

La réponse des racines au stimulus gravitropique

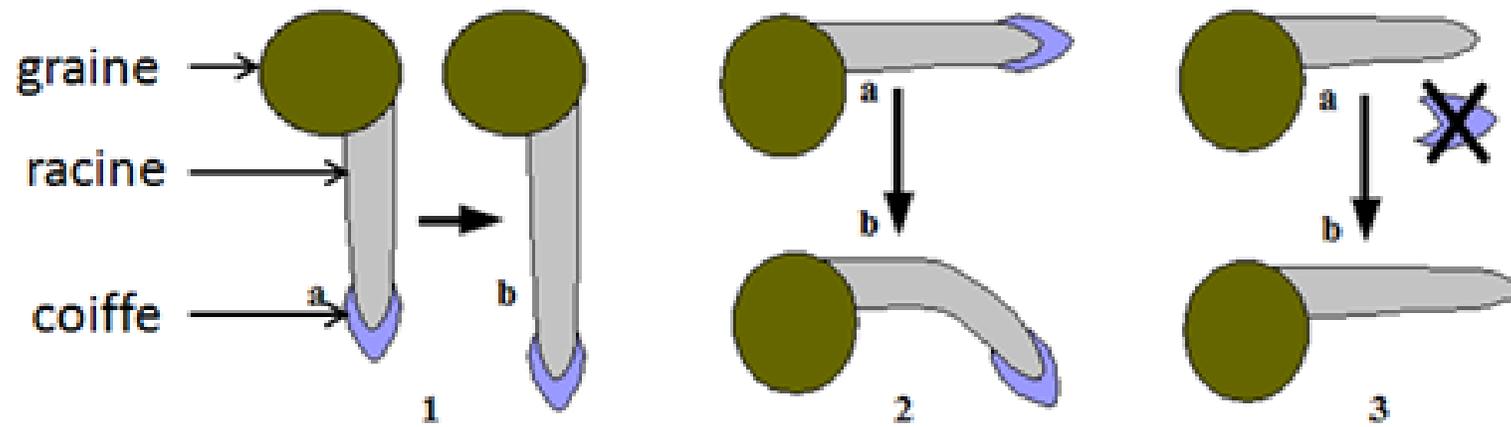
Problème :

Nous allons montrer comment les racines des végétaux perçoivent et réagissent au stimulus gravitaire.

Document 1 : l'expérience historique de Darwin

C'est Darwin (1881) qui, le premier, a montré où sont localisés les récepteurs du stimulus gravitropique dans les racines des plantes.

Il réalise une expérience chez le maïs (*Zea mays*), plante dont la coiffe racinaire se détache du reste de la racine sans entraîner de lésion des tissus du corps racinaire.



schémas des conditions et résultats expérimentaux

L'expérience 1 montre la croissance d'une racine primaire de Maïs sans test particulier.

L'expérience 2 montre la croissance d'une racine primaire de Maïs posée horizontalement.

L'expérience 3 montre la croissance d'une racine primaire de Maïs d'abord privée de sa coiffe puis posée horizontalement.

Les figures "a" représentent l'état initial et les figures "b" l'état final de la manipulation.

Informations extraites des documents et des connaissances :

Doc. 1 : une racine avec sa coiffe et plantée verticalement s'allonge verticalement vers le bas, toutes ses faces à la même vitesse.

Connaissance : une élongation différentielle des cellules d'une tige ou d'une racine (élongation plus importante d'un côté que de l'autre) est responsable de la courbure de l'organe (*schéma possible*)

Une racine avec sa coiffe et plantée horizontalement croit vers le bas : sa face supérieure s'allonge plus que sa face inférieure.

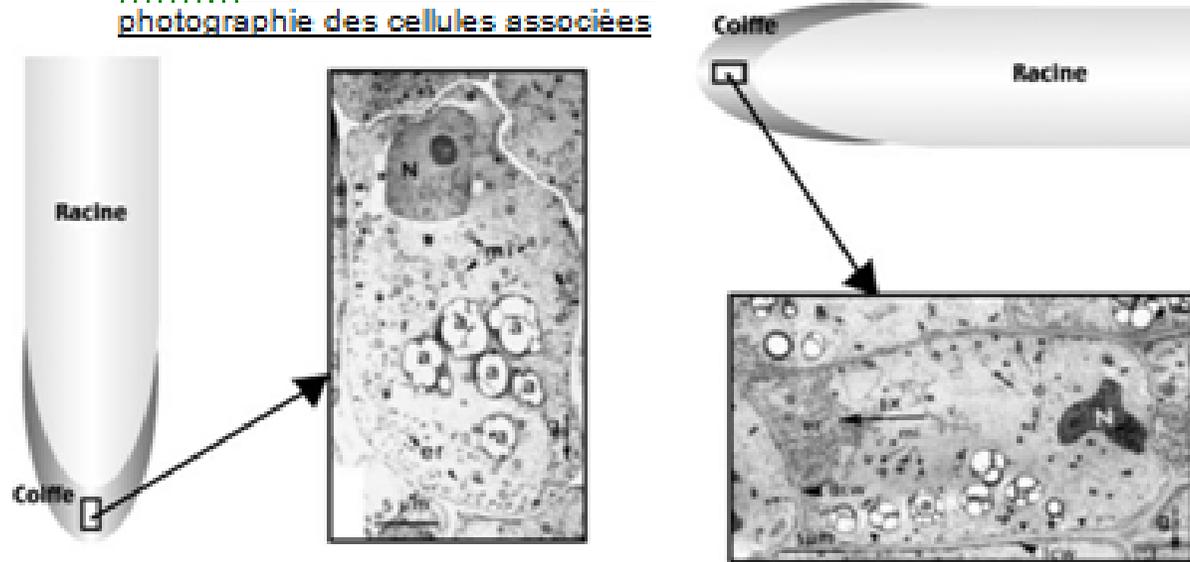
Une racine sans sa coiffe et plantée horizontalement croit horizontalement : toutes ses faces grandissent à la même vitesse.

cc : comme une racine qui perd sa coiffe ne s'oriente plus vers le bas, on en déduit que la coiffe est responsable de la perception du stimulus gravitaire.

Document 2 : des cellules spécialisées dans la perception de la gravitation

Document 2a : Observation microscopique de cellules de coiffe

schémas des zones de prélèvement et
photographie des cellules associées



a : amyloplastes, N : noyau, mi : mitochondries, er : réticulum endoplasmique, g : direction de la gravité.

NB : Les amyloplastes sont des réserves d'amidon des cellules végétales.

Document 2b : Résultats expérimentaux de manipulations sur les cellules de la coiffe

1°) La suppression sélective au laser des amyloplastes de la columelle supprime la réponse gravitropique sans modifier la croissance, tandis que la suppression des amyloplastes des cellules latérales de la coiffe est sans effet sur le gravitropisme.

2°) Les mutants dont les cellules de la coiffe contiennent une quantité réduite d'amidon dans les amyloplastes ont une croissance tout à fait normale, mais sont moins sensibles au stimulus gravitropique que les plantes sauvages.

3°) Le déplacement des amyloplastes au moyen de champs électro-magnétiques produit une courbure des racines.

Doc 2a :

Les amyloplastes réagissent au gravitropisme en étant attirés vers le « bas ».

Doc 2 b :

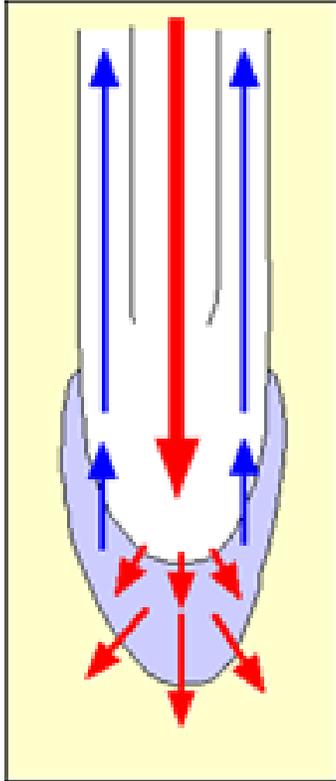
Sans amyloplastes la racine ne réagit pas au gravitropisme

Si les amyloplastes ne contiennent pas assez d'amidon (mutation du gène codant pour la synthèse de l'amidon synthétase par exemple), la racine réagit moins, voire pas du tout au gravitropisme.

On peut provoquer une courbure de la racine dans le sens voulu en attirant les amyloplastés sur un côté de la racine.

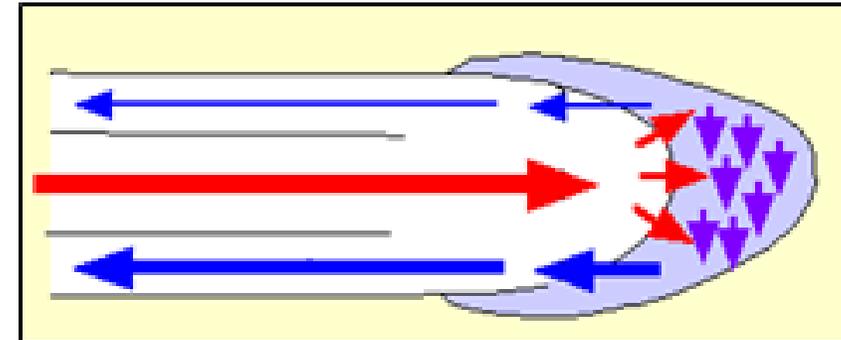
Cc : les amyloplastés (contenant des réserves d'amidon) sont responsables de la courbure de la racine

Document 3 : le transport d'auxine dans la racine



L'auxine, en provenance des jeunes tiges, circule de haut en bas dans le cylindre central des racines (*en rouge sur le schéma*) puis remonte dans la région corticale de manière symétrique (*en bleu sur le schéma*).

Lorsque la racine est couchée horizontalement le transport d'auxine est décalé dans le sens de la pesanteur au niveau de la coiffe.



Les mécanismes reliant la détection du stimulus gravitaire et la mise en place de ce transport différentiel sont mal connus.

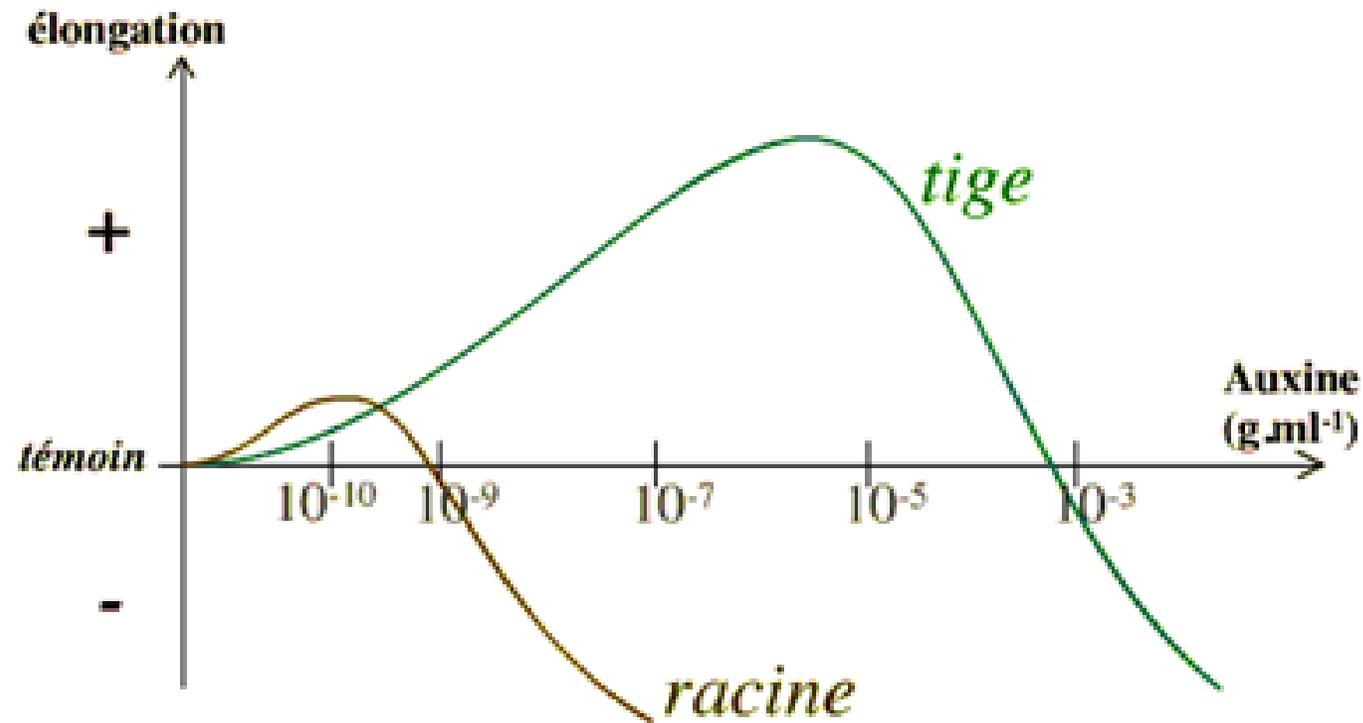
L'auxine se répartie différemment selon l'orientation de la racine :

- il y a plus d'auxine en « bas » de la racine horizontale
- il y a moins d'auxine dans la partie « haute » de la racine horizontale

Cc : l'auxine est majoritairement concentrée là où il y a stimulus

Document 4 : effet de l'auxine sur la croissance de la racine

Document 4a : effet de concentrations variables d'auxine sur la croissance des tiges et racines



Graphique du taux d'élongation des tiges et racines en fonction du taux d'auxine

Des concentrations variables d'auxine sont fournies à des tiges et des racines. On mesure alors l'élongation que l'on compare à un témoin qui a un taux naturel d'auxine. La croissance peut donc être plus rapide (côté "+") ou moins rapide (côté "-").

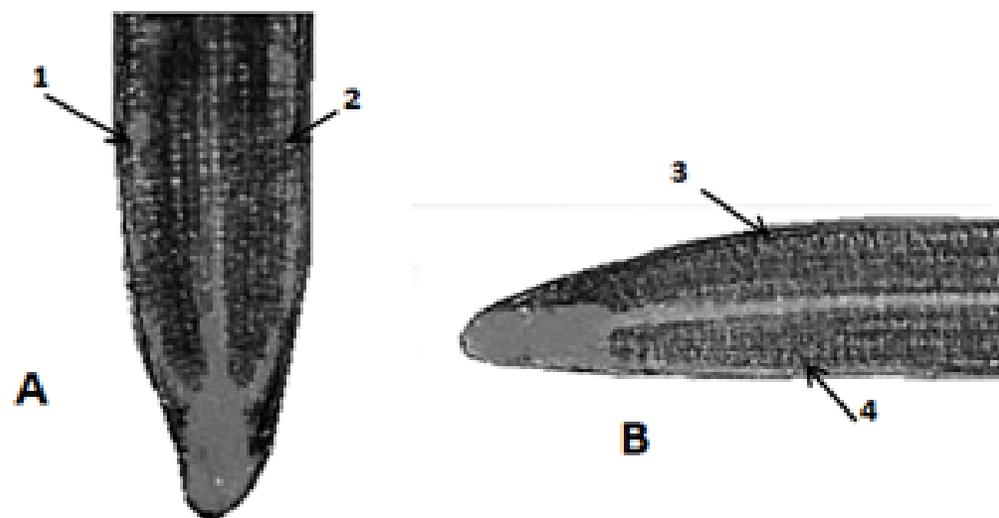
Doc. 4a : la vitesse d'élongation d'un organe est fonction du taux d'auxine auquel il est soumis. Pour la racine, la vitesse d'élongation est croissante pour des concentrations croissantes jusqu'à 10^{-10} mg.mL⁻¹, au delà, cette vitesse d'élongation diminue. Ces 10^{-10} mg.mL⁻¹, correspondent à la concentration optimale pour une vitesse maximale d'élongation.

La vitesse d'élongation est supérieure à celle du témoin pour des taux d'auxine de 10^{-12} à 10^{-9} mg.mL⁻¹. Au delà de la concentration de 10^{-9} mg.mL⁻¹ alors la vitesse d'élongation est plus faible que celle du témoin et décroissante quand le taux d'auxine augmente.

cc : l'auxine stimule la croissance des racines aux concentrations inférieures à 10^{-9} mg.mL⁻¹ et l'inhibe au delà.

Document 4b : répartition de l'auxine dans une racine

Pour repérer la répartition de l'auxine dans des racines on réalise une expérience de marquage à l'aide d'une protéine fluorescente. Les racines ainsi marquées sont cultivées pour l'une verticalement (A) et pour l'autre horizontalement (B). Les résultats sont présentés dessous. La fluorescence apparaît en gris sur ces photos en noir et blanc. *(les teintes ne sont pas comparables d'une photographie à l'autre)*



Photographies des résultats du marquage de l'auxine

Des dosages de l'auxine ont ensuite été réalisés aux points notés 1, 2, 3 et 4 sur les photographies ci-dessus. Les résultats sont fournis dans le tableau suivant :

Point de prélèvement	1	2	3	4
Taux d'auxine (g.mL ⁻¹)	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁰	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁸

Tableau des taux d'auxine aux différents points de prélèvement

Doc. 4b : le marquage de l'auxine dans une racine qui pousse verticalement montre une répartition homogène à gauche et à droite de la racine, ce que confirment les dosages réalisés avec un taux de 10^{-10} mg.mL⁻¹ de chaque côté.

En revanche, le marquage de l'auxine dans une racine qui pousse horizontalement montre une répartition hétérogène. Il y a beaucoup moins d'auxine sur la partie haute de la racine que sur la partie basse, ce que confirment les dosages réalisés avec un taux de 10^{-10} mg.mL⁻¹ en haut et 10^{-8} mg.mL⁻¹ en bas.

cc : l'auxine répartie de manière homogène sur une racine verticale permet une croissance homogène des différentes faces de cette racine qui pousse alors verticalement vers le bas.

En revanche sur une racine horizontale, l'auxine est plus concentrée en bas qu'en haut. Ceci est en accord avec les données du document 3.

La concentration faible en haut est stimulatrice de l'élongation cellulaire mais en bas la concentration de $10^{-8} \text{ mg.mL}^{-1}$ est inhibitrice de l'élongation.

La face supérieure grandira donc plus vite que la face inférieure et la racine poussera courbée vers le bas.

Mise en relation :

Nous avons donc montré que le stimulus gravitaire était détecté par la coiffe de la racine ([doc. 1](#)), plus précisément au niveau des cellules de la columelle qui possèdent des organites spécialisés, les amyloplastes, dont la fonction est cette perception ([doc. 2](#)). Les amyloplastes sont mobiles dans les cellules et s'accumulent du côté de la cellule orienté vers le bas.

Nous avons ensuite vu qu'en réaction à cette perception, selon des mécanismes mal connus, le transport de l'auxine dans la racine est augmenté du côté de la racine orienté vers le bas ([doc3](#)). Sur une racine verticale, l'auxine est répartie de façon homogène et l'élongation cellulaire de l'organe l'est aussi : la racine pousse droit vers le bas car toutes ses faces grandissent à la même vitesse. Sur une racine horizontale, l'auxine est répartie de façon hétérogène : elle est plus concentrée du côté orienté vers le bas et a ainsi une action inhibitrice sur l'élongation dans cette zone. Du côté orienté vers le haut en revanche l'élongation cellulaire a lieu normalement: la racine pousse courbée car les cellules de la face supérieure s'allongent plus que celles de la face inférieure ([doc4](#)). Cela est du à l'auxine, une phytohormone, qui a des actions antagonistes sur l'élongation cellulaire selon sa concentration : à des concentrations faibles elle stimule l'élongation et à des concentrations élevées elle l'inhibe.