

Zeitschrift: Saussurea : journal de la Société botanique de Genève
Herausgeber: Société botanique de Genève
Band: 30 (1999)

Artikel: Physiologie végétale : de la compréhension à la création
Autor: Fink, Andreas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098885>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 17.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Physiologie végétale: de la compréhension à la création

Andreas Fink

La physiologie végétale est une science pluridisciplinaire qui a tout d'abord étudié les mécanismes vitaux des plantes, tant dans un but de compréhension scientifique que d'application aux cultures. Les champs d'investigation ont d'abord concerné la nutrition minérale, l'assimilation carbonée, les échanges gazeux et hydriques puis la physiologie du développement afin de répondre aux questions rencontrées en production telles que les déficiences nutritives, la gestion de l'irrigation, la fertilisation, la dormance des graines et des bourgeons, l'application de régulateurs de croissance ou encore la conservation et la maturation des fruits.

La physiologie végétale est également au service d'autres disciplines et technologies dont elle ne saurait actuellement être dissociée, comme par exemple la pathologie végétale, la génétique, la biochimie, l'écologie¹ ou les biotechnologies. On ne saurait actuellement envisager un voyage vers Mars sans avoir résolu les questions de physiologie végétale liées à l'approvisionnement alimentaire et au recyclage de l'air. Réciproquement, l'essor d'autres disciplines comme la biochimie et la biologie moléculaire a également permis une révolution de cette science.

De la bioindication...

En écologie¹, la caractérisation des écosystèmes repose essentiellement sur la description de leur phytocénose, c'est-à-dire leurs peuplements végétaux. Les plantes représentent en effet la plus grande part de la biomasse (95 %) et constituent le plus souvent le maillon initial des réseaux alimentaires des écosystèmes terrestres et aquatiques. En outre, les plantes terrestres sont d'excellents indicateurs de leur environnement par leur dépendance directe des facteurs édaphiques (du sol) et climatiques. Ainsi, la caractérisation des phytocénoses par l'abondance relative et les préférences écologiques de chaque espèce présente intègre de nombreuses données sur la physiologie des végétaux telles que l'humidité, l'acidité (pH), la richesse organique et minérale du sol, l'ensoleillement, la température, la continentalité ou les stratégies de développement. Si les plantes calcicoles révèlent la présence de calcium, d'autres espèces indicatrices de minéraux peuvent être employées dans la prospection minière.

Par ailleurs, la connaissance précise de la physiologie des espèces en danger d'extinction est indispensable en vue de leur sauvegarde afin de définir et protéger les milieux qui leur offrent les meilleures conditions de survie.

...à l'assainissement des eaux...

De nombreuses techniques d'assainissement de sols ou d'eaux polluées par des éléments nutritifs, des métaux lourds ou des pesticides impliquent des micro-organismes ou des plantes. A titre d'exemple, le lagunage² est utilisé comme phase d'épuration finale dans certaines stations d'épuration des eaux (STEP). Des procédés de culture hydroponique (cultures de plantes terrestres sans le support d'un sol) sont actuellement à l'étude pour valoriser l'épuration (épuvalisation) de lisier d'élevage, de lixiviats³ de décharges d'ordures ménagères ou

¹ **Ecologie** : science pluridisciplinaire qui étudie les écosystèmes. Un écosystème est constitué par son biotope, c'est-à-dire l'ensemble des éléments et facteurs non vivants, et par sa biocénose qui regroupe l'ensemble des organismes.

² **Lagunage** : création de bassins ou étangs pour l'épuration par l'action des micro-organismes.

³ **Lixiviats** : produit issu d'opération de lavage et de percolation.

d'eaux usées en zone aride à l'aide de plantes potagères comme le céleri, le cresson, la tomate ou le melon ou de plantes ornementales comme les cypérus, les balisiers, les œillets et les roses à couper.

...en passant par la fixation de l'azote atmosphérique

Dans l'optique du développement durable, les pratiques culturales se sont orientées vers des formes plus respectueuses de l'environnement comme la production intégrée ou l'agriculture biologique, tout en maintenant le niveau de qualité et de rentabilité. Dans cette optique, la sélection des cultivars et la gestion de l'assolement sont primordiales. Dans les plans de rotation des cultures apparaissent souvent des légumineuses oléagineuses ou fourragères telles que le soja, les pois, la luzerne ou les trèfles. Ces cultures sont intéressantes par l'enrichissement en azote qui résulte de la symbiose qu'elles peuvent développer avec les bactéries fixatrices d'azote atmosphérique (N_2) du genre *Rhizobium* abritées dans des nodules racinaires. La mise en place de la symbiose a été particulièrement étudiée et les mécanismes de communication entre les plantes et les micro-organismes ont été identifiés au niveau moléculaire. Plus de 20 gènes sont impliqués chez les Fabacées pour différencier les bactéries symbiotiques des bactéries pathogènes et induire toutes les étapes de la formation de nodules. Cette complexité rendra probablement illusoire le transfert de la capacité de la symbiose fixatrice d'azote à d'autres familles végétales mais démontre la capacité de communication des plantes avec des organismes appartenant à un autre règne.

Synthèse

Lutte contre les agents pathogènes

Un autre aspect visé par les techniques culturales modernes est la réduction des traitements phytosanitaires chimiques en renforçant les défenses naturelles des végétaux. Dans cette optique, la stratégie de stimulation des défenses des plantes est envisagée. Bien que dépourvus du système immunitaire des vertébrés, les végétaux ont développés plusieurs parades défensives telles que la réponse d'hypersensibilité locale qui induit une nécrose rapide des tissus infectés empêchant ainsi le développement et la dispersion des agents pathogènes. Comme dans l'exemple précédent, les études de pathologie végétale ont souvent montré une double spécificité de réponse des végétaux (sensibilité) aux différentes souches pathogènes (virulence). On recherche actuellement des médiateurs (éliciteurs) capables d'activer ces lignes de défense lors d'une infection par un agent pathogène quelconque. Les mécanismes de virulence des pathogènes sont parfois non spécifiques comme cela a été montré par la capacité de la bactérie pathogène de l'homme, *Pseudomonas aeruginosa*, à tuer le ver nématode *Caenorhabditis elegans* et déclencher une maladie chez la Brassicacée *Arabidopsis thaliana*. Ici, les toxines bactériennes provoquent un stress oxydatif par l'émission de molécules très réactives comme le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et des radicaux libres (O_2^* ; ces molécules sont également impliquées dans le processus de vieillissement cellulaire). Au niveau biochimique, l'étude d'enzymes utilisant le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), comme les peroxydases dont certaines isoformes dirigent la lignification de la paroi, est prometteuse. Récemment, l'enzyme fucosyltransférase, dont le gène (*AtFT1*) a pu être isolé chez *Arabidopsis*, a été identifiée comme étant un facteur-clé de la synthèse de la paroi cellulaire.

La communication chez les plantes

Même si les plantes et surtout leurs fleurs véhiculent une symbolique évidente, les végétaux ont rarement été considérés comme des êtres sensibles et ont souvent été classés parmi les objets. Les exemples précédents démontrent, au contraire, la capacité de communication et de sensibilité des plantes.

Pour la sensibilité, il est nécessaire de rappeler la capacité des plantes à percevoir les fluctuations, parfois subtiles, de leur environnement. Par exemple, le thermopériodisme et le photopériodisme sont à la base de la régulation temporelle du développement. La découverte des phytochromes⁴, responsables, entre autres, de la mesure du photopériodisme, puis des gènes qui les codent, ont permis de décrypter partiellement les mécanismes de mesure du temps et d'identifier des gènes dont les produits fonctionnent comme oscillateurs et constituent les horloges biologiques.

Pour la communication, citons les nombreuses substances répulsives émises par les plantes pour leur protection et les substances diffusées pour l'attraction des pollinisateurs. Les plus complexes sont les orchidées capables de synthétiser des molécules identiques à celles servant de phéromones à leurs insectes pollinisateurs.

Certaines substances gazeuses comme l'éthylène et le jasmonate de méthyle servent également de moyen de communication entre les plantes. L'hormone gazeuse éthylène est produite lors de la maturation de fruits comme les bananes ou les pommes et induit celle des autres fruits. De même, elle est émise lors de blessures et peut activer des mécanismes de défense chez d'autres plantes comme la synthèse de composés phénoliques.

Les biotechnologies⁵

La caractérisation biochimique des premières hormones végétales, à partir de 1920, a considérablement ouvert le champ d'investigation de la physiologie du développement. Cet important domaine a non seulement conduit à l'identification des facteurs liés à la nutrition, la lumière, la température ou aux phytohormones qui contrôlent le développement, mais a également apporté des informations sur les interactions entre ces facteurs. Ces découvertes ont permis de nombreuses applications comme l'emploi d'auxines (2,4-D) comme désherbants sélectifs ou le développement de régulateurs de croissance comme le cycocel ou CCC à action antigibbérelline⁶ qui est appliqué contre la verse des céréales ou pour induire le nanisme. Elles ont également rendu possible le développement de la culture *in vitro* et des différentes biotechnologies⁵ visant la multiplication, la sélection variétale et sanitaire ou la conservation des plantes qui y sont associées.

La physiologie moléculaire

Plus récemment, le développement spectaculaire de la biologie moléculaire dans les années 70 a totalement redéfini l'approche physiologique en ne parlant plus de la fonction mais du gène, support moléculaire de cette fonction. Plusieurs technologies importantes comme l'application des endonucléases de restriction (ciseaux moléculaires), la maîtrise du séquençage ou la PCR (voir sous note ⁷) ont permis une avancée considérable dans la compréhension des fonctions des gènes.

⁴ **Phytochrome** : système photorécepteur.

⁵ **Biotechnologies** : ensemble de techniques faisant appel à des êtres vivants pour fabriquer des produits ou des services. On les utilise pour fabriquer la bière ou le yaourt, produire des médicaments, purifier l'eau, etc. Elles comprennent la culture *in vitro* de cellules, de tissus ou d'organismes, le clonage, la fécondation *in vitro*, le génie génétique, etc...

⁶ **Gibbérelline** : hormone impliquée dans les phénomènes de croissance des plantes.

Un exemple frappant est l'identification des régulateurs du développement des feuilles et des organes floraux. La biologie moléculaire⁷ a permis d'identifier de nombreux régulateurs du développement par l'étude de mutants d'*Arabidopsis* et du muflier, ou gueule de loup, présentant des organes floraux anormaux. Ces régulateurs appartiennent à une famille de gènes sélecteurs ou gènes homéotiques (*MADS-box genes*) qui déterminent l'identité des organes. Ainsi, les carpelles, les étamines, les pétales, les sépales et les feuilles représentent des formes plus ou moins modifiées d'un plan de développement commun. Ce modèle intègre des facteurs endogènes comme les hormones et exogènes comme le photopériodisme, par exemple. Ce modèle de développement commun à cette brassicacée et cette scrophulariacée a été validé, par la suite, chez de nombreuses autres espèces végétales par la découverte de régulateurs du développement analogues. De plus, ce modèle développé chez les plantes montre de fortes analogies avec celui de la mouche du vinaigre, ou drosophile, qui régit cette fois l'identité des organes portés par les différents segments de l'insecte.

Les grands projets de décryptage de l'ensemble du génome d'organismes modèles ont permis d'établir d'importantes banques de données génétiques. Ces programmes sont, par exemple, déjà achevés chez la bactérie *Escherichia coli* et la levure *Saccharomyces cerevisiae*. Il vient de se terminer chez le ver nématode *Caenorhabditis elegans* et devrait aboutir, d'ici 2001, pour la plante modèle *Arabidopsis thaliana*, et un peu plus tardivement pour l'homme. Ces projets conduisent à l'isolement d'un nombre croissant de gènes dont la ou les fonctions restent inconnues. Différentes techniques comme l'étude de mutants sur- ou sous-exprimant le gène inconnu permettent d'apporter des indications sur les fonctions du gène étudié. Les gènes de fusion constitués par la fusion du gène inconnu avec un gène marqueur (*reporter gene* comme GUS) qui colore les tissus permettent de suivre l'expression spatio-temporelle du gène inconnu par l'intermédiaire de celle du gène marqueur.

Le génie génétique⁸

La combinaison des techniques de culture *in vitro* et de biologie moléculaire, aboutissant à la transgénèse ou génie génétique⁸, a révolutionné depuis une décennie la physiologie végétale, avec l'apparition des organismes génétiquement modifiés (OGM). Le transfert d'une partie de l'information génétique d'un organisme à un autre existe naturellement chez les végétaux avec les bactéries phytopathogènes du genre *Agrobacterium* qui induisent la formation de tumeurs végétales. Les gènes portés par le plasmide⁹ bactérien sont incorporés dans le génome végétal et induisent l'accumulation de substances nutritives (opines) pour les bactéries et la synthèse d'hormones de croissance responsables de la formation de la tumeur.

Les applications pratiques de la transgénèse utilisent *Agrobacterium* ou des procédés similaires pour le transfert de gènes. Ensuite, les cellules ou tissus transformés sont sélectionnés, par exemple au moyen de la résistance à un antibiotique qui leur a été conférée par l'introduction des nouveaux gènes, et mis en culture pour la régénération de plantes entières. Finalement les plantes transformées sont sélectionnées sur la base de l'expression du nouveau caractère et de leur conformité vis-à-vis de leurs caractéristiques antérieures. La première application commercialisée a été la tomate *Flavr Savr* de Calgene dont la maturation a été ralentie par la réduction de son expression hormonale d'éthylène.

⁷ **Biologie moléculaire** : ensemble de techniques qui permettent l'étude moléculaire du codage, de l'expression et de la transmission de l'information génétique.

- L'ADN ou acide désoxyribonucléique constitue les chromosomes et porte l'information génétique. Cette information dépend de la séquence des quatre nucléotides, symbolisés par A, T, C et G, dans la molécule d'ADN.

- Un gène est une portion d'ADN qui code pour un caractère c'est-à-dire exprime une protéine.

- Le génome est l'ensemble des gènes donc des chromosomes d'un organisme.

- Le séquençage est la lecture et le décryptage de l'information génétique.

- Les endonucléases de restriction sont des enzymes qui permettent de couper l'ADN au niveau de séquences définies. Elle sont associées aux ligases qui permettent de relier deux fragments d'ADN.

- Le clonage moléculaire est l'isolement d'un ou plusieurs gènes dans un vecteur en vue de leur multiplication et/ou de leur expression.

- Les vecteurs comme les plasmides sont des molécules d'ADN qui ont la capacité d'héberger un fragment d'ADN et de se recopier.

- La PCR ou réaction de polymérisation en chaîne permet de multiplier des fragments d'ADN.

Ces technologies ont l'avantage de dépasser les barrières liées à la capacité de reproduction ou à la compatibilité de greffe et de permettre l'échange de caractères entre organismes très différents. Il est possible, par exemple, de vacciner des plants de tabac contre un virus ou de leur faire produire de l'hémoglobine et des anticorps humains à l'aide respectivement de gènes d'origine virale et humaine. Le maïs a été protégé contre la chenille du papillon de la pyrale en lui faisant exprimer la toxine de la bactérie *Bacillus thuringiensis* (Bt).

La création de plantes résistantes aux herbicides totaux comme le soja, par exemple, a bouleversé leur pratique culturale. Dans le domaine agroalimentaire, de nombreuses perspectives sont ouvertes. Par exemple, la modification génétique de l'amidon est envisagée pour en améliorer la viscosité et lui conférer une meilleure résistance à la température et aux cycles de congélation-décongélation. Le domaine pharmaceutique n'est pas en reste avec le développement de plantes-médicaments (médicaliments).

Bien sûr, les applications du génie génétique peuvent également servir à résoudre des problèmes globaux comme la malnutrition, avec par exemple: 1° l'augmentation de la productivité des plantes vivrières comme le riz, par insertion d'un gène d'insensibilité aux gibbérellines (*gai*) induisant le nanisme, ou 2° l'augmentation de la tolérance à la salinité (gène *AtNHX1*) permettant des cultures sur des sols salés et l'utilisation d'eau d'arrosage fortement minéralisée, ou encore 3° la modification de la composition des aliments et du fourrage en acides gras ou en acides aminés afin d'éviter des problèmes de carence.

Gènes et éthique

Plusieurs problématiques ont toutefois été soulevées. La nature des gènes transférés peut être mise en cause. Par exemple, lors de l'amélioration de la teneur en acides aminés du soja par l'introduction d'un gène de la noix du Brésil, la protéine (2s) produite s'est révélée être l'un des principaux allergènes de cette noix. L'inverse, c'est-à-dire la suppression d'allergènes dans les aliments, est envisagé actuellement chez le riz, la pomme de terre (solanine) ou les haricots (lectines). La dispersion des gènes introduits dans l'environnement par croisement avec les plantes sauvages a été démontrée, pour des gènes de résistance aux herbicides, entre le colza et une mauvaise herbe apparentée, la ravenelle. Un autre risque intrinsèque est lié à l'insertion aléatoire des gènes transférés dans le génome de l'organisme receveur, ce qui peut perturber l'expression des gènes situés au voisinage du site d'insertion. Ce phénomène est d'ailleurs utilisé en recherche pour provoquer aléatoirement des mutations dont l'emplacement est marqué par les gènes introduits.

Les réticences de l'opinion publique pèsent un lourd poids sur certaines applications. La firme Monsanto a d'ailleurs renoncé à l'emploi des graines de maïs stériles *TPS* (*technology protection system* rebaptisé *terminator* par ses opposants) qui contraignaient les céréaliculteurs à commander de nouvelles semences chaque année. Lors du dernier sommet du G8, les chefs d'Etat et de Gouvernement ont demandé aux experts de l'OCDE « d'entreprendre une étude sur les implications de la biotechnologie et d'autres aspects de la sécurité alimentaire ».

⁸ **Génie génétique** : ensemble des techniques qui permettent de modifier le contenu de l'information génétique et son expression. Il est possible d'éliminer un gène, d'ajouter un nouveau gène ou de moduler l'expression d'un gène existant, soit en le surexprimant, soit en le sousexprimant.

Les nouveaux gènes apportés peuvent provenir de la banque de gènes du même organisme ou d'organismes appartenant à un autre règne.

⁹ **Plasmide** : ADN circulaire, hébergé par une bactérie et dont la réplication est autonome.

Ces biotechnologies soulèvent un intense débat bioéthique qui rejoint des préoccupations médicales comme l'application de la thérapie génique à l'homme ou le clonage humain, ainsi que des soucis au niveau environnemental comme la conservation de la biodiversité ou le risque technologique. Plus largement, la physiologie végétale tient sa place dans les importants débats éthiques qui marquent la recherche de nouvelles définitions et normes sociales, signant ainsi la transition d'une société postindustrielle vers une société technoscientifique.

Texte

Andreas Fink

83, ch. du Bois des Arts

CH-1226 Thônex

Synthèse |