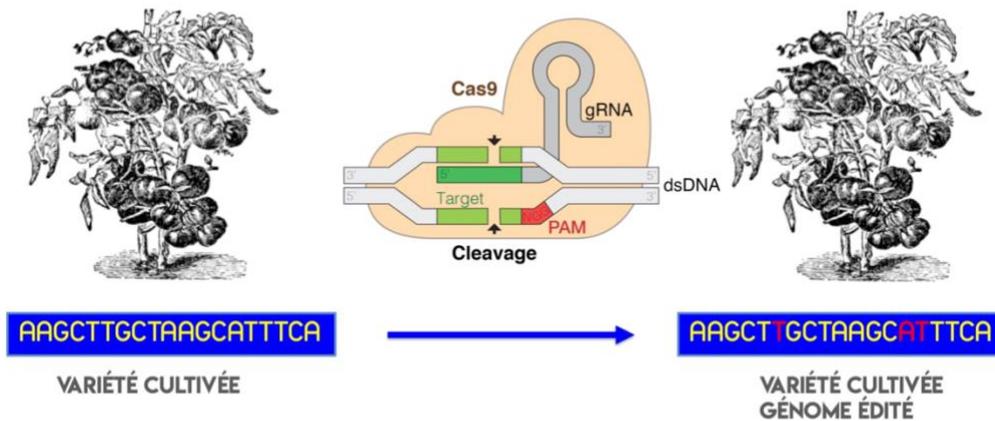
Enfin, la transgénèse permet, elle, de transférer un gène de quelque origine qu'il soit, directement dans l'espèce d'intérêt. Il s'agit donc ici de mutation raisonnée, ciblée, on apporte le caractère voulu, par exemple le gène de résistance à un insecte.



Enfin, on en arrive au tout dernier outil développé durant les dernières années, que l'on appelle l'édition des génomes, basée sur l'utilisation de la fameuse protéine CAS9 qui, grâce à un ARN guide, permet de modifier de façon ciblée la séquence d'un gène, voire d'en insérer un nouveau dans le génome cible. Dans le premier cas, quand on fait juste de l'édition de génomes, il n'y a même pas besoin de faire de transgénèse : on sélectionne des mutations ciblées, identiques à celles qui pourraient se produire spontanément dans la nature.



ÉDITION DU GÉNOME (CRISPR)



Peut introduire une mutation ciblée sans transgénèse

En conclusion, les biotechnologies, que je vous ai présentées, permettent de mieux exploiter ou de créer même, de la diversité génétique par croisement interspécifique, mutagenèse, transgénèse ou édition des génomes, ainsi que d'accélérer la création variétale par multiplication végétative, ou sélection assistée par marqueurs.

Limites inhérentes à la reproduction sexuée

- Diversité génétique limitée
- Risques d'introduction de caractères indésirables dans la nouvelle variété
- Temps pour créer une nouvelle variété

Apports des biotechnologies

- MIEUX EXPLOITER ET/OU CRÉER DE LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE**
 - Croisements interspécifiques,
 - Sauvetage d'embryons,
 - Mutagenèse
 - Transgénèse et édition des génomes
- ACCÉLÉRER LA CRÉATION VARIÉTALE**
 - Multiplication végétative, embryogénèse somatique
 - Haplo/diploïdisation,
 - Sélection assistée par marqueurs,
 - Transgénèse et édition des génomes

Ces progrès doivent contribuer à répondre aux nouveaux enjeux de l'amélioration des plantes : produire plus et surtout mieux, de façon durable au niveau social, économique et environnemental.

Conclusion du module 3 avec Maria MANZANARES-DAULEUX et Lucien LAIZE - vidéo 37

Dans ce chapitre, nous avons vu que, selon les différents modèles agricoles, il existe plusieurs approches de la sélection (ou de l'amélioration des plantes) : la sélection conventionnelle, la sélection paysanne et la sélection participative.

Bien qu'elles soient différentes, ces approches sont complémentaires. Car, qu'il s'agisse de l'entreprise de sélection, de l'artisan semencier, du paysan sélectionneur ou des acteurs engagés dans la sélection participative, l'amélioration des plantes fait partie des leviers essentiels pour la transition agroécologique :

- sélectionner pour s'adapter au changement climatique et mieux protéger l'environnement en diminuant l'utilisation d'intrants grâce à des variétés plus résistantes ;
- sélectionner pour améliorer le goût et la qualité des aliments ;
- sélectionner pour favoriser la biodiversité dans les champs.

Nous avons vu également que, en fonction des caractéristiques biologiques et génétiques de la plante, mais aussi selon les débouchés attendus, l'obteneur pourra sélectionner certains types de variétés : des variétés lignées pures, des variétés hybrides, des variétés homogènes.

Enfin, vous avez eu un aperçu des différentes méthodes de la sélection et de l'amélioration des plantes. Lorsqu'il sélectionne des variétés, l'obteneur aura recours à ces différentes méthodes.

Cette semaine a été technique ! La semaine prochaine sera moins dense. À très vite !