

Sommaire



Comprendre les étapes physiologiques du rendement

Avant-propos	P 1
Introduction	P 3
1 - Les maïs	P 4
1.1 Maïs grain et maïs fourrage	
1.2 Maïs waxy	
1.3 Maïs doux	
1.4 Maïs pop-corn	
1.5 Les autres maïs spéciaux	
2 - Au démarrage : la semence	P 7
3 - L'enchaînement des stades	P 10
3.1 Échelles de stade	P 11
3.2 Mise en place des composantes	P 14
3.3 La représentation des stades et du rendement par les modèles	P 17
3.4 Semis et interventions pour soutenir la croissance	P 20
4 - Comprendre les phases successives et leurs incidences sur le rendement	P 23
4.1 Phase végétative	P 24
4.2 Phase de formation des organes reproducteurs	P 36
4.3 Phase de développement et de maturation du grain	P 46
Focus	
La lumière, perception et optimisation par la plante	P 15
Le système racinaire, morphogenèse et fonctions	P 26
La feuille de maïs, morphogenèse et fonctions	P 32
Effets du stade de récolte sur le fourrage	P 50
Effets des facteurs climatiques et leviers	P 54
Progrès génétiques	P 57

Au démarrage : la semence

Assurer la culture des hybrides commerciaux nécessite en amont la mise en place d'un système de production de semences très spécifique. Un hybride donné résulte en effet de la fécondation croisée de deux parents. Suivant la nature des parents, différents formats d'hybrides peuvent être produits :

- 1. l'hybride simple obtenu par le croisement de deux lignées pures,**
- 2. l'hybride trois voies qui résulte du croisement entre un hybride simple, le porte-graines en général, et une lignée pure,**
- 3. l'hybride double, issu du croisement entre deux hybrides simples.**

En France, les hybrides simples sont les plus représentés avec environ 85 % des surfaces. En complément, les hybrides trois voies représentent 15 % environ, les hybrides doubles sont, quant à eux, beaucoup plus rares.

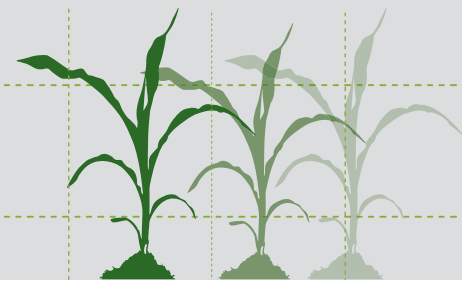


L'effet hétérosis, ou vigueur hybride, a été rapporté dès le 18^{ème} siècle. Cet effet existe si lors d'un croisement entre deux lignées homozygotes, l'hybride qui en résulte est supérieur au meilleur des parents, au niveau par exemple de la vigueur, de la taille, de la vitesse de développement, de la résistance à différents stress et bien sûr du rendement. C'est au 20^{ème} siècle que les recherches se développent et tout particulièrement sur le maïs qui par la séparation des fleurs mâles et femelles est bien adapté au croisement. La culture des premiers hybrides se généralise d'abord aux Etats-Unis dans les années 1930. En France, c'est après la seconde guerre mondiale, que se produit la « révolution hybride », avec d'une part l'arrivée des hybrides américains, d'autre part la création des premiers hybrides français.

Le phénomène de vigueur hybride ne doit pas être confondu avec la xénie, c'est-à-dire l'effet de l'origine génétique du pollen sur le développement de la graine. La xénie s'exprime au niveau de la graine, dès la fécondation, alors que l'hétérosis fait référence à la future plante issue de la graine.

La filière française de semences de maïs occupe une position de leader en tant que première exportatrice au niveau mondial et première productrice au niveau européen.

Elle est organisée au niveau de la F.N.P.S.M.S. (Fédération Nationale de la production de Semences de Maïs et de Sorgho) qui regroupe les agriculteurs – multiplicateurs de semences de maïs au sein de l'A.G.P.M. Maïs Semences (Association Générale des Producteurs de Maïs) et de l'U.F.S. (Union Française des Semenciers). En 2016, 65 000 hectares et près de 3700 exploitations sont concernés par cette production. Chaque année, la F.N.P.S.M.S définit et pilote, en partenariat avec le GNIS (Groupement National Interprofessionnel des Semences et plants), un ambitieux programme technique auquel les professionnels de la filière semences, les producteurs de semences de maïs et les entreprises semencières sont associés. L'objectif de ce programme, principalement mis en œuvre par ARVALIS - Institut du végétal, est d'accroître la productivité de la production de semences de maïs française, et donc sa compétitivité.



Le développement des racines et du coléoptile



Une fois le péricarpe du grain percé, la radicule va se développer. Suivront le coléoptile et les racines secondaires.

Le processus

Entre la phase de germination et la levée, s'effectuent la mise en place du système racinaire séminal, la formation du mésocotyle et du plateau de tallage et l'élongation du coléoptile.

Le système racinaire séminal se met en place très tôt. Dès que la radicule a percé les enveloppes du grain, elle plonge dans le sol et peut atteindre rapidement plus de 10 cm. Avec un léger décalage par rapport à la radicule, les autres racines séminales (dites latérales) au nombre de 3 ou 4, partent du nœud scutellaire sous le coléoptile (voir schéma p.26). La vitesse de développement et d'enfoncement des racines dépend des conditions du milieu (température, humidité, type et état du sol). Ces racines ont pour rôle de compléter le niveau de réserve (eau + éléments minéraux) du grain.

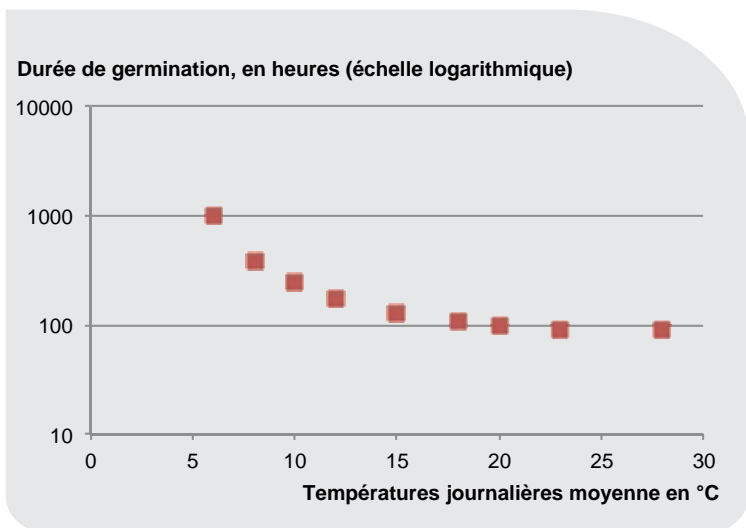
Le mésocotyle résulte de l'allongement du premier entrenœuds compris entre le nœud scutellaire au niveau du grain et le premier nœud au départ du

coléoptile (aussi appelé plateau de tallage). Le bon état du mésocotyle est essentiel au développement de la plantule, il est la zone de transfert des réserves du grain vers cette dernière.

Il faut environ 15 dj°C au-dessus de 6°C pour voir l'ensemble mésocotyle + coléoptile grandir de 1 cm. Dans le cas de semis profond, c'est le mésocotyle qui sert de variable d'ajustement pour amener le coléoptile au niveau de la surface du sol. Dans ce cas de figure, il consommera une partie des réserves du grain pour augmenter sa taille au détriment de l'alimentation des premières feuilles.

Au-dessus du mésocotyle, le coléoptile est poussé vers la surface tout en protégeant les premières feuilles qui sont contenues dans cette gaine et jusqu'à ce qu'il apparaisse à la surface du sol.

↳ Durées nécessaires à la germination et à la sortie de la radicule et du coléoptile jusqu'à la levée, en nombre d'heures et en fonction de la température



En observation !



> Phytotoxicité à la germination

Certaines graines peuvent être sensibles à la présence de produits de traitement sur la graine ou dans le sol. Des phytotoxicités sont alors observées.

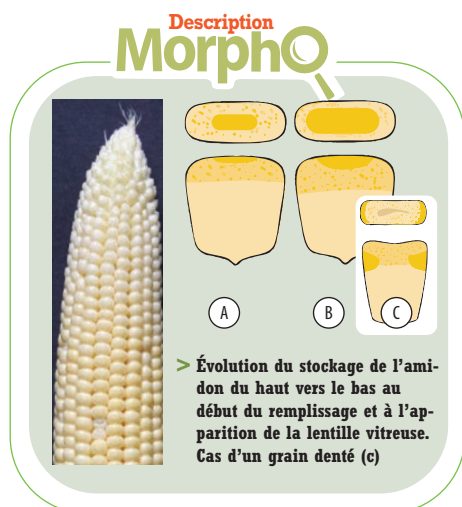
Le développement de champignons entraînant la fonte des semis (*Fusarium sp*, *Pythium sp...*) peut aussi apparaître comme préjudiciable.

Stade laitieux

ÉCHELLE BBCH : 75 - IOWA : R3/R4



20 jours environ après la fécondation, le grain se forme et sa couleur vire au jaune extérieurement. Après avoir passé le stade limite d'avortement, le grain produit, si on l'écrase, une substance blanche laiteuse.



Le processus

Dans l'albumen, la division cellulaire est quasiment terminée et les cellules vont se remplir d'eau et d'amidon et grossir, ce qui produit une substance laiteuse. Le niveau d'humidité du grain se situe entre 60 et 80 %.

La quantité d'amidon dans un grain peut se déterminer selon la formule suivante :

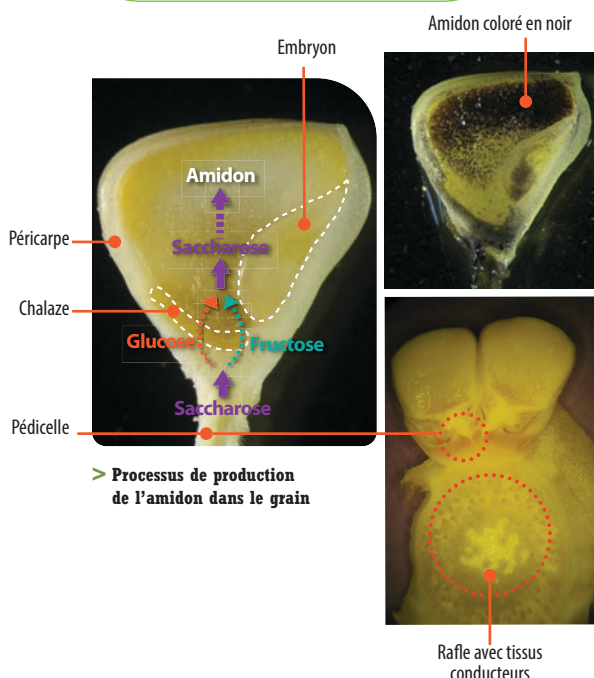
$$\begin{aligned} & \text{nombre de cellules} \\ & \text{d'albumen/grain} \\ & \times \\ & \text{taux d'accumulation} \\ & \text{d'amidon/cellule} \\ & \times \\ & \text{durée de remplissage.} \end{aligned}$$

La production d'amidon dans le grain se fait en deux phases : la première en lien avec la photosynthèse, la seconde en fin de cycle par la migration des dernières réserves contenues dans la plante. La migration des sucres (saccharose) se fera par les tissus du phloème (tissus conducteurs de la sève élaborée dans la plante) depuis la tige et via le pédoncule et la rafle. Ces sucres sont hydrolysés en glucose et fructose (photo ci-contre) pour être ensuite transformés, au niveau de

l'albumen du grain, en amidon sous forme de granules.

En premier lieu ce sont les grains de la base de l'épi qui vont se remplir et il est intéressant de noter qu'en conditions non stressantes, la capacité du grain à accumuler de l'amidon n'est pas aussi limitante que la capacité de la plante à produire cet amidon. Au niveau du grain, l'accumulation de l'amidon va commencer par la partie supérieure (description morpho - A). Une lentille vitreuse va apparaître au sommet du grain en parallèle d'un remplissage de plus en plus conséquent (description morpho - B), ce stade est observé entre 450 et 500 dj°C après la floraison. Il permet d'anticiper la date optimale de la récolte fourrage, entre 15 et 25 jours plus tard.

Au final, l'amidon produit est formé d'amylose (25 à 30 % de l'amidon total) et d'amylopectine (70 à 75 %). Pour le maïs waxy la teneur en amylopectine est de 100 % lui donnant des caractéristiques propres. Pour le maïs doux il existe un composé intermédiaire : le phytoglycogène.



C'est le moment!

La récolte du maïs doux se fait à ce stade en épis à environ 75 % d'humidité du grain pour les variétés « super sweet » et 70 % d'humidité du grain pour les variétés standard.

