

LES PLANTES ONT-ELLES UNE MÉMOIRE ?

Michel Thellier



éditions
Quæ

Les plantes ont-elles une mémoire ?

Remerciements

Un certain nombre de collègues, amis et parents m'ont gracieusement aidé dans la préparation de ce livre. Je tiens à exprimer ma gratitude à Anne Alexandre, Jean-Louis Bonnemain, Marie-José Costil, Claude Gillet, Janine Guespin, Chantal et Yannick Kerdudou, Philippe Lefrançois, Nolwenn Legrand, Hervé Le Guyader, Ulrich Lüttge, Victor Norris, Sandrine Pesnel, Jeanine Rens, Camille Ripoll, Marie-Claire Verdus et Alain Vian dont l'aide m'a été précieuse tant sur le fond que pour en adapter la forme à un lectorat non scientifique et pour en améliorer l'illustration.

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex
www.quae.com

ISBN : 978-2-7592-2326-8
© Éditions Quæ, 2015

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Les plantes ont-elles une mémoire ?

Michel Thellier

Éditions Quæ

Sommaire

Remerciements	2
Préface	7

LA PLANTE ET LE SOUVENIR	11
Il était une fois...	11
... L'histoire d'une découverte	11

CHAPITRE 1 MOI, UNE PLANTE **13**

Premier portrait	13
La photosynthèse : une capacité exceptionnelle	14
À la base de l'organisme végétal	15

CHAPITRE 2 ATTENTION, VÉGÉTAL SENSIBLE ! **19**

Une sensibilité ciblée	19
Les affaires sensibles du végétal	20
Comment les plantes perçoivent-elles les stimulus ?	28
De la perception d'un stimulus à la réponse finale	31
De la sensibilité des végétaux à quelques applications pratiques	33

CHAPITRE 3 LE MEMORANDUM D'UNE RECHERCHE **35**

Une étude des corrélations entre organes chez la plante	35
Découverte d'une mémoire végétale	38
Une mémoire végétale de type « stockage/rappel »	41
Un concept « contre-intuitif » en voie d'acceptation	45

CHAPITRE 4 AU BONHEUR DES EXPÉRIMENTATEURS **47**

Les nouveaux systèmes d'étude	47
Un allongement soumis à la mémoire	48

Une mémoire qui se retrouve dans la production de méristèmes épidermiques	51
Une augmentation d'activités peroxydasiques liée à la mémoire	59

CHAPITRE 5 QUAND LES PLANTES « APPRENNENT » **61**

Quelques exemples de mémoires végétales liées à l'apprentissage	61
Mémoires liées à l'apprentissage vs mémoires de type « stockage/rappel »	62

CHAPITRE 6 MÉMOIRE VÉGÉTALE ET MÉMOIRE ANIMALE OU HUMAINE **65**

Rappel de quelques aspects des mémoires animales ou humaines	65
Mémoire végétale vs mémoire animale	66

CHAPITRE 7 UNE MÉMOIRE VÉGÉTALE, MAIS POUR QUOI FAIRE ? **69**

Réponses directes vs mémorisation	69
Bénéfices qu'une plante peut retirer de mémoires de type « apprentissage »	69
Pourquoi stocker une information plutôt que de mémoriser un stimulus ?	70
Pourquoi associer deux types de mémoire ?	72
Trois aveugles, un éléphant et quelques écologues à la rescousse	72

CHAPITRE 8 VERS LA SYNTHÈSE **75**

Un essai de modélisation conceptuelle	75
Adéquation du modèle aux données observationnelles et expérimentales	77
Ce que l'on sait de plus solide et interprétations en découlant	77
Un peu de spéculation	80
Quelques suggestions pour du travail futur	82

Épilogue	83
----------	----

ANNEXE 1 CODES ET MESSAGES SECRETS **84**

Codes à quatre symboles	84
Élaboration et décryptage de messages secrets	85
La cryptographie	87

ANNEXE 2 LA MAGIE MOLÉCULAIRE 88

1) Les protéines : à quoi ça sert, et comment ça marche ?	88
2) Qu'est-ce qu'un gène ?	89
3) Qu'est-ce que c'est que l'ADN, et quelle en est la structure ?	90
4) Comment l'ADN se conserve-t-il identique à lui-même au cours des divisions cellulaires ?	91
5) Qu'est-ce que c'est que l'ARN, et quelle en est la structure ?	92
6) Comment s'effectue la biosynthèse des protéines à partir du code de l'ADN ?	92
7) Comment se produit la différenciation cellulaire ?	94
8) Comment s'explique l'évolution des êtres vivants ?	95
9) Le code génétique est-il plus ou moins dépendant de l'espèce considérée ?	96
10) Qu'en est-il de l'ADN mitochondrial et chloroplastique ?	96
11) Qu'est-ce qu'un OGM ?	97

ANNEXE 3 CONDENSATION ET DÉCONDENSATION DU CALCIUM 98

La condensation de la vapeur d'eau	98
La condensation ionique	98
Implications biologiques	100
Glossaire (aide-mémoire)	101
Bibliographie	109

Préface

Eh oui, les plantes ont de la mémoire ! Le lecteur comprend évidemment que la réponse à l'interrogation du titre de Michel Thellier est positive. Les plantes ont-elles une mémoire ? Imaginons un titre analogue s'appliquant aux animaux ; on attendrait « la mémoire animale », ou « la mémoire des animaux », mais certainement pas « les animaux ont-ils une mémoire ? », une question que personne ne se pose, une évidence pour tout un chacun. Par là même, on perçoit immédiatement l'intérêt de l'ouvrage. Sa synthèse des découvertes les plus récentes en physiologie végétale sur la mémoire des plantes prouve l'inanité de l'idée reçue, et les hypothèses sur le rôle de cette fonction dans l'acclimatation des plantes aux contraintes de l'environnement lèvent les ultimes doutes. En replaçant la mémoire dans un cadre évolutif, l'auteur convainc qu'une nouvelle voie de recherche s'ouvre en physiologie végétale.

Quand on se penche sur la question, ce programme apparaît, en réalité, comme une nouvelle étape d'une histoire déjà longue, et pourtant si mal connue ! En effet, qui dit mémoire dit perception d'un signal, c'est-à-dire sensibilité. Mais comme c'est étrange de voir comment la réflexion scientifique sur la sensibilité des plantes a été occultée, alors que bon nombre de philosophes et botanistes s'y sont intéressés ! Étrange de voir qu'on cite encore les idées simplistes d'Aristote, pourtant réfutées immédiatement par son successeur ! En effet, les premiers biologistes se sont évidemment penchés sur les différences entre animaux et végétaux. Ainsi, Aristote (384-322 av. J.-C.) considérait que, si chaque être vivant avait une âme, suivant les cas, celle-ci pouvait présenter des caractéristiques fort différentes. Des trois fonctions de l'âme humaine – végétative, sensitive et intellectuelle –, celle des animaux n'en conservait que les deux premières, tandis que les végétaux ne disposaient que d'une simple âme végétative, gouvernant génération, alimentation et croissance. En d'autres termes, les plantes étaient dépourvues de sensibilité, *a fortiori* de mémoire. Or cette vision simpliste du monde végétal a été immédiatement remise en cause par Théophraste (371-288 av. J.-C.), qui s'est intéressé au phototropisme des plantes.

Dès les prémices de la science moderne, de nombreuses discussions tournent autour du mystère du végétal. Évidemment, à l'époque, il n'y avait ni les techniques ni les concepts pour approcher rationnellement le problème. Ainsi, au cours de la Renaissance, plusieurs observations-clés sont rapportées mais, la plupart du temps, avec des interprétations erronées. Giambattista Della Porta (1535-1615), plus connu pour ses recherches en optique, William Gilbert (1544-1603), père de l'électricité moderne, se penchent sur la polarité des plantes. En risquant une analogie osée avec le comportement des aimants, ils ouvrent la voie à la recherche d'une explication matérialiste du mouvement des plantes. Le botaniste portugais Cristobal Acosta (1515-1594) s'intéresse au mouvement rapide des feuilles de la sensitive (*Mimosa pudica*) et aux mouvements circadiens de celles du tamarinier (*Tamarindus indica*) qui s'enroulent le soir pour se dérouler au matin. Francis Bacon (1561-1626) croit que de tels mouvements sont le résultat de simples actions mécaniques, et avance une analogie forte entre vaisseaux et fibres des plantes et nerfs et vaisseaux sanguins des animaux. William

Harvey (1578-1657), le découvreur de la circulation sanguine et du rôle mécanique du cœur, va jusqu'à proposer que le mouvement rapide de la sensitive réponde aux mêmes causes que celles de la contraction musculaire animale.

De manière étonnante, la question de la sensibilité végétale ne reste pas restreinte à quelques intellectuels. Les études pionnières déclenchent, au milieu du ^{xvii} siècle, un engouement certain pour le mouvement des plantes. En Angleterre, on cultive la sensitive en serre, et des expérimentateurs comme Robert Browne (1605-1682) et Henry Power (1623-1668) s'intéressent aux phototropisme, gravitropisme, nutation... Le roi Charles II (1630-1685) demande à la Royal Society d'apporter une explication au mouvement des feuilles de la sensitive ! Les expériences qui s'ensuivent, rapportées par Robert Hooke (1635-1703), attirent l'attention sur la sensibilité de la plante. Tout cela conforte l'idée d'alors que, dans le cadre de l'Échelle des êtres (la *Scala Naturae*), la sensitive paraissait comme un intermédiaire entre le végétal et l'animal, au même titre que l'hydre d'eau douce (*Hydra viridissima*) découverte par Abraham Trembley (1710-1784). Ainsi la sensibilité – ou l'irritabilité, suivant Charles Bonnet (1720-1793) – ne pouvait plus être considérée comme le seul apanage des animaux. Du ^{xviii} siècle, l'histoire retient entre autres l'ouvrage *L'Homme-machine* (1747) du matérialiste Julien Offray de La Mettrie (1709-1751), et qui a fait grand bruit. Mais on oublie qu'une année plus tard, il rédige *L'Homme-plante*, dans lequel il compare, de façon provocante, l'irritabilité de ces deux organismes.

Dès la généralisation de la démarche expérimentale, au début du ^{xix} siècle, différents naturalistes s'attaquent à certains aspects de la sensibilité des plantes. On retrouve alors des noms plus familiers, mais certains inattendus. Ainsi, dès 1806, Thomas Knight (1759-1838) rend compte des expériences de gravitropisme réalisées à l'aide de ce que l'histoire retient comme la « roue de Knight », et qui montrent que la racine et la tige s'orientent suivant une accélération, que ce soit celle de la gravitation seule ou combinée avec une force centrifuge. En 1812, il montre le phototropisme négatif de la racine. Henri Dutrochet (1776-1847) tente d'expliquer les mouvements de croissance par des phénomènes osmotiques, et, en coupant une plantule longitudinalement, découvre que la sensibilité à la lumière est bien complexe, car la partie à la lumière se courbe, tandis que celle à l'ombre continue tout droit. L'Allemand Julius von Sachs (1832-1897) et l'Autrichien Julius von Wiesner (1838-1916) reprennent les travaux de leurs prédécesseurs, en raffinant les expériences et en utilisant de nouvelles techniques. En combinant phototropisme et gravitropisme, ils tentent de déceler si les mouvements des plantes sont des réponses actives à l'environnement, ou de passives conséquences de l'action de la lumière et de la gravité. De manière originale, ils regardent si la quantité de mouvement est proportionnelle à l'intensité du stimulus, et Sachs, initiant des travaux de microscopie, soupçonne que l'environnement change la structure intracellulaire.

À cette même époque, un nom inattendu surgit dans la bibliographie, celui de Charles Darwin (1809-1882). Effectivement – on l'oublie –, Darwin a très largement publié en botanique et en physiologie végétale. On a trop tendance à restreindre son œuvre à son ouvrage *princeps* – *De l'origine des espèces* – certes fondamental, mais qui fait de l'ombre à tous ses autres centres d'intérêt. Or, quand on regarde ce que Darwin a fait en biologie végétale, on se rend compte que l'évolution et l'adaptation n'étaient pas loin. Il est passionnant de voir comment le père de la biologie évolutive moderne a mené son affaire. Au cours de l'année 1855, il s'est intéressé à la longévité des graines dans l'eau salée. On comprend qu'ainsi il voulait tester l'hypothèse de colonisation des îles océaniques par la voie marine. Tout au long de sa vie, il se penche sur

la reproduction végétale, plus particulièrement celle des orchidées et des Fabacées (appelées alors Papilionacées), avec un accent sur les possibilités d'hybridation et sur le rôle essentiel des insectes pollinisateurs (hyménoptères, lépidoptères).

À partir des années 1860, Darwin se passionne pour le mouvement et la sensibilité des plantes, le cœur de notre sujet. Deux ouvrages importants portent sur les plantes grimpantes (*On the Movements and Habits of Climbing Plants*, 1865) et sur les plantes insectivores et les mouvements de capture qu'elles présentent (*Insectivorous Plants*, 1875). Il entraîne ensuite son septième enfant, Francis (1848-1925), dans une série d'observations et d'études sur le mouvement des plantes, vu de manière plus élargie. Ce sera la matière de son dernier ouvrage (*The Power of Movement in Plants*, 1880). On ne sera pas étonné de trouver, dans l'ouvrage de Michel Thellier, les mêmes espèces citées comme exemples, comme la bryone et la dionée. Ils sont tellement spectaculaires !

Les plantes insectivores passionnent Darwin. C'est d'abord un hobby, puis il regarde les choses de plus près. Ainsi, il montre qu'une droséra (*Drosera rotundifolia*) peut distinguer entre différents objets, et présente, à son grand désarroi, un toucher d'une sensibilité supérieure à celui de la peau humaine. La fermeture rapide de la feuille de la dionée l'amène à spéculer sur un éventuel système nerveux de la plante. Afin de tester cette idée, il rend visite, en 1873, à John Burdon-Sanderson (1828-1905) à l'université de Londres. Ce médecin place des électrodes sur une feuille de dionée, et, à chaque fois qu'un poil a été touché, enregistre une onde électrique analogue au potentiel d'action du neurone animal. Quelle belle expérience sur la sensibilité des plantes ! Et Darwin de la mettre en relation avec l'adaptation de la plante à une nutrition bien particulière.

En 1871, St George Mivart (1827-1900), professeur à Londres, critique sur plusieurs points *De l'origine des espèces*. Darwin s'en émeut, et y répond dans les dernières éditions de son ouvrage majeur. En particulier, Mivart énonce que la sélection naturelle ne peut expliquer la manière dont est apparue la sensibilité des plantes, en particulier celle des plantes grimpantes. En réponse, Darwin postule que la circumnutation est universelle, que c'est donc un caractère ancestral qui se spécialise ensuite pour donner les divers autres types de mouvement. C'est, entre autres, ce qui l'a amené à s'intéresser au gravitropisme et au phototropisme. Une série d'expériences lui permet de postuler que la pointe de la racine est sensible à la gravité – et à d'autres stimulus comme le toucher et la lumière –, et qu'un signal est transmis vers la zone de croissance, causant la courbure de la racine. Cette *root cap hypothesis* l'entraîne dans une controverse avec Sachs, qui lui reprochait son « amateurisme ». Mais Darwin ne s'arrête pas là, et formule une *root brain hypothesis*. Dans les dernières pages de *The Power of Movement in Plants*, on peut lire : « Il n'est guère exagéré de dire que l'extrémité de la radicule ainsi dotée, et ayant le pouvoir de diriger les mouvements des parties contiguës, agit comme le cerveau des animaux inférieurs.¹ » Il n'est pas allé jusqu'à proposer une mémoire, mais il n'en était pas loin. Enfin, reprenons une série d'expériences rappelées par Michel Thellier, celles portant sur le phototropisme du coléoptile. Étrange que l'on présente habituellement les expériences de Peter Boysen Jensen (1883-1959) et de Frits Went (1903-1990), sans parler de celles, pionnières, de Darwin ! C'est quand même lui qui, aidé de son fils, montre que le signal lumineux est perçu par la pointe du coléoptile, et qu'un signal migre dans les tissus sous-jacents.

1. *It is hardly an exaggeration to say that the tip of the radicle thus endowed, and having the power of directing the movements of the adjoining parts, acts like the brain of the lower animals.*

Il est stupéfiant de constater que, dans le monde universitaire anglo-saxon, les mouvements des plantes se trouvaient inclus, jusqu'en 1935, dans les livres de psychologie comparée ! En fait, c'est le développement de la physiologie végétale qui a amené l'autonomie de cette discipline, avec sa propre biochimie, sa propre hormonologie. Si parler de tropisme en psychologie paraît quand même extravagant, une tentative de vision unitaire du vivant avait l'avantage de ne pas isoler monde animal et monde végétal, au risque de provoquer l'étonnement de tout un chacun devant l'existence de la sensibilité des plantes !

Dans la majorité des cas, la sensibilité des plantes présente comme conséquence des mouvements irréversibles de croissance, que ce soit la circumnutation des plantes volubiles, ou les tropismes de racine ou de tige. Darwin avait bien compris l'intérêt adaptatif de ces mouvements, et l'avait replacé dans un cadre évolutif. En fait, l'ouvrage de Michel Thellier permet d'aller un pas plus loin. Il y a mémoire, mais, comme il l'explique sobrement, elle n'a rien à voir avec la mémoire animale telle que nous la connaissons. Simplement, si les mouvements résultant de la sensibilité des plantes sont cruciaux pour la vie de la plante – la racine vers le sol, la tige vers la lumière –, une mémoire va permettre une adaptation plus élaborée, plus intégrée, qu'une simple réponse immédiate : « si la mémoire contribue à permettre à un végétal d'élaborer une réponse adaptée aux conditions régnant à l'endroit où il se trouve, cela peut, à l'évidence, lui être profitable. »

À n'en pas douter, l'ouvrage de Michel Thellier suscitera des travaux ultérieurs, qui, des biologies cellulaire et moléculaire à l'écophysiologie, participeront à la compréhension de la manière dont les quelque 270 000 espèces recensées d'Angiospermes ont colonisé notre planète.

Hervé Le Guyader

Pour en savoir plus

Hopper S.D., Lambers H., 2009. Darwin as a plant scientist: A southern hemisphere perspective. *Trends in Plant Science*, 14 (8), 421-435.

Kutschera U, Briggs W.R., 2009. From Charles Darwin's botanical country-house studies to modern plant biology. *Plant Biol*, 11, 785-795.

Kutschera U, Niklas K.J., 2009. Evolutionary plant biology: Charles Darwin's forgotten synthesis. *Naturwissenschaften*, 96, 1339-1354.

Whippo C.W., Hangarter R.P., 2009. The "Sensational" power of movement in plants: A Darwinian system for studying the evolution of behavior. *Am. J. Bot.*, 96 (12), 2115-2127.

LA PLANTE ET LE SOUVENIR

Il était une fois...

Il était une fois un jeune homme et une jeune femme qui s'aimaient. Comme ils se promenaient en forêt, ils arrivèrent près d'une fondrière. Les flancs en étaient tapissés de myosotis d'un bleu intense. La jeune femme s'extasia sur la beauté des fleurs. Le jeune homme entreprit de lui cueillir un bouquet, en s'aventurant sur le bord du gouffre. Il ne connaissait pas les fondrières, ni le danger de la boue épaisse qu'elles contenaient. Il perdit pied sur la paroi humide, glissa jusqu'au bas du trou et commença de s'enfoncer. D'un ultime effort, il lança les fleurs qu'il tenait en sa main vers la jeune femme en disant : « Ne m'oubliez pas ! » Puis il fut englouti pour toujours. On ne sait pas ce que devint la jeune femme, si elle ne vécut plus que dans la mémoire de son amoureux disparu, ou si elle ne tarda pas à se consoler dans les bras d'un nouvel amant. Mais le myosotis devint le symbole du souvenir et s'appela désormais « ne-m'oubliez-pas » en France, *forget-me-not* en Angleterre, *Vergissmeinnicht* en Allemagne, *nomeolvides* en Espagne, et ainsi de suite dans beaucoup d'autres langues.

Mais hors de ce conte romantique, les plantes, plus encore que du symbole du souvenir, pourraient-elles être douées d'une mémoire propre ? Dans le public, les avis sont partagés. Certains sont persuadés que les végétaux ont une mémoire quasiment semblable à la nôtre, que les plantes d'appartement se souviennent de la tendresse ou de la négligence avec lesquelles elles ont été traitées, et qu'elles réagissent en conséquence. Il en est d'autres pour penser que, dans le monde vivant, la possession d'une mémoire est réservée aux animaux, tout particulièrement aux humains, et que la « mémoire des plantes » ne saurait être qu'un oxymore. Et si la vérité se trouvait à mi-chemin de ces deux opinions extrêmes ?

... L'histoire d'une découverte

On sait aujourd'hui que les végétaux ont de la mémoire, même si elle est très différente de la nôtre. L'histoire de la découverte de son existence et de son rôle est un peu tortueuse. Tout est parti de l'étude des corrélations qui se manifestent entre les différents organes d'une même plante, et de la façon dont on peut modifier ces corrélations par l'application de stimulations appropriées. Dans certaines des expériences, il apparaissait que des stimulations, qui semblaient n'avoir aucun effet sur le moment, n'en provoquaient pas moins, à retardement, des modifications du métabolisme ou de la croissance de la plante. Cela parut d'abord incompréhensible, mais finit par s'interpréter en admettant que les plantes avaient la capacité de « mémoriser » de l'information, et que cette information pouvait rester plus ou moins longtemps latente avant d'avoir un effet sur leur développement.

L'étude de cette mémoire inattendue était fascinante, mais compliquée car le système expérimental grâce auquel on l'avait découverte était d'une manipulation délicate. Nous finîmes par

trouver d'autres systèmes expérimentaux qui nous permirent d'en étudier plus simplement les principales propriétés. Dans le même temps, d'autres groupes de chercheurs mettaient en évidence, à partir de systèmes très divers, d'autres manifestations de mémoire végétale.

Ainsi, il se fit peu à peu un consensus sur cette réalité. Restait à comprendre à quoi cette mémoire pouvait leur servir ! Or, les plantes, incapables de se déplacer, doivent parvenir à faire le meilleur usage des stimulations qui leur sont favorables (comme la pluie, l'éclairement) tout en résistant de leur mieux aux plus défavorables (choc thermique, choc de sécheresse, attaque par des phytophages, etc.) à l'endroit où elles se sont enracinées. Tout laisse à penser que cette mémoire intervient dans leur acclimatation aux conditions de leur environnement. Ce petit livre retrace l'histoire de cette étude de la mémoire végétale telle que l'auteur l'a vécue. Bien que cette étude soit le fruit de travaux de laboratoire, ce texte ambitionne de ne pas le faire comme le ferait une publication scientifique.

Les hommes et femmes de science sont des gens inhabituels. Professionnellement, ils sont formés à la planification et à l'interprétation d'expériences, ainsi qu'à un aller-retour permanent entre expérimentation et réflexion. Ils ont développé une terminologie, des symboles et des formules plus ou moins mathématisées, qui leur permettent de s'exprimer entre eux avec concision et précision, mais qui ne sont pas très parlants pour les non-initiés. Ici, nous utiliserons autant que possible le langage naturel. Les expériences seront décrites de façon arrangée et simplifiée (avec des renvois bibliographiques aux articles scientifiques originaux pour ceux qui sont friands d'exactitude). Un glossaire, à la fin de l'ouvrage rappellera la signification des termes les moins familiers.

Pour avancer dans l'étude de la sensibilité et de la mémoire des plantes, nous allons être conduits à parler de protéines, gènes, ADN, ARNm, etc. Ces termes ne sont pas familiers à tout le monde. Ils impliquent des problèmes de codage qui peuvent, à première vue, paraître un peu abscons. Aussi, nous consacrerons l'annexe 1 à une série de jeux consistant à coder et décrypter des messages secrets à l'aide de gommettes de formes et de couleurs différentes. Une fois à l'aise dans ces jeux, les codages dont la vie se sert ne poseront plus de véritables difficultés ; et l'annexe 2 fournira quelques données de biologie moléculaire, élémentaires mais suffisantes pour la compréhension du texte principal. Enfin l'annexe 3 introduira la notion de condensation ionique, un phénomène souvent mal connu des biologistes et qui, pourtant, peut jouer un rôle clef de commutateur dans le fonctionnement des systèmes biologiques.

Bienvenue dans le monde des plantes, de leur sensibilité aux stimulations de l'environnement, et des mises en mémoire qu'induisent ces stimulations.

MOI, UNE PLANTE

Premier portrait

La jeune plante étant l'héroïne du livre, il nous faut en faire une rapide présentation, telle qu'elle est dans ses premiers jours. Le plus souvent, c'est dès l'école maternelle que l'on découvre le phénomène de la germination. Dans une boîte de verre, sur du coton imbibé d'eau, la maîtresse dépose quelques graines, par exemple de radis rose (*Raphanus sativus* pour les botanistes). Au cours des jours suivants, les graines gonflent ; puis il en sort une petite pointe, la future racine, qui s'insinue vers le bas entre les fibres du coton, pendant que, à l'opposé, une crosse d'un jaune verdâtre (l'ébauche des futures parties aériennes) se déploie peu à peu vers le haut.

La figure 1-1 donne l'image d'un radis rose âgé de deux à trois semaines. On y reconnaît la racine, l'hypocotyle, le bourgeon terminal (ou apex) et deux cotylédons opposés. La racine

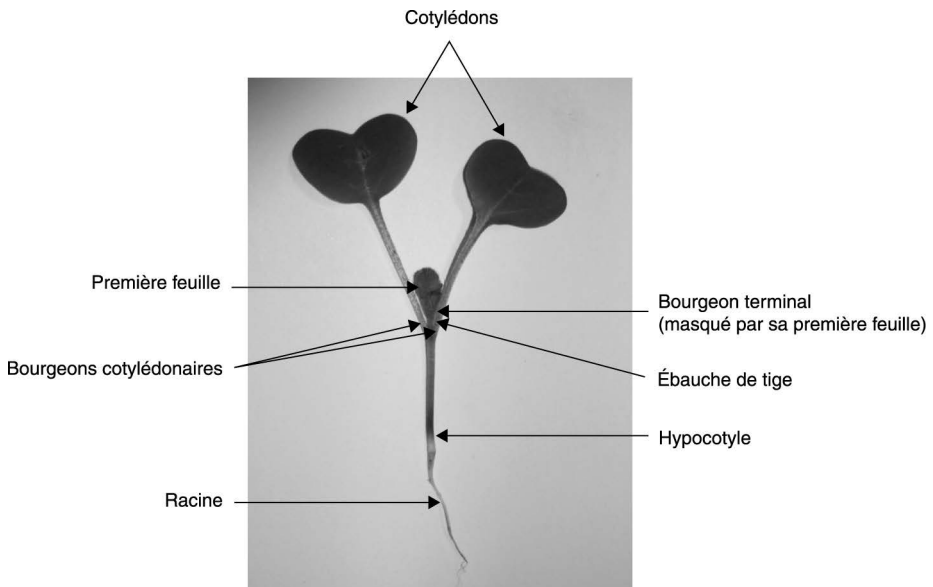


FIGURE 1-1 ■ Plant de radis âgé de 2 à 3 semaines. Photo : Chantal Kerdudou.

À cet âge, l'hypocotyle, qui se chargera de réserves et deviendra la partie comestible du radis, est déjà légèrement teinté de rose. Le bourgeon terminal est en croissance active et commence à former une tige et des feuilles. Les bourgeons cotylédonaires sont si petits qu'on ne les voit pas sur la photo.

s'agrandit par sa pointe. Les cotylédons, un peu en forme de cœur chez le radis, sont les toutes premières feuilles ; ils préexistent dans la graine et s'élargissent et verdissent après la germination. L'hypocotyle est la partie de la tige comprise entre la racine et les cotylédons. L'apex est un bourgeon en croissance active. À l'aisselle de chacun des cotylédons, il y a un bourgeon (dit cotylédonaire) ; les bourgeons cotylédonaires sont inactifs et si petits qu'il est difficile de les distinguer à l'œil nu.

L'apex va former la tige puis de véritables feuilles. Celles du radis rose sont quasi elliptiques et indentées sur les bords ; mais la forme des feuilles est extrêmement variable d'une espèce végétale à l'autre. Leur disposition est également variable selon les espèces : sur une tige, elles peuvent être opposées (c.-à-d. se présenter par paires où chacune est disposée en face de l'autre, symétriquement par rapport à la tige) ou alternes (décalées les unes par rapport aux autres tout au long de la tige). Les feuilles, y compris les cotylédons, comprennent le limbe (la partie étalée) et le pétiole, qui rattache le limbe à la tige. Elles contiennent de la chlorophylle, un pigment qui leur donne leur couleur verte et leur permet d'effectuer la photosynthèse².

Dans le milieu où elle est implantée (le sol, dans les conditions naturelles), la racine puise l'eau et les sels minéraux (nitrates, sulfates, phosphates et sels de potassium, calcium, magnésium, oligoéléments, etc.) dont la plante a besoin pour son développement. L'absorption de sels minéraux par la racine prend le nom de nutrition minérale.

La photosynthèse : une capacité exceptionnelle

Depuis que le réchauffement climatique est devenu une préoccupation médiatisée, chacun sait que la combustion de la matière organique, y compris bien sûr celle d'origine végétale, consomme de l'oxygène, libère du gaz carbonique (ou dioxyde de carbone, CO_2) en même temps que de l'eau, et fournit de l'énergie. Les chimistes savent faire la réaction inverse, c'est-à-dire créer des molécules organiques avec libération d'oxygène, par la combinaison de gaz carbonique et d'eau, en consommant de l'énergie. Tandis que grâce à la photosynthèse, les végétaux verts, eux aussi, parviennent à libérer de l'oxygène et fabriquer de la matière organique (spécialement des sucres) à partir de gaz carbonique et d'eau ; et c'est la lumière qui leur apporte l'énergie nécessaire à cette opération. En conditions naturelles, la lumière absorbée pour la photosynthèse est tout simplement celle dispensée par le soleil ; en conditions de laboratoire, cette lumière peut être fournie par des lampes.

Nous n'entreprendrons pas, ici, de décrire le mécanisme (complexe) de la photosynthèse ; mais rappelons que les plantes, par combinaison des sucres formés par la photosynthèse avec les sels minéraux absorbés par la racine, parviennent à fabriquer la quasi-totalité des molécules constitutives de la matière vivante. C'est ainsi que les végétaux verts élaborent leur propre substance pour assurer leur croissance. Puis les animaux herbivores, les champignons et toutes sortes d'organismes non photosynthétiques se nourrissent des végétaux

2. Les végétaux verts contiennent d'autres pigments que la chlorophylle, en particulier des pigments de couleur jaune ou rouge orangé tels que les caroténoïdes. Il arrive parfois que la teneur des feuilles en ces pigments soit suffisamment grande pour qu'on ne voie plus la couleur verte (cas des algues brunes et rouges ou de plantes ornementales tels que les hêtres « rouges »). Mais, même alors, ces pigments ne jouent, au mieux, qu'un rôle accessoire dans le processus de photosynthèse en contribuant à optimiser l'utilisation de la lumière par la chlorophylle.

verts ; pour une part, ils utilisent cette alimentation à former leur propre substance ; pour une autre part, ils tirent l'énergie dont ils ont besoin de l'oxydation des aliments par l'oxygène qu'ils respirent (avec libération de gaz carbonique et d'eau). À leur tour, les carnivores se nourrissent des herbivores.

Les êtres photosynthétiques sont les arbres des forêts, les herbes des prairies, les algues d'eau douce et de mer, et aussi, et peut-être surtout, les algues microscopiques du phytoplancton. Du point de vue du bilan, ces êtres photosynthétiques contribuent à nous débarrasser du gaz carbonique et libèrent l'oxygène dont nous avons besoin pour respirer. Ainsi, la vie animale telle que nous la connaissons sur terre ne pourrait pas se perpétuer si les végétaux photosynthétiques n'existaient pas³.

Tant que l'humanité s'est contentée de consommer et brûler de la matière vivante ou immédiatement tirée de la matière vivante (bois mort, par exemple), il a pu s'établir un état quasi stationnaire où la production de gaz carbonique et la consommation d'oxygène, résultant de l'activité des êtres non-photosynthétiques, étaient à peu près compensées par la production d'oxygène et la consommation de gaz carbonique résultant de l'activité des êtres photosynthétiques⁴. Mais lorsque les humains se mirent à brûler massivement les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz combustibles), cet état quasi stationnaire se trouva rompu et la concentration du gaz carbonique atmosphérique s'est mise à augmenter avec les conséquences climatiques que cela risque d'entraîner.

À la base de l'organisme végétal

Comme tous les êtres vivants, les plantes sont constituées de cellules, de tailles et de formes différentes selon le tissu auquel elles appartiennent (épiderme, stomates, systèmes conducteurs, parenchymes, méristèmes, etc.).

L'*épiderme* est un tissu superficiel aux cellules quasi rectangulaires et jointives.

À la surface de divers organes, spécialement les feuilles, les *stomates* sont faits de cellules limitant un orifice qu'ils peuvent ouvrir (ou fermer) pour permettre (ou limiter) les échanges de gaz et surtout de vapeur d'eau (cf. fig. 4.2, l'image d'un stomate parmi les cellules épidermiques de l'hypocotyle d'un jeune plant de lin).

Les *parenchymes* sont des tissus internes, aux cellules généralement arrondies. Les cellules du parenchyme des feuilles contiennent de la chlorophylle et réalisent la photosynthèse.

3. En toute rigueur, il existe quelques animaux ayant fixé dans leurs tissus des algues monocellulaires vertes ou des chloroplastes, et qui vivent ainsi de la photosynthèse sans avoir nécessairement besoin de s'alimenter. Par exemple, le petit ver marin *Convoluta roscoffensis* (récemment rebaptisé *Symsagittifera roscoffensis*), aisément reconnaissable à sa couleur verte, est dépourvu de système digestif et tire de la photosynthèse sa substance et l'énergie nécessaire à ses déplacements. Quant à savoir si les petits hommes verts dont se régale la littérature de science-fiction seraient des êtres humanoïdes photosynthétiques, seule l'exploration spatiale pourra peut-être un jour nous permettre de savoir ce qu'il en est.

4. En réalité, la photosynthèse n'est pas le seul mécanisme permettant la séquestration du gaz carbonique sous une forme non atmosphérique. Il faut aussi tenir compte de la simple dilution de ce gaz dans l'eau des océans et de son immobilisation sous forme de carbonate de calcium (par exemple, par les algues calcaires et les coquillages). À voir l'épaisseur des bancs calcaires retrouvés dans certaines formations géologiques, il semble même que ce dernier processus ait pu jouer un rôle majeur à certaines périodes de l'histoire de la Terre.