

Au cœur de la croissance végétale

L'équipe de Christian Hardtke, professeur ordinaire au Département de biologie moléculaire végétale de l'UNIL, en collaboration avec des chercheurs de l'Université polytechnique de Munich, a découvert un nouveau mécanisme de régulation expliquant la mise en place du système conducteur chez les plantes. Les résultats de l'étude sont à découvrir dans l'édition en ligne du 6 juin 2018 de la revue scientifique « Nature ».

Les animaux, et donc les hommes, naissent sous leur forme définitive même si certains organes doivent encore se développer et croître afin d'acquérir leur taille, leur forme et leurs fonctions finales. En revanche, les plantes sont capables de produire sans cesse de nouveaux organes (feuilles, tiges, racines, fleurs et fruits) en fonction des besoins de la plante. Leur taille et leur forme évoluent au cours des semaines, des mois, des années et parfois même des décennies. Les organes des végétaux sont formés par un grand nombre de cellules produites au niveau des soi-disant méristèmes par une succession de divisions cellulaires. Ces cellules nouvellement formées se différencient ensuite de manière complexe mais aussi très organisée afin de former un nouvel organe. Au cours de ce processus, le système conducteur est formé. Celui-ci est facilement visible à l'œil nu, notamment au niveau des nervures des feuilles.

Le système conducteur s'organise en un réseau dense au sein de la plante permettant de distribuer l'eau et les sels minéraux via le xylème, et de répartir les métabolites, tels que le sucre issu de la photosynthèse, via le phloème. Le xylème est composé d'une suite de cellules mortes, dépourvues de toute structure cellulaire mais qui possèdent d'épaisses parois et constituent ainsi le bois. Les éléments de tube criblé, cellules conductrices du phloème, forment également des conduits. Contrairement aux vaisseaux de xylème, ces cellules restent dans un état « zombie ». C'est-à-dire que ces cellules criblées ont perdu leur noyau ainsi que d'autres organites, mais elles sont maintenues en vie par les cellules voisines.

Quels sont les processus moléculaires qui mènent à cet état cellulaire intermédiaire ? En collaboration avec des collègues du Centre des sciences de l'Université polytechnique de Munich, des chercheurs du Département de biologie moléculaire végétale (DBMV) de la Faculté de biologie et de médecine de l'Université de Lausanne ont découvert un nouveau mécanisme moléculaire contrôlant cette différenciation cellulaire étrange.

Le phloème comme système nutritif chez les plantes

Les vrais jumeaux humains sont génétiquement identiques et ont une apparence physique très similaire. Comme les plantes peuvent continuellement adapter leur croissance à leur environnement, les vrais jumeaux végétaux (très fréquents naturellement) ont souvent une apparence très différente. Afin de s'adapter au mieux à son environnement, la plante peut, par exemple, accroître l'absorption de l'eau et des nutriments au niveau du sol. Pour cela, la plante favorise une croissance ciblée de la racine et en forme de nouvelles. Elle peut également optimiser l'efficacité de la photosynthèse en formant de nouvelles feuilles et en les orientant de manière optimale vers la lumière.

L'eau et les éléments minéraux extraits du sol par les racines sont distribués dans toute la plante par le xylème ; alors que les sucres, et d'autres métabolites issus de la photosynthèse, sont redistribués au sein de la plante par le phloème. « Le xylème et le phloème constituent donc un réseau nutritif intrinsèque à la plante. Cependant, le transport xylémien est unidirectionnel, alors que le transport phloémien est plus flexible et redirige les ressources en fonction des besoins vers les organes en croissance », explique Christian Hardtke, professeur au DBMV.

Comment une cellule devient-elle un élément de tube criblé du phloème ?

Au niveau des méristèmes de la racine et de la tige, de nouvelles cellules sont continuellement formées par des divisions cellulaires des cellules souches. Pour qu'une cellule conductrice soit fonctionnelle dans le phloème, elle doit subir de nombreux réarrangements internes. Bien entendu, cette différenciation en élément de tube criblé est pertinente uniquement si la cellule peut s'aligner avec d'autres éléments de tube criblé pour former des tubes criblés fonctionnels. Mais comment une cellule sait-elle si elle doit se différencier en élément de tube criblé ?

« En 2009, notre laboratoire montrait déjà que des plantes *Arabidopsis thaliana* – l'Arabette des dames, organisme modèle de la biologie végétale - qui ne possèdent pas la protéine BREVIS RADIX ne sont plus capables de former de vrais éléments de tube criblé dans la racine », rappelle Petra Marhava, post-doctorante au DBMV. Par ailleurs, une autre observation très intéressante montrait que cette protéine réagissait de manière très sensible à la présence de l'auxine, une phytohormone régulant le développement végétal. Selon le taux d'auxine dans la cellule, la protéine BREVIS RADIX se trouvait soit à la surface de la cellule, soit à l'intérieur où elle était dégradée.

Par la suite, Lanassa Bassukas, doctorante chez le Prof. Claus Schwechheimer au Centre des sciences de l'Université polytechnique de Munich, découvrait un nouveau régulateur nommé PAX. Cette protéine facilite la sécrétion de l'auxine vers l'extérieur de la cellule par certains transporteurs protéiques. Semblables aux plantes présentant une protéine BREVIS RADIX défectueuse, les plantes démunies de la protéine PAX présentaient des difficultés à former de vrais éléments de tube criblé au niveau des racines. « Ce qui était remarquable, c'est que d'un côté l'activité du régulateur PAX pouvait être supprimée par la présence de la protéine BREVIS RADIX, alors que d'un autre côté, son activité était augmentée par un taux d'auxine plus important dans la cellule », relèvent Martina Kolb et le Dr Ulrich Zeno Hammes de l'Université polytechnique de Munich, qui ont contribué à d'importantes données sur la sécrétion d'auxine dans cette étude. « Le fait que le taux d'auxine soit élevé dans les cellules qui sont en train de se différencier nous indique que la dynamique de ce mécanisme moléculaire est importante dans la mise en place des éléments de tube criblé », ajoute Bernard Moret, doctorant au DBMV.

L'interaction coordonnée entre protéines contrôle la différenciation du phloème

Sur la base de leurs données, le modèle établi par les chercheurs propose une accumulation d'auxine dans les cellules nouvellement formées où BREVIS RADIX empêche PAX de stimuler la sécrétion d'auxine provenant des éléments de tube criblé déjà différenciés. Cette accumulation graduelle a pour conséquence l'éventuelle dégradation de la protéine BREVIS RADIX et en parallèle une forte activation de la protéine PAX, ce que stimule la sécrétion d'auxine par les transporteurs protéiques. Avec un certain délai, l'abondance de la protéine BREVIS RADIX augmente encore afin d'inhiber à nouveau la sécrétion d'auxine. Le système représente donc un réseau autorégulateur, comparable à

un rhéostat. Claus Schwechheimer explique : « Grâce à l'interaction dynamique des différentes protéines régulatrices, la cellule parvient à retenir ou évacuer l'auxine de manière contrôlée, ce qui est essentiel pour la progression de sa différenciation en élément de tube criblé. »

Une découverte d'une importance potentiellement plus large

Pour le laboratoire du Prof. Christian Hardtke, cette découverte marque aussi la fin d'une longue recherche quant à la fonction exacte de la protéine BREVIS RADIX. Chez les plantes, beaucoup de processus développementaux dépendent de la sécrétion ciblée de l'auxine et de sa stimulation par des régulateurs apparentés à PAX. Cette découverte du contrôle négatif exercé par BREVIS RADIX sur la sécrétion de l'auxine au cours de la différenciation du phloème pourrait aussi s'appliquer à d'autres processus développementaux.

Département de biologie moléculaire végétale de l'UNIL – 6 juin 2018