ministère éducation nationale

éduscol

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ressources pour le lycée général et technologique

Ressources pour la classe terminale générale et technologique

Sciences de la vie et de la Terre
Série S
Enseignement spécifique

Thème 2-B
La plante domestiquée

Ces documents peuvent être utilisés et modifiés librement dans le cadre des activités d'enseignement scolaire, hors exploitation commerciale.

Toute reproduction totale ou partielle à d'autres fins est soumise à une autorisation préalable du Directeur général de l'enseignement scolaire.

La violation de ces dispositions est passible des sanctions édictées à l'article L.335-2 du Code la propriété intellectuelle.

octobre 2012

Sommaire

Préambule 2
Les sciences de la vie et de la Terre dans le parcours de l'élève en lycée 2
Le principe de liberté pédagogique 2
1. Comparaisons plantes cultivées et ancêtres naturels supposés. 4
Objectifs 4
Matériel 4
Activités envisageables 5
Ressources en ligne. 5
2. Comparaison entre le Maïs, plante cultivée et son ancêtre supposé la Téosinte 6
La plante cultivée : Le maïs (Zea mays ssp mays) 6
Les variétés de Maïs : une forme de biodiversité 6
La comparaison avec son ancêtre supposé : la Téosinte (Zea mays ssp Parviglumis) 6
Éléments de correction 12
3. Biodiversité des plantes cultivées. 14
Objectif notionnel 14
Activités envisageables 14
Ressources en ligne. 15
4. Amélioration des plantes cultivées 16
Objectifs : 16
Documents 16
Questions possibles : 18
Le maïs transgénique 19
Les étapes de la transgénèse, avantages et risques 19
Évaluation type « partie 1 » du baccalauréat 21
Éléments de correction 22
5. La domestication du Maïs : de la téosinte au Maïs 25
Objectifs : 25
Des découvertes archéologiques 25
Les caractéristiques génétiques à l'origine de la domestication du Maïs 25
6. Comparaisons, à différentes échelles, de carottes cultivées avec leur équivalent sauvage. 31
Objectifs 31
Données et matériel 31
Activités envisageables 34
Ressources en ligne 35
7. Développement de la fleur Arabidopsis thaliana 36

Préambule

Les sciences de la vie et de la Terre dans le parcours de l'élève en lycée

Au lycée, les sciences de la vie et de la Terre sont une voie de motivation et de réussite pour la poursuite de la formation scientifique après le collège et la préparation à l'enseignement supérieur ; elles participent également à l'éducation en matière de santé, sécurité, environnement, de tout élève qui choisira une orientation vers des filières non scientifiques. La discipline vise trois objectifs essentiels :

- **aider à la construction d'une culture scientifique commune** fondée sur des connaissances considérées comme valides tant qu'elles résistent à l'épreuve des faits (naturels ou expérimentaux) et des modes de raisonnement propres aux sciences ;
- **participer à la formation de l'esprit critique et à l'éducation citoyenne** par la prise de conscience du rôle des sciences dans la compréhension du monde et le développement de qualités intellectuelles générales par la pratique de raisonnements scientifiques ;
- **préparer les futures études supérieures** de ceux qui poursuivront sur le chemin des sciences et, au-delà, les métiers auxquels il conduit ; aider par les acquis méthodologiques et techniques ceux qui s'orienteront vers d'autres voies.

Dans la thématique **« Enjeux planétaires contemporains »**, il s'agit de montrer comment la discipline participe à l'appréhension rigoureuse de grands problèmes auxquels l'humanité d'aujourd'hui se trouve confrontée. Au-delà de la préoccupation citoyenne qui prépare chacun à l'exercice de ses responsabilités individuelles et collectives, la perspective utilisée ici conduit aux métiers de la gestion publique, aux professions en lien avec la dynamique de développement durable et aux métiers de l'environnement (agronomie, architecture, gestion des ressources naturelles).

Le principe de liberté pédagogique

Ces ressources ont pour objectif d'**accompagner la mise en place des programmes** tout en respectant le principe de liberté pédagogique.

En application de la loi n°2005-380 du 23 avril 2005 d'orientation et de programme pour l'avenir de l'École, « la liberté pédagogique de l'enseignant s'exerce dans le respect des programmes et des instructions du ministre chargé de l'Éducation nationale et dans le cadre du projet d'école ou d'établissement avec le conseil et sous le contrôle des membres des corps d'inspection ».

Les programmes sont, en conséquence, la seule référence réglementaire adressée aux professeurs. Les ressources et documents proposés aux enseignants garantissent ce principe, il revient à chaque enseignant de s'approprier les programmes dont il a la charge, d'organiser le travail de ses élèves et de choisir les méthodes qui lui semblent les plus adaptées en fonction des objectifs à atteindre.

Les ressources d'accompagnement proposées par la DGESCO ne sont que des **appuis à la libre disposition des professeurs**.

Extrait du **programme d'enseignement spécifique de sciences de la vie et de la Terre** de la série scientifique en classe terminale (Bulletin officiel spécial n°8 du 13 octobre 2011) :

Thème 2-B La plante domestiquée

Les plantes (on se limite aux Angiospermes), directement ou indirectement (par l'alimentation des animaux d'élevage) sont à la base de l'alimentation humaine. Elles constituent aussi des ressources dans différents domaines : énergie, habillement, construction, médecine, arts, pratiques socioculturelles, etc. La culture des plantes constitue donc un enjeu majeur pour l'humanité.

Sans chercher l'exhaustivité, il s'agit de montrer que l'Homme agit sur le génome des plantes cultivées et donc intervient sur la biodiversité végétale. L'utilisation des plantes par l'Homme est une très longue histoire, qui va des pratiques empiriques les plus anciennes à la mise en œuvre des technologies les plus modernes.

Bilan : sélection génétique des plantes ; génie génétique.

Connaissances	Capacités, attitudes
La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées a souvent retenu (volontairement ou empiriquement) des caractéristiques génétiques différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages. Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents ; c'est une forme de biodiversité. Les techniques de croisement permettent, d'obtenir de nouvelles plantes qui n'existaient pas dans la nature (nouvelles variétés, hybrides, etc.). Les techniques du génie génétique permettent d'agir directement sur le génome des plantes cultivées. *Objectifs et mots clés. Il s'agit de montrer les différentes modalités d'action humaine sur les caractéristiques génétiques des plantes cultivées.* *[Limites. les éléments scientifiques introduits ici, permettent un débat sur l'usage de telle ou telle méthode, mais il n'entre pas dans les objectifs de l'enseignement scientifique de trancher, à lui seul, la controverse.]* *Convergence. Histoire des arts : la modification des aliments de l'Homme au travers de leur représentation picturale. Histoire et géographie : histoire des plantes cultivées et des civilisations.*	Comparer une plante cultivée et son ancêtre naturel supposé. Recenser, extraire et exploiter des informations afin de comprendre les caractéristiques de la modification génétique d'une plante.

1. Comparaisons plantes cultivées et ancêtres naturels supposés.

Objectifs

Objectif notionnel :

La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées retient des caractéristiques morphologiques différentes de celles de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages.

Objectifs méthodologiques :

- Réaliser une observation d'échantillon
- Réaliser un dessin d'observation
- Présenter des résultats d'observations dans un tableau.

Matériel

La plus grande diversité de plantes cultivées et de leurs équivalents sauvages

Figure 1 : Carotte sauvage

Carotte cultivée / carotte sauvage : pour comparer la racine et les fanes.

La Carotte, *Daucus carota*, est une plante bisannuelle de la famille des apiacée, on peut en trouver toute l'année.

Figure 2 : Fenouil sauvage

Fenouil cultivé / fenouil sauvage : pour comparer le bulbe.

Le fenouil commun, *Foeniculum vulgare,* est une plante bisannuelle ou vivace, on peut en trouver toute l'année.

Figure 3 : Chénopode

Épinard cultivé / Epinard sauvage (Chénopode): pour comparer la feuille.

On peut trouver des chénopodiacées dans la nature ou chez certains maraîcher (Bio) (mais alors, ce n'est pas vraiment une plante sauvage).

Pour étudier les échantillons :

- Lampe
- Loupe à main
- Ciseaux
- Lame de scalpel

Activités envisageables

Organisation

En fonction du nombre d'échantillons disponibles : TP mosaïque ou TP tournant ou TP classique.

Travaux réalisables par les élèves

Dessiner, en vis à vis, la plante (ou partie de plante) cultivée et de son équivalent sauvage.

Réaliser différentes coupes dans différents organes.

Dessiner, en coupe, l'organe présentant le plus de différences entre la plante cultivée et son équivalent sauvage.

Relever dans un tableau les caractéristiques morphologiques des plantes comparées.

Ces différentes activités ont pour but de montrer que la sélection exercée par l'Homme se concentre sur l'organe consommé.

Exemple de tableau comparatif

	Carotte		Fenouil		Epinard	
	sauvage	cultivée	sauvage	cultivé	sauvage	cultivé
Appareil caulinaire	Feuilles finement divisées	Feuilles finement divisées	Base de la feuille légèrement développée	Base de la feuille (pétiole) renflée/charnue	Feuilles plus longues que larges, forme triangulaire ou en fer de flèche, souvent ondulées sur les bords.	Feuille de grande taille, lisse
Appareil racinaire	Racine pivot Grêle Blanc-beige Ligneuse	Racine pivot Très développée Orange Souple et « juteuse »	Grêle Blanc-beige	Grêle Blanc-beige		
Organe développé sous l'action de l'Homme	Le volume de la racine est particulièrement important chez la plante cultivée		Le volume de la base de la feuille est particulièrement important chez la plante cultivée.		La surface de la feuille est particulièrement importante chez la plante cultivée.	
Partie consommée par l'Homme	La racine		Le « bulbe »		La feuille	

Tableau : Comparaisons morphologiques de plantes sauvages et de leurs ancêtres naturels supposés

Ressources en ligne.

Pour étudier la structure d'un fruit ou d'un légume du marché : www.snv.jussieu.fr/bmedia/Marche

2. Comparaison entre le Maïs, plante cultivée et son ancêtre supposé la Téosinte

La plante cultivée : Le maïs (Zea mays ssp mays)

Le maïs est cultivé aujourd'hui dans presque toutes les régions du monde, c'est la troisième céréale du monde, il est la base de l'alimentation d'une grande partie de la population mondiale.

- Recherchez :
  - l'architecture de la plante et des inflorescences
  - la structure des grains et leur composition chimique
- Légendez les croquis

Matériel proposé :

- Des épis de Maïs
- Matériel de dissection : scalpel, pince, ciseaux …
- Grains de Maïs trempés
- Loupe binoculaire + microscope + caméra
- verres de montre, lames et lamelles
- Tubes à essai, réactifs pour identifier la nature des réserves des grains

Sitographie :

- www.afd.be/~plant-ch/mais.htm (informations et croquis suivants)
- http://svt.ac-creteil.fr/?option-sciences-experimentales-svt,805
- www.svt.ac-versailles.fr/archives/docpeda/actpeda/lycee/boite_outils/Classeur%20SVT (mise en évidence de la nature des réserves des grains)

Expliquez pourquoi le maïs est une céréale à la base de l'alimentation d'une grande partie de la population mondiale et des animaux d'élevage

Les variétés de Maïs : une forme de biodiversité

Recherchez le lien entre biodiversité chez le Maïs et son exploitation par l'Homme

Observez les caractéristiques de différentes variété(s) de Maïs à votre disposition

Matériel proposé :

- Grains de Maïs de différentes variétés (+ trempés)
- Des produits dérivés du Maïs
- Matériel de dissection : scalpel, pince, ciseaux …
- Loupe binoculaire + microscope + caméra
- Verres de montre, lames et lamelles

Sitographie :

- www.afd.be/~plant-ch/mais/conaiss/EGmais.htm
- www.afd.be/~plant-ch/mais/conaiss/AGmais.htm

La comparaison avec son ancêtre supposé : la Téosinte (Zea mays ssp Parviglumis)

- Recherchez

- l'architecture de la plante et des inflorescences de la Téosinte
- la structure et la composition des grains

- Légendez les croquis (voir la fiche à la fin de l'activité)
- Indiquez les ressemblances et différences : de l'architecture de la plante, des inflorescences et des grains (nombre par épis, masse, composition)

Sitographie :

- www.inra.fr/annee_darwin/ressources_pedagogiques
- 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
- http://hila.webcentre.ca/research/teosinte/teosinte_macro/index.html (photographies de Téosinte)

Photographies

Architecture des inflorescences femelles. Photographies personnelles de Monsieur Julien Greffier.

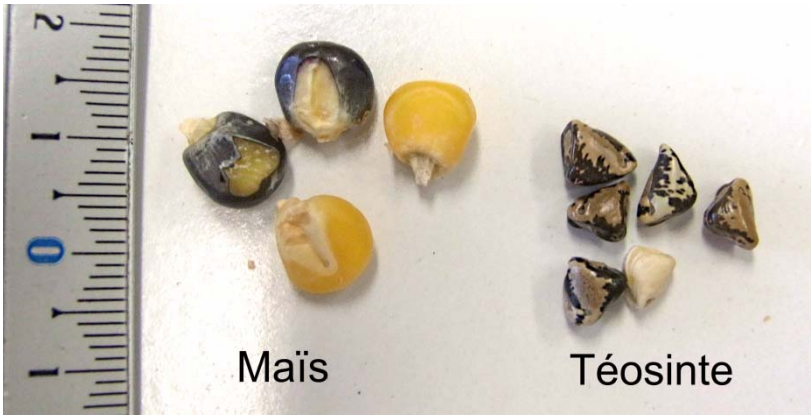
épi femelle de Téosinte

Structure et composition des grains

Masse des grains :

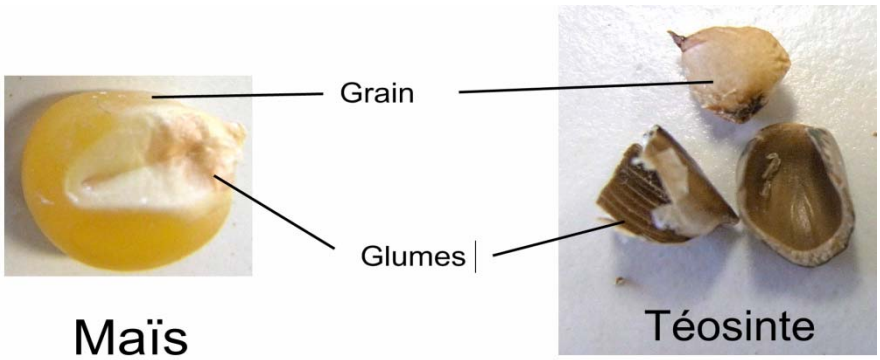
10 grains de Maïs = 2.7g

10 grains de Téosinte = 0.6 g

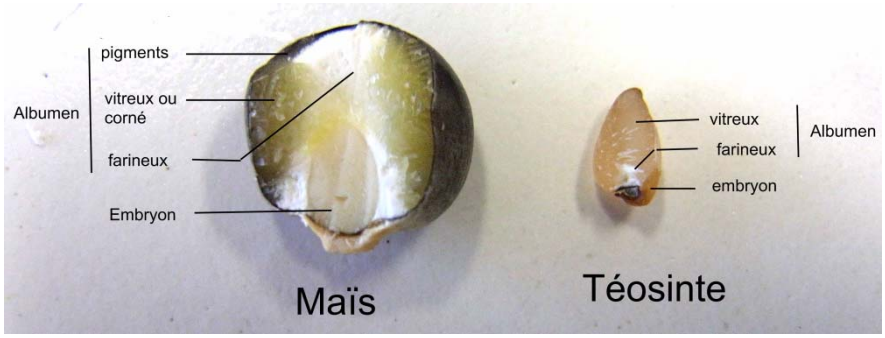


Les grains de Téosinte sont entourés d'une cupule = glumes soudées.

Les grains de Maïs possèdent des glumes réduites (qui se coincent entre les dents lorsque l'on mange les grains).



Coupes transversales dans des grains de Maïs et de Téosinte.



Expliquez pourquoi

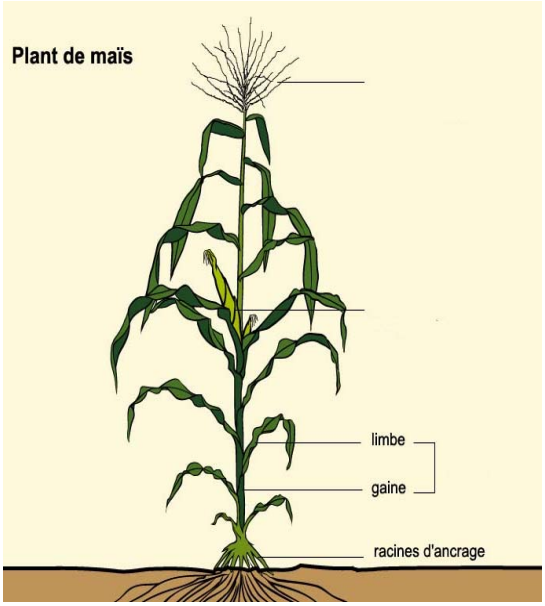
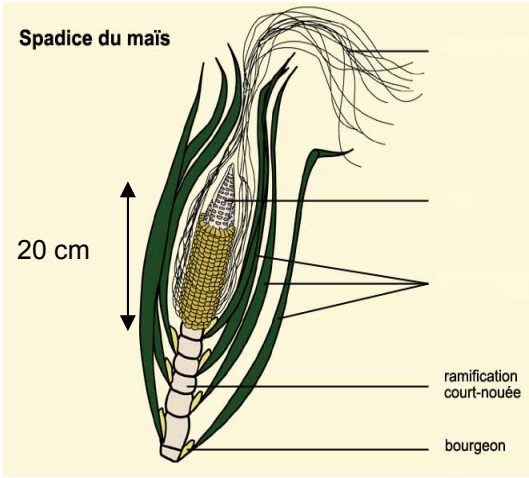
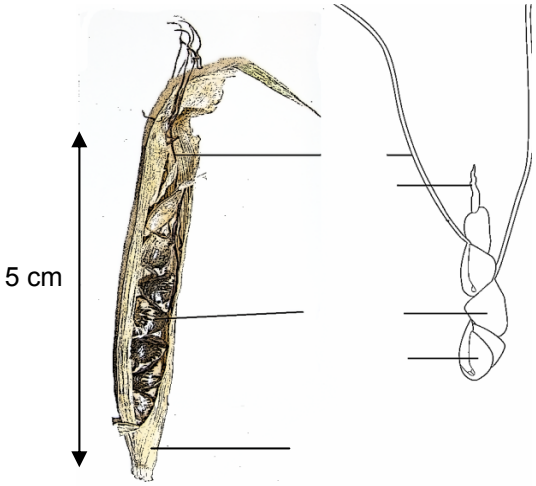
- les caractéristiques du maïs sont des avantages pour une plante cultivée
- la plante cultivée ne peut plus se reproduire à l'état sauvage

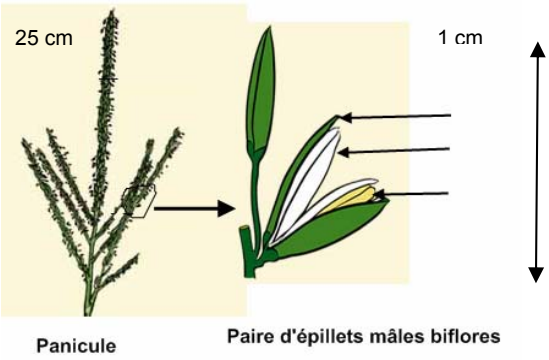
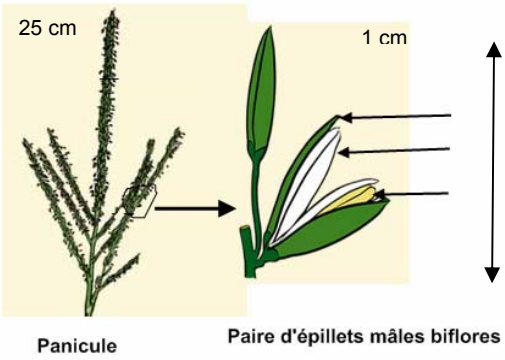
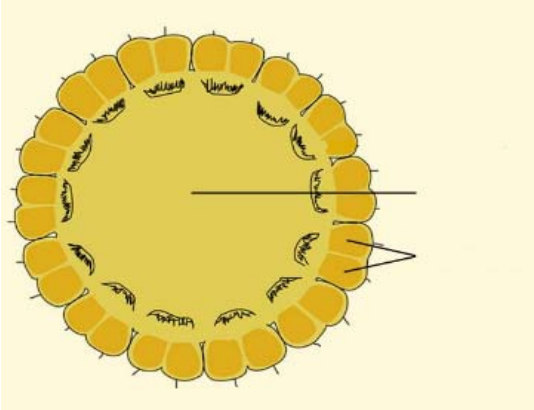
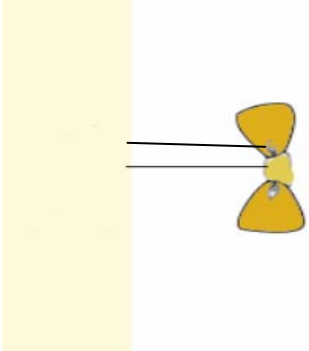
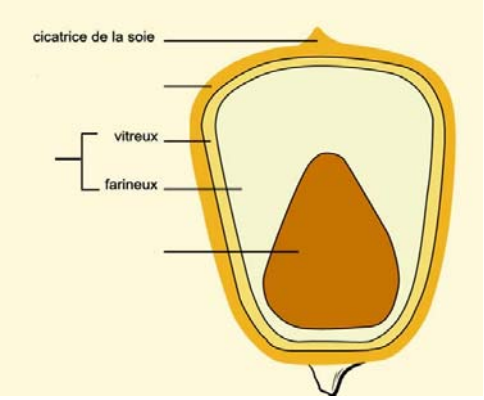
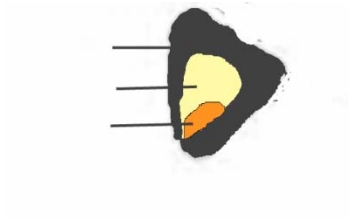
Croquis à compléter

Source des croquis du Maïs : www.afd.be/~plant-ch/mais.htm (autorisation d'utilisation des images accordée par M Tanguy de Tillesse Directeur AFD)

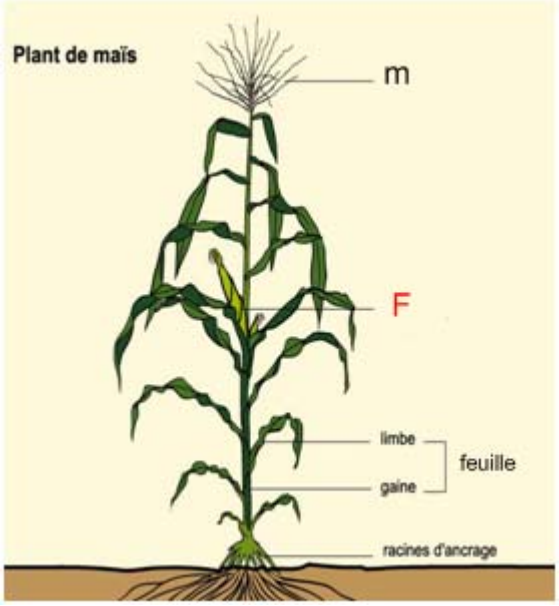
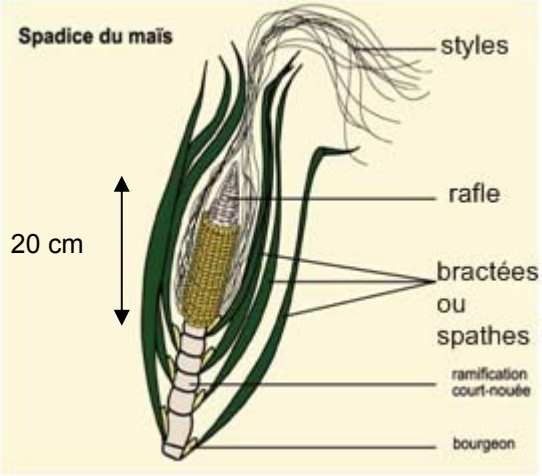
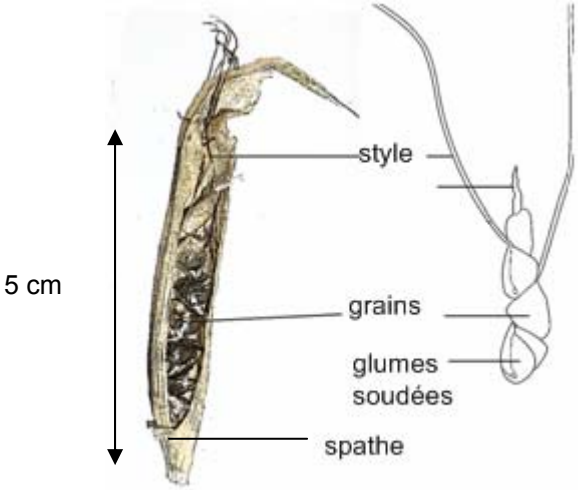
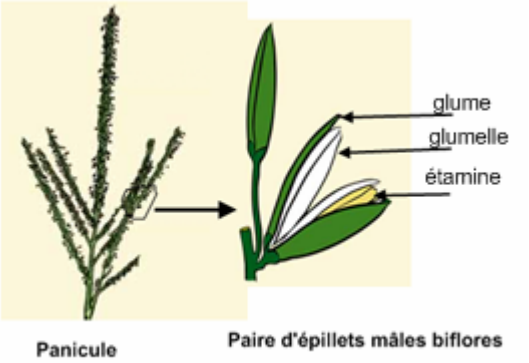
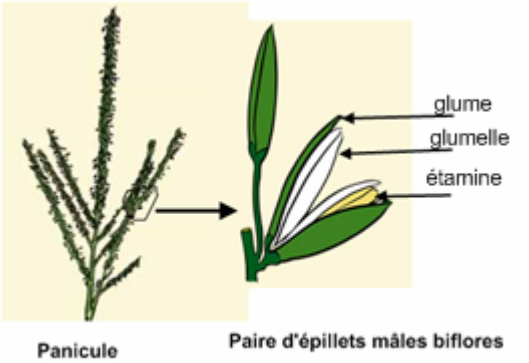
Source croquis plant de téosinte : www.inra.fr/annee_darwin/ressources_pedagogiques

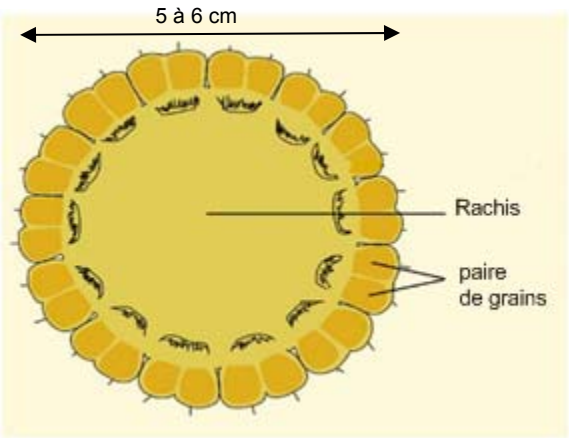
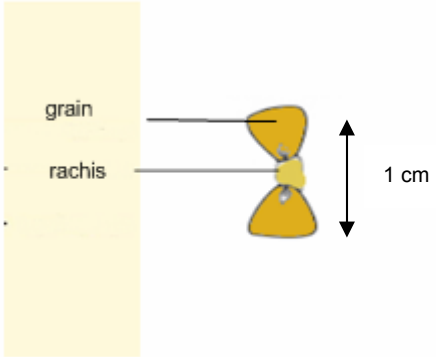
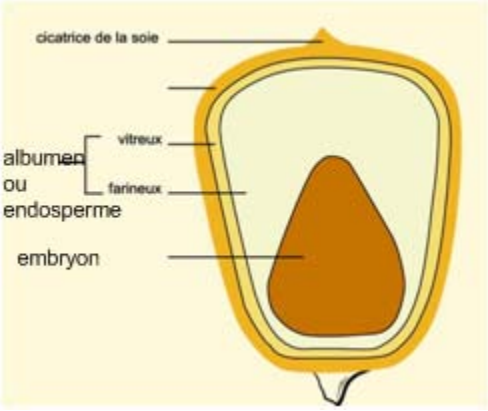
Autres croquis : réalisations personnelles

Niveaux de comparaison	Maïs	Téosinte
Architecture des plants Indiquez la position des inflorescences mâles (m) et femelles (F)		Plant de téosinte
Architecture des inflorescences femelles		

Niveaux de comparaison	Maïs	Téosinte
Architecture des inflorescences mâles		
Coupes transversales Des épis femelles		
Coupes longitudinales des grains ou caryopses		
Comportement des grains à maturité de l'épi femelle	Les grains de Maïs ne se détachent pas spontanément du rafle. Cette opération est réalisée au moment de la récolte par les agriculteurs.	Il n'y a pratiquement pas de rachis : les grains sont soudés les uns aux autres ; à maturité l'épi se désarticule et les grains tombent sur le sol.

Documents légendés

Maïs	Téosinte
	Plant de téosinte
	
	

Maïs	Téosinte
	
 Longueur = 0.8 cm Masse = 0.27 g Nombre de grains par épi = 500 Réserves de l'albumen : amidon • Glumes non soudées souples • Grains qui ne se détachent pas du rafle naturellement	 Longueur = 0.4 cm Masse = 0.06 g Nombre de grains par épi = 8 à 10 Réserves de l'albumen : amidon • Glumes soudées, résistantes qui protègent le grain • Grains qui se détachent

Éléments de correction

Expliquez pourquoi le Maïs est une céréale à la base de l'alimentation d'une grande partie de la population mondiale et des animaux d'élevage

L'amidon composant l'endosperme est une substance énergétique (glucides lents) à la base de la nourriture humaine. Le grain, ayant une teneur très faible en eau, se conserve d'une année sur l'autre et il peut facilement se réhydrater. Deux motivations de culture pour l'homme.

Recherchez le lien entre biodiversité chez le Maïs et son exploitation par l'Homme

Observation de la biodiversité

Faire le lien entre caractéristiques des différentes variétés et leur localisation géographique et leur utilisation par l'homme.

Expliquez pourquoi :

- les caractéristiques du maïs sont des avantages pour une plante cultivée
- la plante cultivée ne peut plus se reproduire à l'état sauvage

Comparaison :

- Ressemblances :

Épis mâles et femelles sur un même plant. Grains fixés sur un rachis, dont l'endosperme contient de l'amidon. Épis mâles qui se ressemblent.

- Différences :

Éléments comparés	Plante	Épis femelles	Glumes	Grains par paire ou simple	Nombre de rangées de grains
Maïs	Une tige principale qui porte au sommet un panicule. Des ramifications latérales très courtes portant des spadices	Rachis important, qui ne se désarticule pas Grand nombre de grains (jusqu'à 500) Epi 4 fois plus long	Glumes souples qui n'entourent pas le grain	Par paire, 2 fois plus longs et 4 à 5 fois plus lourds	Plusieurs rangées autour du rafle
Téosinte	Une tige principale portant au sommet un panicule, mais des ramifications latérales longues portant au sommet des panicules et sur des ramifications secondaires des épis femelles	Pratiquement pas de rachis, grains soudés entre eux qui se désarticulent à maturité peu de grains (8 à 10) épi : 4 fois moins long	Glumes indurées qui entourent le grain : protection	Simple	Deux rangées de grains

La plante cultivée produit un grand nombre de grains, plus gros et plus longs donc qui contiennent plus de réserves : la domestication a permis une augmentation de rendement.

A maturité ces grains ne tombent plus car l'épi ne peut pas se désarticuler, ils ne possèdent pas de cupule solide donc la récolte est complète (sans perte) et plus rapide.

De ce fait la dissémination des grains est impossible, la plante ne peut donc plus se reproduire à l'état sauvage.

Les grains de Téosinte tombent sur le sol, ils sont mangés mais la cupule résiste aux enzymes digestives, ce qui permet leur dissémination.

3. Biodiversité des plantes cultivées.

Objectif notionnel

Une même espèce cultivée comporte souvent plusieurs variétés sélectionnées selon des critères différents : c'est une forme de biodiversité.

Activités envisageables

Étude de la diversité des carottes cultivées et conservation de cette diversité

Vidéo : GNIS (www.gnis.fr/index/action/page/id/857)

Utilisations possibles :

- redécouverte de la biodiversité à travers un exemple commun
- découvrir l'intérêt de conserver la biodiversité à l'échelle génétique
- découvrir les différents acteurs concernés et lien avec la découverte des métiers.

Pour aller plus loin : justifier l'intérêt de cette biodiversité

Montrer la diminution globale de la biodiversité lors de la domestication.

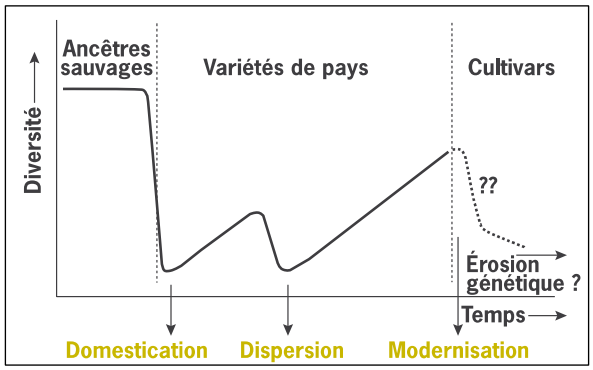


Figure 4 : Modèle de variations temporelles de diversité génétique pour une espèce de grande culture depuis les ancêtres sauvages jusqu'aux cultivars modernes (van de Wouw et al, *Genetic erosion in crops*, 2009) www.fondationbiodiversite.fr/les-programmes-frb/synthese-sur-les-indicateurs-de-biodiversite-cultivee

Différents évènements peuvent provoquer des goulots d'étranglement génétiques : par domestication des ancêtres sauvages, par la dispersion d'un nombre limité de variétés sur un nouveau territoire, ou par les techniques de création de cultivars.

La diversité trouvée dans les variétés de pays augmente souvent après le goulot d'étranglement initial.

D'après la littérature, la perte majeure de diversité génétique dans l'histoire du blé est survenue lors de sa domestication avec une réduction de 69 % de la diversité entre les formes sauvages tétraploïdes (Triticum dicoccoides) et l'espèce blé tendre hexaploïde (Triticum aestivum) qui en est issue.

Van de Wouw et al. ont réalisé une méta-analyse sur les variations de la diversité génétique chez 8 espèces de plantes cultivées à l'échelle mondiale dont le blé tendre, en utilisant des techniques moléculaires pour caractériser cette diversité. Ils citent deux périodes récentes pouvant présenter de nettes pertes de diversité génétique chez ces plantes cultivées :

• le remplacement des variétés de pays par les cultivars modernes qui intervient à des époques différentes selon les régions du monde ;

• la « révolution verte » : période d'intensification de l'agriculture dans les années 60 (engrais et pesticides de synthèse, mécanisation, irrigation) en association avec l'utilisation de variétés sélectionnées pour de hauts rendements dans ces conditions intensives. Appliqué d'abord aux pays du Sud, ce terme désigne par extension les mutations agricoles des pays du Nord au milieu du XXème siècle. Ces mutations se sont accompagnées d'une simplification du paysage variétal dans l'offre et l'utilisation, et un recul de la diversité génétique cultivée.

Ces deux périodes peuvent n'en faire qu'une dans certains pays en développement.

Quels indicateurs pour suivre la diversité génétique des plantes cultivées ?
Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité.
www.fondationbiodiversite.fr/les-programmes-frb/synthese-sur-les-indicateurs-de-biodiversite-cultivee

Montrer l'intérêt du maintien d'une certaine biodiversité chez les plantes cultivées.

Un risque élevé à l'homogénéité des cultures.

Exemple de la grande famine en Irlande (1845-1848)

- 1 million d'Irlandais décèdent et plus d'1 million émigrent entre 1845 et 1850.
- Principales causes :
  - monoculture de la pomme de terre associée à un faible choix variétal ;
  - venue d'Europe continentale du mildiou, un champignon appelé Phytophtora infestans, allié à l'humidité du climat, provoqua une forte chute, de l'ordre de 40 %, de la production de pomme de terre en 1845.

Montrer l'intérêt des ressources génétiques.

Pouvoir améliorer les principales variétés de plantes cultivées, adaptabilité à l'évolution des contraintes environnementales

Caractères introduits par hybridation interspécifique

4 Euphytica (2007) 156:1–13

Table 1 Use of crop wild relatives in the past 20 years in released cultivars of 13 crops of international importance[a]

Crop	Pest and disease resistance	Abiotic stress	Yield	Quality	Male sterility or fertility restoration	Total number of contributed traits
Cassava	+	–	–	+	–	3
Wheat	++++++++++	–	+	+	–	9
Millet	+	–	–	–	+	3
Rice	+++++++	+++	+	–	+	12
Maize	+	–	–	–	–	2
Sunflower	+++	+	–	–	+	7
Lettuce	+++	–	–	–	–	2
Banana	++	–	–	–	–	2
Potato	++++++	–	–	–	–	12
Groundnut	+	–	–	–	–	1
Tomato	+++++++++	++	–	++	–	55
Barley	–	+	–	–	–	1
Chickpea	–	+	–	–	–	2

[a] Plus signs indicate number of wild relatives that have contributed beneficial traits to crop varieties in each category of traits. Minus sign indicates wild relatives have not contributed beneficial traits in that category. Total number of individual traits obtained from wild species are indicated in the last column for each crop

Un exemple emblématique l'amélioration de la tomate

Un intérêt renforcé pour les maladies

Reem Hajjar & Toby Hodgkin, 2007

Figure 5 : Caractères introduits par hybridations interspécifiques.
UMR diversité et adaptation des plantes cultivées : INRA Montpellier www.bioveg.auf.org

La conservation de la biodiversité nécessite de développer des collections de ressources génétiques végétales.

Système français :

INRA : www.inra.fr/les_recherches/ressources_scientifiques/collections/vegetales

Ressources en ligne.

- Indicateurs de la biodiversité : www.fondationbiodiversite.fr/les-programmes-frb/synthese-sur-les-indicateurs-de-biodiversite-cultivee
- Famine irlandaise : http://fr.wikipedia.org/wiki/Famine_irlandaise_de_la_pomme_de_terre
- Les collections de ressources génétiques, un enjeu pour l'adaptation des espèces cultivées (JM Prosperi) : www.bioveg.auf.org/rubrique.php3?id_rubrique=8

4. Amélioration des plantes cultivées

Objectifs :

- Comprendre l'évolution des techniques de sélection de nouvelles variétés.
- Appliquer ses connaissances en génétiques

Documents

Document 1 : De la plante sauvage à la plante cultivée

L'origine de l'amélioration des plantes cultivées

Les plantes cultivées sont issues de plantes sauvages « domestiquées ». Parmi la grande diversité des variétés sauvages, l'agriculteur a repéré et choisi un certain nombre de caractères favorables à la culture et à la récolte. Ainsi pour les céréales ont été sélectionnées celles qui germaient rapidement, qui portaient les épis les plus gros et dont les épillets non caduques ne se dispersaient pas à terre. Ou pour le chou, des variations de forme ont été sélectionnés par les agriculteurs.

Cette méthode empirique de sélection consistant à repérer au sein d'une population les individus possédant les qualités que l'on recherche et à les utiliser pour la reproduction, porte le nom de sélection phénotypique ou sélection massale.

Document 2 : La sélection généalogique

La découverte de la sexualité des plantes (vers 1700) puis de la génétique au début du 20ème siècle a jeté les bases scientifiques de l'amélioration des plantes.

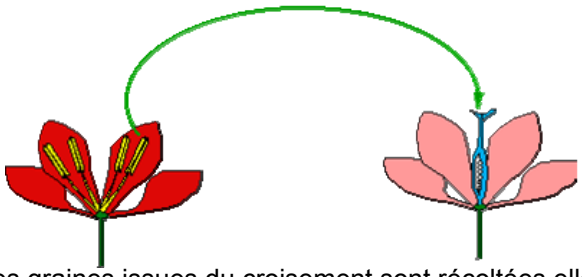
L'apparition d'une nouvelle variété n'est plus le fruit du hasard de l'hybridation naturelle ou de mutation. L'améliorateur ne se limite pas à exercer une seule pression de sélection, il dirige l'évolution en orientant l'hybridation.

L'hybridation classique consiste au croisement d'individu identifié comme étant de lignée pure présentant des caractères intéressants.

On réalise alors des pollinisations manuelles :

La lignée parentale choisie femelle, le « porte –graine », doit être castrée par ablation des anthères de la fleur (de l'épi dans le cas du blé) ;

Le pollen de la variété choisie mâle est apporté à l'aide d'un pinceau sur le stigmate de la variété femelle. Bien sur les floraisons doivent être synchronisées et la fleur fécondée protégée d'une fécondation non désirée (isolement sous un filet, etc.)



www.snv.jussieu.fr/bmedia/Pollinisation/index.htm

Les graines issues du croisement sont récoltées elles donneront naissance à des plantes F1.

Les plantes F1 toutes semblables, réunissent les deux génomes des parents et ne peuvent faire l'objet d'une sélection. Les graines de génération F2 qui seront produites par autofécondation des plants de F1 recombineront de façon diverses les caractères parentaux.

C'est dans la génération F2 que la diversité éclatera et c'est dans cette diversité que des phénotypes seront choisis car ils regrouperont les caractères intéressants des parents initiaux.

Par autofécondation on obtiendra des générations successives dans lesquelles seront sélectionnées à chaque fois les plants de phénotype recherché. Cette méthode de sélection généalogique (voir l'exemple chez le tournesol www.gnis-pedagogie.org/pages/tournesol/selectiontns/1.2.htm) permet d'aboutir à une variété de lignée pure possédant les caractères recherchés à peu prés au bout de 10 ans ; Cette méthode a permis de créer par exemple les principales variétés de blé commercialisées et reste encore largement employée.

Document 3 : Exemple de sélection après hybridation sur des plants de tomates

Dans une région au climat propice, on cultive deux variétés de tomates :

- l'une "A", à gros fruits
- l'autre "B", à petits fruits.

Les plants de la catégorie "A" se sont révélés sensibles à un champignon parasite : le Fusarium, qui entraîne une baisse importante de production. En revanche, les plants de la variété "B" sont résistants à ce champignon.

On demande à des agronomes de créer une nouvelle variété de plants de tomate donnant de gros fruits et résistants au Fusarium. Ils réalisent une série de croisements entre les deux variétés de plants de tomates "A" et "B".

A la première génération (F1), ils n'obtiennent que des plants de tomates résistants au Fusarium et qui produisent des petits fruits.

Les chercheurs réalisent alors un autre croisement de la génération F1 avec des plants de la variété "A". Ils obtiennent dans ces conditions à la deuxième génération (F2) les résultats suivants pour 1000 plants :

- 251 plants à petits fruits et résistants au Fusarium.
- 234 plants à petits fruits et sensibles au Fusarium.
- 270 plants à gros fruits et résistants au Fusarium.
- 245 plants à gros fruits et sensibles au Fusarium.

Bac S - Sujet de SVT - Session 2004 - Liban

Document 4 : Création de plantes transgéniques

Les techniques du génie génétique sont actuellement utilisées dans le but de produire de nouvelles variétés de plantes cultivées.

Exemples

Diverses variétés de riz transgéniques sont en cours d'essais :

• riz résistant à la larve de Scirpophaga incertulas, qui détruit par an une quantité de riz correspondant à l'alimentation de 100 à 125 millions de personnes ;

• riz résistant aux champignons parasites, qui éliminent aussi l'équivalent de la nourriture de 100 à 200 millions de personnes ;

• riz enrichi en béta-caroténe précurseur de la vitamine E en carence pour certaines populations.

Les tomates

Le légume en première position pour sa production mondiale est la tomate. Sa maturation dépend de la production, dans le fruit, d'éthylène qui déclenche diverses réactions biochimiques, aboutissant notamment au ramollissement du fruit (intervention d'une enzyme, la polygalacturonase). Aussi, pour supporter le transport, les tomates doivent être récoltées vertes, ce qui empêche le développement des arômes qui contribuent au goût.

Une tomate transgénique est apparue sur le marché en 1994 aux États-Unis. Elle ne produit plus l'enzyme responsable du ramollissement, et peut ainsi être cueillie mûre. Elle peut être récoltée à un stade de maturation plus avancé et donc offrir plus de goût au consommateur.

La pomme de terre

Elle occupe la quatrième place des cultures dans le monde, après le blé, le riz et le maïs. Sa production de protéines, par unité de temps et de surface, est supérieure aux autres plantes cultivées. La recherche continue pour la mise au point d'une variété transgénique résistante au mildiou, maladie due à un champignon, Phytophtora infestans.

Deux variétés de pommes de terre transgéniques sont commercialisées, l'une résistante à la larve de doryphore, l'autre à un virus.

Les agrumes

Ils sont très sensibles au gel. L'objectif est donc de mettre au point des variétés d'agrumes transgéniques résistantes au gel.

Les premiers essais d'expérimentation du processus ont été réalisés sur le tabac, plante modèle. On a obtenu des plants de tabac transgéniques dont les cellules sont protégées contre la formation de cristaux de glace. Pour cela le gène transféré a été isolé chez une variété de poisson (flet) qui produit une protéine permettant d'abaisser le seuil de température à partir duquel se forment des cristaux de glace.

Les OGM de l'avenir www.gnis-pedagogie.org/pages/docbio/chap2/6.htm

Questions possibles :

- Doc 1 et 2 : Relever dans les documents la différence entre la sélection phénotypique et la sélection généalogique.
- Doc 3 : Dans l'exemple de la création d'une nouvelle variété de tomates la F2 apporte-t-elle des plants du phénotype recherché ?
- Doc 3 : Expliquer à l'aide des connaissances en génétique pourquoi la sélection ne peut pas s'arrêter à ces individus de la F2 mais devra être poursuivie sur de nombreuses générations afin d'obtenir une variété nouvelle qui exprimera toujours le même phénotype de génération en génération.
- Doc 4 : Rappeler le principe de la transgénèse.
  Faire la liste des caractères sélectionnés pour la création de nouvelles variétés OGM.

Le maïs transgénique

Les étapes de la transgénèse, avantages et risques

Les **maïs Bt** sont des variétés de maïs qui ont été modifiées génétiquement par l'ajout du gène leur conférant une résistance aux principaux insectes nuisibles du maïs, entre autre une pyrale : la pyrale du maïs Ostrinia nubilalis. Le terme Bt fait référence au Bacillus thuringiensis dont on a extrait le gène codant la toxine Cry1Ab. En 2003, la surface de maïs transgénique Bt plus tolérante à un herbicide, occupe 12,3 millions d'hectares, correspondant à 18 % de la surface d'OGM totale cultivés dans le monde (source ISAAA, données 2003).

Consignes

- À l'aide du document 1, nommez sur le schéma (document 3) et expliquez chaque étape de la construction du Maïs transgénique résistant à la pyrale.
- Identifiez les avantages et les risques de la culture de Maïs transgénique énoncés dans le film proposé puis discutez-les à l'aide des informations fournies par le document 4.

Documents

Document 1

Les étapes de la transgénèse :

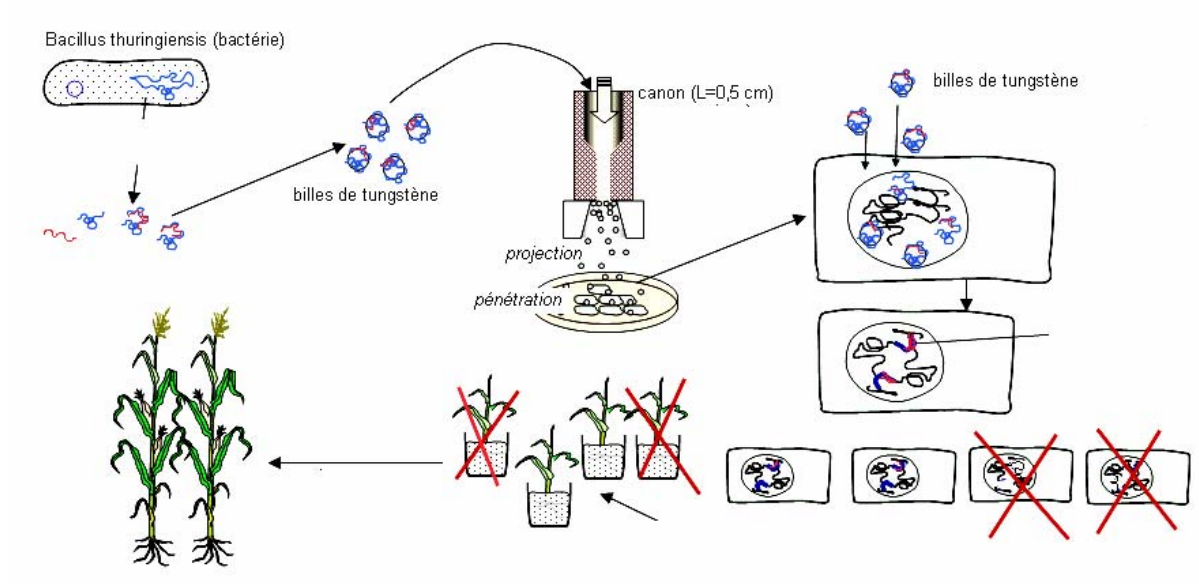
1. Repérer un caractère intéressant dans un organisme vivant et identifier la protéine.
2. Identifier et isoler le gène d'intérêt.
3. Réaliser et amplifier une construction génique
4. Transférer de l'ADN = Introduction d'un ADN étranger dans une cellule embryonnaire de Maïs.
5. Contrôler l'efficacité du transfert chez l'hôte.
6. Sélectionner des cellules exprimant le gène ajouté par tri.

Source : www.inrp.fr/Acces/biotic/biomol/transgen/html/etapes.htm

Document 2

Film : www.universcience-vod.fr/media/805/mgm---mais-genetiquement-modifie.html?page=3&cat_id=167

Document 3 : schéma des étapes de la construction du Maïs résistant à la pyrale



Source : http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/article.php3?id_article=2083

Document 4 : le maïs transgénique résistant à la pyrale favorise-t-il l'apparition de résistances chez les insectes ?

Des variétés de maïs ont été transformées par des firmes privées pour produire dans leurs tissus la toxine Cry1Ab de Bacillus thuringiensis (Bt), active contre la pyrale du maïs.

1. Cette stratégie de lutte offre plusieurs avantages :

• la toxine Cry1Ab n'est active que sur les insectes, aucune toxicité n'a été mise en évidence, ni pour les animaux domestiques ni pour l'homme.

• la toxine est produite principalement dans les parties vertes de la plante, qui ne sont jamais consommées par l'homme ;

• les premiers essais ont montré une remarquable efficacité de ces maïs (voir tableau ci-dessous) ;

Date d'infestation par la Pyrale	Maïs Bt Pourcentage de mortalité larvaire	Insecticide chimique : Chlorpyriphos-éthyl
24 juin	100%	72%
8 juillet	100%	98%
22 juillet		73%
6 août	100%	
20 août	93%	
Comparaison de l'efficacité de différents traitements contre la pyrale de maïs : d'après Labare et cl 1992		

• les larves vivent à l'intérieur de la plante, dès leur éclosion, elles sont éliminées avant d'avoir pu provoquer des dégâts ;

• la toxine insecticide produite dans la plante est protégée des conditions climatiques, pluie ou rayonnements ultraviolets.

En 1995 la culture du maïs transgénique a été autorisée aux Etats-Unis, en 1996 au Canada et en novembre 1997 en France. En 1997 elle a représenté 10 % des surfaces cultivées en maïs aux Etats-Unis.

2. Certaines questions se sont posées avant la mise sur le marché :

Quelles sont les conditions de limites d'efficacité de ces variétés ?

Existe-t-il des risques de contournement par la sélection d'insectes résistants ?

Y a-t-il des effets non intentionnels ?

• Les limites d'efficacité

La toxine insecticide produite par la plante bloque l'appareil digestif des larves de pyrale ou de sésamie, cette dernière est présente essentiellement dans le Sud de la France. Dans les zones méridionales, une deuxième génération de chenille de pyrale et de sésamie apparaît la même année. Il faut donc estimer l'efficacité de l'insecticide produit par la plante lors des infestations tardives (voir le tableau).

• Les risques de contournement

L'apparition de pyrales résistantes à la toxine de Bt, dans ce cas les chenilles ne seraient plus détruites, les agriculteurs devraient revenir à l'utilisation d'insecticides chimiques.

Pas de risque majeur pour les autres cultures, l'infestation des haricots ou des framboisiers par la pyrale est moins massive, elle est contrôlable par plusieurs molécules chimiques.

Les risques de sélection de populations de pyrale résistantes à Bt sont en principe plus élevés que dans le cas des insecticides chimiques, car tous les insectes qui ont consommé du maïs transgénique ont été en contact avec la toxine.

La probabilité et la vitesse de sélection d'insectes résistants dépendent :

- ○ du nombre de générations ;
- ○ de la concentration de la toxine dans la plante ;
- ○ de la fréquence initiale et de la «force» des éventuels gènes de résistance dans les différentes populations de pyrale ;

○ de la fréquence des accouplements des survivants d'un champ transgénique avec les papillons issus des champs voisins non transgéniques ;

○ du coût biologique d'acquisition de la résistance (femelles moins fécondes, développement plus lent...).

• Les effets non intentionnels

On ne connaît pas d'effets non intentionnels néfastes prévisibles sur les prédateurs naturels de la pyrale. Au contraire, on peut penser que l'utilisation de maïs Bt permettra le développement d'auxiliaires (= prédateurs) jusque là tués par les traitements chimiques. Peu à peu ils contribueront mieux à la régulation des populations de ravageurs.

3. Recherche de résistance chez les insectes

L'objectif général des travaux effectués à l'INRA :

• est d'identifier s'il existe dans les populations naturelles de pyrale des gènes susceptibles d'induire une résistance à la toxine présente dans le maïs transgénique.
Il s'agit d'établir la courbe de toxicité de la toxine de Bacillus thuringiensis pour les différentes populations sauvages de pyrale, la perte de la toxicité est indicateur de l'évolution de la résistance à Bt. L'établissement d'une telle courbe dans une région donnée est indispensable avant l'installation de plantes transgéniques.

• de caractériser les éventuels gènes de résistances afin de mettre au point des méthodes de détection simples avant qu'ils atteignent des fréquences permettant leur détection par des tests toxicologiques classiques.
Une sélection, commencée en 1993 et poursuivie en conditions expérimentales pendant 26 générations, n'a pas permis l'obtention d'une lignée de pyrale résistante à la toxine de Bt. À chaque génération, mille chenilles ont été traitées dans le but de trouver une résistance.

• d'étudier leur hérédité et leur maintien dans les populations dans différentes conditions expérimentales et ainsi d'évaluer les risques de dispersion géographique de gènes de résistance, s'ils apparaissent.

Ces différents travaux donneront des éléments de biovigilance. Ils contribueront au suivi des conséquences sur l'environnement de la culture du maïs Bt. Les «marqueurs» génétiques révélés par ces études pourront de plus servir aux investigations visant à identifier les relations entre les gènes de résistance et ainsi aider à la caractérisation de marqueurs génétiques de la résistance.

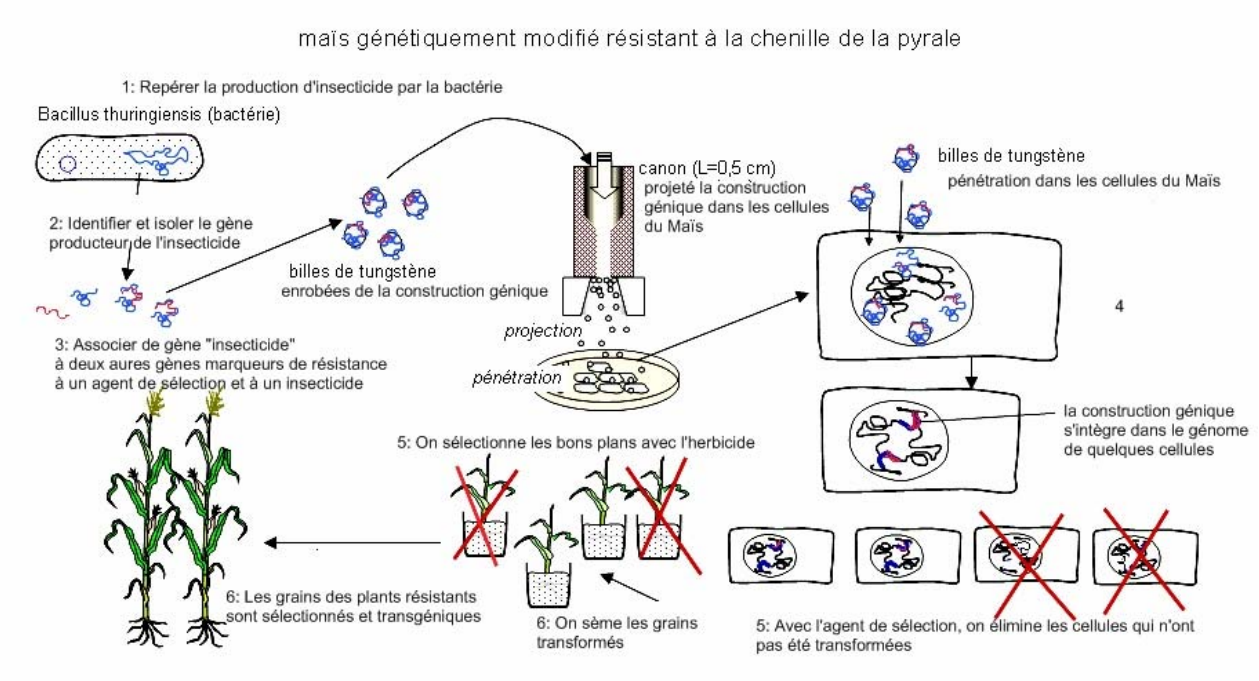
Extrait d'un article de Guy Riba (INRA Paris) et Josette Chaufaux (INRA Versailles)
www.inra.fr/internet/Directions/DIC/ACTUALITES/DOSSIERS/OGM/riba.htm

Évaluation type « partie 1 » du baccalauréat

A partir des connaissances et des informations issues du document fourni (document 4), présentez des arguments qui pourraient être évoqués en faveur ou à l'encontre de l'utilisation des biotechnologies telles que celles, que vous présenterez, qui ont conduit à la production du maïs transgénique de type Bt.

Éléments de correction

Étapes de la construction du Maïs transgénique résistant à la pyrale.



Avantages et risques de la culture de Maïs transgénique : d'après le film

avantages	risques
• production par le maïs d'un insecticide mortel pour la pyrale, le principal insecte ravageur du maïs. Le maïs en est donc protégé. • La protéine insecticide produite par le maïs n'est toxique pour l'Homme.	• risques pour l'environnement : On s'attend à voir apparaître une pyrale résistante à l'insecticide. Comment la combattrons-nous ? • risques pour la santé : des incertitudes demeurent à chaque apparition d'une nouvelle plante transgénique

Discussion sur les avantages et les risques en s'appuyant sur le document 3

- Sur le plan économique :
  - Les avantages :

    L'efficacité du maïs Bt est de 100% alors que lors d'un traitement avec des insecticides chimiques il se situe entre 72 et 98% pour les traitements du mois de juillet.

    En effet, cet insecticide est produit par la plante donc il ne peut pas être lessivé par les pluies et d'autre part, les larves vivants dans la plante consomment rapidement du maïs et meurent, sans avoir le temps de provoquer des dégâts d'où une efficacité maximale.

    Même dans les régions du sud de la France, ou les pyrales et sésamies ont deux générations de larves le maïs Bt garde son efficacité de 100% au début du mois d'août cette efficacité diminue légèrement à la fin de ce mois.
  - Les risques :

    Apparition de chenilles de pyrale résistantes à la protéine insecticide, cette molécule ne permettrait plus la mort des pyrales, le maïs Bt n'est plus protégé. Dans ce cas il faudrait revenir à une lutte chimique pour le maïs et cultures annexes (Haricots, framboisiers)
- Sur le plan de la santé :
  - Les avantages :

    La toxine insecticide est produite que par les parties vertes non consommées par l'homme et d'autre part cette protéine n'est pas toxique pour les mammifères et l'homme. Les traitements chimiques atteignent toutes les parties de la plante et sont plus nocifs pour l'homme.

◦ Les risques : ne sont évoqués dans le texte, mais existe-il des possibilités d'allergie à cette protéine ?

- Sur le plan environnement :

  ◦ Les avantages :

  Pas d'effet non intentionnels néfastes prévisibles sur les prédateurs naturels de la pyrale. Au contraire, on peut penser que l'utilisation de maïs Bt permettra le développement de prédateurs jusque là tués par les traitements chimiques, ce qui permettra la régulation des ravageurs.

  ◦ Les risques :

  L'apparition de pyrales résistantes à Bt est en principe plus élevée que dans le cas des insecticides chimiques, car tous les insectes qui ont consommé du maïs transgénique ont été en contact avec la toxine.

- Des études de L'INRA permettent :

  ◦ Avant une culture transgénique dans une région donnée, d'établir et de suivre la courbe de toxicité de la toxine de Bacillus thuringiensis pour les différentes populations sauvages de pyrale, afin de d'identifier des souches de pyrales résistantes.

  ◦ De caractériser les éventuels gènes de résistance : aucune lignée de pyrale résistante à la toxine de Bt n'a été détectée au bout de 26 générations de pyrales.

  ◦ D'évaluer les risques de dispersion des gènes de résistance dans les populations de pyrales.

- Cependant, plusieurs questions subsistent :

  ◦ Si les cultures transgéniques deviennent dominantes,

    - le nombre de pyrales diminuera fortement dans ce cas ses prédateurs pourront-ils continuer à se développer ?
    - est-ce que le nombre de pyrales résistantes augmentera ?
    - quel % de cultures peut-on admettre sans provoquer de perturbation sur l'environnement ?

  ◦ Les grains de maïs transgéniques ne peuvent se disséminer naturellement mais les grains de pollen peuvent polliniser les champs voisins, quelle distance faut-il prévoir pour éviter cela ?

<u>Proposition de corrigé pour le sujet de type baccalauréat</u>

Toute découverte et application de nouvelles biotechnologies doivent être mûrement réfléchies afin de mettre en balance les avantages et les inconvénients de leur exploitation. Après avoir présenté la méthode qui permet d'obtenir la création de plants transgéniques, la question des avantages et des risques qui se pose sera discutée.

Présentation des étapes de la transgénèse.

Quels sont ces avantages et risques ?

Tout d'abord, le premier avantage de créer un plant de maïs fabriquant un insecticide est d'ordre économique. En effet, limiter les ravages des cultures augmente le rendement et donc la quantité vendue. D'après le tableau, 100% des plants de maïs Bt ont survécu sur la période juin-juillet 1992. En revanche, on remarque que seuls 93% des plants de maïs Bt ont survécu en août, montrant les limites (quoique relatives) de la technique pour les infestations tardives.

Ensuite, aucun impact sur la santé humaine n'a été relevé. L'insecticide ingéré semble être inoffensif pour les animaux autres que la pyrale. A noter également que cet insecticide est majoritairement concentré dans les feuilles, non consommés. Cependant, nous n'avons pas de recul à long terme.

D'autre part, un avantage écologique a émergé bien que non intentionnel. Ce maïs Bt permet de limiter la quantité d'insecticides chimiques utilisés par les agriculteurs. De ce fait, un certain nombre d'espèces d'insectes ne sont plus tuées parmi lesquelles peuvent se trouver des prédateurs de la pyrale. Les populations de ravageurs pourraient ainsi se réguler d'elles-mêmes.

Néanmoins, un risque écologique majeur est que la pyrale du maïs développe une résistance à la toxine Bt. Nous n'aurions alors plus de moyens de lutte contre ce ravageur ce qui aurait un impact économique important. Cette résistance n'a cependant jamais été mise en évidence en laboratoire mais les chercheurs

poursuivent la mise au point de méthodes permettant de la détecter (courbe de sensibilité des insectes à la toxine Bt, recherche de la présence de gènes susceptibles d'induire cette résistance, étude des échanges génétiques entre population de pyrales.

Ainsi, la mise au point du maïs transgénique Bt a montré de nombreux avantages en terme de rentabilité et ne semble, à ce jour, ne pas avoir d'effets secondaires sur la santé et l'environnement. Il ne faut pas pour autant minimiser les risques possibles à venir pour pouvoir s'y préparer ; les chercheurs travaillent à développer des méthodes susceptibles de produire des éléments de biovigilance.

5. La domestication du Maïs : de la téosinte au Maïs

Objectifs :

Identifiez le lieu, l'âge approximatif et les modifications génétiques à l'origine de la domestication du Maïs

Des découvertes archéologiques

Document

Au début du XXe siècle, un botaniste, le Russe Nicolaï Ivanovich Vavilov, parcourt le monde à la recherche de plantes cultivables utiles. Au cours de ses voyages, il comprend que la zone d'origine d'une plante est probablement celle où poussent le plus grand nombre de variétés de celle-ci. En suivant ce raisonnement, il situe en particulier l'origine du maïs en Mésoamérique (du Mexique au Costa-Rica).

Après Vavilov, plusieurs botanistes américains s'intéressent à l'origine du maïs, et certains émettent l'hypothèse que son ancêtre sauvage est la Téosinte, une plante fourragère qui pousse notamment au Mexique et au Guatemala.

Des découvertes archéologiques :

Dolores Piperno, de la Smithsonian Institution, et Kent Flannery, de l'université du Michigan, ont daté de 4250 avant notre ère environ trois spécimens de maïs très primitifs trouvés à Guila Naquitz, un abri sous roche de la vallée d'Oaxaca au Mexique. Le rachis rigide de ces trois spécimens prouve, sans contestation possible, qu'ils appartiennent à une espèce qui dépend de l'homme pour sa survie. La domestication de la Téosinte était donc déjà bien avancée il y a plus de 6 000 ans.

www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=12260

Question :

Expliquez comment le lieu et l'âge de la domestication du Maïs ont été établis.

Éléments de correction :

Le lieu : en méso- Amérique, région dans laquelle on trouve le plus grand nombre de variétés de Maïs, les croisements possibles avec les différentes variétés de Téosinte peuvent expliquer cette diversité.

L'âge : 6000 ans, découverte d'épis possédant des rachis solides (donc de Maïs) datés de 4250 ans au Mexique.

Les caractéristiques génétiques à l'origine de la domestication du Maïs

1. **La position et le nombre de gènes impliqués dans les différences morphologiques entre la Téosinte et le Maïs**

Dans les années 1930, le généticien George Beadle en apporte les premiers indices : en croisant les deux plantes, il obtient des hybrides fertiles.

Dans les années 1970, il collecte plus de 70 kilogrammes de graines de Téosinte, Il utilise ces graines dans des cultures expérimentales, où il réalise des milliers de croisements, grâce auxquels il conclut le nombre de gènes impliqués dans les différences morphologiques entre la Téosinte et le Maïs.

A partir des années 1980, John Doebley, aujourd'hui à l'université du Minnesota, entreprend des études génétiques qui confirment et précisent les conclusions de Beadle.

www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=12260

Question :

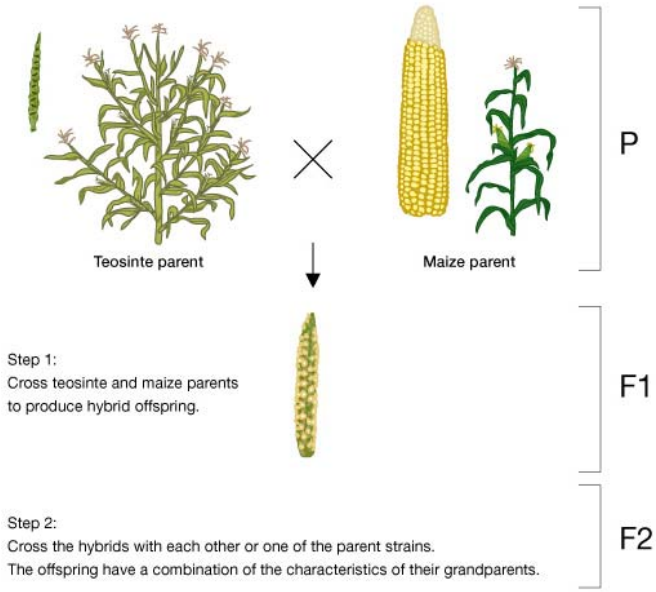
Identifiez le nombre de gènes impliqués dans la domestication du Maïs en utilisant la méthode de M George Beadle (exploitation du document 1), puis précisez ces conclusions à l'aide la carte génétique établie par M John Doebley (exploitation du document 2)

Document 1 : Les croisements réalisés par George Beadle

À l'issu d'un croisement entre le Maïs et la Téosinte, on obtient de hydrides F1.
Ils présentent un mélange des caractéristiques entre les deux variétés.

Le croisement des individus F1 entre eux donne naissance à la génération F2où l'on retrouve des individus présentant le phénotype des parents Téosinte ou Maïs.

Les résultats de Beadle : sur 50 000 individus F2, environ 1/500 présentent le phénotype des parents, les autres présentent des phénotypes intermédiaires.



Le modèle mendellien :

Si les différences morphologiques sont dues à un seul gène, la proportion P des génotypes Téosinte ou Maïs en F2 s'obtient à l'aide d'un échiquier de croisement F1 x F1.

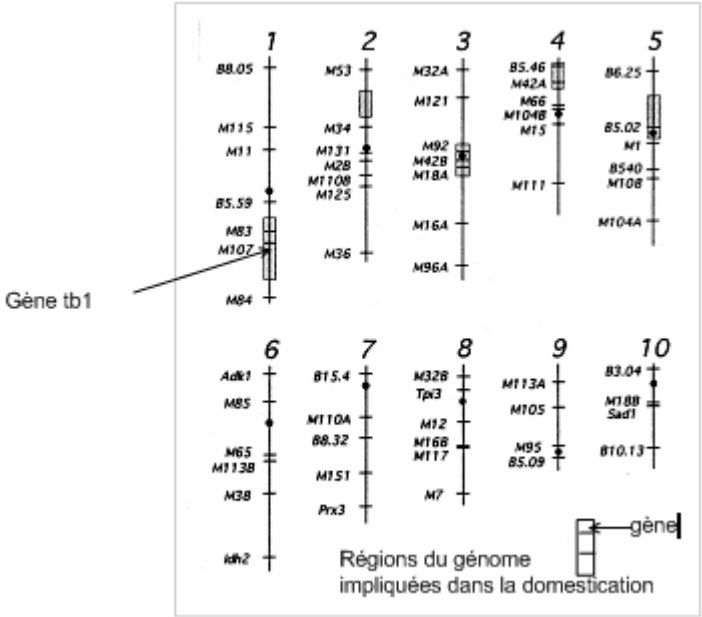
Si les différences morphologiques sont dues à deux gènes (non liés) : la proportion pour obtenir des génotypes Téosinte ou Maïs est égale P x P.

Sources :

• 2005 Holiday Lectures on Science - Evolution: Constant Change and Common Threads (lecture 3) www.hhmi.org/biointeractive/dvd

• Genetic Science Learning Center (1969, December 31) The Evolution of Corn. *Learn.Genetics*. Retrieved October 2, 2012, from http://learn.genetics.utah.edu/content/variation/corn

Document 2 : La carte génétique du Maïs avec les régions du génome impliquées dans la domestication établie grâce à des marqueurs moléculaires (10 chromosomes différents).



JohnN DOEBLEY *et al*, Genetic and morphological analysis of a maize-teosinte F2 population: Implications for the origin of maize, *Proc. Natl. Acad. Sci.* USA Vol. 87, pp. 9888-9892, December 1990, Evolution

Éléments de correction :

Document 1 :

Les résultats de Beadle : sur 50 000 individus de F2, environ 1/500 présentent le phénotype des parents, les autres présentent des phénotypes intermédiaires.

Le modèle mendellien :

Si les différences morphologiques sont dues à un seul gène : **donnez la proportion P** des génotypes Téosinte ou Maïs en F2 à l'aide d'un échiquier de croisement.

Si les différences morphologiques sont dues à deux gènes (non liés) : la proportion pour obtenir des génotypes Téosinte ou Maïs est égale P x P.

Nombre de gènes différents selon le modèle Mendellien

Si un seul gène différent, la Téosinte produit un seul type de gamète (T) ainsi que le Maïs (M).

Les hybrides F1 sont hétérozygotes, ils produisent les deux types de gamètes.

Echiquier de croisement F1 x F1 : pour obtenir la génération F2.

Gamètes de F1	M	T
T	T/M	T/T
M	M/M	T/M

La proportion P du génotype Téosinte ou Maïs $= \frac{1}{4}$

- Si deux gènes différents : la proportion P du génotype Téosinte ou Maïs $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$
- Si trois gènes différents : la proportion P du génotype Téosinte ou Maïs $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$
- Si quatre gènes différents : la proportion P du génotype Téosinte ou Maïs $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{256}$
- Si cinq gènes différents : la proportion P du génotype Téosinte ou Maïs $= \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4} = \frac{1}{1024}$

Si on confronte les résultats de Beadle en F2 : 1/500 présentent le phénotype des parents phénotypes Téosinte ou Maïs cela signifie qu'ils ont le génotype des parents donc **4 à 5 gènes sont responsables de la domestication du Maïs**.

Document 2 :

Ces résultats sont confirmés par les études à l'aide de marqueurs moléculaires, **il y a bien 5 régions du génome qui sont impliquées dans la domestication**, mais ces régions peuvent posséder plusieurs gènes liés.

2. L'origine de l'architecture du Maïs et de la Téosinte

John Doebley a identifié un gène situé sur le chromosome 1 appelé tb1 = téosinte branched1 qui intervient dans l'architecture des plants (voir document 2)

Document 3 : Les croisements réalisés par John Doebley

Grâce à une mutation le gène tb1 du Maïs est rendu non fonctionnel.

Le mutant obtenu (homozygote pour ce gène) présente le phénotype ci-dessous.

Ce mutant est croisé avec un Maïs normal (Homozygote, 2 allèles tb1 Maïs).

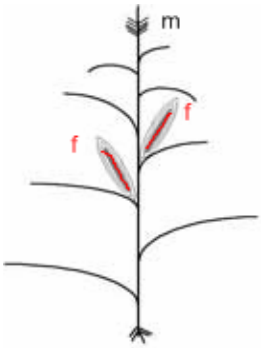
En F1 on obtient 100% phénotypes normaux et en F2 : (F1 x F1) 3/4 de phénotypes normaux et 1/4 phénotypes mutants.

Ce mutant est croisé avec une Téosinte (Homozygote, 2 allèles tb1 Téosinte)

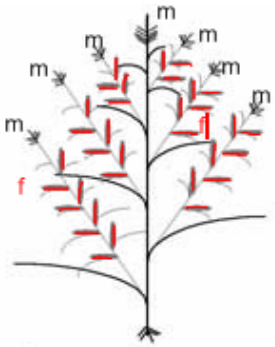
En F1 on obtient 100% de phénotypes Téosinte et en F2 : (F1xF1) 3/4 de phénotypes Téosinte et 1/4 de phénotypes mutants.

Source: John Doebley www.agron.missouri.edu/mnl/68/138doebley.html

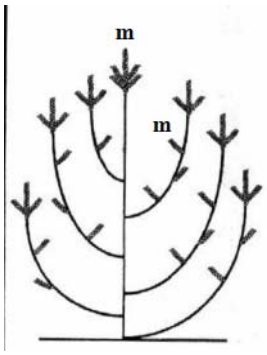
Différentes architectures des plants :



Maïs



Téosinte



Mutant

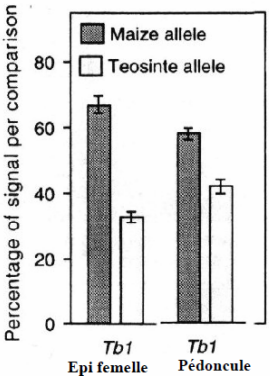
NB : m= inflorescence mâle, f= inflorescence femelle

Document 4 : La variabilité des protéines tb1

Étude des séquences des protéines issues de la transcription puis de la traduction du gène tb1 de quelques espèces de Maïs et de Téosinte à l'aide des séquences ci-dessous et du fichier joint utilisable avec le logiciel ANAGENE pour les comparer.

http://phylota.net/cgi-bin/sql_getcluster.cgi?ti=4575&cl=62&ntype=1&db=184

Document 5 : Le dosage de la quantité d'ARNm du Maïs et de la Téosinte



Source: John Doebley, Adrian Stec et Lauren Hubbard

Question :

Expliquez le rôle du gène tb1 sur l'architecture des plants de Téosinte et de Maïs et son mode d'action (exploitation du document 3)

Éléments de correction :

Document 3 :

Lorsque le gène tb1 est in-fonctionnel la plante possède des branches latérales comme la Téosinte mais uniquement avec des inflorescences mâles, alors que la Téosinte possèdent des inflorescences femelles sur les branches latérales avec une inflorescence mâle au sommet. Le Maïs possède des branches latérales très courtes au sommet desquelles se trouvent des inflorescences femelles.

Donc ce gène permet la formation d'inflorescences femelles sur les branches latérales et limite le développement de rameaux latéraux.

Les croisements : mutant x Téosinte et mutant x Maïs

En F1 : phénotypes respectivement de la Téosinte ou du Maïs donc les allèles de la Téosinte (tb1 téosinte) et du Maïs (tb1 Maïs) s'expriment et sont à l'origine du phénotype ils sont dominants.

En F2 : Les % = ¾ de phénotypes Téosinte ou Maïs et ¼ de mutants

Explication des résultats : échiquier de croisement F1 x F1 :

Gamètes	tb1	m
tb1	tb1/ tb1	m/ tb1
m	m/ tb1	m/m

L'architecture du Maïs et de la Téosinte est bien gouvernée par un gène appelé tb1.

Chez le Maïs la croissance des branches latérales et la formation des épis mâles au sommet est réprimée.

Chez la Téosinte cette répression est moindre les branches latérales longues et l'inflorescence mâle au sommet sont maintenues, mais il n'y a pas formation d'inflorescences femelles.

Document 4 :

Comparer les séquences des protéines issues de la transcription puis de la traduction de quelques espèces de Maïs et de Téosinte à l'aide des séquences ci-dessous et du logiciel ANAGENE

Les séquences des protéines codées par le gène de la téosinte et de Maïs présentent de très fortes similitudes : au maximum 3 différences sur 132 aa

On observe aussi que la protéine tb1 de téosinte 4 à la même séquence que la protéine tb1 de Maïs 1.

Les différences phénotypes ne proviennent pas de la séquence d'aa de la protéine tb1.

Document 5 :

Dans l'épi femelle et dans le pédoncule, on observe que le % d'expression du gène tb1 est différent, pour le Maïs cette expression est plus grande (x2 dans l'épi femelle et par 1.5 dans le pédoncule). Les différences d'architecture sont dues à des différences d'intensité d'expression de gènes communs.

Anagène - Fenêtre Edition

Teosinte 1
; Type 1
; Dec 0
; gene=tb1
; codon_start=3
; product=teosinte branched protein 1
; protein_id=AAK30105.1
; db_xref=GI:13560560
; translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGYGDGGGNYYCQEQWE
LGGVVFQQNSRFY
;-

Teosinte 2
; Type 1
; Dec 0
; gene=tb1
; codon_start=3
; product=teosinte branched protein 1
; protein_id=AAK30112.1
; db_xref=GI:13560574
; translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGYGDGGGNYYCQEQWE
LGGVVFQQNSRFY
;-

Teosinte 3
; Type 1
; Dec 0
;/gene=tb1
;/codon_start=3
;/product=teosinte branched protein 1
;/protein_id=AAK30107.1
;/db_xref=GI:13560564
;/translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLGHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGYGDGGGNYYCQEQWE
LGGVVFQQNSRFY
;-

Teosinte 4
; Type 1
; Dec 0
;/gene="tb1"
;/codon_start=3
;/product="teosinte branched protein 1"
;/protein_id="AAK30109.1"
;/db_xref="GI:13560568"
;/translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGGGYGDGGGNYYCQEQ
WELGGVVFQQNSRFY
;-

Maïs 1
; Type 1
; Dec 0
;/gene="tb1"
;/codon_start=3
;/product="teosinte branched protein 1"
;/protein_id="AAK30124.1"
;/db_xref="GI:13560598"
;/translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGGGYGDGGGNYYCQEQ
WELGGVVFQQNSRFY
;-

Maïs 2
; Type 1
; Dec 0
;/gene="tb1"
;/codon_start=3
;/product="teosinte branched protein 1"
;/protein_id="AAK30117.1"
;/db_xref="GI:13560584"
;/translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASV
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGYGDGGGNYYCQEQWE
LGGVVFQQNSRFY
;-

Maïs 3
; Type 1
; Dec 0
;/gene="tb1"
;/codon_start=3
;/product="teosinte branched protein 1"
;/protein_id="AAK30121.1"
;/db_xref="GI:13560592"
;/translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGGGYGDGGGNYYCQEQ
WELGGVVFQQNSRFY
;-

Maïs 4
; Type 1
; Dec 0
;/gene="tb1"
;/codon_start=3
;/product="teosinte branched protein 1"
;/protein_id="AAK30122.1"
;/db_xref="GI:13560594"
;/translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGYGDGGGNYYCQEQWE
LGGVVFQQNSRFY
;-

Maïs 5
; Type 1
; Dec 0
;/gene="tb1"
;/codon_start=3
;/product="teosinte branched protein 1"
;/protein_id="AAK30115.1"
;/db_xref="GI:13560580"
;translation=
DKETRAKARERARERTKEKHRMRWVKLASAIDVEAAAASG
PSDRPSSNNLSHHSSLSMNMPCAAAELEERERCSSALSN
RSAGRMQEITGASDVVLGFGNGGGGYGDGGGNYYCQEQ
WELGGVVFQQNSRFY

6. Comparaisons, à différentes échelles, de carottes cultivées avec leur équivalent sauvage.

Objectifs

Objectifs notionnels

- La sélection exercée par l'Homme sur les plantes cultivées se retrouve à différentes échelles : échelle générale, échelle moléculaire et génétique.
- Les caractéristiques génétiques retenues sont différentes de celles qui sont favorables pour les plantes sauvages : ce sont les caractéristiques qui profitent à l'homme qui sont valorisées.

Objectifs méthodologiques

- Réaliser une observation d'échantillon.
- Réaliser un dessin d'observation.
- Suivre un protocole.
- Présenter des résultats d'observations dans un tableau.

Données et matériel

Données générales

Des échantillons de carottes cultivées et des échantillons de carottes sauvages avec fanes.

On peut trouver différentes variétés de carottes cultivées chez les primeurs bio.

La Carotte sauvage, Daucus carota, est une plante bisannuelle de la famille des Apiacées, donc on peut en trouver toute l'année.

Figure 1 : Carotte sauvage

Matériel pour étudier les échantillons :

- Lampe
- Loupe à main
- Ciseaux
- Lame de scalpel
- Descripteur des carottes sauvages et cultivées (ISBN 92.9043.396.5)

Données moléculaires.

Mise en évidence des caroténoïdes :

- Matériel standard de chromatographie
- Documents sur les caroténoïdes :

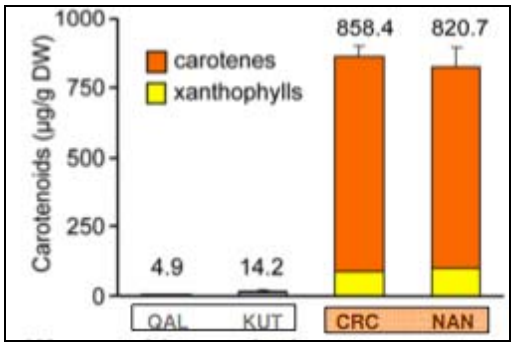


Figure 2 : Caroténoïdes présents chez la carotte
(QAL : carotte blanche sauvage, KUT : carotte blanche cultivée, CRC et NAN : carotte orange cultivée)

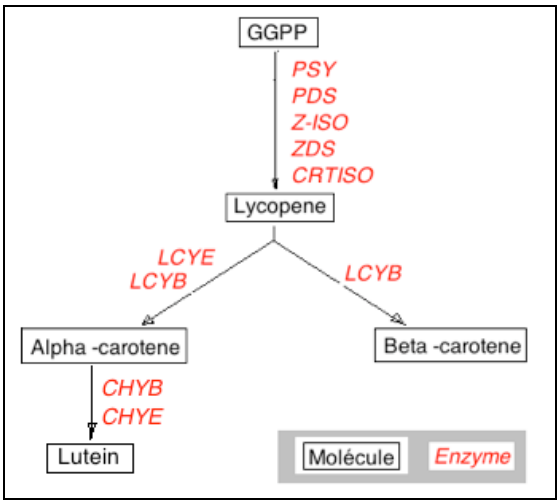


Figure 3 : Voie de biosynthèse des principaux caroténoïdes (simplifiée)

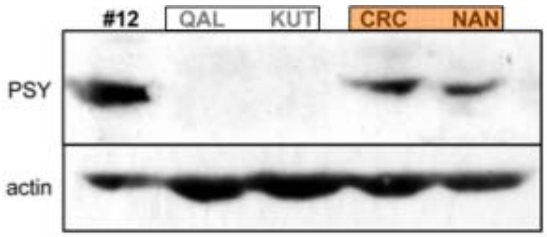


Figure 4 : Présence de l'enzyme PSY chez différentes carottes (Western blot)
(QAL : carotte blanche sauvage, KUT : carotte blanche cultivée, CRC et NAN : carotte orange cultivée)

Document 1 : Importance des carotènes dans l'alimentation humaine

L'organisme peut transformer en vitamine A certains caroténoïdes provenant des végétaux. Parmi eux, le bêta-carotène est de loin la provitamine A la plus importante.

La vitamine A est un nutriment essentiel au maintien de la santé oculaire. Une carence en vitamine A entraîne une maladie oculaire et peut conduire à la cécité. En fait, le déficit en vitamine A est la plus grande cause évitable de cécité infantile. Les personnes les plus touchées sont les enfants âgés de 6 mois à 6 ans, les femmes enceintes et allaitantes.

Une carence en vitamines A est la raison pour laquelle 350 000 enfants perdent la vue chaque année. Environ 140 millions d'enfants originaires de 118 pays différents font des carences en vitamines A. 1/4 des décès infantiles et 30% des cas de cécité dans le monde sont causés par une carence en vitamines A.

Données génétiques.

- Documents sur les gènes PSY 1 et PSY2 :

Figure 5 : Localisation de quelques gènes codant pour des enzymes participant à la synthèse des caroténoïdes chez la carotte.

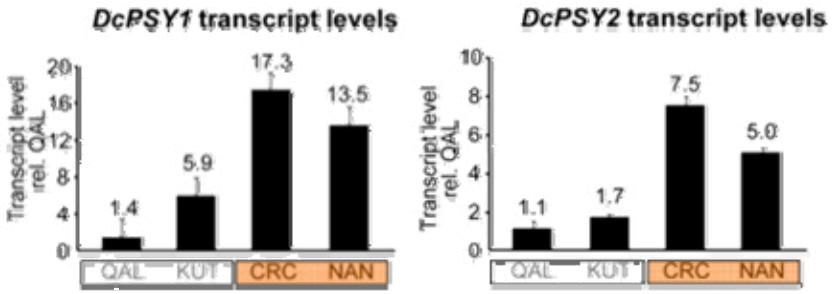


Figure 6 : Taux d'expression des gènes codant pour la synthèse de l'enzyme PSY
(QAL : carotte blanche sauvage, KUT : carotte blanche cultivée, CRC et NAN : carotte orange cultivée)
(Maass et al, 2009)

- Séquences des gènes codant pour l'enzyme PSY à traiter dans Anagène

http://svt.ac-montpellier.fr/spip/IMG/zip/24bis-Comparaisons_carotte_Genes_PSY1_PSY2-2.zip

Activités envisageables

Organisation

En fonction du nombre d'échantillons disponibles : TP mosaïque ou TP tournant ou TP classique.

Exemple de démarche

L'Homme cultive des plantes qu'il a sélectionnées depuis des générations.

Dans un premier temps, on se propose de montrer que la sélection s'exerce aux différentes échelles du phénotype et du génotype. Puis on montrera que les caractères retenus sont ceux qui présentent un intérêt pour l'Homme.

Pour se faire, nous étudierons le cas de la carotte dont l'Homme consomme la racine riche en carotène.

Activité 1 : La sélection de la carotte par l'Homme se retrouve à différentes échelles.

Pour déterminer les caractères sélectionnés par l'Homme, nous allons comparer, à différentes échelles, la carotte domestique à son équivalent sauvage, et relever dans un tableau les différences observées aux différentes échelles :

- Échelle générale :
  - Dessiner ou décrire la carotte domestique et son équivalent sauvage.
  - En option : Réaliser différentes coupes dans différents organes. Dessiner les coupes.
- Échelle moléculaire :
  - Extraire, à la centrifugeuse, le jus des racines de carotte sauvage puis cultivée.
  - Réaliser une chromatographie pour mettre en évidence les caroténoïdes ou analyse de la figure 2.
  - Analyser les documents (figures 4 et 5) pour montrer les différences dans l'équipement enzymatique (PSY)
- Génotype :
  - Localiser les gènes codant pour des enzymes participant à la biosynthèse des caroténoïdes (figure 4).
  - Localiser les gènes codant pour l'enzyme PSY (figure 5).
  - Comparer l'activité de ces gènes chez les carottes blanches et les carottes oranges (figure 6).
  - Comparer avec alignement dans anagène les séquences nucléotidiques des gènes PSY1 et PSY2.

Activité 2 : Les caractéristiques retenues par l'Homme sont celles qui lui profitent.

- Montrer l'importance des carotènes pour l'Homme (Document 1).
- En utilisant les informations relevées dans l'activité 1, montrer en quoi la carotte domestique répond à ces attentes.

Exemple de production

Activité 1 : La sélection de la carotte par l'Homme se retrouve à différentes échelles.

Échelle	Caractéristiques	Carotte blanche sauvage	Carotte orange cultivée
Générale	Appareil caulinaire	Feuilles finement divisées	Feuilles finement divisées
	Appareil racinaire	• Racine pivot • Grèle • Blanc-beige • Ligneuse	• Racine pivot • Très développé • Orange • Souple et « juteuse »

Échelle	Caractéristiques	Carotte blanche sauvage	Carotte orange cultivée
Moléculaire	Teneur en carotène	Réduite	Importante (Béta carotène essentiellement)
	Synthèse des caroténoïdes : enzyme PSY	Absente	Présente
Données génétiques	Synthèse des caroténoïdes		• De nombreux gènes participent à la synthèse des caroténoïdes chez la carotte. Ils sont disposés sur différents chromosomes. • 2 gènes codent pour l'enzyme PSY : le gène PSY1 sur les chromosomes 3 et le gène PSY2 sur les chromosomes 8. • Les séquences peptidiques de ces 2 gènes présentes 47,8% d'identité : ces gènes sont apparentés.
		• Les gènes PSY1 et PSY2 sont présents mais s'expriment très peu.	• les gènes PSY 1 et 2 s'expriment beaucoup.

Tableau 1 : Comparaison carotte sauvage/carotte cultivée à différentes échelles

Activité 2 : Les caractéristiques retenues par l'Homme sont celles qui lui profitent.

Principalement pour sa vision, l'Homme à besoin d'un apport régulier et suffisant en carotène.

De manière empirique ou volontaire, il a sélectionné les carottes produisant le plus de carotènes ;

La quantité de carotène stockée dans la racine de carotte domestique est importante grâce à :

- la présence d'un grand nombre de gènes participant à la synthèse des caroténoïdes ;
- la duplication/transposition de certains gènes participant à cette synthèse (gènes PSY 1 et 2) ;
- l'expression importante des gènes participant à cette synthèse ;
- le développement du volume de la racine (zone de stockage).

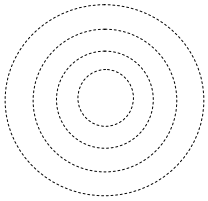
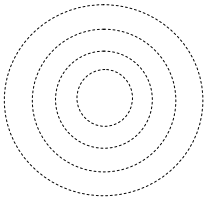
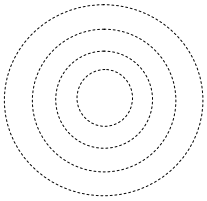
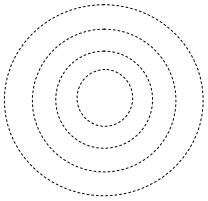
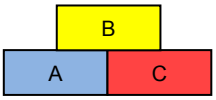
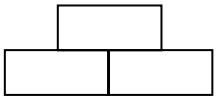
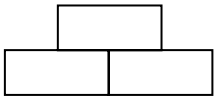
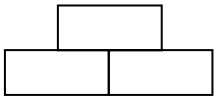
Ressources en ligne

- Pour étudier la structure d'un fruit ou d'un légume du marché : www.snv.jussieu.fr/bmedia/Marche/index.html
- Les caroténoïdes : http://mon.univ-montp2.fr/claroline/backends/download.php?url=L2Nhcm90ZW5vaWRlc18wNSYwOC0wNC0yMDExLnBkZg%3D%3D&cidReset=true&cidReq=FLBI456_001
- Vitamine A et santé humaine : www.provisu.ch/PROVISU/Structure/C18.654.521.500.133.628.html
- Séquences des gènes PSY 1 et PSY 2 : http://robust.genome.com/cgi-bin/RoBuST/General.pl?select2=Apiaceae&select3=Product&textfield=putative%20phytoene%20synthase&start=1
- Localisation des gènes PSY 1 et PSY2 : www.cpatsa.embrapa.br/public_eletronica/downloads/OPB1009.pdf

7. Développement de la fleur Arabidopsis thaliana

L'étude de la mise en place des pièces florales au cours du développement est contrôlée par un ensemble de gènes. La première étude de ce contrôle génétique a été menée sur Arabidopsis thaliana, une plante modèle ayant facilité l'émergence du modèle ABC.

1. Disséquer, à l'aide de la fiche technique, une fleur sauvage d'Arabidopsis thaliana, et réaliser le diagramme floral dans le tableau ci-dessous.
2. Schématiser, à l'aide de l'animation suivante : www.ens-lyon.fr/RELIE/Fleurs/formation/module4/demo-m4-1.htm, les diagrammes floraux des 3 classes de mutants, ainsi que l'expression des gènes affectés.
3. Indiquer, à l'aide du document 1, le nom des gènes à l'origine de l'apparition des 3 classes de mutants.
4. Des données récentes laissent à penser que ce modèle est incomplet : on lui préfère le modèle ABCDE. À l'aide des documents 2 et 3 expliquer comment ces deux modèles permettent d'expliquer la diversité des fleurs chez les Angiospermes

		Fleur sauvage	Mutant classe A	Mutant classe B	Mutant classe C
Phénotype					
Verticilles	V1	Se			
	V2	Pe			
	V3	Et			
	V4	Ca			
Diagramme floral					
Expression des gènes affectés dans la fleur					
Nom des gènes pouvant être affectés					

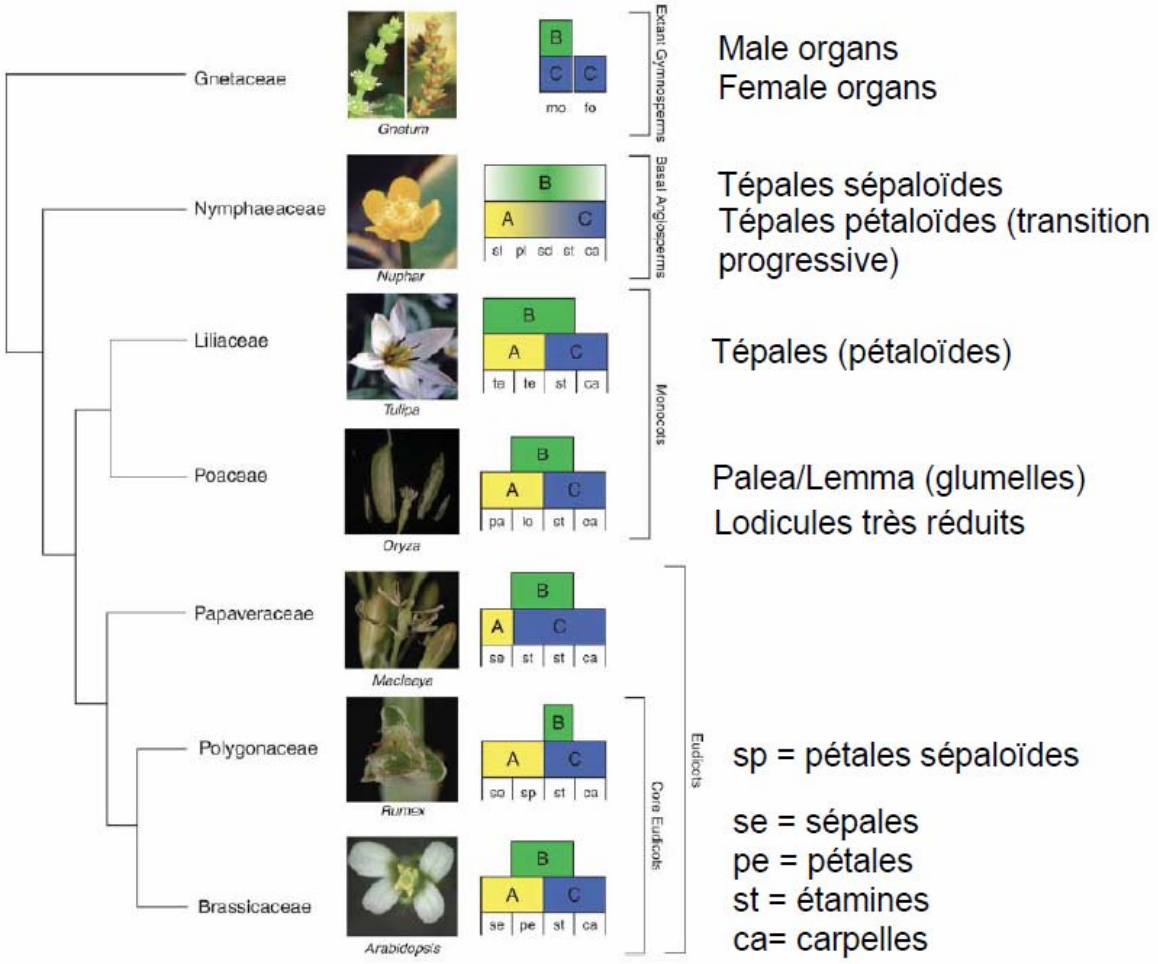
http://acces.ens-lyon.fr/acces/ressources/dyna/developpement/ressources/morphogenese-vegetale

Document 1 : Les gènes homéotiques chez Arabidopsis thaliana

Les pièces florales sont disposées, sur une fleur-type, en quatre cercles concentriques ou verticilles, portant de l'extérieur vers le centre : les sépales, pétales, étamines et carpelles. On connaît un groupe de gènes appelés MAD box, ou encore gènes ABC. La combinaison des protéines expression de ces gènes protéines détermine le devenir des différentes zones du méristème floral ; ainsi, le nom des gènes reflète l'effet produit chez les mutants qui en sont privés : les gènes de classe A (apetala 1 et apetala 2) induisent seuls la formation des sépales, ou, combinés à ceux de classe B (apetala 3 et pistillata), la formation des pétales. Les gènes de classe B, combinés à ceux de classe C (agamous) produisent les étamines, tandis que les gènes C sont seuls responsables de la formation des carpelles.

http://svt.ac-creteil.fr/?L-ABC-du-developpement-floral&from=35

Document 2 : Diversité des modèles ABC chez les Angiospermes (plantes à fleurs)

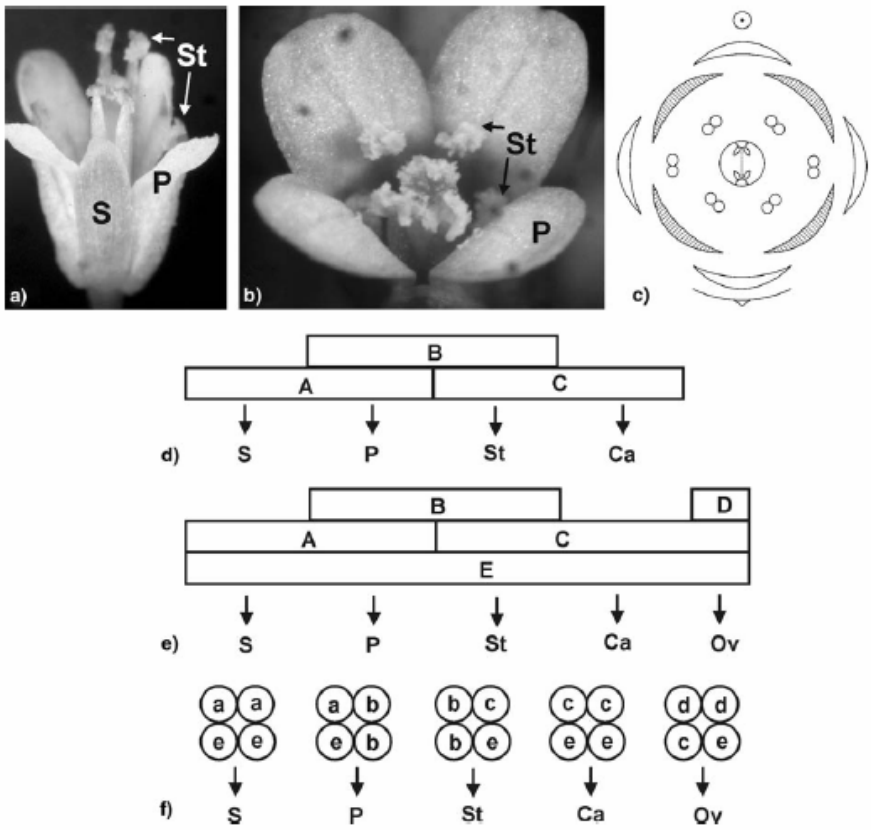


Lexique :

- Tépales sépaloïdes : les pétales et les sépales sont identiques, et ressemblent à des sépales.
- Tépales pétaloïdes : les pétales et les sépales sont identiques, et ressemblent à des pétales.
- Glumelles : paire de pièces foliacées qui se trouvent à la base des axes floraux des épis de blé (Poacées). Elles ont pour fonction de protéger la fleur.
- Lodicules : enveloppe intérieure de la fleur de Graminées.
- Pétales sépaloïdes : les pétales ressemblent à des sépales par sa forme ou sa couleur.

Source : Theissen & Melzer, "Molecular mechanisms underlying origin and diversification of the angiosperm flower", *Annals of Botany* 100 : 603-619, 2007

Document 3 : modèle ABC modèle ABCDE



a) et b) Fleurs d'Arabidopsis thaliana. ; c) Diagramme floral des Brassicacées (famille d'Arabidopsis thaliana) ;

d) Modèle classique ABC d'après Cohen et Meyerowitz 1991 : Les gènes A, B et C activent chacun deux régions adjacentes où leur activité génique seule ou combinée avec celle d'un autre gène va déterminer le devenir de l'organe ;

e) Modèle ABCDE déterminant l'identité des organes de la fleur des eudicotylédones (majorité des angiospermes)

Ca = carpelle ; P = pétale ; S = sépale ; St = étamine : Ov = ovule

Le coin du Laboratoire

Culture d'Arabidopsis thaliana :

- www.didier-pol.net/2cul-ara.htm
- www.snv.jussieu.fr/bmedia/ATP/arabette.htm