

LES  
ESSENTIELS

d'ADVANTA®



Mai 2023 **n°6**

**MAÏS FOURRAGE & GRAIN**

-> SÉLECTION & PRODUCTION DES SEMENCES DE MAÏS





# SOMMAIRE

<b>05 - 08</b>	<b>Un peu d'histoire</b>
06	1. Les origines du maïs
06 - 07	2. La conquête de l'Europe
07 - 08	3. L'apparition des hybrides
<b>09 - 24</b>	<b>La sélection du maïs</b>
10 - 12	1. Morphologie de la plante maïs
13	2. La variabilité génétique
14	3. L'effet d'hétérosis
15 - 18	4. La création des hybrides
19 - 22	5. Principaux critères de sélection des hybrides en maïs
22 - 23	6. Les réseaux et le testage
23 - 24	7. L'inscription aux catalogues officiels
<b>25 - 30</b>	<b>La production de semences de maïs</b>
26 - 27	1. Le semis
28	2. Epuration et castration
29	3. Les contrôles au champ
30	4. La récolte
<b>31 - 37</b>	<b>La fabrication</b>
32	1. La réception à l'usine
33	2. Le séchage des épis
34	3. L'égrenage et le calibrage
35	4. La protection de semences
36-37	5. Les contrôles qualité et la certification
<b>38</b>	<b>Bibliographie - Crédits</b>

## ÉDITO

**L'histoire du maïs remonte à la téosinte il y a 9000 ans dans les hautes vallées du Mexique avec les Mayas.** Sa culture a contribué de manière importante à l'essor de ces populations d'Amérique Centrale et du Nord.

Sous l'effet des explorateurs des XV<sup>ème</sup> et XVI<sup>ème</sup> siècles, le maïs conquiert l'Europe et le reste du monde pour devenir aujourd'hui la première culture mondiale, devant le riz et le blé avec 1,2 milliard de tonnes.

**La technique d'hybridation a révolutionné sa culture** et fait progresser les rendements de manière spectaculaire après la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale et en fait aujourd'hui la céréale la plus productive.

Nous vous proposons dans ce livret N°6 de **revenir sur cette fabuleuse histoire du maïs, les schémas de sélection et la production de semences** qui requiert des dispositifs particuliers et des contraintes parfois mal connus de l'utilisateur final.

Notre but est de vous faire découvrir cette partie immergée du produit que vous connaissez mieux sous forme de « dose » de semences.

Nous vous souhaitons une bonne lecture et sommes heureux de partager avec vous la passion de notre métier de sélectionneur et producteur de semences de maïs.

L'Equipe ADVANTA®



## UN PEU D'HISTOIRE



# UN PEU D'HISTOIRE

## 1. LES ORIGINES DU MAÏS

L'histoire du maïs est très ancienne puisque **son ancêtre, la téosinte** était cultivée par les populations locales des hautes vallées du Mexique. Cette graminée buissonnante, bien adaptée à ces conditions tropicales, portait de nombreux épis de quelques grains seulement. Ces caractéristiques vont progressivement évoluer sous l'influence de sa domestication par les humains qui vont choisir les meilleures plantes pour en re-semer les graines l'année suivante. **Ainsi la taille des épis et la grosseur des grains vont augmenter. C'est le début de la sélection !**

**Le maïs va ainsi devenir central dans l'alimentation des peuples indiens** d'Amérique Centrale et des Andes (*Incas, Mayas, Aztèques...*) ainsi que dans leurs rites et mythologies. Il est ainsi fréquemment représenté sur des gravures ou statuettes de l'époque. Il va ensuite s'étendre à toute la zone tropicale et équatoriale d'Amérique du Sud, puis vers les zones tempérées des Etats-Unis actuels et jusqu'au Canada.



**Source : Ensilage du maïs par les aztèques, Codex de Florence, fin XVIe siècle**

## 2. LA CONQUÊTE DE L'EUROPE

**En 1492, Christophe Colomb découvre le maïs à Cuba et ses équipes importent la plante en Europe.** Magellan en 1520, puis Jacques Cartier en 1535 rencontrent également cette culture au Brésil et au Québec.

A partir de l'Espagne, le maïs s'étend rapidement

aux régions du bassin méditerranéen et en Afrique. En France, le maïs arrive par le Sud-Ouest, puis la Bresse (*vers 1610*) et la Franche-Comté alors espagnole où **il est nommé Blé d'Espagne.**

Le premier dessin de maïs est l'œuvre du botaniste Allemand Fuchs en 1542, et le premier livre consacré

au maïs est écrit par l'illustre Parmentier (*Le maïs ou Blé de Turquie apprécié sous tous ses rapports, 1784*), bien connu pour avoir ramené la pomme de terre d'un de ses voyages en Amérique du Sud. Il qualifie le maïs « *du plus beau présent que le nouveau monde ait fait à l'ancien* ».

**Lors des crises de disette de la fin du XVII<sup>ème</sup>, le maïs devient l'aliment privilégié des populations rurales grâce à son rendement supérieur au blé, mais est également utilisé pour l'alimentation des porcs et des volailles.** Dans le courant du XVIII<sup>ème</sup>, le maïs s'étend jusqu'en Alsace et en Europe

centrale, où les populations du Nord des Etats-Unis et du Canada s'adaptent facilement.

**A partir de combinaisons et de croisements se créent bon nombre de populations françaises** comme « le blanc doré des Landes » ou « le grand roux Basque » dont la culture reprend aujourd'hui en filières locales ! **Les rendements de ces populations sont alors de 8 à 12 q/ha** avec de grosses variations selon les années.

### 3. L'APPARITION DES HYBRIDES

Les premiers hybrides sont introduits en France en 1948 depuis les Etats-Unis mais ne peuvent être cultivés que dans les régions chaudes du Sud de la France et d'Europe. **A partir de 1950, l'INRA commence des travaux pour ne plus être dépendant des importations américaines. En 1957, des hybrides tolérants au froid et plus productifs que les hybrides américains sont mis à disposition des agriculteurs français.** Cette innovation va permettre au maïs de gagner de nouveaux territoires vers le Nord comme la Belgique, l'Allemagne, les Pays-Bas...

**En 10 ans, grâce aux hybrides, les rendements passent de 20 à 40 q/ha.** Les hybrides se généralisent dans toutes les régions et dans toutes les productions pour l'alimentation humaine ou animale, remplaçant des céréales secondaires moins productives comme le millet ou le sorgho.

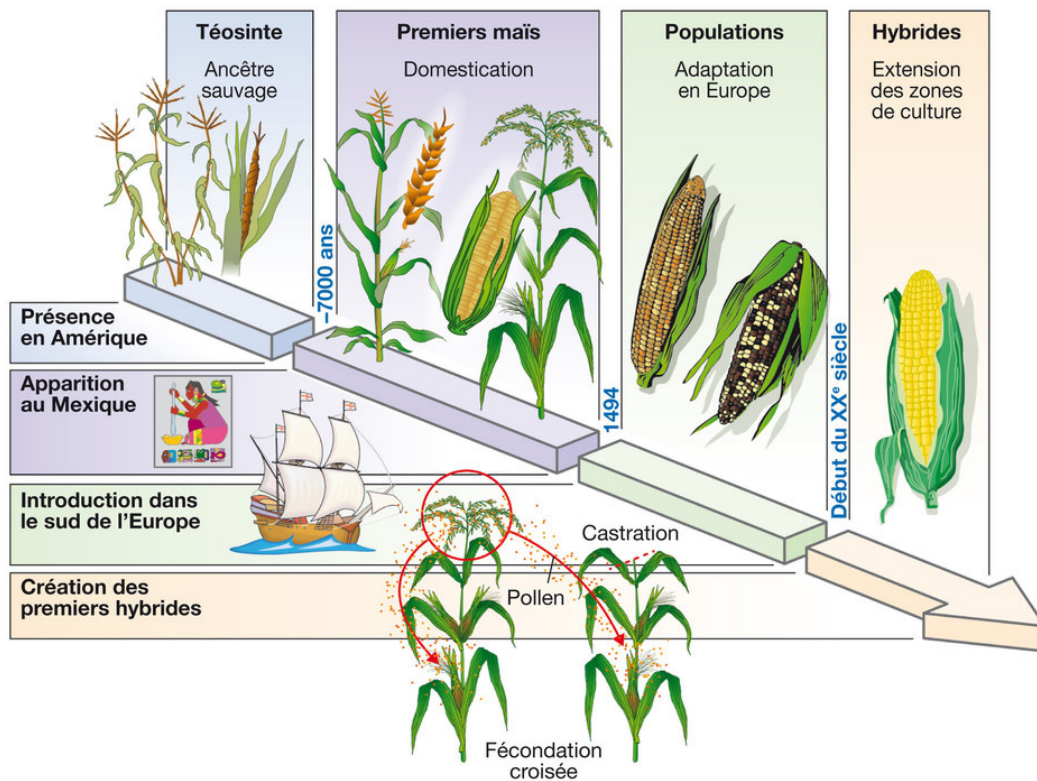
C'est pour cette même raison que **le maïs est devenu la céréale la plus consommée dans le monde**, devant le riz et le blé.

**Les rendements ont continué de progresser en moyenne de 1,5 q/ha/an grâce au progrès génétique.** Le rendement moyen français peut certaines années dépasser les 100 q/ha, comme en 2021, confirmant que **le maïs est bien la céréale la plus productive.** Nous y reviendrons dans la partie consacrée à la sélection.

#### LE SAVIEZ-VOUS ?

Le groupe Limagrain a grandement participé à ces progrès en créant une recherche maïs en 1966 et des hybrides marquants comme LG11 dans les années 70.

## HISTOIRE DE LA CULTURE DU MAÏS



Source : Antoine Campeau-Péloquin, Sophie Roy, Gilles Chabot





## LA SÉLECTION DU MAÏS



# LA SÉLECTION DU MAÏS

Le progrès génétique du maïs est le résultat du travail de l'ensemble de la filière semencière qui s'est développée à partir des années 1950. La France est particulièrement bien placée dans ce domaine de haute technologie avec huit entreprises obtentrices, qui ont su prolonger les travaux de l'INRAE en investissant dans des structures performantes en recherche, production et commercialisation.

**L'objectif du sélectionneur est d'améliorer les performances des nouvelles variétés au bénéfice de l'agriculteur et des filières maïs.** Il intègre donc des critères de rendement, de tolérance aux maladies et aux stress divers, mais aussi des critères de qualité pour le fourrage ou technologiques pour les industries.

**La prise en compte du réchauffement climatique est également un axe de recherche prioritaire. Le développement de variétés performantes en conditions favorables, mais également résilientes face aux stress hydriques et thermiques, est aujourd'hui un objectif majeur de sélection.**



Station de recherche maïs (49) - Limagrain Europe

## 1. MORPHOLOGIE DE LA PLANTE DE MAÏS

Le maïs est une plante herbacée annuelle de bonne hauteur et avec une tige unique de gros diamètre constituée d'un empilement de nœuds et d'entrenœuds.

**Le maïs est une plante monoïque, les fleurs mâles et femelles sont portées par la même plante mais bien séparées :**

· L'inflorescence femelle (*l'épi*) se développe à partir d'un bourgeon axillaire, inséré à la base d'une

feuille et émet des soies bien visibles au milieu de la plante.

· L'inflorescence mâle (*la panicule*) est constituée d'épillets. Ramifiée, elle est située à l'extrémité de la tige.

**Le maïs est une plante allogame, c'est-à-dire que la fécondation est majoritairement croisée (dans 90% des cas) et a lieu entre deux ou plusieurs plantes distinctes. Les fleurs femelles sont fécondées par le**

pollen d'une autre plante. L'hybridation est donc naturelle chez le maïs, contrairement aux céréales à paille qui sont dites autogames.

Cette morphologie particulière facilite les croisements et la production d'hybrides.

Le cycle de développement du maïs est relativement court grâce à sa photosynthèse en C4 qui lui permet de très bien valoriser la lumière et la chaleur.

### **Le cycle du maïs se décompose en trois phases de développement :**

- La phase végétative correspondant au développement de la tige et des feuilles.
- La phase de reproduction (*voir ci-dessous*).
- La phase de développement du grain.

### **LA PHASE DE REPRODUCTION**

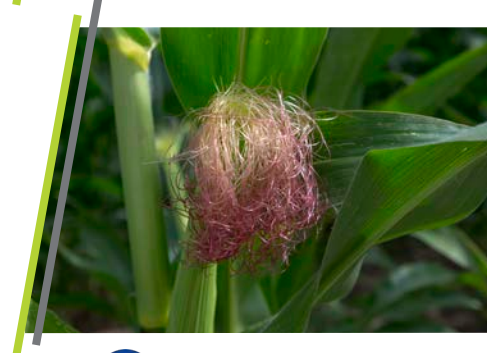
Elle correspond à la **formation et au développement des organes reproducteurs**. L'épi commence à se développer un mois avant la floraison à l'intérieur de la tige vers le stade 8-10 feuilles visibles.

Le nombre de rangs de grains portés par l'épi est déjà déterminé à cette date.

Dès la fin de la phase végétative, la panicule commence à se développer, tandis que **la formation du pollen débute deux à trois semaines avant la floraison**.

**Les organes reproducteurs mâles et femelles ne sont pas matures en même temps.** En général, les organes mâles (*anthères*), sont mûrs deux à quatre jours avant que les soies ne deviennent réceptives au pollen : c'est la protandrie.

**Les soies captent le pollen émis par les panicules pour que celui-ci puisse féconder les ovules qui donneront plus tard les grains.** Les premières soies sorties correspondent aux grains de la base de l'épi. La sortie complète des soies a lieu en quatre à six jours. A ce moment-là, et dans de bonnes conditions, la fécondation complète de l'épi est possible.



**Panicule et soie**  
Source Limagrain Europe

Chaque épillet de la panicule est composé de deux fleurs possédant chacune trois étamines. Les fleurs ne libèrent pas le pollen en même temps. Pour une seule panicule, la libération du pollen dure huit à dix jours, ce qui permet une meilleure pollinisation. L'émission du pollen est maximale au milieu de la matinée. En cas de pluie ou d'irrigation, l'ouverture des anthères est limitée et le pollen reste enfermé dans

les loges des étamines. La durée de vie du pollen est généralement de quelques heures seulement. **Le pollen libéré tombe de la panicule par simple gravité et est transporté par le vent jusqu'aux soies, permettant la fécondation.**

Dans les minutes qui suivent son arrivée sur la soie, le grain de pollen émet un tube pollinique qui progresse rapidement dans la soie et arrive jusqu'à

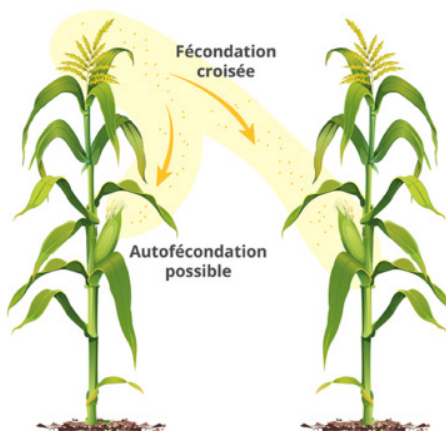
l'ovule. Plusieurs dizaines de grains de pollen peuvent « germer » dans une même soie, mais un seul parviendra à l'ovule et assurera la fécondation.

Dès 35°C, la viabilité du pollen et sa migration dans les soies sont affectées.

## PHASE DE REPRODUCTION

### ALLOGAMIE

Fécondation par le pollen d'une autre fleur, favorisée par le décalage de floraison



### Conséquence...

### POPULATION

Le maïs, maintenu en populations isolées, est formé d'individus hétérozygotes proches les uns des autres



Source : [SEMAE-pedagogie.org](http://SEMAE-pedagogie.org)

Une fois que la fécondation est terminée, le nombre définitif de grains potentiels est déterminé. **Le Stade Limite d'Avortement des Grains (SLAG) se situe 250 degrés-jours (soit environ trois semaines) après la floraison femelle.** Une réduction de leur

nombre peut donc encore intervenir, notamment en cas de stress hydrique marqué. Ensuite, les grains viables accumulent des réserves d'amidon jusqu'à la fin du cycle.

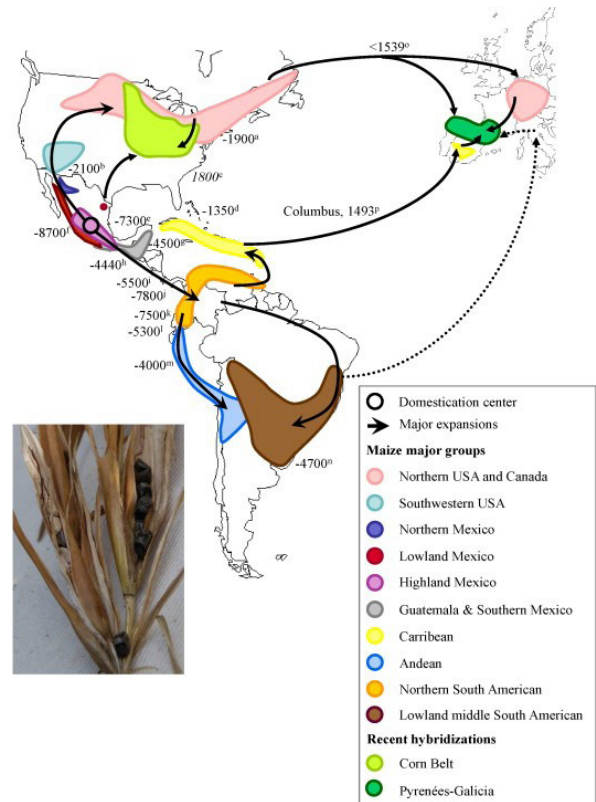
## 2. LA VARIABILITÉ GÉNÉTIQUE

Par sa répartition historique mondiale, et grâce à plusieurs milliers d'années de sélection dans des milieux différents, par des agriculteurs puis par des sélectionneurs (*création d'hybrides*), **le maïs est une espèce où la variabilité génétique est encore très importante**. Les sources sont donc nombreuses pour trouver des caractères et des gènes intéressants pour améliorer le matériel existant, par exemple sur des tolérances aux maladies ou à de nouveaux ravageurs.

La carte ci-contre montre l'évolution des ressources et des échanges de populations de maïs. Ce brassage a été le point de départ de l'adaptation et de la sélection du maïs. On peut aussi y ajouter l'Asie et l'Océanie.



Source : INRAE ; A. Charcosset et al.



**Le premier travail du sélectionneur est de se constituer une réserve de variabilité pour explorer au mieux les possibilités de croisements et d'hétérosis.**

De nombreuses organisations comme le CIMMYT au Mexique (*Centre international d'amélioration du maïs et du blé*) ou l'INRAE en France conservent d'importantes banques de gènes comportant une vaste diversité génétique. Ces ressources

sont utilisées par les chercheurs dans le cadre de programmes de recherche universitaires pour tenter de répondre à leurs objectifs de sélection.

A l'échelle d'un groupe mondial comme Limagrain, les échanges de matériel génétique sont fréquents avec des origines géographiques variées.

### 3. L'EFFET D'HÉTÉROISIS

L'hétérosis est un phénomène aujourd'hui bien connu qui donne à un hybride F1 (*première génération d'un croisement de lignées pures*) **une vigueur supérieure à celle des parents.**

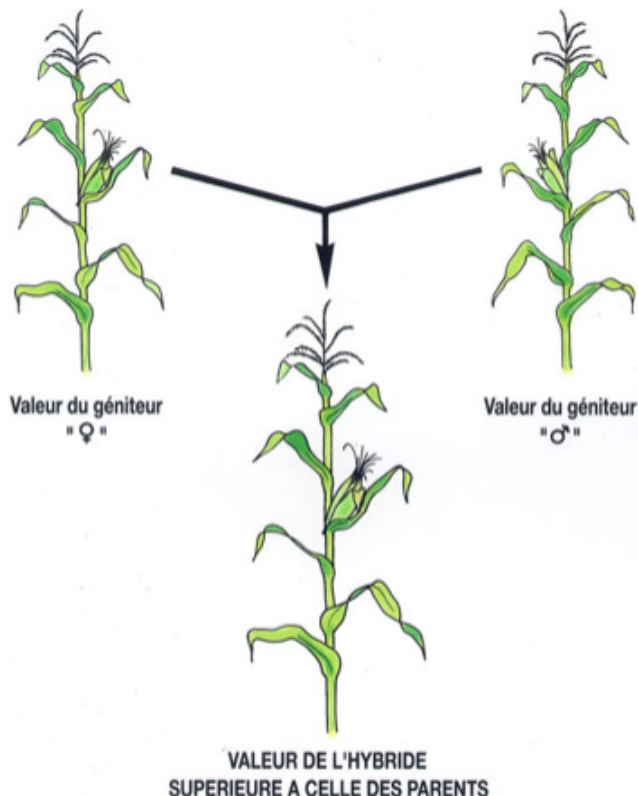
Aussi appelée **vigueur hybride**, elle peut être comprise comme l'inverse de la consanguinité et se traduit par **un gain de performances qui résulte du brassage des allèles** (*formes différentes d'un même gène*) des différentes lignées homozygotes ou de populations.

Ce phénomène est connu depuis le début du XX<sup>ème</sup> siècle et est exploité en sélection animale et végétale (*G.H. SHULL, 1914*).

**En maïs, l'hétérosis est particulièrement spectaculaire quand les lignées sont suffisamment éloignées. Les hybrides valorisant cet effet sont également plus tolérants aux stress et peuvent permettre d'atténuer les effets du changement climatique sur les cultures.**

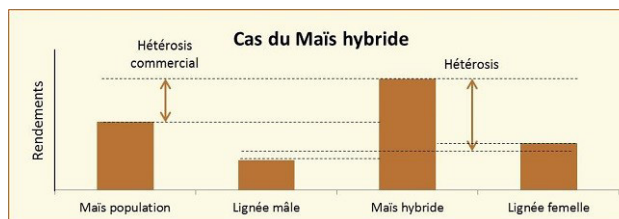
L'utilisation d'hybrides F1 dans la production du maïs a contribué à la progression spectaculaire du rendement moyen en France entre 1950 et 2000 (*de 15 à 86 q/ha*). *Source : Maïs, mythes et réalités, JP Gay, éd. Atlantica, 1999, page 297*

Il est intéressant de noter que les individus de la génération F1 sont tous identiques mais que le ressemis de leurs graines conduit à une 2<sup>ème</sup> génération très hétérogène (*2<sup>ème</sup> loi de Mendel : ségrégation des caractères*) et à la perte de cet effet d'hétérosis. **C'est pour cette raison qu'il n'est pas intéressant pour l'agriculteur de ressemer un hybride.**



#### QUALITÉ DE L'HYBRIDE

- gain en rendement, précocité
- meilleure vigueur de la plante
- résistance aux maladies et à la verse



Source : SEMAE

## 4. LA CRÉATION DES HYBRIDES

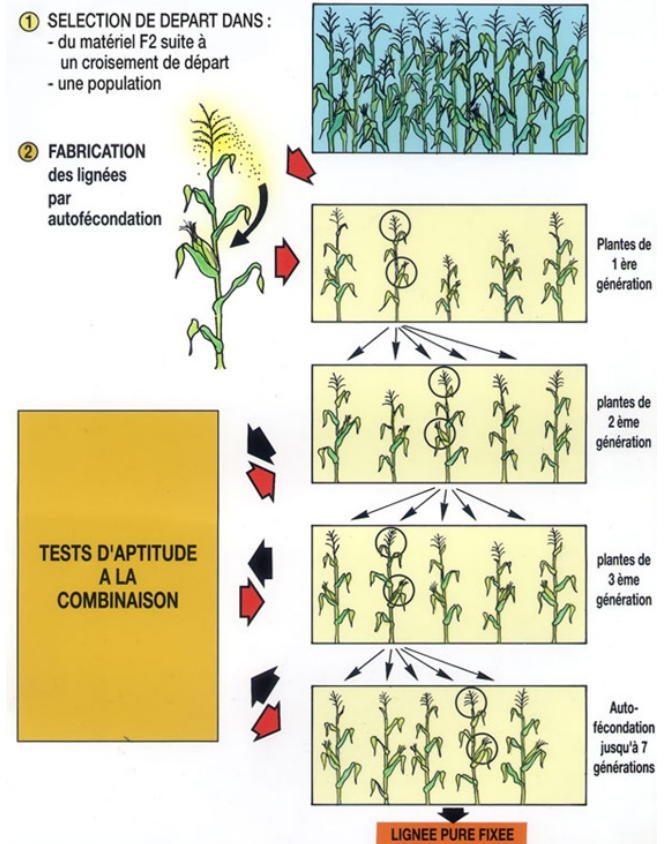
La première étape consiste à créer des lignées pures qui seront les futurs parents des hybrides.

Cette sélection peut démarrer à partir :

- D'une population
- D'un croisement de deux lignées
- De ressemis d'hybrides

Dans tous les cas, le sélectionneur repère ensuite les meilleures plantes selon les objectifs de sélection et effectue ensuite des auto-fécondations (fécondation d'une plante par son propre pollen) et des ressemis pendant sept à huit générations, jusqu'à obtenir une lignée pure (homozygote) intéressante.

Dans la 2<sup>ème</sup> partie du cycle de sélection va être mesurée l'**Aptitude à la Combinaison**, c'est-à-dire la faculté de la lignée à transmettre ou combiner ses gènes avec une ou plusieurs lignées testeurs.

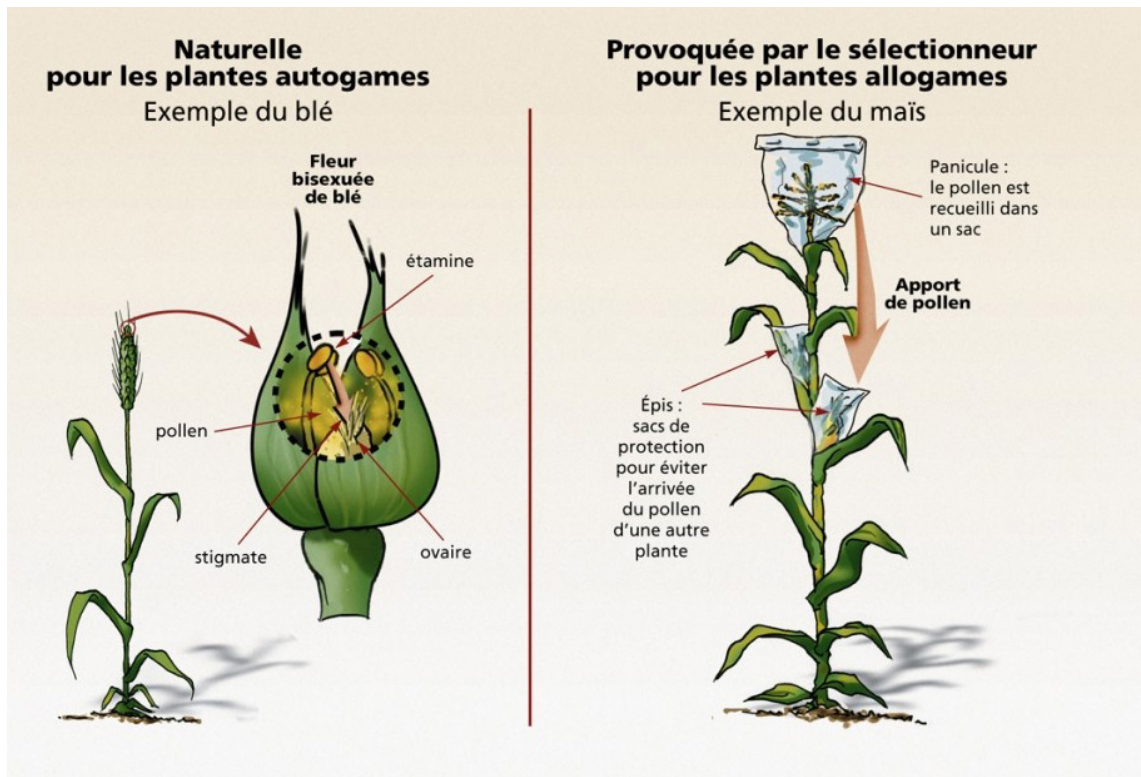


Source : SEMAE



Sachets d'autofécondations dans une pépinière de sélection - Source Limagrain Europe

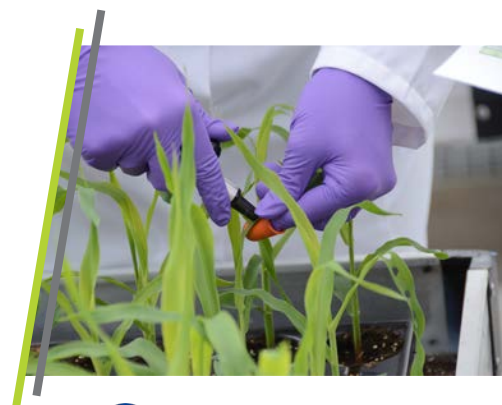
## L'AUTOFÉCONDATION



Source : [SEMAE-pedagogie.org](http://SEMAE-pedagogie.org)

Depuis quelques années, de nouveaux outils sont à la disposition des sélectionneurs :

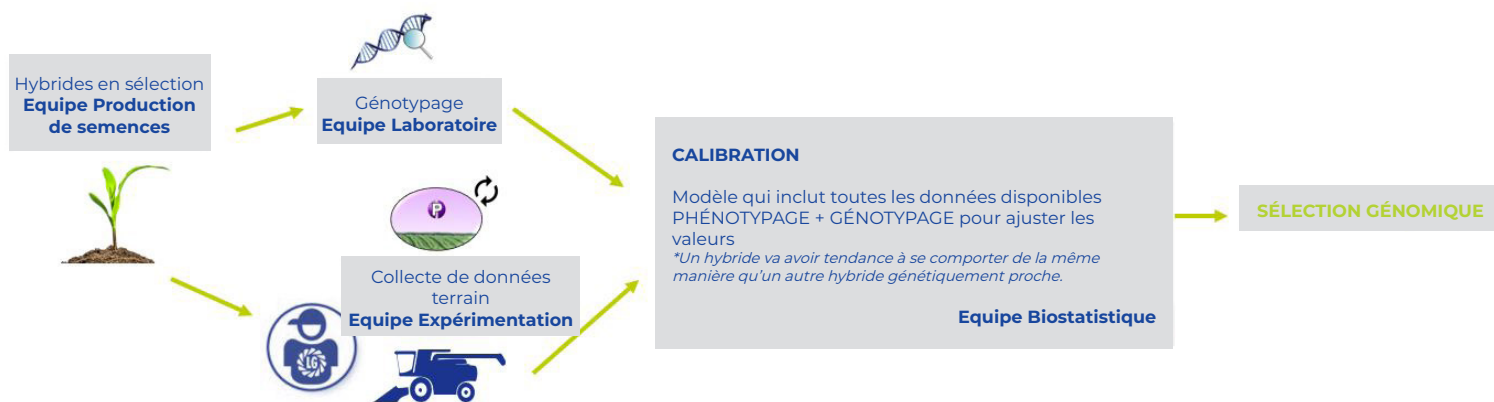
- **l'haplo-diploïdisation** : production de plantes haploïdes raccourcissant le temps d'obtention de lignées homozygotes.
- **le marquage moléculaire** : cartographie des gènes de la lignée et repérage de leur emplacement, identification des gènes d'intérêt et prédiction de la possibilité de combinaison (*génotypage-photo ci-contre*).



Génotypage  
Source Limagrain Europe



- **les outils de biostatistique** vont cumuler les données de génotypage et les données terrain pour établir un modèle de prédiction :



En croisant toutes ces informations, le sélectionneur va repérer ses lignées « élites » qui serviront de base à la création des hybrides.

**Pour plusieurs milliers de croisements de lignées chaque année, seule une dizaine sera « codée » pour la création d'hybrides et le tri se fera encore sur les hybrides.**

En sélection aussi « Choisir, c'est éliminer » et chaque ajout de critère de sélection éliminera des candidats potentiels.

Le sélectionneur va donc réaliser un grand nombre de croisements de lignées parentales : les lignées choisies comme femelles seront croisées avec le pollen de la lignée mâle dans des conditions d'isolement.

On obtient ainsi des hybrides expérimentaux qui seront testés au champ plusieurs années dans des conditions variées.

### A RETENIR

Chaque année, seuls les meilleurs hybrides sont gardés et continuent leur cursus dans les réseaux selon des critères de rendement, régularité, tolérance à la verse et aux maladies, valeur alimentaire ou technologique.

## LES DIFFÉRENTS TYPES D'HYBRIDES

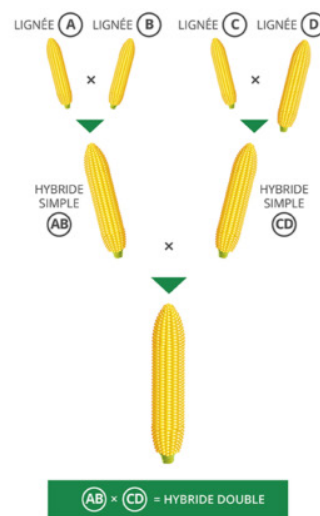
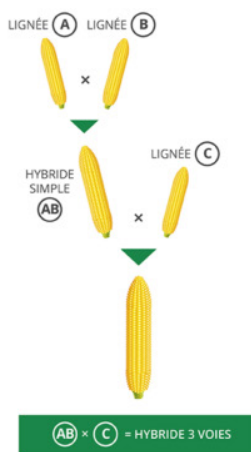
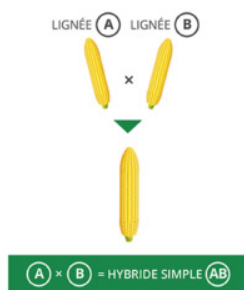
L'hybride simple est le croisement de deux lignées pures. Il est assez délicat à produire, du fait de la faible vigueur de certaines lignées, mais la variété obtenue est homogène et l'effet d'hétérosis peut être maximum.

L'hybride trois voies résulte du croisement entre un hybride simple et une lignée pure. Dans ce cas, l'hybride simple est généralement choisi comme parent femelle pour avoir une production de semences plus importante. L'hybride 3 voies

a une base génétique plus large que celle d'un hybride simple, ce qui peut apporter une plus grande stabilité de performances, mais aux dépens de l'homogénéité.

Le croisement de deux hybrides simples donne un hybride double, moins performant et plus hétérogène que l'hybride simple et l'hybride trois voies. Ce type d'hybrides est très peu commercialisé aujourd'hui.

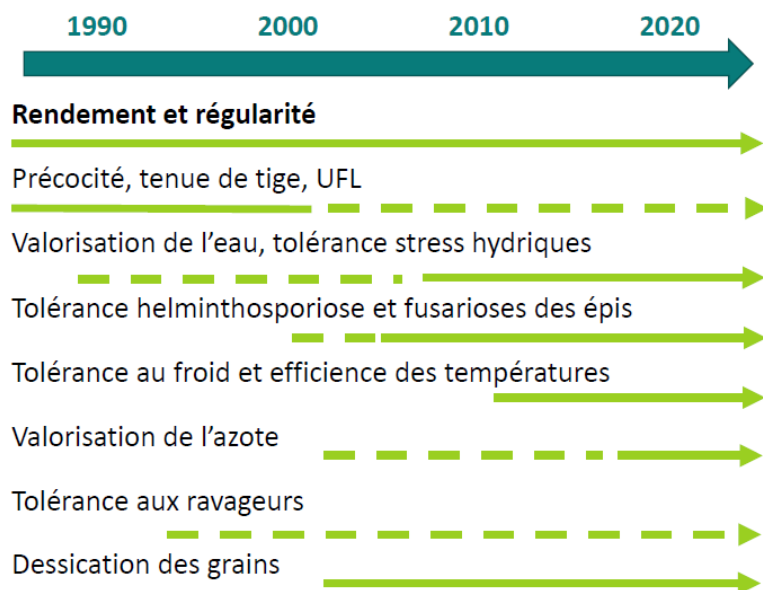
### LES DIFFÉRENTS TYPES D'HYBRIDES



Source : SEMAE-pedagogie.org

## 5. PRINCIPAUX CRITÈRES DE SÉLECTION DES HYBRIDES EN MAÏS

Les critères de sélection ont évolué dans le temps comme le montre le schéma ci-dessous :



Critères de sélection maïs  
Arvalis Institut du végétal ; 2023

### DES HYBRIDES PLUS PRODUCTIFS

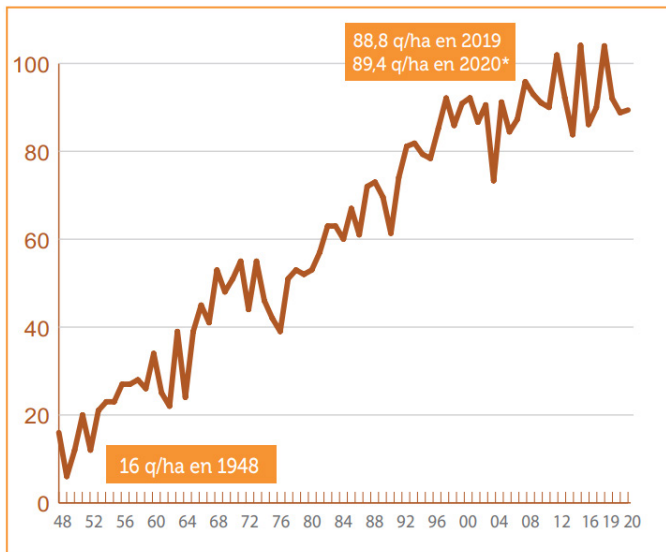
Les maïs hybrides ont été commercialisés dans le monde depuis la seconde guerre mondiale et les rendements ont connu une progression constante pour dépasser désormais régulièrement 100 q/ha avec des records à près de 200 q/ha aux USA.

Une étude américaine a montré que la progression du rendement est due à 58 % au progrès génétique, 23 % à l'amélioration du désherbage (1984).

**Ce progrès génétique est estimé en moyenne à 1,2 q/ha/an** depuis 1950.

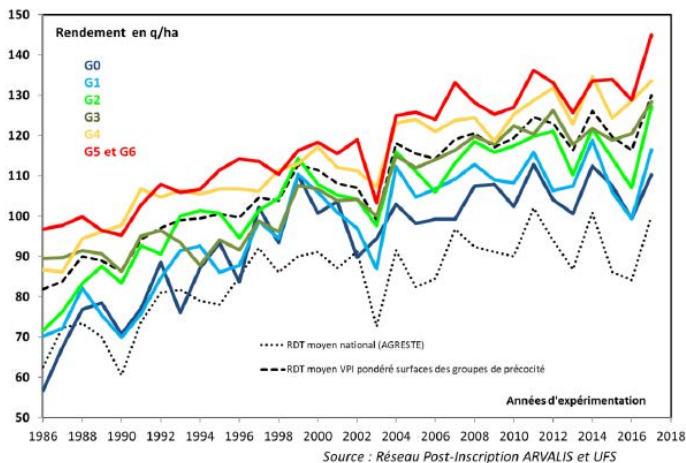
#### LE SAVIEZ-VOUS

Le record mondial est de 387 q/ha obtenu par un agriculteur de Virginie (USA) en 2019.



**La progression du rendement moyen en France a été de 0,7 q/ha/an** (de 20 q/ha dans les années 50 à 100 q/ha et plus dans les années 2010-2020).

**La plus grande variabilité dans les dernières années est due au changement climatique** avec des épisodes de fortes chaleurs et de sécheresse plus fréquents ainsi que des restrictions d'irrigation dans les régions du Centre et du Sud.



Dans les réseaux d'essais de post-inscription Arvalis-UFS, la tendance est la même avec **+0,9 à 1,1q/ha** et ce, dans tous les groupes de précocité.

**Ces réseaux intègrent les effets lieux, les effets années et le progrès génétique.**

**La dessiccation du grain est aussi travaillée, réduisant les frais de séchage pour les maïsiculteurs**, mais aussi l'empreinte carbone de cette opération dans les zones où elle est encore nécessaire.

Pour le maïs fourrage, la progression du rendement a suivi celle du maïs grain. **Depuis que la sélection du maïs fourrage a commencé, le gain annuel est d'environ 0,17 tonne de matière sèche par hectare et par an.**

Ces dernières années, la tolérance aux stress climatiques est pleinement intégrée dans les critères majeurs de sélection.

On peut également y ajouter la contrainte de productibilité, liée au potentiel de rendement de

la femelle et sa tolérance aux stress, à la capacité de pollinisation du mâle et la concordance des floraisons. **Cet aspect est important car il garantira la disponibilité des semences sur le marché pour l'agriculteur, mais aussi son prix de revient.**

### DES HYBRIDES PLUS RÉSISTANTS

Les programmes de sélection intègrent des caractères de résistance des variétés aux incidents extérieurs et climatiques : **tolérance à la sécheresse, résistance aux verses racinaires...**

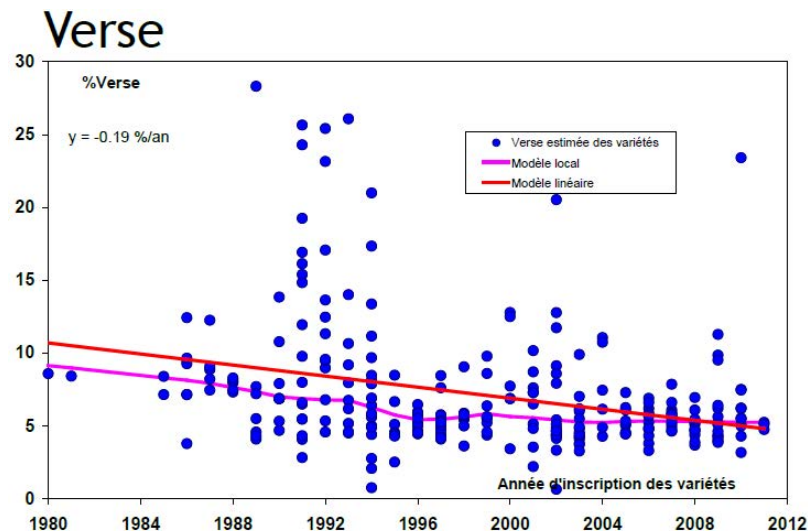
Aujourd'hui, la grande majorité des variétés est tolérante à la verse. Cette amélioration a permis la culture à des densités supérieures et fait progresser les rendements, valorisant au mieux les potentiels des parcelles.

Les programmes de sélection cherchent aussi à améliorer **la tolérance aux stress climatiques :**

· **Tolérance au froid** notamment dans les premiers stades (*implantation, vigueur de départ, initiation florale...*).

· **Tolérance aux coups de chaleur et aux stress hydriques** qui peuvent avoir lieu en début d'été, à la floraison ou dans la phase de remplissage des grains.

· **Tolérances aux verses**, qu'elles soient liées aux coups de vents (*verse précoce, casse de tige, verse racinaire*) ou à la fin de cycle (*tiges creuses pour le maïs grain*).



Amélioration de la tolérance à la verse dans le groupe fourrage précoce (essais ARVALIS - Institut du Végétal)

## Le progrès génétique vise aussi à améliorer la tolérance aux maladies notamment :

- Charbon des inflorescences et charbon commun
- Helminthosporiose
- Fusarioses :
  - Sénescence précoce et tiges creuses (*fusa tige*)
  - Fusarioses des épis (*F.graminearum* et *F.moniliforme*) pour préserver la qualité sanitaire (*mycotoxines*)
- Maladies plus secondaires : rouille, kabbatiellose...



**Fusarium Graminearum**



**Charbon commun**

**De nombreuses maladies existent sous les différents climats mondiaux et permettent de travailler des problématiques naissantes grâce aux échanges de matériel génétique entre programmes et stations de recherche.** Certaines régions du monde font aussi face à des bactérioses ou des virus et pourront apporter des solutions de demain.

**Concernant les ravageurs, il existe peu de gènes de tolérance, mais des stratégies d'esquive** par la vigueur de départ pour les ravageurs de début de cycle, ou une plus grande tolérance à la casse de tige pour la pyrale par exemple.

La transgénèse peut apporter des solutions par transferts de gènes y compris inter-spécifiques, mais cette technologie est interdite en France et dans une majorité de pays européens.

**Grâce à ces travaux, le maïs nécessite peu de traitements en végétation** (la morphologie de la plante les rend d'ailleurs difficiles). Il présente **l'un des IFT\* les plus faibles des grandes cultures** (2,6 semences incluses, principalement herbicide) et contribue donc à réduire les coûts de passage et le temps de travail.

\* *Indice de Fréquence de Traitement*

## 6. LES RÉSEAUX DE TESTAGE

Les hybrides ayant passé les premières étapes de sélection sont testés dans des réseaux d'essais de plus en plus larges :

- **pour évaluer leur comportement dans les conditions pédoclimatiques variées des différents marchés** (autrement dit les interactions « génotype-environnement »)
- **prédire leur intérêt chez l'agriculteur.**

Ces réseaux prennent rapidement **une dimension européenne**. La variabilité des conditions pluriannuelles rencontrées apportera des données sur :

- La régularité de rendement des hybrides
- Leurs tolérances aux stress climatiques et aux maladies
- Leurs comportements dans chaque zone pédoclimatique.

Pour optimiser l'information et sa fiabilité, **les réseaux doivent comporter suffisamment de lieux et être géographiquement étendus** pour couvrir des environnements différents.

Ainsi, chaque année, **60 à 80 essais apportent une information rendement sur les hybrides avant leur mise en marché.**

Ce large réseau permet à Limagrain d'avoir une **approche par classes environnementales** :

- Les conditions pédoclimatiques et les facteurs de stress dans les zones de culture sont mesurés avec

précision et différentes classes environnementales sont définies.

- Les hybrides sont évalués dans tous les scénarios puis classés en fonction de leurs performances.

- Les classes continentales permettent d'apporter une information sur le comportement au stress hydrique.

Celles-ci seront ensuite complétées plus localement par les réseaux développement des marques dans les premières années de commercialisation (*réseau ADVPro pour la marque ADVANTA® en France*).



**Essais - micro-parcelles**  
Source Limagrain Europe



## 7. L'INSCRIPTION AUX CATALOGUES OFFICIELS

**Pour être commercialisé, un hybride doit être inscrit au catalogue officiel d'au moins un pays européen.**

Chacun d'entre-eux a son propre réseau (*comme le GEVES en France qui gère le CTPS*) mais les critères et les modes d'inscription restent proches.

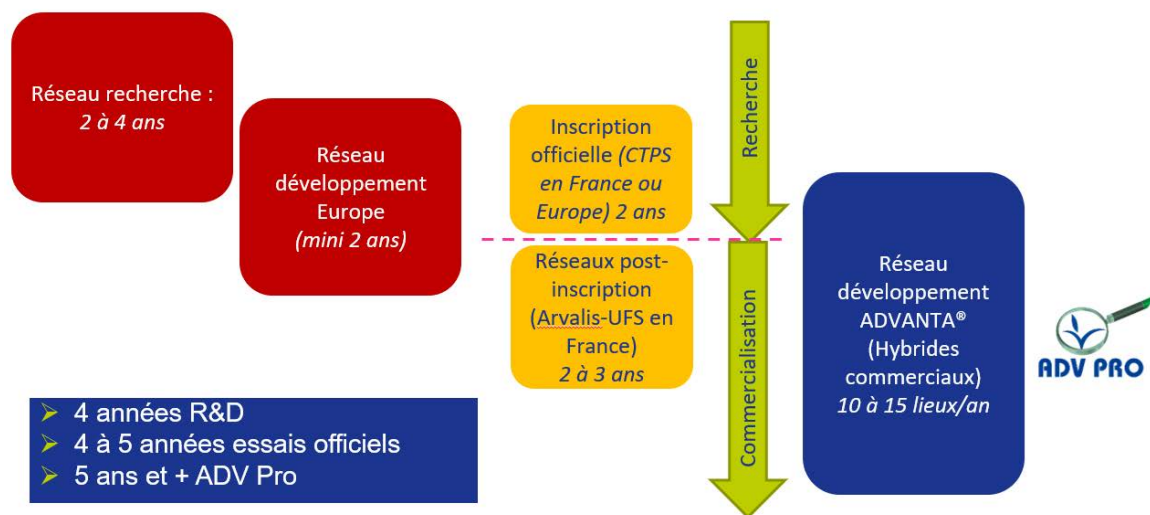
**La DHS** (*Distinction, Homogénéité, Stabilité*) : Les lignées parentales doivent être connues des services officiels, distinctes des lignées existantes, homogènes (*fixées ou pures*) et stables dans le temps.

La **VAT** (*Valeur Agronomique et Technologique*) va donner lieu au testage dans un réseau par rapport aux témoins officiels, choisis selon leur performance et leur représentativité sur le marché local. La liste des témoins est actualisée régulièrement.

### CRITÈRES D'INSCRIPTION AUX CATALOGUES OFFICIELS

DHS (Distinction, Homogénéité, Stabilité)	
VAT	
Maïs fourrage	Maïs grain
Rendement fourrage (tMS/ha) Précocité (%MS) Concentration énergétique (UFL ou équivalent) Tolérance à la verse  Les autres critères son informatifs	Rendement grain Teneur en eau à la récolte Tolérance aux verses  Les autres critères son informatifs
<b>La variété doit être significativement supérieure aux meilleurs témoins de l'année.</b>	

### TESTAGE D'UN HYBRIDE MAÏS







## LA PRODUCTION DE SEMENCES DE MAÏS



# LA PRODUCTION DE SEMENCES DE MAÏS

**La France est le premier producteur européen de semences de maïs et le premier exportateur mondial.** La production moyenne est de 14 millions de doses par an et 45% des semences commercialisées en Europe sont françaises.

Les premières semences de maïs hybrides ont été produites à partir de 1933 aux USA, puis en France à partir de 1955.

La production de semences de maïs repose sur la **technique d'hybridation**, c'est-à-dire la fécondation croisée entre des rangs mâles et des rangs femelles.

**Les surfaces de production de semences de maïs en France couvrent environ 85 000 ha**, loin devant la Roumanie (30 000 ha) et la Hongrie (27 000 ha) (Source : FNPSMS/Semae/AGPM Maïs Semence – 2021).

Ce sont environ **3 400 agriculteurs-multiplicateurs et 25 syndicats de producteurs** qui se mobilisent chaque année.

## 1. LE SEMIS

Les parcelles doivent être suffisamment isolées de cultures de maïs consommation et des autres parcelles de production pour éviter toute pollution par du pollen non désiré. **On cartographie ainsi des « ilots »** dans lesquels peuvent être produits plusieurs hybrides, à condition qu'ils aient le même mâle.

Dans les parcelles choisies, **l'agriculteur-multiplicateur sème en alternance des rangs de lignées femelles et des rangs de lignées mâles**, selon un dispositif donné par le semencier pour chaque hybride. L'étape du semis est primordiale pour une bonne réussite de la culture et répond à deux objectifs :

- **Avoir du pollen en quantité suffisante et bien réparti** : en fonction de la capacité du mâle à

émettre du pollen, les dispositifs peuvent être 2 rangs femelles/2 rangs mâles, 4 rangs femelles/2 ou 3 rangs mâles par exemple. Un manque de pollen pourra être la cause de mauvaises fécondations mais aussi de pollution par du pollen étranger. **La proportion de femelles conditionnera le rendement en production puisque les mâles ne sont pas récoltés.**

- **Avoir du pollen au bon moment** : pour cela le semis du mâle (*souvent plus précoce*) doit être décalé pour que les floraisons concordent. **On réalise souvent plusieurs semis de mâles pour augmenter la probabilité de concordance.** Le nombre de jours de décalage figure dans le protocole donné par le semencier.

## DISPOSITIF DE SEMIS EN PRODUCTION DE SEMENCES

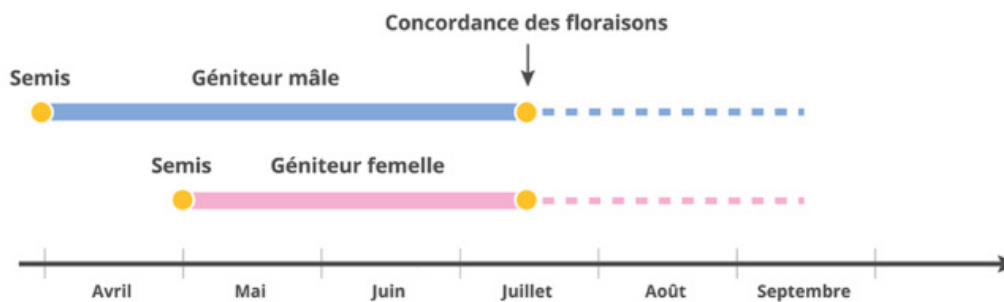
### 1. Avoir du pollen en quantité suffisante et bien réparti

Dispositif de semis bien respecté



### 2. Avoir du pollen au bon moment

Cas de géniteur femelle plus précoce que le mâle



Source : [SEMAE-pedagogie.org](http://SEMAE-pedagogie.org)

## 2. EPURATION ET CASTRATION

Dans la phase végétative avant floraison, **des épurations sont réalisées en arrachant les plantes qui ne correspondent pas aux types parentaux mâle et femelle, pour assurer une pureté maximale à l'hybride commercial produit.** Pour la femelle, l'épuration peut se poursuivre jusqu'à la récolte et après, en éliminant les épis aberrants.

**La castration** est une opération cruciale et particulière à la production de semences de maïs. Elle **consiste à supprimer les panicules sur les rangs de femelles avant l'émission du pollen.**

En général, elle se déroule en deux temps :

- **Un ou plusieurs passages mécaniques** pour écimier les plantes avant l'émergence des panicules.

- **Des passages successifs** pour enlever manuellement les panicules restantes.
- **Les petites plantes et les talles sont également enlevées** car elles pourraient émettre du pollen.

**Une panicule peut produire jusqu'à 5 millions de grains de pollen et entraîner des semences non conformes par autofécondations des plantes femelles !**

Certains hybrides peuvent être produits en utilisant des femelles mâle-stériles, c'est-à-dire qu'elles ne produisent pas de pollen et simplifient donc l'opération de la castration, tout en contrôlant l'absence de panicules fertiles.



**Champ de maïs semences - castration manuelle**  
Source Limagrain Europe



**Champ de maïs semences - castration mécanique**  
Source Limagrain Europe

### 3. LES CONTRÔLES AU CHAMP

Tout au long du cycle, les productions sont contrôlées par des techniciens agréés par le SOC (*Service Officiel de Contrôle*).

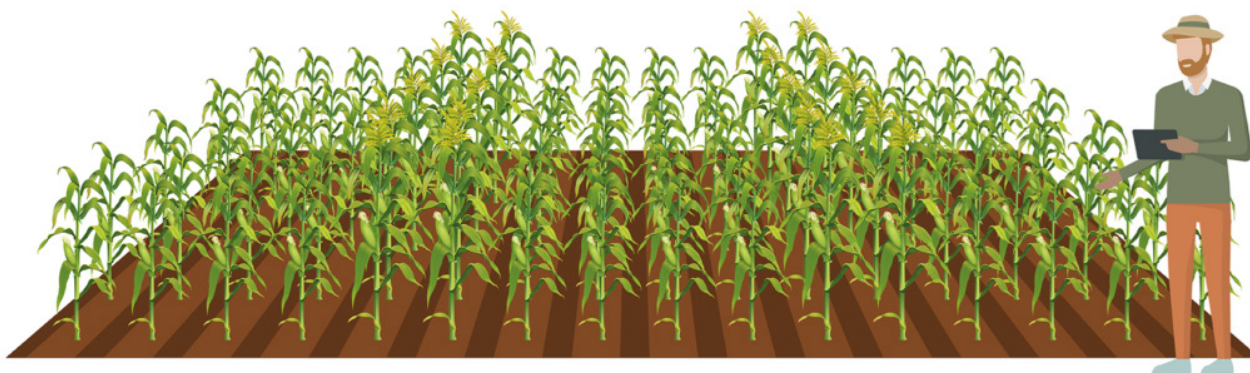
Ils visitent les cultures pour vérifier leur conformité par rapport aux prescriptions du règlement technique :

- Distances d'isolement
- Etat de la parcelle
- Qualité des épurations et des castrations

Ces données sont rassemblées sur une fiche de contrôle qui assurera la traçabilité.

**Les parcelles qui ne satisfont pas aux critères requis sont déclassées en maïs consommation.**

#### LES CONTRÔLES EN CULTURE



##### ISOLEMENT

- 200 M  
RÉDUCTION POSSIBLE À 100 M  
DANS LES CAS SUIVANTS :
- Semis de mâles d'isolement supplémentaire (5 m par ligne)
  - Écran naturel

##### PURETÉ GÉNÉTIQUE

- REFUS SI IMPURETÉS > 0,2%
- Chez le parent mâle
  - Chez le parent femelle
  - Après le stade limite des épurations

##### CASTRATION

- REFUS SI :
- Plus de 0,5 % des parents femelles ont émis du pollen lors d'une visite
  - Plus de 1 % des parents femelles ont émis du pollen sur le total des visites



Source : [SEMAE-pedagogie.org](http://SEMAE-pedagogie.org)

## 4. LA RÉCOLTE

**Seuls les rangs femelles sont récoltés** (les rangs mâles sont broyés après la fécondation pour limiter la concurrence sur l'eau et l'azote et dans un souci de pureté à la récolte).

**La récolte se fait en épis entiers** (avec un corn-picker) pour éviter d'abimer les grains. L'effeuillage des épis se réalise sur une table d'effeuillage chez le producteur ou à l'usine selon les sites. Ce mode de récolte permet aussi de trier les épis aberrants ou les épis abimés, parasités ou immatures.

Le calendrier de récolte est défini par le semencier en fonction :

- Du planning de réception à l'usine
- Du suivi de l'humidité des grains : maturité atteinte et seuil au-dessous duquel le risque d'égrenage augmente (selon les variétés).

### EN CONCLUSION

**La production de semences de maïs requiert une haute technicité et une extrême attention au champ :**

- Les lignées sont souvent peu vigoureuses et n'autorisent pas de semis trop précoces.
- Les décalages de semis entre femelles et mâles doivent être bien respectés.
- Une attention particulière doit être portée au **désherbage** car les lignées sont souvent sensibles aux herbicides.
- L'**herbicide** est souvent fractionné en plusieurs passages à faibles doses.
- L'**opération de castration** est cruciale.
- Le **bon réglage du corn-picker** est essentiel pour préserver la qualité des épis.

Elle est donc beaucoup plus exigeante qu'une culture de maïs consommation, grain ou fourrage, qui requiert peu de passages et tolère bon nombre de stress.



## LA FABRICATION



# LA FABRICATION

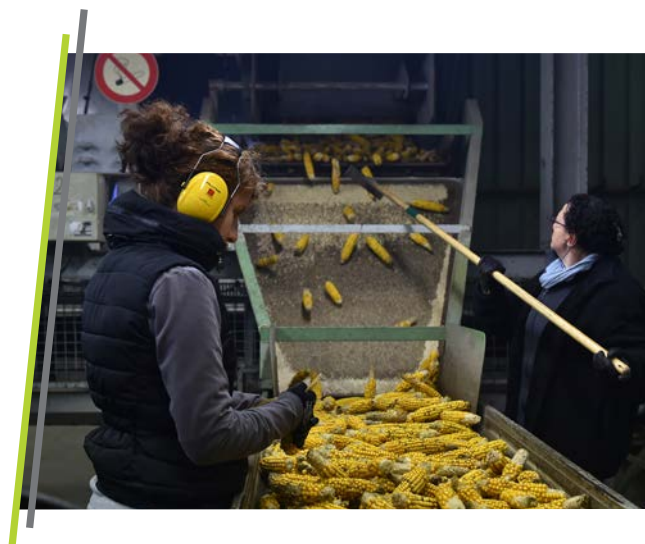
## 1. LA RÉCEPTION À L'USINE

Les épis effeuillés et triés par les agriculteurs multiplicateurs sont livrés selon un planning de récolte établi quotidiennement en concertation entre le service agronomie et l'usine. **Ce planning tient compte des stades des cultures, des rythmes usine et notamment des capacités de séchage.**

A la réception, les épis récoltés font l'objet d'un **triage complémentaire sur tables** de triage par des équipes dédiées. Cette opération permet de compléter le triage principal effectué par

les producteurs qui consiste à **retirer les épis anormaux ou présentant des altérations** telles que la fusariose, de la germination sur pied, des dégâts d'insectes et les éventuelles impuretés variétales... Cette étape se fait manuellement sur la base d'une **inspection visuelle**, d'après le descriptif fourni par le service agronomie pour chaque cultivar récolté.

Cette activité fonctionne 7 jours sur 7 en période de récolte. Sur notre site de Saint-Mathurin/Loire (*Maine-et-Loire 49*), le rythme de réception est de 25 tonnes d'épis/heure.



Réception et tri des épis - Source Limagrain Europe



## 2. LE SÉCHAGE DES ÉPIS

Cette opération est décisive et délicate car elle vise à **abaisser l'humidité des grains jusqu'à 12% en préservant le germe et ses capacités**. L'humidité des épis doit être baissée rapidement pour éviter le développement de moisissures.

Il est primordial d'éviter les températures élevées et le séchage se fait en deux étapes : **un pré-séchage à 35°C pendant 24h puis une phase de séchage à 40°C pendant 2 jours en moyenne**. Il peut se faire dans un séchoir spécifique ou en bennes pour les plus petites quantités.

L'activité de séchage fonctionne en permanence (3x8 h) et 7 jours sur 7 pour des raisons évidentes d'optimisation de la récolte, d'efficacité et d'économie d'énergie.

### LE SAVIEZ-VOUS ?

Sur notre site de Saint-Mathurin-sur-Loire (49), les rafles sont une source d'énergie complémentaire au gaz naturel.



Séchoirs et bennes de séchage - Source Limagrain Europe

### 3. L'ÉGRENAGE ET LE CALIBRAGE

**Les épis sont égrenés entre 11% et 12,5% d'humidité.** Lors de cette étape, les dommages subis par les grains peuvent être d'ordre physique : casse, fêlures, germe endommagé. La qualité dépendra du bon réglage des égreneuses.

**Après égrenage, un nettoyeur-séparateur élimine bouts de rafles, petits grains et brisures.**

A l'issue de l'égrenage, les lots sont stockés en container, en attendant la prochaine étape : le calibrage.

Lors du calibrage, des lots pourront être regroupés en fonction de leurs caractéristiques qualité.

**Le process intègre également un trieur colorimétrique et des tables densimétriques** qui affineront le triage en enlevant les grains immatures ou fusariés notamment.

Chaque manipulation représente un risque supplémentaire de dégradation de la qualité, par exemple un excès de calibrage peut entraîner des lésions et diminuer la résistance de la semence à des conditions difficiles au champ (excès d'eau, agents pathogènes...).

Pour ces raisons, **le service qualité suit à chaque étape la faculté germinative des grains.**



*Trieur, table densimétrique - Source Limagrain Europe*

## 4. LA PROTECTION DE SEMENCES

**Après ces étapes de triage, la semence reçoit une protection phytosanitaire contre les principaux parasites ou ravageurs.** Le traitement de base est Fongicide : contre les fontes de semis *Fusarium spp* et *Pythium*

D'autres traitements peuvent être proposés sur demande :

- Insecticide
- Répulsif oiseaux

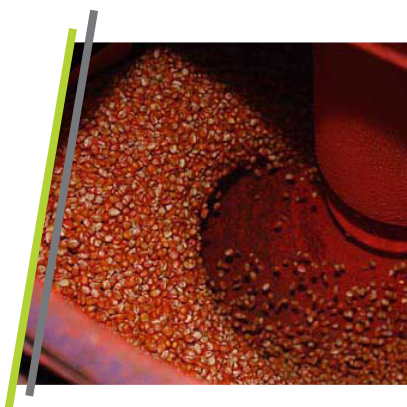
La liste des produits autorisés est en perpétuelle évolution liée aux homologations ou retraits par la Commission Européenne ou l'Etat français.

Pour en savoir plus, consulter le document «Arvalis-Institut du Végétal : Lutte contre les maladies et les ravageurs» (*parution annuelle*).

**Des solutions bio-stimulantes peuvent également être appliquées**, visant à optimiser l'implantation et le comportement des plantes face à différents stress (*STARCOVER pour Limagrain Europe*).

**Le grain est également coloré, ce qui évite toute confusion avec les grains utilisables en alimentation humaine ou animale.**

Les semences sont ensuite conditionnées en  **doses de 50 000 grains en général**  et palettisées.



**Traitement, imprimerie, palettisation - Source Limagrain Europe**

## 5. LES CONTRÔLES QUALITÉ ET LA CERTIFICATION

En France, l'activité de contrôle et de certification de la qualité des semences et plants est une mission qui a été confiée par le Ministère de l'Agriculture à SEMAE. Pour ce faire, **SEMAE s'appuie sur son service technique : le Service Officiel de Contrôle (SOC).**

Au cours des différentes étapes de fabrication à l'usine (*tri, conditionnement...*), des contrôles sont réalisés par le service qualité.

Tout d'abord, l'établissement multiplicateur doit disposer :

- Des équipes et de toutes les installations permettant **d'assurer la pureté et la qualité des semences**, depuis les semences de base et pré-base.

- **D'un laboratoire équipé pour réaliser des analyses courantes de semences de maïs**, notamment de pureté spécifique, de faculté germinative et d'humidité.

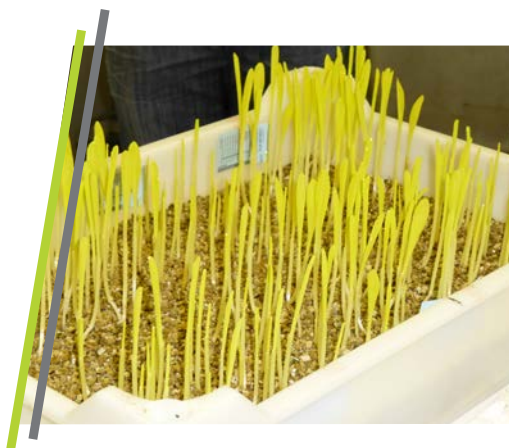
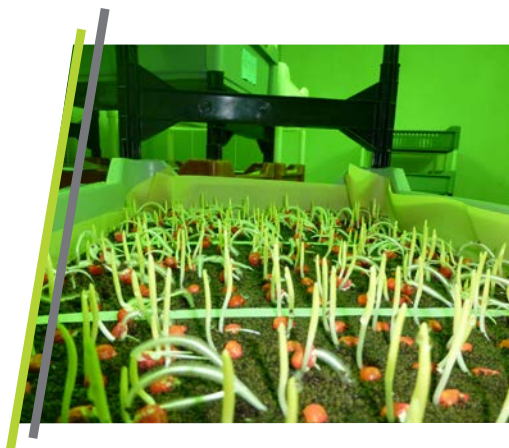
(RT Annexe Maïs JO 22 06 2012 NM-TR-001 D-SEMAE).

Outre les nombreux contrôles effectués au champ, chaque lot destiné à la commercialisation est tenu de répondre à des normes strictes.

Des échantillons de semences sont donc prélevés par le personnel habilité au sein de l'entreprise ou par le SOC lors de contrôles de routine, selon une procédure stricte et à l'aide de matériel spécifique. Les analyses permettent de garantir la valeur technologique des semences (*pureté spécifique, faculté germinative, vigueur...*) avant la mise sur le marché.



**Tests de germination et de vigueur en laboratoire (49) - Source Limagrain Europe**



La certification des semences et des plants apporte à l'agriculteur trois garanties majeures :

- **La garantie de la pureté spécifique** : absence quasi-totale d'impuretés comme des débris, grains cassés, et autres espèces que le maïs.
- **La garantie de l'identité et de la pureté variétales.**
- **La garantie de la faculté germinative dans les conditions du laboratoire.**
- **La garantie de la qualité sanitaire** : fontes de semis notamment, pour garantir la levée dans les conditions du champ.

Seuls des laboratoires reconnus par le SOC conduisent les analyses qui permettent de contrôler le niveau de qualité et de déclarer la certification des lots de semences.

Le Laboratoire FNPSMS / GERM-Services organise chaque année des circuits inter-laboratoires d'échantillons tests afin de permettre aux laboratoires participants d'évaluer la justesse de leurs mesures et de conserver la cohérence et l'objectivité nécessaire aux analyses. Ces circuits portent principalement sur les tests de faculté germinative, de vigueur, de présence fortuite d'OGM, de teneur en eau, de présence de poussières ou encore de matières actives.

### **L'ÉTIQUETTE DE CERTIFICATION (ÉTIQUETTE SOC)**

Un certain nombre d'informations figurent sur l'étiquette SOC du sac :

- Nom de la variété
- Pays de production
- Nombre de graines
- Numéro de lot
- Date d'échantillonnage
- Traitement de semences

Il est conseillé à l'agriculteur de garder ces étiquettes jusqu'à l'assurance de la levée.

## **A RETENIR**

### Rappel des normes de certification :

- **Faculté germinative** : minimum 90%
- **Humidité** : maximum 14%
- **Pureté spécifique** : minimum 98% (en % du poids)
- **Teneur maximale en graines d'autres espèces** : 0%

*(Source SOC-SEMAE/Maizeurop)*

Toutefois, les conditions au champ peuvent être plus difficiles. C'est pourquoi les semenciers mesurent également la vigueur germinative du lot ou effectuent des tests de germination en conditions froides (*cold-tests*). Ce test n'étant toutefois pas officiellement normé, les résultats ne sont pas comparables d'un laboratoire à l'autre.



## BIBLIOGRAPHIE

- <https://monde.ccdmd.qc.ca>
- <https://www.semencemag.fr/histoire-mais>
- Histoire du maïs (<https://www.techno-science.net>)
- Le maïs en France avant les hybrides : Isabelle Vouette (2010)  
<https://mots-agronomie.inra.fr>
- <https://www.semae-pedagogie.org>
- Les semences de maïs – Agri-Nathan/Limagrain ; 1986
- FNPSMS- La Production de semences de maïs – 2022
- <https://www.maizeurop.com/>
- Arvalis institut du végétal

## CRÉDITS PHOTOS

- Limagrain Europe
- SEMAE
- Arvalis - Institut du végétal
- Adobe Stock

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

 Retrouvez tous nos documents **EXPERTISE MAÏS** dans votre **COMPTE PRO** sur notre site web :



**CRÉER UN COMPTE PRO**  
Accéder gratuitement à l'ensemble de nos services : Outil d'Aide à la Décision semis et récolte maïs, informations techniques...

**Livrets Les Essentiels d'ADVANTA®**

- *Les accidents du maïs*
- *Réussir son implantation maïs*
- *Produire du maïs Grain en France*
- *Maïs Fourrage spécial Rations*
- *Maïs Fourrage - Préserver le potentiel du champ à l'auge*

**OAD semis & récolte / Mémo semoir...**

**> JE CRÉE MON COMPTE**  
sur [www.advantaseeds.fr](http://www.advantaseeds.fr)

*Le maïs. Différemment*



**CHEZ  
ADVANTA®  
LA QUALITÉ,  
C'EST  
GÉNÉTIQUE.**

[advantaseeds.fr](http://advantaseeds.fr)

 @advantaFR

Advanta® est une marque enregistrée par Advanta Netherlands Holdings BV, LIMAGRAIN EUROPE - SAS au capital de 10 543 346,75 €, SIREN 542 009 824 RCS Clermont-Ferrand. Les recommandations d'utilisation sont données à titre purement indicatif et ne sauraient engager la responsabilité de Limagrain Europe à quelque titre que ce soit. Crédit photos : Adobe Stock, Avril 2023



*Le maïs. Différemment*

