

Des pois sans poids

SHAWN CARLSON

Faites germer des graines en pesanteur réduite.

Des phénomènes aussi remarquables qu'insoupçonnés ont lieu lorsque vous inclinez une plante : des hormones nommées auxines se rassemblent dans la partie inférieure des racines et de la tige. Elles stimulent la croissance et la division des cellules de la tige, de sorte que le bas de la tige croît plus vite que le haut et provoque son redressement. Dans les cellules des racines, au contraire, les auxines retardent la croissance cellulaire : les cellules pauvres en auxines, proches du haut des racines, se développent beaucoup plus vite que les cellules riches en auxines du bas des racines, ce qui dévie ces

dernières vers le bas. Ainsi les plantes couchées s'alignent sans cesse avec la force de pesanteur.

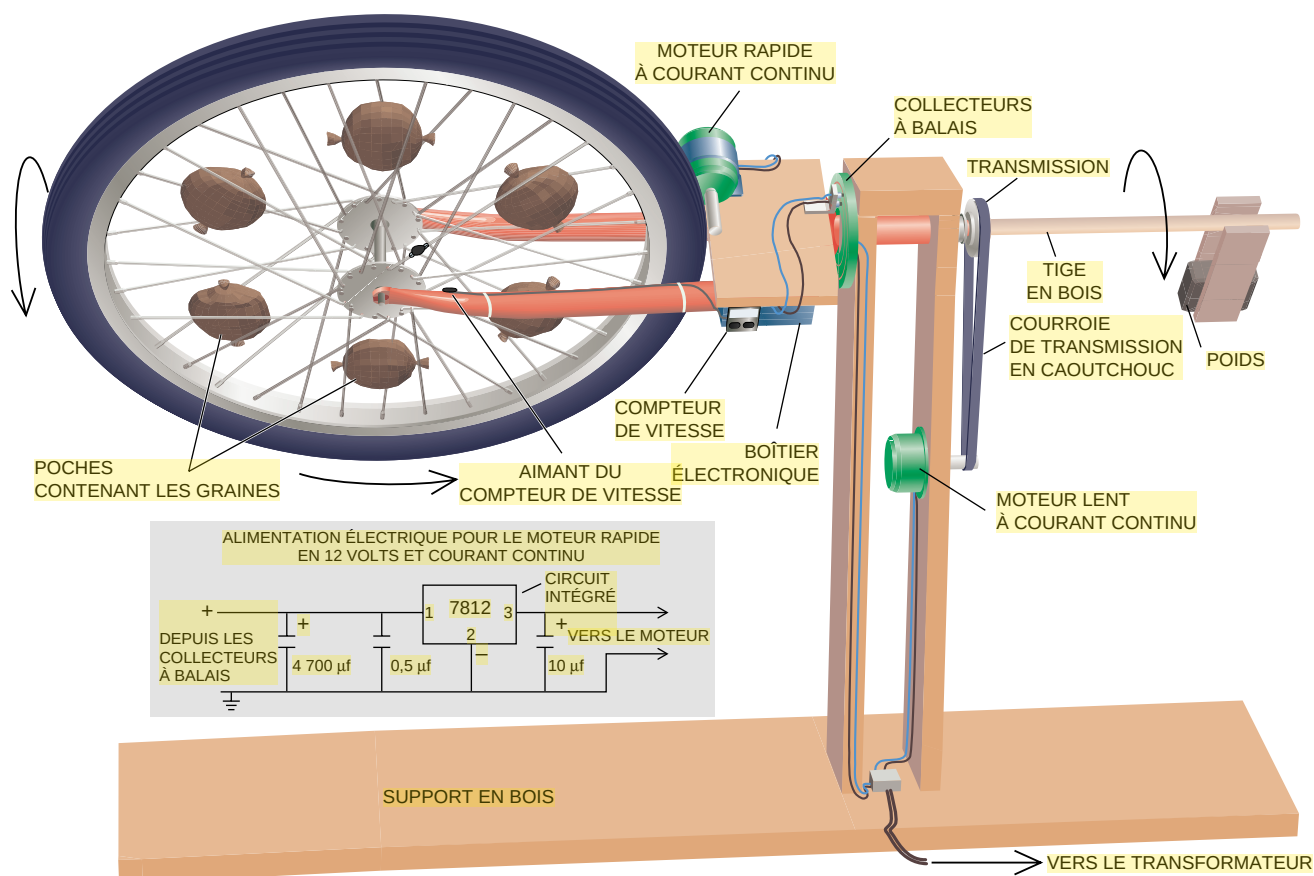
Les botanistes nomment géotropisme cette réaction des plantes à la pesanteur. Au début du XIX^e siècle, ils explorèrent le géotropisme en cultivant des plantes sur des roues en rotation, les exposant ainsi à des forces centrifuges ajoutées à la gravité ; les plantes poussent alors dans la direction opposée à la force résultante qui leur est appliquée, comme l'a montré le Palais de la Découverte.

Les botanistes ont d'abord observé que les plantes réagissent lentement à

la gravité : la plupart des plantes doivent être courbées pendant plus d'une minute avant que les auxines commencent à se répartir. Puis, au début du siècle, ils utilisèrent un appareil nommé clinostat, afin d'étudier les réactions des végétaux dans un environnement où la gravité est presque nulle. Les clinostats restent utilisés aujourd'hui : en faisant tourner lentement la plante aussi bien verticalement qu'horizontalement, le clinostat empêche celle-ci de s'orienter sur la gravité terrestre. La plante pousse alors comme s'il n'y avait pas de gravité du tout. Les clinostats ont fasciné des générations de scientifiques amateurs.

Curieusement, les biologistes professionnels ont prêté peu d'attention à ce qui est peut-être le plus intéressant domaine de recherche : le comportement entre 0 et 1 *g* (où *g* représente l'accélération communiquée à toute masse par la force de pesanteur terrestre, soit environ 9,8 mètres par seconde au carré). C'est une bonne nouvelle pour les amateurs, car un peu d'application peut leur valoir des découvertes originales.

Je vous propose d'utiliser une roue de bicyclette comme plate-forme rotative du dispositif. En choisissant bien la



UNE ROUE DE BICYCLETTE qui tourne transversalement et autour de son moyeu permet à des graines, contenues dans des poches fixées aux rayons, de germer comme à bord d'un vaisseau spatial.

En construisant l'alimentation électrique du moteur rapide, assurez-vous que le condensateur de 4 700 microfarads est situé à plus de cinq centimètres du circuit intégré de type 7812.

vitesse de rotation de la roue et en plaçant les graines à différentes distances de son moyeu, vous ferez germer des graines dans des conditions de pesanture variées. Observez les accélérations à partir desquelles les plantes commencent à réagir à la gravité et découvrez comment des plantes pousseraient sur Mars (dont la gravité est égale à 0,4 g environ).

Pour obtenir une accélération qui soit en moyenne égale à celle de la rotation, vous devrez simultanément faire tourner la roue autour de son axe et autour d'un axe horizontal. Pour réaliser l'ensemble du système, vous aurez besoin de pièces détachées de bicyclette, telles une fourche avant et sa colonne de direction, que vous vous procurerez pour rien si vous récupérez des pièces détachées d'occasion. Des pièces en bois supporteront le cadre et la roue. Faites un trou à une extrémité de deux lattes de sommier en pin de 2,5 centimètres d'épaisseur ; fixez les extrémités inférieures à une planche qui servira de support, de sorte que les deux lattes soient verticales (voir la figure) et passez la colonne de direction dans les trous. Pour le système de transmission, allez au rayon plomberie ou tuyauterie d'un magasin de bricolage pour acheter cinq centimètres d'un tuyau de plastique de gros diamètre. À l'intérieur de cet anneau, placez un bouchon de bois au centre duquel vous aurez percé un trou, puis collez le tout au bout de la colonne de direction, à la résine époxy.

Insérez ensuite une tige de bois à travers la transmission et la colonne de direction, et fixez-y un poids du type de ceux que les plongeurs s'attachent à la ceinture. Fixez une planche de bois de 8 × 18 centimètres à une extrémité de la tige et attachez temporairement le poids à cette planche avec une ficelle. Orientez la roue de sorte que la courbure de la fourche pointe vers le haut. Faites glisser la tige dans la colonne de direction et ajustez la position du poids à la fois horizontalement et verticalement, jusqu'à ce que la roue et le poids s'équilibrent. Collez alors la tige à la résine époxy et achevez la fixation définitive du poids.

Pour annuler les effets de la gravité, la roue doit faire un tour complet environ une fois par minute. À cette fin, je vous propose d'utiliser un moteur à rotation lente (0,28 tour par seconde) et de relier l'arbre du moteur à la transmission par une courroie en caoutchouc que vous trouverez chez un garagiste. Si votre moteur tourne à un régime très différent de 0,28 tour par seconde, jouez sur le diamètre de votre

L'accélération sur une roue

Une graine sur une roue en rotation subit une accélération centrifuge égale à $(2\pi f)^2 r$, où f est la fréquence de rotation et r la distance de la graine par rapport au moyeu. La formule permettant de déterminer à quelle fréquence on doit faire tourner la roue pour obtenir l'accélération a souhaitée est $f = 1/2\pi \sqrt{a/r}$, où a est l'accélération. Par exemple, pour produire une accélération de 9,8 mètres par seconde au carré (soit 1 g) au niveau de la jante d'une roue de 0,3 mètre de rayon, la roue doit tourner à 0,91 tour par seconde. La fréquence f_R à laquelle le moteur rapide fera tourner la roue est $f_m(r_m/R)$, où f_m est la fréquence de rotation du moteur (ici 192 tours par seconde), r_m le rayon de l'arbre du moteur (environ un millimètre) et R le rayon de la roue. Pour trouver l'accélération à n'importe quelle distance r du moyeu de la roue, utilisez la formule :

$$a = 7,72(v^2/R)(r/R)$$

où r et R sont exprimés en centimètres, et v est la vitesse lue sur l'indicateur de vitesse et exprimée en kilomètres par heure.

transmission ou ajoutez une transmission intermédiaire à votre arbre moteur pour obtenir le bon rapport.

À l'aide d'un second moteur, plus rapide, vous ferez tourner la roue de bicyclette autour de son axe pour imposer la gravité artificielle. J'ai moi-même utilisé un moteur fonctionnant au courant continu de 12 volts qui tournait à 192 tours par seconde. Assurez-vous que la bande de roulement est bien lisse et, pour calculer à quelle fréquence tourne la roue, consultez l'encadré ci-dessus.

Dans mon clinostat, le rayon de la roue était égal à 30 centimètres, et la vitesse du moteur à 192 tours par seconde : la roue tournait à 0,64 tour par seconde. Vous pouvez augmenter l'efficacité du moteur en augmentant le diamètre de son arbre : entourez ce dernier de quelques tours de ruban adhésif ou de sparadrap solide ; vous atteindrez ainsi facilement une fréquence de 1,5 tour par seconde. Un transformateur alimentera ce moteur par l'intermédiaire de deux collecteurs à balais, tels que ceux des moteurs électriques. Le circuit décrit sur la figure réglera le courant.

Enfin vous contrôlerez l'accélération centrifuge à l'aide d'un compteur de vitesse pour bicyclette ; trouvez-en un qui utilise un petit aimant placé sur un rayon. Monté près de l'axe de la roue, l'aimant mesurera la vitesse à 0,1 kilomètre à l'heure près.

La croissance en faible gravité a été si peu étudiée que vous obtiendrez des résultats originaux quelle que soit la plante que vous étudierez. J'ai moi-même étudié le maïs. Après avoir laissé les graines germer pendant plusieurs jours, j'ai mesuré la hauteur des germes et leur inclinaison moyenne, pour diverses accélérations. À l'accélération de 1 g, les plantes poussent très droites ;

à très faible accélération, elles commencent à se tordre. En faisant pousser des plantes à différentes distances du moyeu de la roue, vous verrez à partir de quelle accélération les effets de la gravité commencent à se faire sentir sur les plantes.

Mettez cinq graines dans une petite poignée de terreau et placez-les dans un vieux bas de nylon (formez une petite poche en nouant de la ficelle de part et d'autre de la terre, puis en coupant les extrémités du bas qui dépassent). Ces petits paquets légers maintiennent les graines et sont faciles à arroser. Pour avoir une bonne statistique, préparez une trentaine de plantules pour chaque valeur d'accélération : placez six de ces poches à la même distance du moyeu. Disposez-les symétriquement sur les rayons de la roue, de sorte que cette dernière reste bien équilibrée. Vous pouvez placer autant de poches qu'il y a de place et les mettre à des distances différentes du moyeu afin de tester simultanément l'effet de plusieurs accélérations. Retirez les graines après qu'elles auront germé entre trois et six jours. Mesurez ensuite l'inclinaison, soit directement, soit après avoir replanté les graines dans des conditions normales pour voir comment elles se réadaptent.

Pour plus d'informations (en anglais) sur cette expérience, consultez le serveur de l'Association des scientifiques amateurs sur le réseau Internet, à l'adresse <http://www.thesphere.com/SAS/>, ou bien envoyez, à la revue Pour la Science, une enveloppe auto-adressée.

Shawn CARLSON est professeur de physique à l'Université de San Diego.