TP. 1 / F.1 - La plante domestiquée. Exemple du maïs

➢ *Déclencheurs*

1 - Dans les années 1930, le généticien américain Georges Beadle, prix Nobel de Physiologie et de médecine en 1958, soutient l'hypothèse que le maïs a été domestiqué par l'Homme à partir d'une plante sauvage ; la téosinte.

2 - Un maïs OGM de Monsanto soupçonné de toxicité (le Monde 19 septembre 2012).

http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/09/19/un-ogm-de-monsanto-soupconne-de-toxicite_1762236_3244.html

3 – Lorsqu'on observe un champ de maïs cultivé, on observe que tous les pieds sont de la même taille.

Problématique

Suite à cette actualité et aux deux autres informations, nous rechercherons comment l'homme a domestiqué le maïs sauvage pour obtenir un maïs domestiqué plus productif, capable de lutter contre un insecte parasite mais incapable de se reproduire naturellement.

Consignes

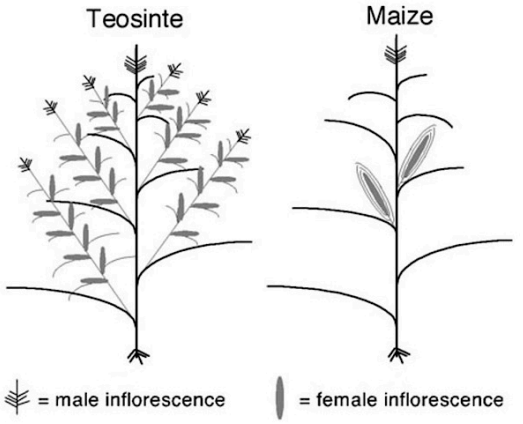
• Comparer sous forme d'un tableau, le maïs sauvage du maïs cultivé.
• Retracer les étapes de la domestication à l'échelle historique et biologique.
• Rechercher l'origine des modifications sélectionnées puis transmises lors de la domestication.
• En opposant sélection artificielle et sélection naturelle, mettre en évidence le rôle de l'homme dans la domestication et les effets sur la plante.

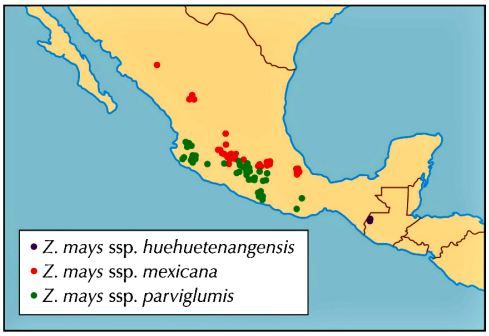
En cours

• Rechercher les avantages et les risques des avancées technologiques utilisées pour obtenir des plantes OGM.

Fiche 1 - De la téosinte aux variétés hybrides de maïs - Histoire d'une domestication

Document 1 – Présentation



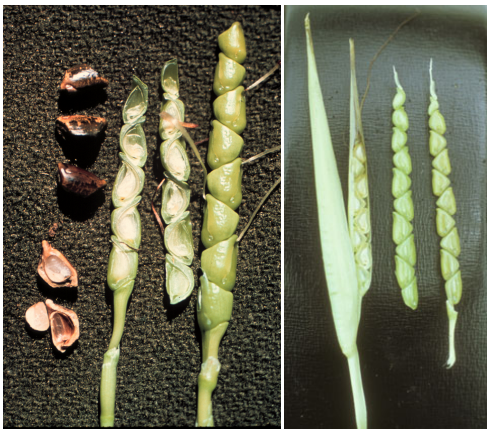


Le maïs cultivé Zea mays ssp mays est une graminée d'origine tropicale. Différentes formes sauvages de l'espèce Zea Mays existent au Mexique : ce sont les téosintes, avec des formes annuelles, Zea mays ssp mexicana, Zea mays ssp parviglumis considérée aujourd'hui comme l'ancêtre du maïs cultivé, et une forme pérenne, Zea mays ssp perennis.

Une plante est formée par un nombre variable de talles terminées par une panicule mâle et qui portent des ramifications secondaires à la base desquelles se trouvent les petits épis femelles.

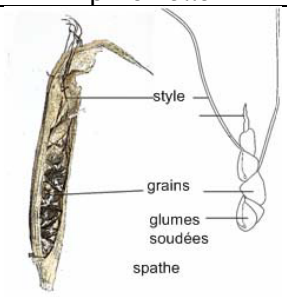
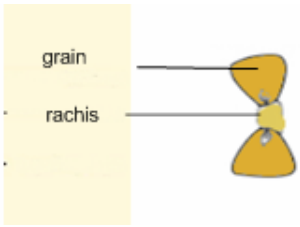
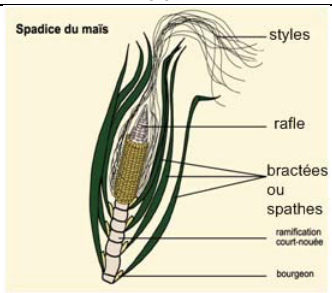
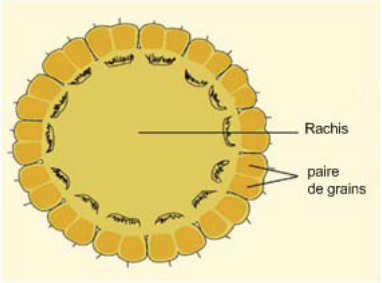
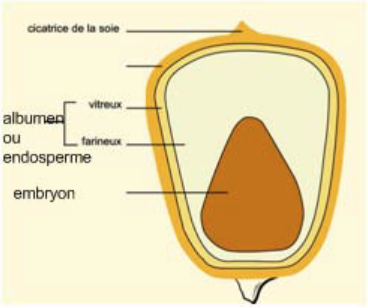
Les téosintes sont morphologiquement très différentes du maïs : elles tallent beaucoup et forment sur des ramifications latérales de nombreux petits épis (de quelques cm), qui peuvent se prolonger par une petite inflorescence mâle.

L'inflorescence mâle de la téosinte ressemble beaucoup à celle du maïs.



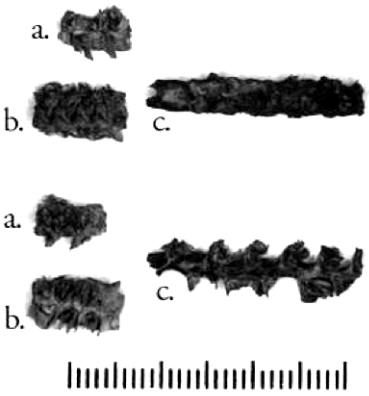
Les épis femelles sont réduits à deux rangées de quelques grains alternes enveloppés dans une cupule cellulosique (équivalent de glumes soudées), les grains (5 à 12) sont soudés les uns aux autres et à maturité l'épi se désarticule et les grains tombent sur le sol et permettent la dispersion. Ces graines survivent très bien dans les tubes digestifs des oiseaux ou d'autres herbivores, ce qui permet à la graine de s'éloigner du plant mère et de coloniser d'autres terres.

Document 2 – Comparaison des épis et des grains + *Matériel : épis et grains de maïs.*

	Épi femelle	Coupe épi femelle	Grain	
Téosinte	 5 cm	 1 cm		Longueur : 0,4 cm Masse : 0,06g Nombre de grains : 8 à 10 Réserve albumen : amidon Glumes soudés qui protèegent le grain Grains qui se détachent
Maïs	 20 cm	 6 à 6 cm		Longueur : 0,8 cm Masse : 0,27g Nombre de grains : 500 Réserve albumen : amidon Glumes non soudés souples Grains qui ne se détachent pas naturellement

Document 3 - Les étapes de la domestication - Des travaux archéologiques

Dans les années 2000, des archéologues identifient des échantillons fossiles de Maïs dont les caractéristiques sont assez variables. Ces échantillons sont datés de -6000 à -4250 ans. Leurs caractéristiques montrent que l'homme a participé à la modification de ces plantes en recherchant les variétés présentant les épis les plus grands et les plus fournis.

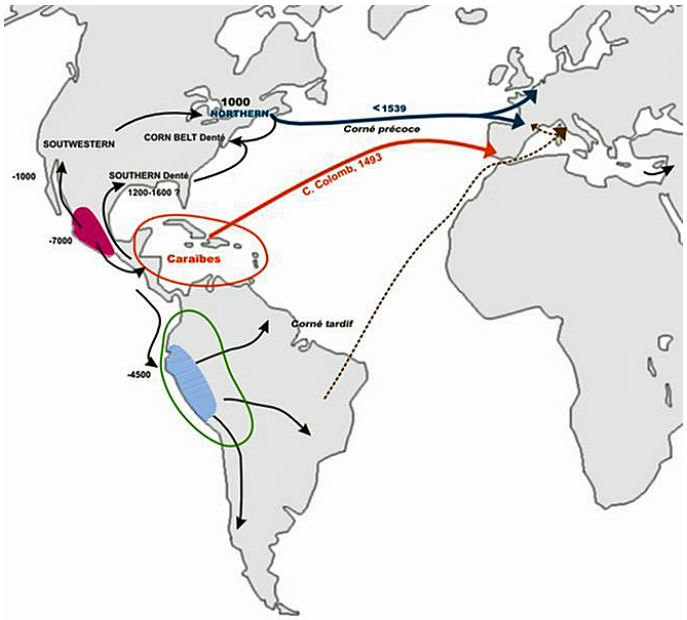


A gauche, la photographie montre ces 3 échantillons sous différents angles. L'échantillon a est plus ancien que b, lui-même plus ancien que c. A droite, une carte présentant l'emplacement du site.

L'hypothèse la plus couramment admise est celle d'un seul centre de domestication à partir de Zea mays ssp parviglumis situé dans la région d'Oaxaca et Jalisco où les fouilles archéologiques montrent bien le développement d'une agriculture 5000 ans avant JC. Cependant, Zea mays ssp mexicana a joué un grand rôle dans l'évolution du maïs ; elle est très dispersée et présente là où est le maïs, alors que Zea mays ssp parviglumis a une aire restreinte. Des échanges géniques importants ont sans doute eu lieu entre Zea mays ssp mexicana et le maïs ; ils ont été très favorables à la variabilité génétique du maïs.
Les fouilles archéologiques n'ont jamais permis de trouver un maïs sauvage ressemblant au maïs actuel ; par contre, elles montrent bien le passage de l'épi de téosinte (2-3 cm) il y a 7000 ans, à celui du maïs qui mesurait environ 7cm, 2000 ans plus tard, et près de 10 cm au début de l'ère chrétienne. Au cours du temps, le nombre de grains et leur taille ont considérablement augmenté.

Document 4 - La diffusion du maïs dans le monde

En Amérique même, les recherches archéologiques et les études à partir des marqueurs moléculaires indiquent deux centres de diversification, l'un au nord de l'équateur issu du centre primaire Mexique-Guatemala, et l'autre au sud de l'équateur à partir du centre secondaire des Andes (Équateur, Pérou) où il est cultivé depuis au moins 4500 ans, d'abord dans les basses terres tropicales, puis en altitude jusqu'à près de 4 000 m. On le trouve dans le sud-ouest des États-Unis 1000 à 1500 ans avant JC, associé au développement d'une l'agriculture à base de maïs, courge et haricot. À partir de cette région le maïs est remonté vers le Nord : dans le Nord-Est des États-Unis il était cultivé par les indiens Iroquois, avant l'arrivée de Jacques Cartier en 1535. Il était aussi cultivé par les indiens du Canada. Des Grands lacs au rio de la Plata, le maïs a joué un rôle important dans l'alimentation des « Indiens », pour toutes les classes sociales.



Référence du texte. http://mots-agronomie.inra.fr/mots-agronomie.fr/index.php/Le_ma%C3%AFs,_de_la_t%C3%A9osinte_aux_vari%C3%A9t%C3%A9s_hybrides

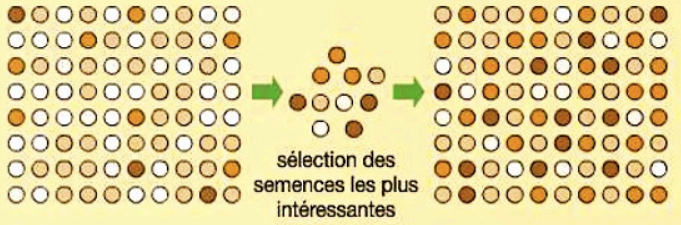
Document 5 – La sélection artificielle

1. Amélioration des plantes par sélection massale

Depuis des millénaires, les plantes cultivées germent, se développent, fructifient sous l'œil attentif des agriculteurs. Ils repèrent chaque année les individus les plus résistants aux maladies, aux intempéries, ceux qui produisent les meilleurs résultats… et choisissent leurs prochaines semences parmi ces « meilleurs » individus.
Cette méthode de sélection modifie très lentement les caractéristiques génétiques de la population de départ, sans jamais l'uniformiser. Les critères de sélection pouvant varier selon les lieux et au cours du temps, elle est à l'origine de l'immense diversité des variétés dites « de pays », ou « paysannes ».

Modélisation simple d'une sélection massale

Dans ce modèle, les graines récoltées sont d'autant plus intéressantes pour constituer la semence de l'année suivante qu'elles sont foncées. Mais le tri des graines est une tâche difficile, aux résultats imparfaits !



Population année *n* **Population année *n*+1**

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

La culture du maïs s'est répandue, à partir de son centre d'origine mexicain, en Amérique du nord et en Amérique du sud. L'introduction du maïs en Europe date des expéditions de Christophe Colomb et de Jacques Cartier (fin du 15ème - début du 16èmesiècle). Durant toute la période qui va jusqu'au début du 20èmesiècle, les agriculteurs ont pratiqué la sélection massale en privilégiant les plants aux épis possédant des grains nombreux et gros ainsi qu'en sélectionnant des caractères adaptés aux conditions d'environnement de la culture. On a abouti ainsi à des "**variétés populations**" différentes d'une région à l'autre en fonction des caractères sélectionnés.

La culture du maïs s'est répandue, à partir de son centre d'origine mexicain, en Amérique du nord et en Amérique du sud. L'introduction du maïs en Europe date des expéditions de Christophe Colomb et de Jacques Cartier (fin du 15ème - début du 16ème siècle). Durant toute la période qui va jusqu'au début du 20ème siècle, les agriculteurs ont pratiqué la sélection massale en privilégiant les plants aux épis possédant des grains nombreux et gros ainsi qu'en sélectionnant des caractères adaptés aux conditions d'environnement de la culture. On a abouti ainsi à des populations différentes d'une région à l'autre en fonction des caractères sélectionnés.

2. Amélioration des plantes par la sélection généalogique : l'obtention de lignée

Deux notions :

- Le maïs est une plante monoïque : nous avons vu que les fleurs mâles et femelles sont portées par la même plante mais placées en deux endroits différents.
- Le maïs est une plante allogame, les fleurs ne venant pas à maturité en même temps, il n'y a pas d'autofécondation naturelle. *La constitution de lignées pures en plein champ doit donc être forcée manuellement par l'homme.*

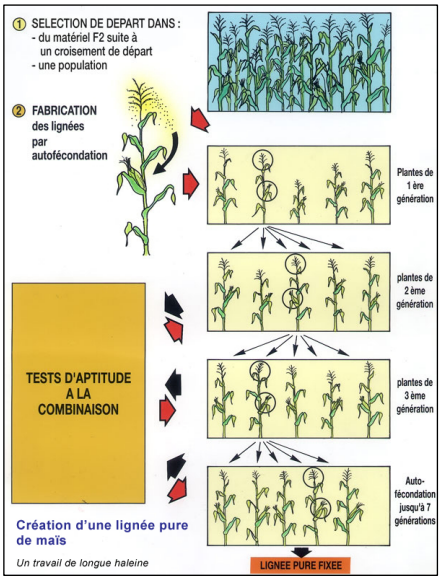
Dès la fin du 19ème siècle, l'hybridation et la sélection généalogique permettent d'obtenir de nouvelles variétés qui sont des lignées pures (*voir le manuel p 264*). Chez le maïs, plante allogame, ces techniques ne sont pas performantes car les lignées pures sont peu productives (effet dépressif de la consanguinité). Durant la première moitié du 20ème siècle se développe, aux USA, la création de variétés hybrides F1, une technique qui se répandra en France à partir des années 1950. Actuellement, les maïs cultivés sont dans leur grande majorité des hybrides.

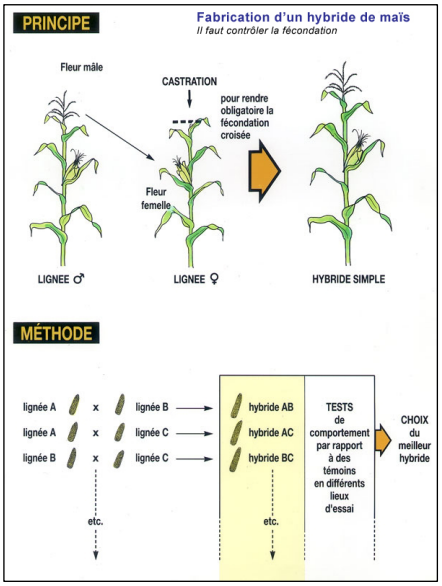
L'obtention des hybrides F1 repose sur les principes suivants (*voir le manuel p 265*).

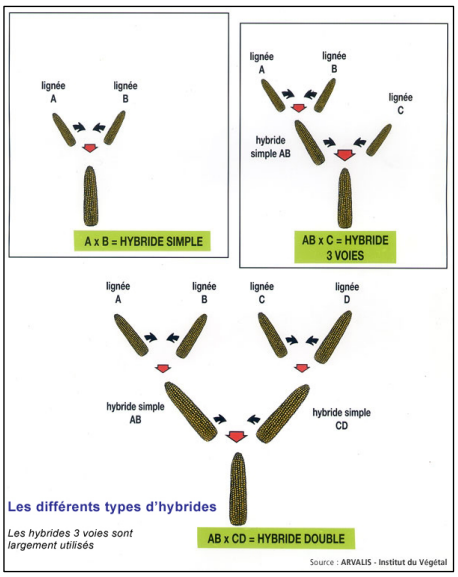
- Création de lignées pures qui servent de parents aux futurs hybrides par autofécondations successives, pour fixer les caractères d'intérêt (au départ, on sélectionne des plantes des "variétés populations" ayant des caractères intéressants) ; à cause de la consanguinité, les individus de ces lignées pures sont peu vigoureux.
- Croisement entre lignées pures aux propriétés complémentaires de façon à obtenir des hybrides F1, puis sélection des hybrides F1 les plus intéressants parmi ceux obtenus.

Les hybrides F1 bénéficient de ce qu'on appelle la vigueur hybride : croissance plus importante, épis plus gros à grains plus nombreux tout en combinant les caractères recherchés des deux lignées (du moins les caractères dominants). Le sélectionneur recherche parmi les lignées parentales celles qui donnent les meilleurs hybrides lorsqu'elles sont croisées. Les hybrides F1 ont le même génotype et constituent donc une variété homogène.

Inconvénient : l'agriculteur doit acheter chaque année de nouvelles semences car s'il utilise les graines récoltées (génération F2), des caractères non désirés réapparaissent.







Montrer ce qui différencie la technique de sélection massale et la technique de sélection par généalogie.

Indiquer en quoi ces techniques constituent les étapes de la domestication et en quoi cette domestication crée un maïs incapable d'exister à l'état sauvage.

Document 6 - Différenciation génétique.

Toutes les espèces et sous-espèces du genre Zea ont le même nombre de chromosomes (2n=20) sauf Zea perennis qui est tétraploïde (4n=40). Presque toutes les espèces de téosintes sont hybridables avec le maïs. Les Tripsacum sont un genre proche originaire d'Amérique nord et sud et pouvant former des hybrides le plus souvent stériles avec Zea.

1. *Un nombre limité de gènes permettent d'expliquer le passage de téosinte à maïs.*

Les différences dans la morphologie de la plante, dans celle des inflorescences femelles et des semences entre le maïs cultivé et la téosinte sont très nettes, ce qui a fait supposer que le passage d'une forme à l'autre au cours de la domestication a fait intervenir des mutations de nombreux gènes.
Au début des années 70, Beadle a testé cette idée en exploitant le fait que les hybrides entre maïs et téosinte sont fertiles ; il a examiné 50 000 plantes F2 résultant d'un croisement entre hybrides. Il a constaté que la fréquence de réapparition de maïs et de téosinte de type parental chez ces plantes de seconde génération était approximativement de 1 pour 500. Il a confronté ces résultats avec des prévisions théoriques. En admettant que les maïs et les téosintes sont de lignée pure pour les caractères envisagés et que les gènes en jeu sont situés sur des chromosomes différents, il a pu déterminer le nombre de gènes pouvant expliquer le passage de la téosinte au maïs.

Comment a-t-il fait ? Combien de gènes pourraient être impliqués ?

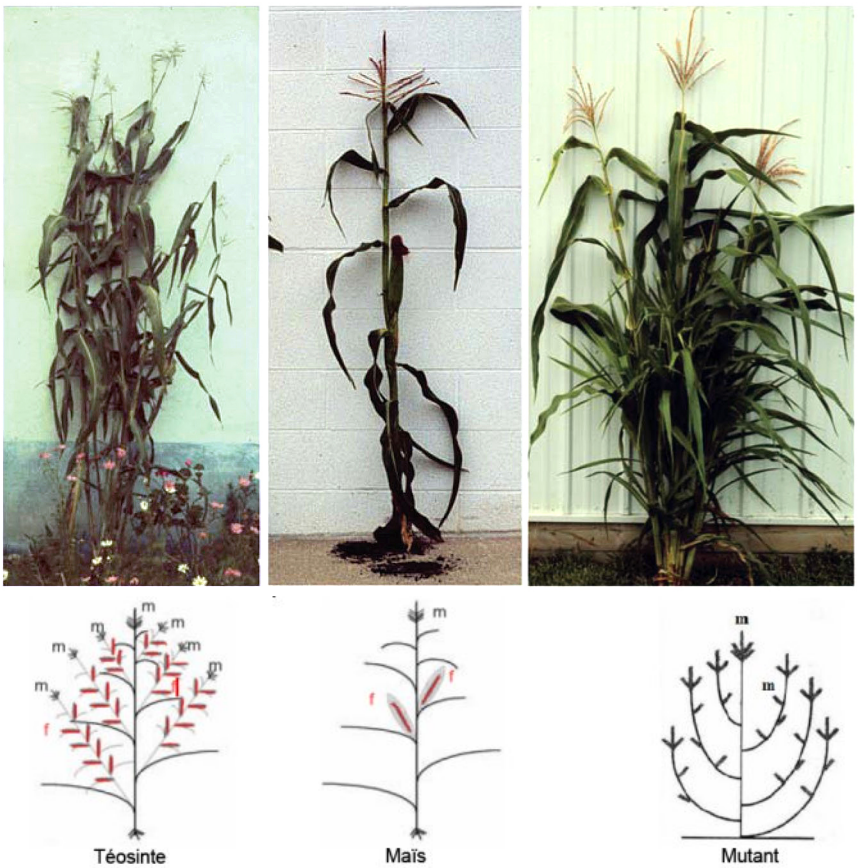
2. *Un mutant isolé : le mutant Tb1*

Doebley et son équipe ont recherché parmi les quelques gènes celui qui pouvait être à l'origine de la différence de port ramifié au non des téosintes et du maïs. Un mutant présentant des caractères intermédiaires a été isolé.

3. *La fonction du gène TB1*

Chez ce mutant, la séquence de l'allèle TB1 est altérée par l'insertion d'un segment d'ADN qui a pour effet d'introduire un codon stop anticipé et donc à une protéine non fonctionnelle. Ce mutant ne produit pas de protéine fonctionnelle TB1. La comparaison des phénotypes des maïs normal et mutant conduit à dire :
- que la protéine TB1 normale inhibe la croissance des ramifications à partir de leurs bougeons axillaires,
- que la protéine TB1 est indispensable à la formation d'inflorescences femelles.

On a montré que la protéine codée par le gène est un facteur de transcription qui en se fixant à des séquences régulatrices de gènes impliqués dans le cycle cellulaire et l'élongation des rameaux en contrôle l'expression, en ayant un effet inhibiteur.
Puisque l'architecture du mutant de maïs est semblable à celle de la téosinte, on peut faire l'hypothèse que le passage du phénotype téosinte au phénotype maïs est dû à un changement dans le gène TB1 d'où résulte un effet répressif sur les bourgeons axillaires. Or, on dispose des séquences nucléiques de plusieurs téosintes. On peut comparer ces séquences à celles des différents allèles de maïs.



NB : m= inflorescence mâle, f= inflorescence femelle

Retrouver les séquences de 5 allèles de maïs et 4 allèles de téosinte dans le logiciel Anagene : fichier TB1-CDS.edi.

Proposer une interprétation.

Document – Bilan

Les différences majeures entre la téosinte Zea mays ssp parviglumis et le maïs sont au niveau de la fleur. Les autres différences ne font que traduire les différences observées entre formes sauvage et cultivée d'une espèce : la sélection naturelle qui tend à maximiser la valeur sélective (nombre de descendants laissés par une plante) a conduit à des plantes qui tallent, avec une maturité échelonnée sur une même plante, un dispositif de dispersion des graines (désarticulation du rachis) et des grains protégés… alors que l'intervention de l'homme a fait disparaître le tallage et a conduit à des épis avec un rachis soudé portant de plus en plus de grains nus se développant pratiquement tous en même temps. La conséquence est que, alors que la téosinte se maintient à l'état sauvage, le maïs est devenu totalement dépendant de l'homme. La domestication de la téosinte s'est faite par la fixation de certains gènes à effets assez forts expliquant la différence entre la téosinte et le maïs. Les fouilles montrent que l'allèle dominant du gène du maïs qui inhibe le développement des ramifications latérales a été retenu dès 4000 avant JC ; de plus on ne trouve qu'un seul allèle, ce qui est en faveur d'un seul centre de domestication.