

Les hormones végétales

ANTONIO GRANELL • JUAN CARBONELL

Les hormones végétales sont des messagers chimiques que les cellules utilisent pour moduler leur développement et s'adapter à un environnement auquel les plantes, immobiles, ne peuvent échapper.

Au cours de l'évolution, les cellules, initialement isolées, se sont associées pour former des complexes pluricellulaires ; ceux-ci, au fil du temps, ont constitué les organismes supérieurs. Les activités de ces derniers se sont réparties dans des tissus et des organes à la suite de modifications structurelles et de spécialisations des groupes de cellules.

Cette nouvelle structuration a créé un besoin, celui d'une croissance harmonieuse dans l'espace et dans le temps. L'activité cellulaire s'est organisée au sein de ces nouvelles structures, chaque cellule recevant des informations issues d'autres cellules et de l'environnement. Les molécules déclenchant des réactions dans les cellules réceptrices ont d'abord été identifiées dans le monde animal ; elles sont dénommées hormones, d'après le terme grec qui signifie «mettre en mouvement». Leur synthèse, leur dégradation ou la variation de leur concentration sont des signaux captés et interprétés par les cellules munies des récepteurs adaptés.

Grâce aux expériences réalisées entre 1926 et 1928 par F. Went, à Utrecht, portant sur l'effet de la lumière sur la croissance du coléoptile d'avoine, le terme hormone fut également appliqué aux molécules végétales (le coléoptile est le nom donné à la gaine qui, chez les plantes monocotylédones, entoure l'épicotyle de la graine, la partie qui donnera la tige). Went s'est posé la question : comment les extrémités des plantes qui croissent en présence de lumière deviennent-elles la partie inférieure de la tige, les feuilles ou les racines ?

Les expériences de Went ont abouti à la découverte de l'auxine : cette substance voyage de la pointe de la plante, lieu de synthèse, jusqu'au coléoptile, où elle agit sur la croissance,

laquelle dépend de sa concentration. L'auxine a été la première hormone végétale identifiée. À partir des années 1950, on découvre d'autres hormones qui modulent la croissance et le développement des végétaux : gibbérellines, cytokinines, acide abscissique et éthylène. Outre ces phytohormones proprement dites, on identifie d'autres substances – polyamines, brassinolides, acide salicylique, acide jasmonique et ses dérivés, oligosaccharine, etc. – parfois assimilées à des hormones végétales. Il n'est pas évident que ces molécules agissent à distance, comme les hormones, et ces substances et les composés associés sont plutôt dénommés régulateurs de la croissance végétale, ou phytorégulateurs. Ces régulateurs ont une caractéristique commune : la capacité de commander et de modifier la croissance et le développement des plantes.

Aucun des régulateurs découverts dans les plantes n'exerce de fonction hormonale connue chez les animaux, pas plus que le système endocrinien des animaux n'a d'équivalent chez les plantes : les cellules des plantes et des animaux communiquent à l'aide de signaux chimiques différents. Il n'empêche que les éléments et les mécanismes intracellulaires qui règlent les réactions des plantes aux hormones sont analogues à ceux du règne animal.

Les plantes captent la lumière solaire, elles restent immobiles dans l'environnement et ne se conforment à aucun modèle précis dans leur première phase de développement. Les animaux, en revanche, se déplacent, utilisent différentes stratégies pour s'alimenter, et leur croissance est précisément orchestrée. La formidable capacité des plantes à se développer en s'adaptant à l'environnement, et la

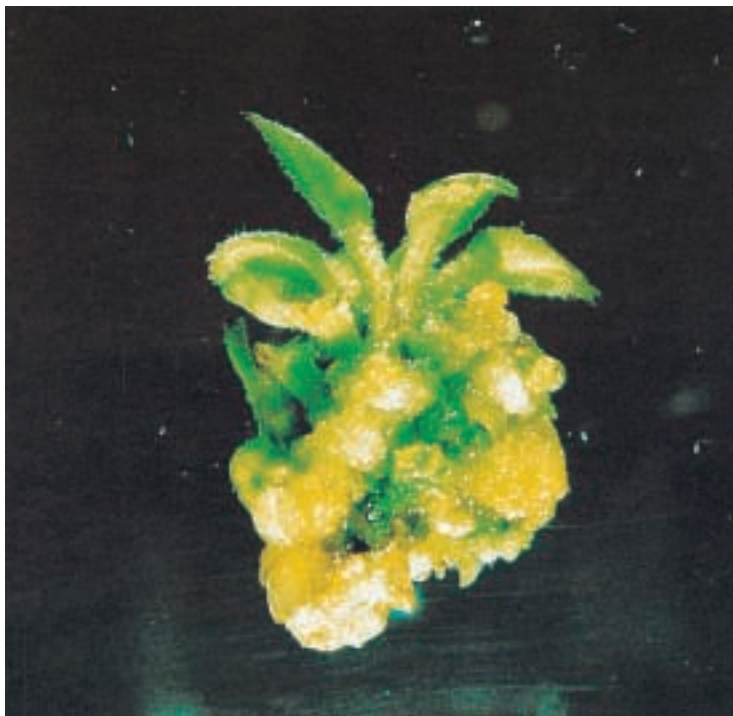
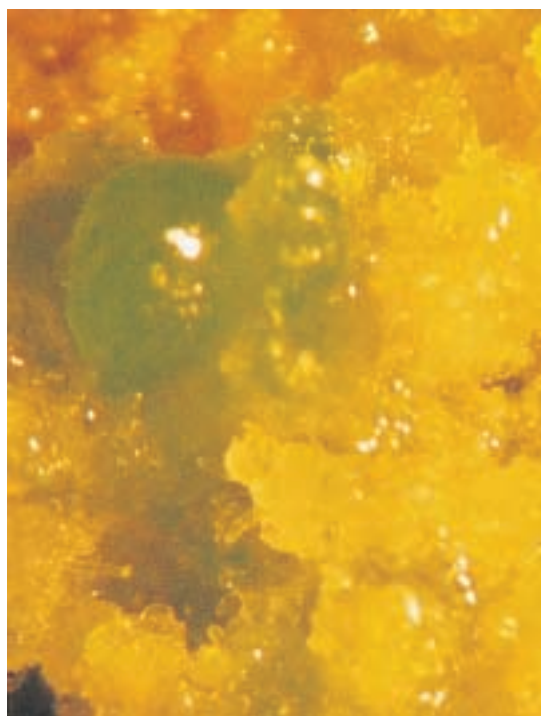
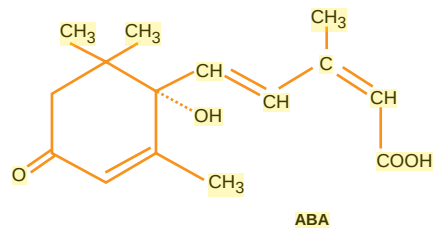
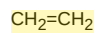
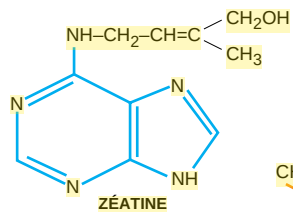
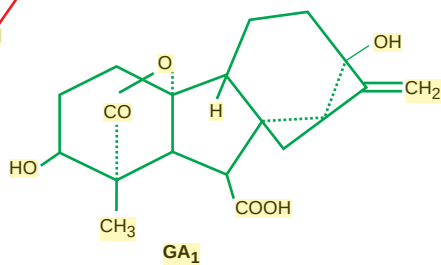
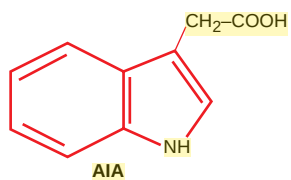
faculté des régulateurs végétaux à moduler ce développement, montrent la souplesse de la cellule végétale, la diversité et la richesse des phytorégulateurs. Ces caractéristiques ont-elles déterminé le choix spécifique d'un ensemble de messagers chimiques intercellulaires ? Les animaux et les plantes ont-ils des ancêtres communs où sont apparus les premiers mécanismes des réactions intracellulaires ?

Détermination du rôle des hormones

Les hormones végétales participent à de nombreux mécanismes physiologiques, et il n'est pas toujours aisé de déterminer si une seule hormone agit ou si une combinaison d'hormones différentes intervient. Dès lors, comment étudier l'action d'une hormone dans un tel labyrinthe de métabolites et de réactions ? Les chercheurs s'efforcent de mettre au point des dispositifs expérimentaux où une hormone déterminée joue un rôle unique ou prépondérant dans un mécanisme physiologique.

Pour cela, les physiologistes utilisent fréquemment des mutants dont la synthèse hormonale ou celle d'un élément de la chaîne des réactions est perturbée.

1. HORMONES ET RÉGULATEURS de la croissance végétale se regroupent en familles, dont les cinq éléments les plus représentatifs sont indiqués dans la partie supérieure : auxines (AIA, acide indolacétique), éthylène, gibbérellines (GA₁), cytokinines (zéatine) et acide abscissique (ABA). Les clichés illustrent la capacité des hormones végétales à réguler la croissance et la morphogénèse des cultures cellulaires. En faisant varier les proportions des hormones et des régulateurs, on peut obtenir des tissus peu différenciés (cal, zone jaune) ou déclencher la différenciation des bourgeons (zone verte, en haut, à gauche), des tiges (en haut, à droite et en haut, à gauche) et des racines (en bas, à droite).



Les physiologistes déclenchent ainsi, soit une synthèse permanente, soit un blocage, partiel ou total, de l'hormone. Si les mécanismes des réactions sont modifiés, l'hormone n'est plus active, ou n'est active que partiellement ; dans certains cas, la réaction est permanente, même en l'absence de l'hormone.

Les hormones et autres régulateurs commandent le programme de croissance des cellules végétales. Trois faits valident cette affirmation : les réactions des plantes aux changements de l'environnement déclenchées par les hormones ; les réactions, observées *in vitro*,

des cellules végétales à différentes phytohormones ; l'action de certains phytopathogènes.

Face aux changements de leur environnement, les plantes ne peuvent fuir : aussi modifient-elles leur vitesse de croissance et même leur programme de développement. Une plante qui croît dans une zone où la végétation est touffue et la lumière rare tend à s'affiner et à augmenter les distances internodales de sa tige (les distances entre deux ramifications sur la tige). Lorsqu'elle atteint des zones plus lumineuses, les distances inter-

nodales diminuent. Selon l'environnement, le méristème apical continue à former de nouvelles feuilles et de nouvelles tiges, ou modifie son programme de développement pour se transformer en méristème floral. Cet accroissement des distances internodales et cette différenciation florale sont commandés par des hormones.

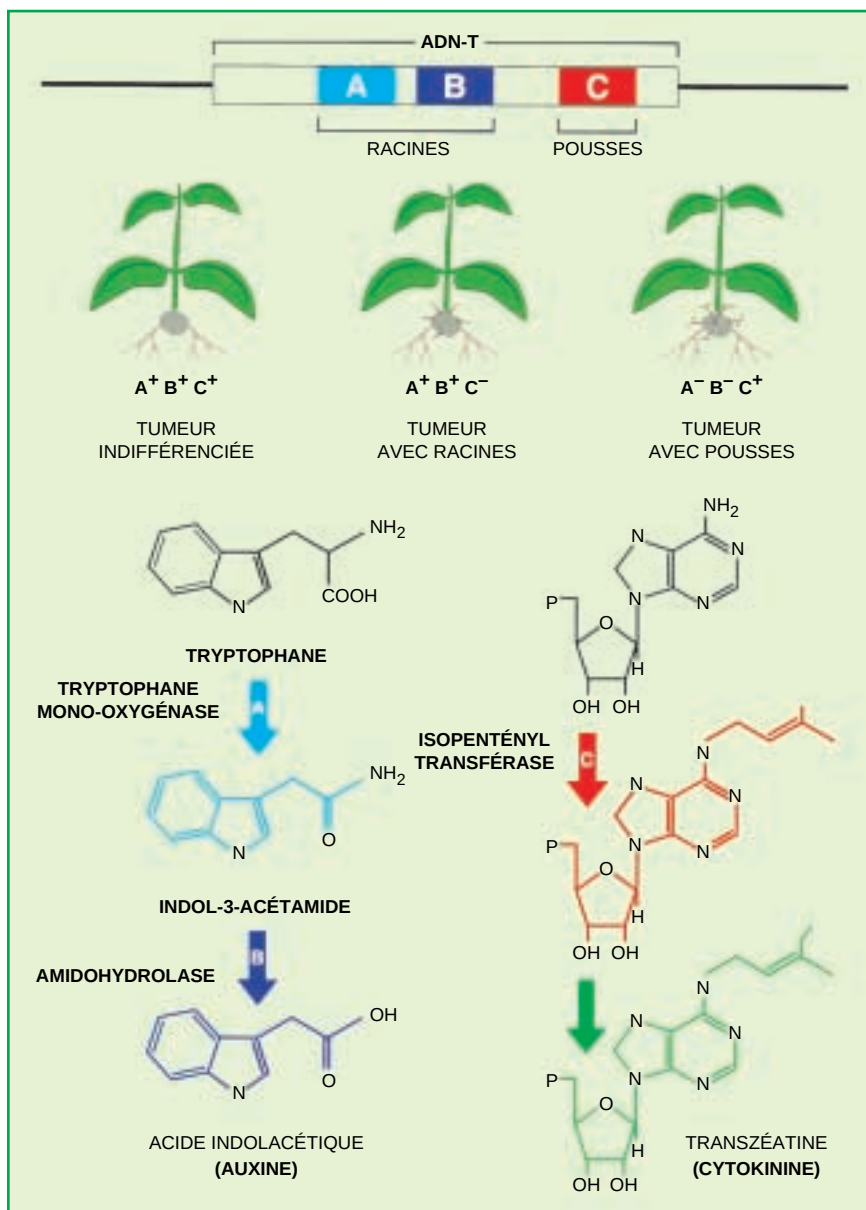
Les cellules des plantes sont dotées de la capacité spécifique de régénérer un organisme complet, même quand elles sont très différenciées. De surcroît, depuis les travaux novateurs de F. Skoog, de l'Université du Wisconsin, on sait que l'apport d'hormones ou de phytorégulateurs en quantités appropriées dans un milieu où croissent des cellules plus ou moins différenciées, déclenche la formation d'organes. Selon la proportion d'auxines et de cytokinines, les cellules donnent naissance à des tiges, à des racines ou à des tissus indifférenciés. Les proportions nécessaires diffèrent d'une espèce à l'autre : la régénération des plantes dépend des phytorégulateurs et des espèces sur lesquelles ils agissent.

Le transfert des gènes

L'homme n'a pas été le premier à modifier le développement et la différenciation des plantes en perturbant les concentrations hormonales. Des millions d'années avant que l'homme ne découvre l'existence des hormones, certains pathogènes avaient développé des stratégies ingénieuses. Ainsi, lorsque la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* infecte les plantes qui y sont sensibles, elle déclenche des tumeurs en incorporant de l'ADN-T (ADN transféré) dans certains chromosomes de la plante ; ce fragment est incorporé dans le plasmide bactérien inducteur de tumeurs.

Des expériences de mutagenèse menées sur l'ADN transféré ont démontré que trois gènes, A, B et C, déterminent le phénotype de la tumeur. Selon le gène qui a été muté, on obtient une tumeur indifférenciée ($a^+ b^+ c^+$), une tumeur avec des pousses ($a^- b^- c^+$) ou une tumeur avec des racines ($a^+ b^+ c^-$). Des gènes contrôlent la production des enzymes actives dans la biosynthèse des auxines et des cytokinines, et les concentrations de ces hormones déterminent le phénotype de la tumeur.

Les biologistes utilisent la bactérie *Agrobacterium tumefaciens* pour transférer de l'ADN dans des plantes qui y



2. INFECTION D'UNE PLANTE par *Agrobacterium tumefaciens*. L'organisme transfère aux cellules végétales un fragment d'ADN (l'ADN-T) contenu dans le plasmide bactérien inducteur de tumeurs. L'ADN transféré est porteur de gènes (A, B et C) qui permettent la synthèse d'acide indolacétique (auxine) et d'isopentényladénine, précurseur de la transzéatine (cytokinine), qui sont les hormones responsables du phénotype de la tumeur. Dans cette expérience, *Agrobacterium* conserve sa capacité de produire des tumeurs et, selon le gène qui est muté, les tumeurs ont des phénotypes différents.