LA PLANTE ET SES SENS

DANIEL CHAMOVITZ

LA PLANTE ET SES SENS

Traduit de l'anglais (États-Unis)
par Jeremy Oriol

Préface de Jean-Marie Pelt

BUCHET • CHASTEL

Titre original : *What a plant knows :*
A Field Guide to the Senses
© Daniel Chamovitz, 2012
Ouvrage publié en accord avec Scientific American,
une maison de Farrar, Straus and Giroux, LLC, New York.

© Libella, Paris, 2014.
ISBN : 978-2-283-02718-9

À Shira, Eytan, Noam et Shani

SOMMAIRE

Préface de Jean-Marie Pelt 11

PROLOGUE 15

I. LA PLANTE ET LA VUE 21

II. LA PLANTE ET L'ODORAT 43

III. LA PLANTE ET LE TOUCHER 67

IV. LA PLANTE ET L'OUÏE 91

V. LA PLANTE ET L'ORIENTATION 113

VI. LA PLANTE ET LA MÉMOIRE 139

ÉPILOGUE. La plante consciente 163

Bibliographie 173

PRÉFACE

Jean-Jacques Rousseau considérait la botanique comme la « science aimable », un qualificatif tout à fait approprié pour celles et ceux qui liront cet ouvrage. Il la dédiait plus spécialement à la gent féminine, ce qui peut se concevoir quand on découvre la fine délicatesse des mécanismes vitaux mis en œuvre par les plantes et que nous dévoile Daniel Chamovitz.

Pour le commun des mortels, les plantes constituent un peuple immobile, insensible et évidemment dénué de conscience et de raison. Ce n'est pas du tout l'image que nous en donne notre auteur qui s'est plus particulièrement intéressé à la sensibilité des plantes. Pour chacun des cinq sens – et même d'un sixième ! – il compare l'appareil sensoriel des plantes à celui des animaux et de l'homme. Il en résulte que celles-ci comme ceux-là sont dotés de systèmes certes très différents mais qui leur permettent de percevoir avec finesse les variations de leur environnement. À la différence des animaux, une plante ne peut pas fuir un environnement défavorable. Il lui faut donc s'adapter tout en restant sur place. Et qui dit environnement défavorable dit aussi moyen de le percevoir et de s'en prémunir.

Ernst Haeckel, père du concept d'écologie, avait défini l'écologie comme la science des interrelations des êtres vivants avec leur milieu. En ce domaine, les plantes, pour s'autoriser une expression triviale, « font très fort ». Comme nous, elles voient, elles sentent, elles communiquent, elles réagissent au toucher, elles sont douées de mémoire

– encore faut-il mettre chacun de ces mots entre guillemets –, et tout cela sans posséder ni cerveau ni neurones. On découvrira ainsi le rôle subtil de la lumière dont les composants du spectre, du rouge au bleu, contrôlent chacun des « comportements » végétaux spécifiques. Les plantes cultivent aussi l'art de percevoir des odeurs et de communiquer entre elles par des messages chimiques gazeux. Elles réagissent lorsqu'on les touche et gardent de génération en génération le souvenir d'événements traumatisants sans pour autant que des gènes spécifiques mutés ne codent pour la transmission de ces variations. Belle occasion pour notre auteur de rendre à Jean-Baptiste Lamarck ce qui lui revient dans la compréhension des mécanismes de l'évolution sans toutefois négliger l'apport décisif de Charles Darwin qui apparaît dans ce livre accompagné de son fils Francis.

Sans cerveau ni neurones, les plantes sont donc capables de percevoir avec finesse leur environnement comme nous le faisons nous-mêmes mais avec de tout autres moyens anatomiques et physiologiques.

Lorsqu'il y a un milliard et demi d'années, de minuscules êtres unicellulaires flottant dans les océans engendrèrent une descendance, ceux-ci peu à peu se différencièrent, fondant les règnes végétal et animal, avec pour chacun des modes de vie spécifiques. Parallèlement des relations étroites s'instaurèrent au profit d'une parfaite complémentarité des règnes. Mais sans les plantes, jamais le règne animal n'aurait pu voir le jour puisque les plantes, outre la nourriture, lui fournissent par photosynthèse l'oxygène nécessaire à la respiration. Simultanément, elles fixent dans leur tronc et dans leurs branches du gaz carbonique, formant ainsi ces fameux puits de carbone qui allègent l'atmosphère des excès de ce gaz responsable du réchauffement climatique.

S'il est relativement aisé d'enseigner la botanique à condition de la décrire sous un angle évolutif, il est plus difficile

d'accrocher le lecteur sur les délicats mécanismes physico-chimiques de la physiologie végétale. Aussi Daniel Chamovitz prend-il bien soin de ne point trop « charger la barque », de sorte que ce livre est parfaitement lisible et compréhensible, même pour le profane. Il met en évidence avec beaucoup de clarté les apports de la génétique et nous permet de comprendre, par exemple, que les plantes utilisent parfois les mêmes gènes que nous mais pas toujours dans les mêmes fonctions physiologiques.

L'auteur consacre l'épilogue de son ouvrage à une réflexion sur l'éventuelle « intelligence » des plantes, préférant à ce terme l'idée de conscience. On peut en discuter mais il est clair que la nature est une « affaire qui marche », infiniment complexe et parfaitement régulée, soumise à des lois, celles de la physique et celles de la biologie, auxquelles nous sommes nous-mêmes soumis. Ce constat nous rapproche évidemment des plantes et tous ceux qui les aiment dévoreront cet ouvrage comme je le fis moi-même, sans en perdre le fil ne serait-ce qu'un instant. Je ne peux donc que lui souhaiter tout le succès qu'il mérite.

Jean-Marie PELT,
président de l'Institut européen d'écologie,
professeur honoraire de l'université de Metz

PROLOGUE

Mon intérêt scientifique pour les similitudes entre les perceptions sensorielles humaines et végétales remonte aux années 1990. Chercheur postdoctoral à l'université de Yale, et désireux (probablement en réaction aux six autres docteurs de ma famille, tous médecins) d'étudier un processus biologique spécifiquement végétal sans rapport avec la biologie humaine, je fus amené à m'intéresser à la question de l'utilisation de la lumière par les plantes en vue de réguler leur développement. Au cours de mes recherches [1], j'isolai un groupe de gènes singulier, indispensable à celles-ci pour déterminer si elles se trouvaient à l'ombre ou à la lumière. À ma grande surprise [2] et contrairement à toutes mes prévisions, je découvris plus tard que ces mêmes gènes étaient également présents dans l'ADN humain, ce qui me conduisit évidemment à me poser la question de l'expression de ces gènes apparemment « spécifiques aux plantes » chez l'homme. Aujourd'hui, bien des années et des recherches plus tard [3], il est désormais établi que non seulement ils se sont conservés entre les plantes et les animaux, mais aussi qu'ils régulent (entre autres processus de développement) les réactions à la lumière chez les premières aussi bien que chez les seconds !

Avec cette découverte, je pris conscience que la différence génétique entre les plantes et les animaux n'était pas si importante que je l'avais cru jadis. Ainsi, en même temps

1. Chamovitz *et al.*, 1996.
2. Chamovitz & Deng, 1995.
3. Wei *et al.*, 2008 ; Knowles *et al.*, 2009.

que mes recherches personnelles évoluaient de la réaction des plantes à la lumière vers la leucémie chez les drosophiles, je me mis à remettre en question les frontières entre biologie humaine et biologie végétale. Ce qui m'apparut, c'est que s'il n'existe aucune plante capable, comme dans *La Petite Boutique des horreurs*, de réclamer « Nourris-moi, Seymour ! », beaucoup, en revanche, en « savent » plus long qu'on ne le pense.

En effet, nous ne prêtons guère attention aux mécanismes sensoriels extrêmement sophistiqués présents dans les fleurs et les arbres de nos jardins. Alors que la plupart des animaux peuvent choisir leur environnement, se mettre à l'abri pendant un orage, chercher de la nourriture et un partenaire pour s'accoupler, ou encore migrer avec les saisons, les plantes doivent quant à elles résister et s'adapter à des conditions météorologiques constamment variables, à des voisins envahissants et aux insectes nuisibles sans pouvoir changer d'environnement. C'est pour cette raison qu'elles ont développé au cours de leur évolution des systèmes sensoriels et de régulation complexes qui leur permettent de moduler leur croissance en fonction de conditions sans cesse changeantes. Un orme doit savoir si son voisin lui fait de l'ombre afin de trouver un accès à la lumière. Une laitue doit savoir si des pucerons voraces s'apprêtent à la dévorer pour pouvoir se protéger en produisant des substances chimiques vénéneuses. Un sapin de Douglas doit savoir si des bourrasques de vent agitent ses branches pour consolider son tronc. Et les cerisiers doivent savoir quand fleurir.

Sur le plan génétique, les plantes sont plus complexes que bien des animaux, et certaines des découvertes parmi les plus importantes pour la biologie sont issues de recherches menées sur les végétaux. En 1665, Robert Hooke fut le premier à découvrir l'existence des cellules en examinant du

liège à l'aide d'un microscope de sa conception. Au XIXe siècle, Gregor Mendel posa les principes de la génétique moderne en s'appuyant sur des plants de petits pois. Au milieu du XXe siècle, Barbara McClintock se servit du maïs pour mettre en évidence la capacité des gènes à « se transposer », c'est-à-dire à sauter d'un emplacement à un autre. Or, nous savons à présent que ces « transposons » sont une composante de tout ADN et qu'ils sont, chez l'homme, intimement liés au cancer. Enfin, si Darwin fut bien un des fondateurs de la théorie moderne de l'évolution, certaines de ses découvertes les plus importantes – nous en détaillerons quelques-unes dans les pages qui suivent – concernaient spécifiquement la biologie végétale.

Il est bien évident que mon emploi du verbe « savoir » n'est pas très orthodoxe. En effet, les plantes ne possèdent pas de système nerveux central – pas de cerveau qui coordonne l'information pour la totalité de leur corps. Cependant, leurs différentes parties sont intimement connectées, et des informations concernant la lumière, la composition de l'air et la température s'échangent constamment entre les racines et les feuilles, les fleurs et les tiges, en vue d'une adaptation optimale à l'environnement. C'est pourquoi, même s'il est bien entendu impossible d'assimiler le fonctionnement des plantes à des comportements humains, je vous demanderai néanmoins de bien vouloir m'autoriser à utiliser, tout au long du livre, un vocabulaire généralement réservé aux expériences humaines. En effet, si j'envisage d'explorer ce que les plantes « voient » ou « sentent », ce n'est pas parce que je prétends qu'elles possèdent un nez ou des yeux (ou un cerveau qui convertisse tout signal sensoriel en émotion), mais parce que je suis convaincu, en revanche, que cette terminologie peut nous aider à remettre en question nos conceptions de la vue, de l'odorat, de ce qu'est une plante et, en fin de compte, de ce que nous sommes.

Cet ouvrage n'est pas une nouvelle version de *La Vie secrète des plantes* ; les lecteurs à la recherche d'arguments qui appuieraient la thèse selon laquelle les plantes nous sont semblables ne les trouveront pas ici. Pour reprendre les mots qu'Arthur Galston, physiologiste végétal de renom, prononça en 1974 [1], à l'apogée du succès de cet ouvrage aussi populaire qu'anémique sur le plan scientifique, nous devons nous méfier des « assertions farfelues énoncées sans preuves à l'appui ». *La Vie secrète des plantes* a égaré plus d'un lecteur non averti ; plus grave encore, il a eu un impact catastrophique pour d'importantes recherches sur le comportement des plantes, en inspirant aux chercheurs la plus grande défiance vis-à-vis de toute étude établissant des parallèles entre les perceptions sensorielles animales et végétales.

Depuis le grand remous médiatique suscité par la publication de ce livre il y a plus de trente ans, la connaissance des chercheurs en matière de biologie végétale s'est considérablement approfondie. Notre démarche sera donc de nous appuyer sur les résultats des dernières recherches en biologie végétale pour démontrer que les plantes sont bel et bien douées de sensations. Cet essai n'a absolument pas la prétention de dresser un panorama exhaustif de l'état d'avancement des connaissances scientifiques dans le domaine des sensations végétales – un tel travail ne serait réalisable que dans le cadre d'un manuel seulement accessible aux lecteurs les plus tenaces. Nous procéderons plutôt en mettant l'accent, dans chaque chapitre, sur un des sens humains et en comparant ce que celui-ci représente pour un homme et pour une plante. Nous décrirons la façon dont l'information sensorielle est perçue et traitée, ainsi que ses implications écologiques pour la plante. Par ailleurs, nous veillerons également à apporter, chapitre après chapitre, à la

1. Galston, 1974 ; Tompkins & Bird, [1973] 1975.

fois une perspective historique et un point de vue moderne. Nous nous concentrerons sur la vue, l'odorat, le toucher, l'ouïe, la proprioception et la mémoire. En revanche, nous ne nous attarderons pas sur le goût, étant donné les liens intimes qui relient ce sens à celui de l'odorat.

Notre dépendance à l'égard des plantes est totale. Nous nous réveillons dans des maisons construites avec du bois issu des forêts du Maine, nous nous servons une tasse de café préparé à partir de grains cultivés au Brésil, nous enfilons un T-shirt en coton égyptien, nous imprimons un compte rendu sur du papier et nous conduisons nos enfants à l'école dans des voitures dont les pneus sont faits de caoutchouc cultivé en Afrique et qui consomment de l'essence, dérivée de cycas morts il y a des millions d'années. Les substances extraites des plantes interviennent dans le traitement de la fièvre (pensons à l'aspirine) comme dans celui du cancer (taxol). La culture du blé a sonné le glas d'une ère ancienne et vu naître un monde nouveau ; et la modeste pomme de terre a été à l'origine de migrations de populations entières. Les plantes continuent à inspirer et à fasciner : les puissants séquoias sont les plus grands organismes singuliers et indépendants sur terre, tandis que certaines algues comptent parmi les plus petits – et les roses ont décidément le pouvoir de redonner à chacun le sourire.

Sachant ce que les plantes font pour nous, pourquoi ne pas prendre un moment pour en savoir un peu plus sur ce que les chercheurs ont découvert à leur sujet ? Embarquons donc pour un voyage au cours duquel nous découvrirons les réalités scientifiques qui sous-tendent leur vie intime. Et commençons par dévoiler ce que voient vraiment les plantes de nos jardins.

CHAPITRE I

LA PLANTE ET LA VUE

« Quoique retenue par sa racine,
elle se tourne vers son cher Soleil et,
même métamorphosée, elle lui garde son amour. »

Ovide, *Les Métamorphoses*

Dites-vous bien une chose : les plantes vous voient.

En réalité, elles surveillent en permanence leur environnement. Lorsque quelqu'un s'approche, elles le remarquent ; et, si l'on se tient au-dessus d'elles, cela ne leur échappe pas. Elles savent même si vous portez une chemise bleue ou rouge, si vous avez repeint votre maison ou déplacé leur pot d'un bout à l'autre du salon.

Évidemment, les plantes ne « voient » pas, comme vous et moi, en images. Elles ne font aucune différence entre un homme à lunettes d'une quarantaine d'années, légèrement dégarni, et une petite fille souriante aux boucles brunes. Mais elles perçoivent la lumière de bien des façons et notamment certaines couleurs que nous ne pouvons qu'imaginer, par exemple ces mêmes rayons ultraviolets qui nous donnent des coups de soleil ou cette lumière infrarouge qui nous réchauffe. Elles sont capables de dire si la luminosité est très faible (la flamme d'une bougie, par exemple), si l'on est à la mi-journée ou si le soleil est sur le point de passer derrière l'horizon. Elles savent si la lumière vient de la gauche, de la droite ou du dessus. Elles savent également si

une autre plante a poussé au-dessus d'elles et leur fait de l'ombre. Et elles savent depuis combien de temps il fait jour.

Cela suffit-il à parler de « vision des plantes » ? Avant de répondre, examinons ce qu'est la vue pour nous. Prenons l'exemple d'un aveugle de naissance, vivant dans une obscurité totale. Imaginons qu'on lui offre la capacité de faire la distinction entre la lumière et l'ombre, l'intérieur et l'extérieur. À coup sûr, ces sensations nouvellement acquises seraient reconnues comme une vision rudimentaire susceptible de lui permettre de nouvelles fonctions. Supposons maintenant que cette personne devienne également capable de distinguer les couleurs, de voir le bleu au-dessus d'elle et le vert au-dessous. Cela serait sans aucun doute salué comme un progrès par rapport à la cécité totale ou à la simple capacité à distinguer le blanc et le gris. Il me semble que tout le monde serait d'accord pour considérer que ce changement fondamental – d'une cécité absolue à la perception de couleurs – représente bel et bien la « vue » de cette personne.

Le dictionnaire définit la « vue » comme « le sens physiologique par lequel les stimuli lumineux reçus par l'œil sont interprétés par le cerveau et organisés en une représentation de la position, de la forme, de la clarté et, en général, de la couleur des objets dans l'espace [1] ». Nous percevons la lumière comme telle lorsqu'elle se situe à l'intérieur de ce que nous définissons comme le « spectre visible ». « Lumière » est un synonyme courant et facilement compréhensible pour « ondes électromagnétiques situées à l'intérieur du spectre visible ». Autrement dit, la lumière possède certaines propriétés en commun avec tous les autres types de signaux électriques, comme par exemple les micro-ondes ou les ondes radio. Très longues, les ondes radio de la bande AM mesurent près de 800 mètres. C'est pourquoi les antennes

1. Définition tirée du dictionnaire *Merriam-Webster*.

radio sont aussi hautes que des bâtiments de plusieurs étages. Au contraire, les rayons X sont des ondes extrêmement courtes, un trillion de fois plus petites que les ondes radio, raison pour laquelle ils traversent si facilement notre corps.

Avec des longueurs comprises entre 0,0000004 et 0,0000007 mètre, les ondes lumineuses se situent quelque part entre les deux précédentes. La lumière bleue est la plus courte, la rouge la plus longue, tandis que le vert, le jaune et l'orange se situent entre ces deux extrêmes [1]. Ce sont ces ondes électromagnétiques que nous « voyons » grâce à des protéines particulières dénommées photorécepteurs, qui savent comment recueillir cette énergie, l'absorber, de la même façon qu'une antenne absorbe les ondes radio.

La rétine, la couche située au fond de nos globes oculaires, est tapissée de multiples rangées de ces récepteurs, un peu à la manière des LED sur un écran plat ou des capteurs sur un appareil photo numérique. Chaque point de la rétine possède des photorécepteurs appelés bâtonnets, qui sont sensibles à toute lumière, et d'autres appelés cônes, qui répondent aux différentes couleurs. Chaque cône ou bâtonnet réagit à la lumière dirigée sur lui. La rétine humaine compte environ 125 millions de bâtonnets et 6 millions de cônes, tous concentrés dans une zone de la taille d'une photo d'identité, ce qui équivaudrait pour un appareil photo numérique à une résolution de 130 mégapixels. C'est ce nombre impressionnant de récepteurs concentrés dans une zone si réduite qui confère à notre vue sa haute résolution. À titre de comparaison, les écrans extérieurs à LED les plus perfectionnés ne comptent qu'environ

1. C'est ce qui explique pourquoi l'ordre des couleurs de l'arc-en-ciel est toujours le même : des couleurs à faible longueur d'onde, comme le bleu, vers les longueurs plus grandes, comme le rouge.

10 000 LED par mètre carré et les appareils photo numériques courants ne possèdent que 8 mégapixels [1] environ.

Plus sensibles à la lumière, les bâtonnets nous permettent de voir la nuit ou dans des conditions de faible luminosité, mais pas de voir en couleur. Les cônes, qui existent sous trois formes – rouges, verts et bleus –, nous permettent quant à eux de voir les différentes couleurs dans une lumière suffisamment vive. La principale différence entre ces deux types de photorécepteurs tient à la substance chimique spécifique qu'ils contiennent. Ces substances, la rhodopsine pour les bâtonnets et l'iodopsine pour les cônes, possèdent une structure spécifique qui leur permet d'absorber des lumières de différentes longueurs d'onde. La lumière bleue est absorbée par la rhodopsine et l'iodopsine bleue ; la lumière rouge par la rhodopsine et l'iodopsine rouge. La lumière violette est absorbée par la rhodopsine, l'iodopsine bleue et l'iodopsine rouge, mais *non* par l'iodopsine verte, et ainsi de suite. Une fois la lumière absorbée, le cône ou le bâtonnet envoie un signal au cerveau qui rassemble en une seule image cohérente la totalité des signaux en provenance des millions de photorécepteurs.

La cécité peut être le résultat d'une défaillance à divers niveaux : incapacité de la rétine à percevoir la lumière à cause d'un problème physique de structure, inaptitude à sentir la lumière (à cause d'un problème de la rhodopsine et des iodopsines, par exemple) ou encore défaut de transmission de l'information au cerveau. Les personnes qui ne voient pas la couleur rouge, par exemple, ne possèdent pas de cônes rouges. C'est pourquoi les signaux « rouges » ne sont pas absorbés ni transmis au cerveau. La vue humaine met en jeu des cellules qui absorbent la lumière et le cerveau qui traite ces informations auxquelles nous réagissons à notre tour. Que se passe-t-il chez les plantes ?

1. En 2012.

DARWIN, BOTANISTE

On le sait peu, mais pendant les vingt années suivant la parution de son monumental essai *De l'origine des espèces*, Charles Darwin mena toute une série d'expériences qui continuent à ce jour d'influencer la recherche sur les plantes.

Celui-ci, comme son fils Francis, était fasciné par les effets de la lumière sur la croissance des végétaux. Dans son dernier ouvrage, *La Faculté motrice dans les plantes*, il écrivit : « Il en existe extrêmement peu dont au moins une partie… ne se penche vers une lumière latérale[1]. » Autrement dit, en des termes plus concis : presque toutes les plantes se penchent en direction de la lumière. Nos plantes d'intérieur, en se penchant et en se tournant vers les rayons du soleil qui leur arrivent par la fenêtre, nous en apportent constamment la preuve. Ce comportement est nommé phototropisme. En 1864, un contemporain de Darwin, Julius von Sachs, découvrit que la lumière bleue était la couleur primaire qui induisait le phototropisme chez les plantes. Celles-ci sont généralement aveugles aux autres couleurs, qui influent peu sur leur inclinaison. Mais personne ne savait à l'époque comment ni grâce à quoi les plantes voyaient de quelle direction venait la lumière. Darwin et son fils mirent en évidence que leur inclinaison n'était pas due à la photosynthèse (processus par lequel elles transforment la lumière en énergie), mais plutôt à quelque disposition inhérente à se diriger vers la lumière. Pour les besoins de leur expérience, les Darwin cultivèrent un pot d'alpistes dans une obscurité totale pendant plusieurs jours. Puis ils allumèrent une minuscule lampe à gaz à quatre mètres du pot, maintenant une flamme si faible qu'ils « ne pouvaient distinguer ni les semis entre eux ni un trait de crayon sur une

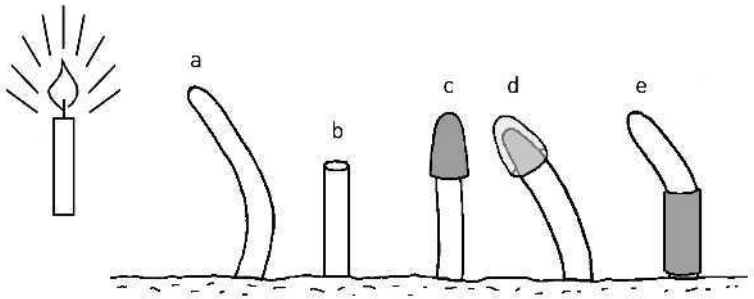
1. Darwin & Darwin, [1881] 1882, p. 1.

*L'alpiste (*Phalaris canariensis*)*.

feuille de papier[1] ». Mais après trois heures seulement, les plantes s'étaient visiblement courbées vers la faible source de lumière, la courbure se produisant toujours sur la même partie du jeune plant, deux ou trois centimètres au-dessous du bourgeon.

C'est ce qui les conduisit à se demander quelle partie de la plante percevait la lumière. Les Darwin réalisèrent alors une expérience devenue classique en botanique. Ils émirent l'hypothèse que les « yeux » de la plante se trouvaient sur le bourgeon *et non pas* sur la partie du plant où avait lieu la courbure. Ils observèrent le phototropisme de cinq plants différents, tel qu'illustré par le schéma suivant :

1. Darwin & Darwin, [1881] 1882, p. 450.



Résumé des expériences de Darwin sur le phototropisme.

a. Le premier plant n'a subi aucun traitement et montre que les conditions de l'expérience sont propices au phototropisme.
b. Sur le deuxième plant, le bourgeon a été coupé.
c. Sur le troisième, le bourgeon a été recouvert d'un capuchon opaque.
d. Sur le quatrième, le bourgeon a été recouvert d'un capuchon de verre transparent.
e. Sur le cinquième, la partie médiane a été recouverte d'un tube opaque.

Ils menèrent l'expérience sur ces plants dans les mêmes conditions que celles de leur expérience initiale et, bien sûr, le plant qui n'avait reçu aucun traitement s'orienta vers la lumière (a). De même, le plant équipé d'un tube opaque autour de sa partie médiane (e) se courba lui aussi dans cette direction. Cependant, s'ils coupaient le bourgeon d'un plant (b) ou le recouvraient d'un capuchon opaque (c), le plant devenait aveugle et incapable de se diriger vers la lumière. Puis ils observèrent le comportement du plant dans le quatrième scénario (d) : ce plant continuait à se tourner vers la source lumineuse malgré le capuchon posé sur son bourgeon. La seule différence était que, dans ce cas, le capuchon était transparent. Les Darwin s'aperçurent que le verre permettait à la lumière de parvenir jusqu'au bourgeon de la plante. Par une expérience simple, publiée en 1880, les Darwin

prouvèrent que le phototropisme était le résultat du contact de la lumière sur le bourgeon d'une pousse végétale, qui voyait la lumière et transmettait l'information à la partie médiane de la plante pour lui dire de se pencher dans cette direction. Ils avaient ainsi réussi à démontrer l'existence d'un sens rudimentaire de la vue chez les plantes.

LE MAMMOUTH DU MARYLAND : LE TABAC QUI N'EN FINISSAIT PAS DE POUSSER

Plusieurs décennies plus tard apparut dans les vallées du sud du Maryland une nouvelle variété de tabac qui relança l'intérêt pour la façon dont les plantes perçoivent le monde. Ces vallées accueillaient certaines des plus grandes plantations de tabac d'Amérique depuis l'arrivée des premiers colons au XVII^e^ siècle. Les producteurs, instruits par les tribus indigènes telles que les Susquehannocks, qui en faisaient pousser depuis des siècles, semaient au printemps et récoltaient à la fin de l'été. Ils ne récoltaient pas les feuilles de certains plants qui produisaient alors des fleurs et fournissaient les graines pour la récolte de l'année suivante. En 1906, les agriculteurs remarquèrent pour la première fois une variété de tabac dont la croissance ne semblait jamais s'arrêter. Elle pouvait atteindre cinq mètres de haut et produire près d'une centaine de feuilles et ne s'arrêtait de pousser qu'avec l'arrivée du gel. À première vue, une plante aussi robuste et en croissance perpétuelle, semblait une véritable aubaine pour les producteurs. Mais, comme si souvent, cette nouvelle variété, nommée à juste titre mammouth du Maryland, était à l'image de Janus, le dieu romain aux deux visages. D'un côté, elle ne s'arrêtait jamais de pousser ; de l'autre, sa floraison était rare, si bien que les agriculteurs ne pouvaient pas récolter ses graines pour l'année suivante.

*Le tabac (*Nicotiana tabacum*)*.

En 1918, aux États-Unis, deux scientifiques du ministère de l'Agriculture [1], Wightman W. Garner et Harry A. Allard, se mirent en tête de découvrir pourquoi le mammouth du Maryland ne savait pas quand cesser de produire des feuilles pour se mettre à fleurir et à donner des graines. Ils en plantèrent dans des pots et laissèrent une partie de leurs plants dehors, dans les champs. L'autre partie fut installée dans le champ pendant la journée, mais déplacée vers un hangar sombre tous les après-midi. Le simple fait de limiter l'apport de lumière sur les plants suffit à arrêter la pousse et provoquer la floraison. En d'autres termes, exposé aux longues

1. www.ars.usda.gov/is/timeline/light.htm : on trouvera à cette adresse une brève histoire des recherches menées à l'USDA (US Department of Agriculture).

journées d'été, le mammouth du Maryland n'arrêtait jamais de produire des feuilles, mais si la durée du jour était réduite artificiellement, il était alors en mesure de fleurir.

Ce phénomène, dénommé photopériodisme [1], apporta la première preuve solide que les plantes mesurent la quantité de lumière qu'elles absorbent. Depuis lors, de nouvelles expériences ont montré que certaines plantes, à l'instar du mammouth, fleurissent uniquement lorsque la durée du jour est réduite : on les appelle plantes de « jours courts ». Parmi celles-ci, on peut citer le chrysanthème et le soja. D'autres, au contraire, ont besoin de journées longues : ainsi les iris et l'orge sont dits de « jours longs ». Cette découverte impliquait que les agriculteurs pouvaient manipuler, en contrôlant l'apport de lumière, la floraison des plantes pour qu'elle corresponde à leurs impératifs calendaires. Sans surprise, il ne fallut pas longtemps aux agriculteurs de Floride pour comprendre qu'ils pouvaient faire pousser le mammouth du Maryland pendant des mois (sans les inconvénients du gel rencontré au Maryland) et que celui-ci finirait de toute façon par fleurir dans les champs au milieu de l'hiver, quand les jours étaient les plus courts.

TOUT CE QU'UN SIMPLE JOUR (COURT) PEUT CHANGER !

L'apparition du concept de photopériodisme donna lieu chez les scientifiques à tout un fourmillement de questions : les plantes mesurent-elles la durée du jour et de la nuit ? Et quelle couleur lumineuse voient-elles ?

Aux abords de la Seconde Guerre mondiale, les chercheurs découvrirent qu'ils pouvaient intervenir sur la date de

1. Garner & Allard, 1922.

la floraison simplement en allumant et en éteignant rapidement la lumière pendant la nuit. Ils pouvaient, par exemple, empêcher une plante de jours courts comme le soja de fleurir en allumant des lumières quelques minutes pendant la nuit. À l'inverse, ils pouvaient faire fleurir une plante de jours longs comme l'iris même en plein hiver (alors que la durée réduite des journées aurait normalement dû empêcher la floraison), rien qu'en allumant la lumière quelques instants au cours de la nuit. Ces expériences démontrèrent que ce n'était pas la durée du jour qui était mesurée par les plantes, mais la longueur des périodes d'obscurité continue.

Aux États-Unis, les horticulteurs peuvent, grâce à cette technique, repousser la floraison des chrysanthèmes jusqu'aux derniers jours avant la fête des Mères, le moment optimal pour les voir faire leur apparition sur le marché des fleurs printanières. Les chrysanthèmes fleurissant normalement en automne, lorsque les jours raccourcissent, la date de la fête des Mères impose en effet une contrainte aux cultivateurs. Fort heureusement pour eux, il est possible d'empêcher les plantes cultivées sous serre de fleurir en allumant la lumière quelques minutes pendant la nuit tout au long de l'automne et de l'hiver. Ensuite, deux semaines avant la fête des Mères, les cultivateurs arrêtent d'allumer la lumière et – boum ! – toutes leurs plantes se mettent instantanément à fleurir, fin prêtes pour la récolte et l'expédition.

Ces chercheurs furent curieux de savoir quelle couleur lumineuse les plantes percevaient. C'est alors qu'ils firent une découverte étonnante : les plantes, quelles que soient celles qu'ils testaient [1], ne réagissaient qu'à des flashs rouges pendant la nuit. Des flashs verts ou bleus n'avaient aucune influence sur la floraison, alors que quelques secondes de rouge étaient suffisantes. Les plantes différenciaient donc

1. Parker *et al.*, 1945.

les couleurs : elles utilisaient la lumière bleue pour connaître la direction dans laquelle elles devaient s'orienter et la lumière rouge pour mesurer la longueur de la nuit.

Par la suite, au début des années 1950 aux États-Unis, Harry Borthwick et ses collègues du laboratoire du ministère de l'Agriculture [1], au sein duquel les premières observations sur le mammouth du Maryland avaient été menées, firent l'incroyable découverte que la lumière rouge lointain (c'est-à-dire la lumière dont la longueur d'onde est un peu plus longue que le rouge vif et qu'on voit le plus souvent, à peine, au crépuscule) avait le pouvoir d'annuler les effets de la lumière rouge sur les plantes. Ou, pour le dire plus clairement, si l'on prend des iris, qui normalement ne fleurissent pas pendant les nuits longues, et qu'on leur apporte un petit coup de lumière rouge au cours de la nuit, ceux-ci produiront des fleurs aussi vives et aussi belles que n'importe quel iris dans une réserve naturelle. Mais si on les met en présence de lumière rouge lointain juste après les avoir soumis au rouge, ils ne fleuriront pas, exactement comme s'il n'y avait jamais eu de lumière rouge. Si l'on apporte de nouveau la lumière rouge après le rouge lointain, la floraison a lieu. Mais qu'on applique encore une fois du rouge lointain et celle-ci ne se produira pas, et ainsi de suite. Les quantités de lumière dont nous parlons ne sont pas énormes : quelques secondes d'une couleur ou de l'autre suffisent. Comme un interrupteur qui serait activé par la lumière : la lumière rouge enclenche la floraison, le rouge lointain l'arrête. Si l'alternance est trop rapide, rien ne se passe. D'un point de vue plus philosophique, on peut dire que la plante se souvient de la dernière couleur qu'elle a vue.

Lorsque John F. Kennedy fut élu président des États-Unis, Warren L. Butler et ses collègues [2] avaient mis en évidence

1. Borthwick *et al.*, 1952a ; Borthwick *et al.*, 1952b.
2. Butler *et al.*, 1959.

qu'un seul photorécepteur était responsable des effets à la fois du rouge et du rouge lointain sur les végétaux. Ils le dénommèrent phytochrome ce qui signifie « couleur des plantes ». Dans sa représentation la plus simple, le phytochrome est un interrupteur commandé par la lumière. La lumière rouge active le phytochrome et le place dans une configuration où il est prêt à recevoir de la lumière rouge lointain. Au contraire, la lumière rouge lointain le désactive et le dispose à recevoir la lumière rouge. D'un point de vue écologique, il y a là une grande logique. Dans la nature, la dernière lumière que perçoit n'importe quelle plante à la fin de la journée est le rouge lointain, qui lui signifie qu'elle peut se mettre « en veille ». Le matin, elle voit la lumière rouge et se réveille. Ainsi, la plante peut mesurer à quand remonte la dernière fois qu'elle a vu du rouge et adapter sa croissance en conséquence. Mais précisément, quelle partie de la plante voit le rouge et le rouge lointain pour réguler la floraison ?

Les expériences de Darwin sur le phototropisme nous ont appris que l'« œil » d'une plante se situe dans son bourgeon, tandis que la réponse se produit au niveau de la tige. On pourrait donc en conclure que l'« œil » en jeu dans le photopériodisme se trouve lui aussi dans le bourgeon. Étonnamment, ce n'est pas le cas. Si l'on éclaire pendant la nuit différentes parties de la plante, on s'aperçoit qu'il suffit d'apporter de la lumière à une seule feuille pour réguler la floraison de la plante tout entière. En revanche, si la totalité des feuilles sont coupées et qu'il ne subsiste que la tige et l'apex, la plante est aveugle à tout apport de lumière même si on l'éclaire entièrement. Si le phytochrome d'une seule feuille voit de la lumière rouge pendant la nuit, c'est comme si toute la plante était éclairée.

Les phytochromes situés dans les feuilles reçoivent les stimuli lumineux et sont à l'origine d'un signal mobile qui se propage à toute la plante et provoque la floraison.

LES PLANTES AVEUGLES À L'ÂGE DE LA GÉNÉTIQUE

Comme nous l'avons vu, nos yeux comportent des photorécepteurs de quatre types différents : la rhodopsine, pour la lumière et l'obscurité, et trois sortes d'iodopsine, pour le rouge, le bleu et le vert. Outre ceux-ci, un cinquième photorécepteur, appelé cryptochrome, régule nos horloges internes. Jusqu'ici, nous avons vu que les plantes en possédaient elles aussi différents types : pour percevoir la lumière bleue directionnelle, il est en effet nécessaire qu'elles soient pourvues d'au moins un photorécepteur adapté à cette couleur lumineuse (que nous connaissons aujourd'hui sous le nom de phototropine), et le fait qu'elles perçoivent le rouge et le rouge lointain pour fleurir suggère la présence d'au moins un phytochrome photorécepteur. Mais avant de pouvoir déterminer leur nombre, les scientifiques durent attendre l'avènement de l'ère de la génétique moléculaire, plusieurs décennies après la découverte des phytochromes.

Cette approche, initiée par Maarten Koornneef à l'université de Wageningen aux Pays-Bas au début des années 1980 [1], puis reproduite et affinée dans de nombreux laboratoires, utilisait la génétique pour comprendre la vue des plantes. La question posée par Koornneef était toute simple : à quoi ressemblerait une plante « aveugle » ? Les plantes cultivées dans le noir ou la pénombre sont plus grandes que celles qui poussent au grand jour. Tous ceux et celles qui, en classe de sixième, ont dû surveiller des germes de haricots, se souviennent que les plants placés à l'intérieur du placard étaient devenus longs, grêles et jaunes, alors que ceux qui avaient poussé dans la cour étaient petits, vigoureux et verts. Pas étonnant puisque normalement, dans l'obscurité, les plantes s'allongent soit pour sortir du sol et accéder à la

1. Koornneef *et al.*, 1980.

lumière du jour, soit pour s'élever au-dessus de ce qui leur fait de l'ombre. Koornneef pensa donc qu'une plante mutante aveugle, s'il parvenait à en trouver, serait sans doute grande alors même qu'elle poussait en pleine lumière. S'il parvenait à en identifier et à en faire pousser, il serait en mesure d'utiliser la génétique pour découvrir où se situait leur problème.

Il mena ses expériences sur l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*), petite plante de laboratoire assez semblable à la moutarde des champs. Il traita un contingent de graines avec des produits chimiques connus pour provoquer des mutations de l'ADN (et des cancers chez les rats de laboratoire), puis fit pousser les plants sous des lumières de différentes couleurs et chercha les plants mutants qui étaient plus grands que les autres. Il en trouva beaucoup. Certains plants mutants avaient plus poussé sous la lumière bleue, mais atteignaient une hauteur normale sous la lumière rouge. D'autres étaient plus grands sous la lumière rouge, mais normaux sous la bleue. D'autres encore étaient plus grands sous la lumière UV, mais normaux sous toutes les autres. Et d'autres, enfin, étaient plus grands à la fois sous la lumière bleue et la lumière rouge. Par ailleurs quelques-uns n'étaient plus grands que dans des conditions de faible luminosité, tandis que d'autres ne l'étaient que sous un éclairage important.

Chez beaucoup de ces mutants aveugles à certaines couleurs manquait le photorécepteur spécifique à cette lumière. Une plante dépourvue de phytochromes pousse sous la lumière rouge comme si elle se trouvait dans l'obscurité. Étonnamment, certains de ces photorécepteurs allaient par paires, l'un étant spécifiquement adapté à la lumière faible et l'autre à la forte.

*L'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*)*.

Pour résumer une histoire longue et complexe [1], nous savons aujourd'hui que l'arabette des dames possède au moins onze photorécepteurs différents : certains lui indiquent quand germer, d'autres quand se pencher vers la lumière, d'autres quand fleurir, et d'autres encore lui font savoir que c'est la nuit. Certains lui indiquent que la lumière est abondante et d'autres qu'elle est rare, d'autres enfin lui permettent de mesurer le temps [2].

1. Chory, 2010.
2. Plus spécifiquement, l'arabette des dames possède au moins onze photorécepteurs différents appartenant à cinq classes différentes (phototropines, phytochromes, cryptochromes, ainsi que deux autres classes). Ces cinq classes sont communes aux autres plantes, mais celles-ci peuvent posséder plus ou moins de types de photorécepteurs différents dans chacune de ces classes.

Ainsi, au niveau de la perception, la vue des plantes est beaucoup plus complexe que celle des hommes. En effet, la lumière représente pour une plante beaucoup plus qu'un simple signal : elle est source de nourriture. Les plantes l'utilisent en effet pour transformer l'eau et le dioxyde de carbone en sucres qui apportent à leur tour de la nourriture à tous les animaux. Mais les plantes sont aussi des organismes sessiles, immobiles. Elles se trouvent littéralement enracinées à un endroit et incapable de migrer pour chercher de quoi se nourrir. Pour compenser cette sédentarité, il est impératif qu'elles soient capables de trouver leur nourriture : c'est-à-dire de détecter et de capturer la lumière. Elles doivent donc savoir où celle-ci se trouve et, plutôt que de se déplacer vers leur nourriture, comme le font les animaux, croître jusqu'à elle.

Une plante doit savoir si une autre a poussé au-dessus d'elle et lui filtre la lumière nécessaire à la photosynthèse. Lorsqu'une plante sent qu'elle se trouve à l'ombre, elle se met à pousser plus vite pour en sortir. Par ailleurs, pour survivre, elle doit savoir quand faire germer ses graines et quand se reproduire. De même que beaucoup de mammifères donnent la vie au printemps, de nombreuses plantes débutent leur croissance en cette saison. Comment sont-elles averties que le printemps arrive ? Grâce aux phytochromes qui leur indiquent l'allongement des journées. En outre, les plantes fleurissent et montent en graines en automne, avant l'arrivée de la neige. Comment peuvent-elles le savoir ? Toujours grâce à leurs phytochromes, qui les préviennent de l'allongement des nuits.

QUE VOIENT LES PLANTES ET LES HOMMES ?

Pour survivre, les plantes doivent posséder une perception visuelle dynamique de leur environnement. Pour ce faire, elles doivent connaître la direction, la quantité, la durée et la couleur de la lumière. Il ne fait aucun doute qu'elles détectent les ondes électromagnétiques visibles (et invisibles). Alors que, pour nos yeux, le spectre visible est relativement restreint, les plantes captent des ondes électromagnétiques à la fois plus longues et plus courtes. Mais bien que leur spectre visible soit beaucoup plus étendu que le nôtre, elles ne voient pas en images. Elles ne possèdent pas de système nerveux capable de traduire en images les signaux lumineux. Au contraire, elles transforment les stimuli lumineux en différents signaux pour leur croissance. Les plantes n'ont pas d'yeux [1], pas plus que nous n'avons de feuilles, mais ce que nous avons en commun, c'est la capacité à détecter la lumière.

La vue est la capacité non seulement à percevoir les ondes électromagnétiques, mais aussi à y réagir. Les bâtonnets et les cônes à l'intérieur de notre rétine perçoivent le signal lumineux, transmettent cette information à notre cerveau et nous y réagissons. Les plantes sont elles aussi capables de traduire le signal visuel en instruction physiologiquement reconnaissable. Les plantes de Darwin ne pouvaient pas se contenter de voir la lumière grâce à leurs bourgeons, il leur fallait encore l'absorber et, d'une manière ou d'une autre, la transformer en instruction indiquant à la plante de se pencher. En un mot, *réagir* à la lumière. Les signaux

1. Les algues vertes, la forme de plantes la plus primitive, possèdent cependant un organite dénommé stigma (*eyespot*, en anglais) qui permet aux cellules algales de percevoir les changements de direction et d'intensité de la lumière. On considère parfois ces stigmas comme la forme d'œil la plus simple dans la nature. (Cf. Kreimer, 2009. *N.d.T.*)

complexes en provenance de ses multiples photorécepteurs permettent à la plante de moduler sa croissance dans un environnement changeant, tout comme les quatre photorécepteurs impliqués dans notre vue permettent à notre cerveau de créer des images qui nous rendent capables d'interpréter et de réagir aux modifications de notre environnement.

Adoptons à présent une perspective plus large. Le phytochrome des plantes et l'iodopsine rouge des hommes ne sont pas identiques : même si ces deux protéines absorbent la lumière rouge, leur composition chimique est différente. Notre vue passe par des photorécepteurs qu'on ne retrouve que chez les autres animaux. La vision d'une jonquille passe par d'autres photorécepteurs qui ne se trouvent que parmi les plantes. Mais les photorécepteurs humains et végétaux ont ceci de commun qu'ils consistent tous en une protéine liée à une teinture chimique qui absorbe la lumière ; telles sont les spécifications requises pour qu'un photorécepteur puisse fonctionner.

Cependant, toute règle comporte des exceptions et, malgré des milliards d'années d'évolutions indépendantes, les systèmes visuels végétaux et animaux possèdent toujours certains traits communs. Les uns comme les autres possèdent des récepteurs de lumière bleue dénommés cryptochromes [1]. Ceux-ci n'ont aucun effet sur le phototropisme

1. Le nom de « cryptochrome » est d'ailleurs le fruit d'une plaisanterie de Jonathan Gressel, de l'Institut Weizmann. Celui-ci étudiait en effet les réactions à la lumière bleue d'un groupe d'organismes, aussi appelés plantes cryptogames (le nom a de l'importance, comme nous allons le voir dans un instant) dont font partie les lichens, les mousses, les fougères et les algues. Comme tous les autres chercheurs qui étudiaient les effets de la lumière bleue sur différentes créatures, il ne savait pas quel en était le récepteur. Malgré diverses tentatives sur plusieurs décennies, personne n'avait en effet réussi à l'isoler. Il restait cryptique. Amateur invétéré de calembours, Gressel proposa d'appeler cryptochrome ce

végétal, mais jouent plusieurs autres rôles dans la régulation de la croissance, notamment celui de contrôler l'horloge interne, réglée sur les cycles normaux de jour et de nuit, que les plantes partagent avec les animaux. Celle-ci régule tous les aspects notre vie : du moment où nous avons faim à celui où nous allons aux toilettes, ainsi que les moments où nous nous sentons fatigués ou pleins d'énergie. Ces variations physiologiques sont appelées rythmes circadiens parce qu'ils se succèdent suivant un cycle d'environ vingt-quatre heures si nous nous tenons dans une pièce fermée à l'écart de la lumière. Voyager à l'autre bout de la planète désynchronise notre horloge circadienne avec les signaux jour/nuit, syndrome dénommé décalage horaire. L'horloge circadienne peut être réajustée grâce à la lumière, mais cela prend quelques jours. C'est pourquoi passer du temps dehors nous aide à récupérer du décalage horaire plus vite que passer du temps dans une chambre d'hôtel obscure.

Le cryptochrome est le récepteur de lumière bleue principalement responsable du réajustement de nos horloges circadiennes en fonction de la lumière. Il absorbe la lumière bleue et signale à la cellule qu'il fait jour. Les plantes possèdent elles aussi des horloges circadiennes internes qui régulent de nombreux processus, dont les mouvements des feuilles et la photosynthèse. Si l'on modifie artificiellement le cycle jour/nuit d'une plante, celle-ci subit elle aussi un décalage horaire (même si cela ne la rend pas irritable), et il lui faut quelques jours pour se réajuster. Par exemple, si ses fleurs se referment normalement en fin d'après-midi et s'ouvrent le matin, le fait d'inverser le cycle du jour provoquera au départ l'ouverture des fleurs pendant la nuit (au

---

photorécepteur non identifié. Au grand dam de beaucoup de ses collègues, sa plaisanterie finit par se retrouver adoptée par la nomenclature scientifique, même si le cryptochrome a désormais perdu sa nature cryptique depuis qu'il a été isolé en 1993.

moment où il faisait jour d'habitude) et leur fermeture en pleine lumière (au moment où il faisait normalement nuit). En quelques jours, l'ouverture et la fermeture des fleurs se recalent sur le nouveau cycle du jour et de la nuit.

Comme chez la drosophile ou la souris, le cryptochrome joue chez la plante un rôle majeur dans la coordination de l'horloge interne avec les signaux lumineux extérieurs [1]. Au niveau basique du contrôle de la lumière bleue sur les rythmes circadiens, hommes et plantes « voient » globalement de la même manière. Dans une perspective évolutionniste, cette incroyable conservation de la fonction du cryptochrome n'est en fait pas si étonnante. Les horloges circadiennes se sont développées tôt au cours de l'évolution, chez les organismes unicellulaires, avant que les règnes animal et végétal ne se séparent. À l'origine, ces horloges servaient probablement à protéger les cellules des dommages causés par un fort rayonnement UV. Dans ces horloges primitives, un cryptochrome ancestral contrôlait l'environnement lumineux et reportait à la nuit la division cellulaire. On trouve encore aujourd'hui de ces horloges relativement simples chez la plupart des organismes unicellulaires, comme les bactéries et les champignons. À partir d'un unique photorécepteur commun à tous les organismes, l'évolution de la perception lumineuse a ensuite divergé pour donner les deux systèmes visuels distincts qui différencient les plantes des animaux. Mais ce qui pourrait paraître encore plus surprenant, c'est que les plantes ont également un odorat…

1. Cashmore, 2003.