

LA FABRIQUE DES FLEURS

MAXINE SINGER

LA FABRIQUE
DES FLEURS

Génétique, évolution et séduction

*Traduit de l'anglais (États-Unis)
par Céline Alexandre*

BUCHET • CHASTEL

Titre original :
Blossoms
And the Genes That Make Them
© Maxine F. Singer 2018
Première édition : Oxford University Press
Illustrations : Laura Debole

Blossoms and the Genes That Make Them was originally published in English in 2018 in the United States of America by Oxford University Press.

This translation is published by arrangement with Oxford University Press. Libella is solely responsible for this translation from the original work and Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon.

© Buchet-Chastel/Libella, Paris, 2020.
ISSN : 2492-9107
ISBN : 978-2-283-03287-9

*Pour Luna, Kapp, Elliot, Emma
et les jardins qu'ils aimeront de tout leur cœur.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION	11
PREMIÈRE PARTIE	
LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS	23
I. LES NOMS	29
II. LES PLANTES SONT COMME LES ANIMAUX MAIS PAS TOUT À FAIT.....	41
III. PERCEVOIR L'ENVIRONNEMENT.....	51
DEUXIÈME PARTIE	
LE FONCTIONNEMENT DES GÈNES.....	65
IV. LE FONCTIONNEMENT DES GÈNES.....	71
V. L'ACTIVATION ET L'INHIBITION DES GÈNES.....	87
TROISIÈME PARTIE	
QUAND IL EST TEMPS DE FLEURIR.....	101
VI. LA POUSSÉE VERTE.....	105
VII. CHAUD ET FROID	113
VIII. LUMIÈRE ET OBSCURITÉ.....	127

LA FABRIQUE DES FLEURS

QUATRIÈME PARTIE

FAÇONNER UNE FLEUR..... 135

IX. LE CHANTIER DE CONSTRUCTION..... 141

X. DES FORMES SINGULIÈRES..... 153

CINQUIÈME PARTIE

RENDRE UNE FLEUR SÉDUISANTE 165

XI. COLORER LES PÉTALES 171

XII. LA FABRIQUE DU PARFUM..... 191

UN DERNIER MOT..... 213

Glossaire..... 215

Pour en savoir plus..... 221

Index..... 223

Remerciements 229

INTRODUCTION

« Il arrive que vous les voyiez passer des heures à détruire
une jolie fleur avec des instruments pointus,
curieux de savoir de quoi la fleur est faite.

Sa couleur est-elle plus belle et son parfum est-il plus
doux une fois que vous le savez ? »

Wilkie Collins, *Pierre de lune* (1868)

Comment ne pas adorer les fleurs ? Partout dans le monde, elles brillent et illuminent la vie de quantité de personnes. Même dans les cours en terre battue des bidonvilles les plus pauvres, il n'est pas rare de voir un vieux bidon d'huile plein de magnifiques plantes fleuries. Les premières choses que dessinent les enfants sont souvent des fleurs de toutes les couleurs éclairées par un soleil jaune, comme s'ils avaient compris l'importance de la lumière. Les artistes ne se lassent jamais du plaisir de célébrer la nature. Il y a des siècles qu'ils peignent des fleurs sauvages et des vases débordant de

bouquets resplendissants. Mais combien d'entre nous se sont déjà demandé comment une plante réussit à produire une fleur ?

Les chercheurs se penchent sur la question depuis plusieurs dizaines d'années. Grâce à la biochimie et à la génétique modernes, et avec l'aide d'une plante modèle, une minuscule herbe appelée arabette des dames ou arabette de Thalius, ou, plus officiellement, *Arabidopsis thaliana*, c'est une histoire que nous sommes maintenant capables d'écrire : quand et comment une plante donne-t-elle naissance à une fleur ? Les botanistes ont donc répondu aux doléances de Wilkie Collins, prolongeant ainsi le commentaire de Richard Feynman sur la planète Jupiter : « Quels hommes sont ces poètes qui peuvent parler de Jupiter comme si c'était un homme, mais qui, si c'est une immense sphère de méthane et d'ammonium en rotation, sont silencieux¹ ? »

Cette histoire n'aurait pas pu être écrite il y a trente ans. À l'époque, personne ne savait quand ni comment une plante commençait à produire une fleur. Personne ne savait dire comment, au moment opportun, les végétaux se paraient de fleurs colorées et parfumées.

Les fleurs n'ont pas évolué pour notre plaisir. Leur rôle est d'assurer la production de graines. Plus il y a de graines, plus de nouvelles plantes peuvent être produites si l'environnement est hospitalier et fournit

1. Feynman, Leighton & Sands, *Le Cours de physique de Feynman, Mécanique 1*, Dunod, 2018.

INTRODUCTION

de la lumière, de l'eau et des substances nutritives. Les plantes ont évolué pour optimiser la production de graines en attirant des insectes ou des oiseaux grâce aux couleurs, aux odeurs et à la forme de leurs fleurs. Ces petites bêtes s'invitent et récoltent du pollen qu'elles épandent pour fertiliser les ovules d'une plante qui formeront ensuite des graines. Ces œufs se trouvent soit dans la même fleur, soit dans une autre fleur de la même espèce. Certaines plantes n'ont pas besoin de pollinisateur ; elles épandent leur pollen dans les airs.

Si nous aimons autant les fleurs, ce n'est pas seulement pour leur beauté. Les fleurs sont une source d'alimentation pour les êtres humains et les animaux. La nourriture de base des hommes, où qu'ils soient, est composée de graines, notamment le riz, le maïs, le blé et les haricots. Les fruits qui contiennent les graines sont une autre ressource essentielle : les tomates, les courges, les pommes, les oranges et tant d'autres.

Les fleurs représentent un énorme marché. C'est une industrie qui remonte aux Romains, voire plus, et qui est à l'origine de toutes les fleurs que vendent les fleuristes et de toutes les plantes que proposent les pépiniéristes. Les tulipes importées de l'Empire ottoman ont séduit l'Europe dès le xvi^e siècle, à tel point qu'au milieu du xvii^e siècle, la Hollande a connu une crise connue sous le nom de « tulipomanie ». Les spéculateurs ne misaient plus sur des actions, mais sur des oignons de tulipe. Des collectionneurs frénétiques hypothéquaient leurs maisons, leurs propriétés, voire

LA FABRIQUE DES FLEURS

leurs chevaux, pour acheter des tulipes avant même que les bulbes soient disponibles. Jusqu'au jour où, comme à la Bourse, le marché s'est effondré. La réserve de tulipes avait été décimée par un virus.

Aujourd'hui les fleurs représentent un marché planétaire de plusieurs milliards d'euros. En 2005, aux États-Unis, les gens dépensaient en moyenne 26 \$ par personne en fleurs, un chiffre très inférieur à celui des pays européens. Les Suisses arrivent en tête, avec une somme quatre fois plus importante que celle des Américains. Alors faut-il s'étonner de voir que les pépiniéristes payent autant pour expédier par avion des fleurs fraîches dans le monde entier ? Ils savent que c'est un marché juteux. La plupart des fleurs coupées vendues aux États-Unis viennent d'Amérique du Sud. D'immenses floralies, notamment le festival annuel de Philadelphie, rapportent plusieurs milliards de dollars aux villes qui cherchent à attirer les touristes. L'étude de la floraison est donc une science importante, non seulement pour l'agriculture, mais pour l'industrie.

C'est au milieu du XIX^e siècle, à Brno, aujourd'hui en République tchèque, qu'un moine du nom de Gregor Mendel fit ses premières expériences sur les fleurs. Il découvrit que les graines contenaient des informations, qu'il qualifiait de « facteurs », permettant de créer une plante, et de déterminer la couleur des inflorescences et l'allure des graines. Ces facteurs sont ce que nous nommons des gènes. Nous savons aujourd'hui qu'ils

INTRODUCTION

déterminent non seulement la couleur des fleurs, mais leur forme, leurs différentes parties, leur parfum, et même le moment où la plante fleurit. Nous savons aussi que les gènes, qu'ils soient dans les plantes ou les animaux, dans les bactéries ou les virus, sont des composants de l'ADN, cette belle molécule en double hélice qui est devenue l'emblème du xx^e siècle. Quand et comment une plante produit-elle des fleurs ? La découverte des gènes et de l'ADN a permis de répondre à cette question. Ce livre propose une synthèse de ce que nous connaissons aujourd'hui sur la façon dont l'ensemble fonctionne.

Malheureusement, la plupart des gens découvrent les gènes à travers les médias qui parlent surtout de ceux qui posent problème, parce qu'ils provoquent des maladies humaines, ou à cause des dangers hypothétiques associés aux organismes génétiquement modifiés. Ce travers nuit à la réputation des gènes, alors qu'ils méritent beaucoup mieux. Les gènes ne sont-ils pas responsables de la beauté des roses et du parfum du jasmin ?

Les fleurs sont apparues assez tard à l'échelle de l'évolution de la vie sur Terre. L'étude des fossiles permet de dater le début des plantes terrestres approximativement à 500 millions d'années. Les premiers fossiles de fleurs, quant à eux, remontent à 130 millions d'années environ. Cependant, étant donné que les fleurs sont fragiles et peuvent se flétrir avant que les fossiles se forment, elles ont peut-être évolué légèrement

LA FABRIQUE DES FLEURS

plus tôt sans que leur trace soit préservée. Quoi qu'il en soit, les plantes à fleurs se sont parfaitement épanouies, investissant toutes sortes d'habitats, des régions polaires glaciales aux tropiques, en passant par les basses terres et la cime des montagnes. Et la variété de leurs couleurs, de leurs formes et de leurs parfums est époustouflante.

Charles Darwin, qui ignorait tout des gènes et du rôle qu'ils jouent dans l'évolution, se sentait frustré devant l'immense diversité des fleurs. L'histoire des fleurs est « un mystère abominable », écrivait-il. Il se réjouirait sûrement d'apprendre qu'une grande partie de ce mystère a été élucidée grâce à la découverte de nouveaux fossiles et, surtout, grâce aux recherches sur l'ADN. Il est probable que les ancêtres des plantes à fleurs soient des fougères. L'arbuste à fleurs appelé *Amborella*, qui pousse sur une île du Pacifique Sud, serait très proche du plus vieil ancêtre des plantes à fleurs telles que nous les connaissons. Sinon, les nénuphars sont l'espèce végétale la plus ancienne que nous puissions contempler.

Une fois amorcée, l'évolution des plantes à fleurs suit un scénario comparable à celui de l'évolution des animaux. Les gènes de ces plantes ne cessent de donner naissance à de nouvelles variétés parce que leur ADN connaît des mutations à la suite de radiations, d'exposition à des produits chimiques spécifiques, ou d'erreurs de reproduction de l'ADN au moment où la cellule se divise. Si ces modifications produisent

INTRODUCTION

des traits qui se révèlent avantageux pour la plante dans son environnement, ou dans celui où ses graines atterrissent, les gènes modifiés se transmettent aux nouvelles générations de plantes. Si les mutations diminuent l'adaptation de la plante à son milieu, celle-ci risque de mourir sans laisser de graines porteuses de ces gènes modifiés. C'est ainsi que de nouvelles variétés et, finalement, de nouvelles espèces bien adaptées à leur biotope émergent et s'épanouissent – du moins tant que cet environnement dure. Ce qui est une définition succincte de la sélection naturelle. Depuis plus de cent millions d'années, ce processus, ainsi que les variations climatiques et l'évolution des animaux, a façonné l'immense diversité de végétaux qui fleurissent sur la Terre.

Tous les composants d'une fleur naissent des gènes encapsulés dans les graines de la plante. Comme pour la sexualité animale, il s'agit d'un phénomène circulaire : les gènes produisent la plante et ses fleurs de façon à être eux-mêmes préservés dans des graines qui engendreront davantage de plantes et de fleurs. Les fleurs sont les organes sexuels des plantes.

Un artiste qui réfléchit en peignant une fleur se pose sans doute des questions sur son espèce, ses couleurs, sa forme, sa taille, le nombre de ses pétales... Les choix qui se présentent à lui sont sans limites, sinon celles de son imagination et de son matériau. Les choix d'une plante, quant à eux, sont limités par ses gènes.

LA FABRIQUE DES FLEURS

Comme je suis une fleur de bitume, j'avais déjà un certain âge quand je me suis mise à apprécier les jardins et les fleurs. Plus tard, après avoir passé plusieurs étés dans les montagnes de l'Idaho, j'ai commencé à m'intéresser de plus près aux fleurs sauvages. À cette époque, cela faisait déjà longtemps que je travaillais sur les gènes et l'ADN, puisque c'était mon principal sujet de recherches depuis plus de cinquante ans, même si je me concentrais sur les gènes des bactéries, des virus et des animaux, pas sur ceux des plantes.

Bien avant que l'on découvre l'existence des gènes, on savait que les plantes manifestent parfois des traits inattendus. Depuis toujours, les agriculteurs et les jardiniers tirent profit de ces nouvelles propriétés pour améliorer la qualité de leurs récoltes alimentaires et valoriser l'attrait et la diversité des fleurs qu'ils cultivent. Ils savent que les graines de plantes inédites donnent naissance à des rejetons également inédits. Ils sélectionnent donc et réservent ces graines. Cette sélection artificielle a servi de modèle à Darwin pour imaginer la théorie de la sélection naturelle comme moteur de l'évolution de la nature. C'est lorsque Mendel a découvert les gènes que cette sélection a pris tout son sens. Les deux savants ont beau avoir été contemporains, Darwin n'avait jamais entendu parler des expériences de Mendel. C'est dommage, car la découverte de l'existence des gènes aurait permis de résoudre l'un de ses grands problèmes : quelle est l'origine de la variété à partir de laquelle la sélection opère ?

INTRODUCTION

Si les gènes contenus dans les graines sont différents de ceux des plantes qui les ont produites, c'est que la plante a été fécondée par le pollen d'une plante proche, mais différente, et non par son propre pollen. Si les deux plantes appartiennent à deux espèces entièrement différentes, il n'y a aucune chance qu'elles profitent d'une pollinisation croisée. En revanche, les mutations aléatoires des gènes de deux plantes de la même espèce donnent naissance à des plantes dont les gènes sont légèrement différents de ceux de chacun des parents. Même si la plante se pollinise elle-même, les gènes contenus dans l'ovule et les gènes contenus dans le pollen peuvent légèrement différer. Par exemple, les graines de plantes ayant des fleurs roses peuvent produire des plantes dont les fleurs sont blanches, voire blanches et tachetées de rose. L'évolution tire parti de ce type de modifications pour créer de la variété.

La première partie de ce livre est une introduction à certaines notions qui sous-tendent les parties scientifiques qui suivent. La deuxième se penche sur les gènes et leur fonctionnement à partir des recherches existantes. La troisième explique pourquoi et comment une plante sait que c'est le moment de fleurir. La quatrième partie se concentre sur la production des fleurs. Enfin, la cinquième évoque les différentes stratégies d'une plante pour mettre en valeur ses fleurs et attirer des pollinisateurs. Le lecteur découvrira de nouveaux concepts et des termes rares : c'est inévitable quand on aborde des idées neuves ou des gènes et des processus

LA FABRIQUE DES FLEURS

qui viennent d'être élucidés. La définition de ces mots figure dans le glossaire placé à la fin du livre.

La naissance d'une fleur résulte d'une série d'étapes et de processus qui ne sont pas toujours très logiques, et dont certains peuvent paraître inutilement complexes. Car l'évolution est aveugle, désordonnée, souvent ratée ; elle peut profiter de changements de gènes inattendus suivant la façon dont lesdits changements supportent un environnement spécifique : température, luminosité, présence essentielle de pollinisateurs, insectes ou oiseaux. Comme n'a cessé de le rappeler le biologiste et essayiste Stephen Jay Gould, l'évolution est « contingente » : elle dépend d'un changement de gène particulier dans un environnement particulier.

Le lecteur ne trouvera, dans les lignes qui suivent, aucun des noms des dizaines des scientifiques qui sont les auteurs des expériences et des récits qui nous intéressent. Pour plusieurs raisons. La compréhension d'un processus ou le savoir sur un gène précis est souvent le fruit d'une longue histoire de recherche ou de développement. Il n'est pas toujours facile de déterminer qui exactement est l'auteur de telle ou telle découverte. Il arrive que différents chercheurs fassent des découvertes qui s'étendent au fil de décennies avant de former un ensemble cohérent des années plus tard. L'histoire de la naissance d'une fleur est suffisamment compliquée pour ne pas y ajouter la complexité de l'histoire de la découverte. Les lecteurs intéressés peuvent consulter la liste d'ouvrages proposée à la fin du livre pour en

INTRODUCTION

apprendre plus sur les nombreux savants qui ont joué un rôle dans cet essai.

Nous sommes loin d'avoir tout compris sur le pourquoi et le comment de la floraison des plantes. Il reste beaucoup de questions à étudier et à explorer. Certaines explications que vous trouverez ici sont fondées sur les recherches scientifiques en cours les plus sérieuses, il n'empêche que, plus tard, elles se révéleront peut-être inexactes ou, pire, fausses. C'est le propre de la science. Les nouvelles expériences et les nouveaux concepts sont là pour que nous nous rapprochions toujours plus près du fonctionnement des choses de la nature.

Avec un peu de chance, après avoir lu ce livre, quand vous verrez de belles roses rouges en vente dans la rue, des tulipes jaunes dans un jardin au printemps, ou des asters sauvages mauves sur le flanc d'une montagne à la fin de l'été, vous vous souviendrez que ces fleurs sont nées du travail et de l'évolution des gènes au fil de la longue histoire de la vie sur la Terre.

PREMIÈRE PARTIE

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS



« Marie, Marie toute contraire,
Comment pousse ton jardin ?
Avec des cloches d'argent,
des coquillages élégants,
Et des jolies jeunes filles en rang. »
Comptine anglaise

Les plantes ont beau être fixées à un endroit précis, elles possèdent de nombreux pouvoirs. Nous nous pencherons sur un certain nombre d'entre eux dans cette première partie, et, au passage, nous introduirons certains mots et certains concepts qui permettront au lecteur d'apprécier les pages qui suivront.

Le premier chapitre est consacré aux noms : ceux des plantes, ceux des différentes parties des fleurs et ceux des gènes.

Mais quel vocabulaire choisir ? C'est l'un des problèmes des livres de vulgarisation scientifique, en particulier quand il est question de gènes. Personne ne s'étonne de tomber sur des noms compliqués dans un roman étranger. En revanche, dans un ouvrage scientifique, les noms semblent plus difficiles que ceux de *Guerre et Paix*, et le jargon technique rebute beaucoup de lecteurs. Il y a longtemps, un de mes collègues a découvert que les étudiants d'un cours d'introduction

à la biologie de première année avaient plus de mots à apprendre que ceux d'un cours de français débutant ! Il n'est donc pas très étonnant qu'autant d'élèves tournent le dos à la biologie. Les choses et les procédés que l'on découvre ont pourtant besoin d'être nommés – comme le verbe « googliser », par exemple. Car sans noms, nous serions muets.

Le lecteur trouvera un certain nombre de termes inconnus dans le livre, même si j'ai tâché de les réduire au minimum. Il n'empêche, toutes les plantes et les parties qui les composent, ainsi que les gènes et les molécules qui les forment, doivent avoir un nom précis, dont beaucoup datent d'il y a quelques décennies. Nommer les plantes a toujours été un défi. Aujourd'hui, un même gène porte différents noms, suivant qu'il a été découvert dans deux ou plusieurs laboratoires, ou dans deux ou plusieurs organismes. C'est assez frustrant pour les chercheurs qui lisent les publications. Malgré le travail de comités scientifiques qui essayent d'y remédier en uniformisant la nomenclature, le problème n'a fait qu'augmenter au fil des siècles.

Le chapitre II est consacré aux similitudes et aux différences entre les plantes et les animaux. Autant les différences sautent aux yeux de la plupart d'entre nous, autant les ressemblances nous surprennent régulièrement, alors que le lien entre les plantes et nous, êtres humains, est très profond. Nous sommes cousins – cousins lointains, certes, mais cousins quand

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

même. À quel degré ? Personne ne sait exactement, mais ce lien, ce qu'on appelle notre « dernier ancêtre commun », aurait vécu il y a un milliard d'années, à l'époque où les ancêtres des plantes terrestres sont apparus dans la mer.

Les plantes en savent beaucoup sur leur environnement. Elles n'ont peut-être pas nos organes sensoriels, mais elles réagissent aux variations d'amplitude de la durée du jour, à l'orientation de la lumière du soleil, aux fluctuations de température et à la force de gravité, voire, dans certains cas, au toucher. Elles sont également sensibles à leur âge et à leur niveau de maturité. Le chapitre III résume la façon dont les plantes perçoivent ces différents éléments alors qu'elles ne possèdent pas les mêmes organes que les animaux. Comme nous le verrons plus loin, tous ces paramètres entrent en compte dans la floraison.

CHAPITRE I

LES NOMS

Le premier à avoir essayé de mettre un peu d'ordre dans les noms de plantes est un certain Théophraste, baptisé à juste titre le « père de la botanique ». C'était un savant grec qui vivait autour de 300 av. J.-C. et qui eut la chance de suivre l'enseignement d'Aristote. Il existe un monument à sa mémoire sur l'île de Lesbos, à Eresós, un village qui devait être spécial, puisque c'est là qu'est née la poétesse Sapho, trois cents ans avant Théophraste. Le travail de ce dernier ne nous est plus très utile, mais sa classification en arbres, arbustes, herbes, céréales et présence ou absence d'épines a été une réelle innovation. Curieusement, il ne dit pas grand-chose des fleurs, et personne ne sait vraiment pourquoi.

Il a fallu attendre dix-huit siècles pour que les herboristes et les botanistes européens, afin d'éviter les confusions, commencent à imaginer et promouvoir l'uniformisation des différentes appellations d'une

LA FABRIQUE DES FLEURS

même plante dans différents lieux. La découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, en 1492, et l'aube de ce que l'on nommera l'époque des « grandes découvertes » avaient permis l'importation de nombreux végétaux indéterminés, depuis l'hémisphère occidental. Les jardins botaniques ont d'ailleurs été créés à cette date, pour collectionner les plantes connues et inconnues.

Le problème de la nomenclature a été résolu au XVIII^e siècle par Carl Linné, un botaniste suédois qui reprit des idées qui avaient déjà cours, dont l'usage du latin, la langue des érudits et des médecins, et se concerta avec les savants de son temps pour mettre sa systématique au point. Chaque plante (et chaque animal) devait être définie par deux noms. Le premier représentait le groupe général auquel appartenait la plante : le *genus* (pluriel *genera*), ou genre. Le second désignait la plante en particulier : l'espèce. Les appellations usuelles et locales continuaient à être utilisées, mais les horticulteurs professionnels et les scientifiques pouvaient désormais communiquer au-delà des frontières sans qu'il y ait de confusion. Le système linnéen est celui que nous employons toujours : les deux noms (latins) sont inscrits en italiques, le genre porte une majuscule, l'espèce commence avec une minuscule.

La pulmonaire qui vient de déployer ses feuilles tachetées dans mon jardin à l'heure où j'écris, mi-mars, s'appelle *Pulmonaria officinalis*. Le mot « pulmonaire » n'est pas particulièrement joli, en revanche, la plante, dont les fleurs sont rose pourpre, est l'une de mes

préférées. Les pissenlits qui vont bientôt éclore sont des *Tavaxacum officinale*. Ces deux plantes portent le même nom d'espèce, mais elles appartiennent à deux genres différents et ne sont pas apparentées.

Dans ce livre, nous utiliserons les noms français courants, ou « noms vernaculaires », des fleurs et des plantes qui les produisent. Ces noms sont pour la plupart connus des jardiniers et autres amateurs de fleurs : ainsi les roses, les pétunias et les gueules-de-loup (*Antirrhinum majus*). Une grande part de ce que nous savons sur les couleurs des fleurs vient, par exemple, de l'étude des pétunias et des gueules-de-loup. Nouvel exemple : *Arabidopsis* est le nom d'une plante qui ne dira rien à la plupart alors qu'il fait partie du vocabulaire quotidien des botanistes du monde entier. Comme la souris qui est un modèle pour toute recherche en génétique fondamentale des mammifères – y compris nous-mêmes – la petite herbe *Arabidopsis thaliana* que l'on retrouve sur toute la planète est le modèle expérimental favori des botanistes. Son nom français est « arabette des dames » ou « arabette de Thalius », mais nous nous y référerons sous le nom d'*Arabidopsis*.

La majorité des horticulteurs connaissent les termes « annuel » et « pluriannuel » ou « vivace ». Les graines des plantes annuelles se plantent tous les ans, et elles germent, poussent, fleurissent et produisent d'autres graines dans une période de temps relativement courte. Beaucoup de fleurs sauvages sont annuelles. Les

LA FABRIQUE DES FLEURS

zinnias et les pétunias sont des plantes annuelles que l'on voit souvent dans les jardins des zones tempérées. Les plantes annuelles meurent après avoir fleuri, ou quand la température est plus fraîche et que les jours raccourcissent, et elles ne laissent que leurs graines pour assurer leur pérennité. Les plantes pluriannuelles, par exemple, le cyclamen, le myosotis ou l'ancolie, émergent et fleurissent chaque année. Sont aussi pluriannuels, ou pérennes, les arbres et les arbustes qui fleurissent tous les ans, dont les pommiers, les azalées, les pivoinés et le chèvrefeuille ou les vignes. Certaines espèces comprennent à la fois des plantes annuelles, et d'autres, vivaces. L'*Arabidopsis* en fait partie, et ses différentes formes en font un parfait organisme expérimental.

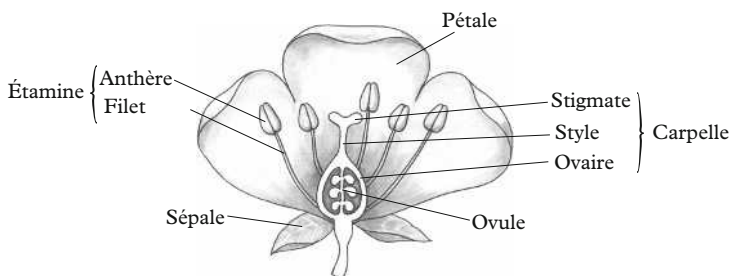
Les jardiniers, ainsi que les étudiants qui ne s'endormaient pas en cours de biologie, se souviennent sûrement des différentes parties d'une fleur. Les biologistes les appellent des « organes » parce que chacune a une fonction spécifique, comme les organes de notre corps.

Linné est aussi le premier à avoir introduit l'idée que l'on pouvait classer et nommer les plantes à partir du nombre d'étamines et de carpelles de chacune, les parties respectivement mâles et femelles d'une fleur. Il baptisait les étamines, qui contiennent le pollen, les « maris », et les carpelles, les « épouses », et qualifiait les fleurs de « lits ». Certains de ses contemporains trouvaient amusant de découvrir ce « système sexuel » ; d'autres étaient tellement choqués qu'ils parlaient de

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

« pornographie botanique » ; d'autres encore expliquaient que les dames devaient éviter d'observer les parties sexuelles des plantes. Quelles que soient ces réactions, ce système sexuel a très vite été adopté, car il était simple et accessible. Il représentait une forme de démocratisation dans la mesure où il n'y avait pas besoin d'être un savant pour identifier l'espèce d'une plante en comptant le nombre de parties mâles et femelles de ses fleurs.

Les fleurs simples n'ont en général qu'un seul carpelle situé juste au milieu. Il ressemble souvent au pilon d'un mortier, et on le désigne habituellement sous le nom de pistil (du latin *pistillum*). Les carpelles ont en principe trois parties qui forment les organes femelles reproducteurs. À la base du carpelle se trouve l'ovaire, qui contient les ovules. L'ovaire est surmonté d'un tube, appelé style, au sommet duquel se trouve un nœud, le stigmate, qui sert à capter le pollen. Le carpelle est entouré d'un nombre variable d'étamines.



Les organes reproducteurs d'une fleur.

LA FABRIQUE DES FLEURS

L'étamine est composée d'un filament très mince terminé par un nœud, l'anthère, qui porte le pollen, l'équivalent du sperme animal.

Les pétales, qui sont le plus souvent la partie colorée de la fleur et attirent le regard, entourent le carpelle et les étamines. Sous les pétales, à l'extérieur de la fleur, on trouve des petites structures en forme de feuilles, souvent vertes, qui sont les sépales. Avant que la fleur s'ouvre, les sépales sont fermés et recouvrent le bourgeon. Il arrive que les sépales soient colorés, notamment chez les orchidées et les crocus, ils ressemblent alors à des pétales et forment une partie de la fleur. Les étamines et le carpelle, les organes qui assurent la génération suivante de la plante, sont la composante essentielle de la fleur. Les sépales protègent ces organes, tandis que la fonction des pétales est à la fois d'abriter, mais aussi d'attirer les oiseaux et les insectes pollinisateurs.

Gregor Mendel, le moine du XIX^e siècle qui a découvert les facteurs de l'hérédité, a raté l'examen qui devait faire de lui un professeur certifié. Il n'était pas fait pour ce genre d'épreuves, ce qui est assez courant chez les personnes à l'intelligence hors norme. Heureusement, il a continué à enseigner à des élèves plus jeunes, ce qui lui laissait le temps de se consacrer au jardin de son monastère, à Brno. Le principal, mais pas le seul, objet de ses études était les plantes à pois. Comme beaucoup de cultivateurs de son époque, il savait que les graines

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

contiennent les caractéristiques des plantes qui les produisent – des caractéristiques telles que l’aspect des graines, la forme de la fleur et sa couleur. Cela dit, il est le seul à avoir fait ce qui suit : compter, consigner et conserver ses relevés. Il notait la couleur et la forme des graines des pois (les pois) et les fleurs des pois qui produisaient le pollen. Il notait la couleur de la fleur sur le stigmate de laquelle il déposait du pollen en veillant à ce que le propre pollen de la fleur n’effleure pas ce stigmate. Enfin, quand les nouvelles graines apparaissaient, il comptait le nombre de graines jaunes et de graines vertes. Après que les graines avaient été plantées, il comptait le nombre de nouvelles plantes ayant des fleurs blanches et le nombre ayant des fleurs mauves, ainsi que le nombre de leurs pois qui étaient verts, et de ceux qui étaient jaunes. Il répéta l’opération sur plusieurs générations en enregistrant soigneusement les résultats. C’est à partir de ces observations et de diverses expériences exploitant d’autres caractéristiques des plantes à pois qu’il a déduit l’existence et compris le fonctionnement héréditaire de « facteurs », que nous appelons aujourd’hui des gènes.

À Brno, Mendel a donné plusieurs conférences aux personnes que le sujet intéressait et publié un article dans un journal local. Hélas, très peu de gens l’ont lu et très peu ont compris l’enjeu de son entreprise, si bien que lui-même, ainsi que ses travaux, a fini par tomber dans l’oubli.

LA FABRIQUE DES FLEURS

Il a fallu attendre cinquante ans, au début du xx^e siècle, pour que des chercheurs menant le même genre d'expériences sur des plantes et des animaux découvrent les relevés de Mendel et mesurent l'importance de ses découvertes. Un moine inconnu les avait devancés de plusieurs décennies, avant qu'ils entament leurs recherches et ils n'en savaient rien. Désormais, les expériences, les idées et les quelques informations déjà connues sur les gènes allaient progresser à un rythme de plus en plus rapide.

L'une des étapes les plus importantes fut l'identification de l'organisme parfait pour étudier la génétique : la mouche du vinaigre, ou drosophile (*Drosophila melanogaster*), qui se nourrit de fruits et se reproduit très rapidement. C'est donc un gène de mouche qui fut le premier à avoir un nom. Son découvreur, l'Américain Thomas Hunt Morgan, l'a appelé *WHITE* parce qu'il donne à ces mouches des yeux blancs au lieu de la couleur habituelle rouge brique (les noms de gènes s'écrivent en lettres majuscules et en italiques).

La découverte et le nom donné par Morgan au gène *WHITE* montrent que la désignation des gènes a quelque chose de paradoxal. Les mouches du vinaigre ont en général des yeux rouge brique, mais si un gène requis pour produire le pigment rouge brique se perd ou s'il ne fonctionne pas, les yeux de la mouche sont blancs. Le nom du gène, *WHITE*, est donc révélateur de ce qui arrive quand quelque chose cloche, et non pas lorsque tout se passe comme prévu. La méthode

est peut-être un peu déroutante, mais elle se justifie si l'on sait que pendant tout le xx^e siècle, ou presque, l'existence de tel ou tel gène ne devenait manifeste que lors des dysfonctionnements. Aujourd'hui encore, beaucoup de gènes sont découverts et baptisés quand il y a un problème. Prenez la maladie héréditaire appelée fibrose kystique. Le gène humain qui en est la cause s'appelle *CFTR* (pour : *Cystic fibrosis transmembrane conductance regulator*) : ce nom ne dit rien sur ce que déclenche le gène normal, mais il révèle ce qui arrive quand ce gène ne fait pas son travail. Même paradoxe chez les plantes. *LFY* (ou *LEAFY*) est un gène indispensable pour faire une fleur. Or il a été découvert parce qu'un gène *LFY* problématique avait empêché une *Arabidopsis* de produire des fleurs, si bien qu'elle ne donnait que des feuilles.

LFY est l'un des nombreux gènes qui servent à produire une fleur, dont beaucoup portent le nom de ce qui arrive quand ils ne fonctionnent pas bien. Le gène *WHITE*, par exemple, est important pour la couleur des yeux d'une mouche. Les gènes *APETALA* sont indispensables à la formation des pétales. Un gène qui est altéré au point de ne pas pouvoir accomplir sa tâche habituelle est qualifié de gène mutant ou de mutation. L'étude des mutations est au cœur de la compréhension des gènes depuis que Morgan a découvert le gène *WHITE*.

Mendel avait compris que la transmission des caractéristiques des plantes et des fleurs dépend de ce que

LA FABRIQUE DES FLEURS

nous appelons désormais des gènes. Morgan et d'autres ont découvert qu'il en va de même chez les animaux. La culture d'organismes expérimentaux, tels que les pois et les mouches, a permis de comprendre beaucoup de choses sur les gènes et leurs mutations. Enfin, au début du xx^e siècle, en examinant la façon dont les traits mutants, notamment les maladies héréditaires, se transmettent de parent à enfant, les chercheurs ont démontré que les êtres humains ont eux aussi des gènes qu'ils transmettent à leur descendance. Le pire, c'est que ces découvertes sur les gènes et sur leur fonctionnement ont eu lieu sans que l'on ne sache exactement ni ce qu'étaient les gènes ni comment ils provoquaient des changements aussi graves chez les êtres vivants.

Alors, imaginez l'excitation quand, au milieu du xx^e siècle, les scientifiques ont compris leur nature et leur mode de fonctionnement. Je m'en souviens, à l'époque j'étais étudiante. Tout ce qu'on nous enseignait et beaucoup de ce qu'on lisait dans les manuels ont pris une nouvelle dimension. C'était une révolution. Et, comme dans toutes les révolutions, les étudiants s'y sont lancés encore plus vite que les professeurs.

Ce bouleversement nous a notamment permis de décrire plus exactement ce qu'est un gène – du moins c'est ce qu'on pensait. Car cette clarté s'est brouillée au cours des soixante années qui ont suivi. Aujourd'hui les biologistes ont du mal à s'accorder sur une définition claire et précise de ce qu'est un gène. Une définition qui semble pertinente se révèle souvent erronée à la

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

lumière des découvertes suivantes, ce qui est peu satisfaisant, il vaut donc mieux ne pas perdre trop de temps à s'en soucier. Il est beaucoup plus stimulant de se concentrer sur ce que l'on sait et ce que l'on devrait apprendre plutôt que de s'attarder sur la question de la définition.

Pour l'instant, il suffit de savoir que les gènes sont des unités d'informations biologiques, codées dans l'ADN, qui déterminent la façon dont un animal ou un végétal se développera et mûrira, à quoi il ou elle ressemblera, comment il ou elle réagira à son environnement et comment il ou elle se reproduira. Les pages qui suivent expliquent comment les plantes et leurs fleurs vont faire en sorte que de nouvelles générations existent.

CHAPITRE II

LES PLANTES SONT COMME LES ANIMAUX MAIS PAS TOUT À FAIT

« Dès que nous essayons de distinguer une chose, nous découvrons qu'elle est liée au reste de l'univers. »

John Muir

La plupart des plantes sont vertes. En revanche, peu d'animaux le sont : quelques insectes, des grenouilles, certains poissons. Alors pourquoi imaginons-nous si souvent les visiteurs d'une autre planète sous la forme de « petits bonshommes verts » ? Est-ce parce que nous sommes jaloux des végétaux ? Nous le pourrions, car ils fabriquent leur nourriture en exploitant la lumière du soleil, le dioxyde de carbone (CO_2) et l'eau. Les animaux en sont incapables, ils sont tributaires des plantes pour se nourrir, y compris les carnivores, puisqu'ils mangent des herbivores. Le processus qui permet aux plantes d'élaborer des aliments pour une partie importante de la vie sur la Terre dépend de la couleur verte : c'est ce que nous appelons la photosynthèse. Ce vert

LA FABRIQUE DES FLEURS

vient d'un pigment nommé chlorophylle, comparable à un pigment rouge, l'hémoglobine, qui est à l'origine de la couleur de nos cellules sanguines. La photosynthèse permet aux plantes de pousser et d'atteindre des tailles impressionnantes. Même les plus gros des animaux actuels ne sont rien à côté de la majorité des grands arbres.

Contrairement aux animaux, les plantes ne se déplacent pas pour trouver de nouveaux aliments ou rechercher un partenaire. Elles sont condamnées à rester là où elles ont pris racine. Les fleurs et les graines qu'elles produisent servent à pallier cet inconvénient.

Certaines plantes, comme le maïs, fertilisent leurs ovules avec leur propre pollen afin de déclencher la production de graines. D'autres disséminent leur pollen, soit en comptant sur le vent, soit avec l'aide d'insectes ou d'oiseaux pollinisateurs.

En dépit de ces différences, les plantes et les animaux sont cousins, notamment parce qu'ils ont en commun des gènes, qui composent leur ADN, et qu'ils les transmettent à leur progéniture. L'ADN végétal passe à la génération suivante via les ovules et le pollen, celui des animaux via les ovules et le sperme. Les micro-organismes comme les bactéries et les archées dépendent aussi de l'ADN et des gènes, même si ce ne sont pas des organismes sexués ; ils transmettent leur ADN quand ils se reproduisent par division. Si tous les organismes vivant sur la Terre émanent de l'ADN et des gènes, il y a de fortes chances qu'ils aient tous

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

évolué à partir d'un ancêtre commun, très lointain, qui existait il y a plusieurs milliards d'années.

Outre l'ADN et les gènes, tous les organismes vivants ont un autre dénominateur commun : ils sont faits de cellules. Les êtres humains sont constitués de milliards de cellules. Le nématode, ce minuscule ver abondamment étudié, est composé de 959 cellules. Les plantes en ont des millions, voire des milliards, suivant leur taille.

Les bactéries, de même que certains animaux et certaines plantes, sont des cellules indépendantes, difficiles à voir à l'œil nu. Les éléments de base de la reproduction des plantes et des animaux, les gamètes – ovules, pollen et sperme – sont eux-mêmes des cellules individuelles. Un œuf fertilisé par du pollen ou du sperme est également une cellule individuelle et, surtout, il contient l'ADN de chacun de ses parents.

L'ancêtre commun des plantes et des animaux était une population d'organismes unicellulaires. Certains ont fabriqué la chlorophylle, sont devenus verts et ont donné naissance aux ancêtres des algues vertes et des plantes multicellulaires vertes. D'autres, moins colorés, se sont transformés en champignons monocellulaires et en animaux pluricellulaires. L'évolution vers les organismes multicellulaires s'est produite indépendamment dans le règne animal et le règne végétal.

Les cellules sont des poches remplies de produits chimiques. Ces poches sont limitées par des membranes lipidiques parfaites pour conserver et protéger l'intérieur

LA FABRIQUE DES FLEURS

de la cellule. Ces membranes sont comme des barrières de sécurité autour d'une base armée ou d'un complexe industriel. Mais, de même que les sites protégés ont besoin d'avoir une entrée et une sortie pour les personnes et les véhicules, les cellules ont besoin d'autoriser certaines substances, notamment les substances nutritives, à entrer, et d'autres molécules, telles que les déchets, à sortir. Les membranes lipidiques sont tapissées de molécules qui contrôlent l'entrée et la sortie. À l'intérieur de la cellule, les petites et les grosses molécules sont organisées en minuscules structures ; ces molécules comprennent les protéines, les hydrates de carbone (ou sucres), l'ADN et l'acide ribonucléique ou ARN. La plupart de ces structures servent à maintenir les cellules en vie et leur permettent de se développer et se diviser.

À l'intérieur de chaque cellule d'animal et de plante se trouve une autre poche : le noyau. Et dans ce noyau se trouve l'ADN, le centre d'information de la cellule. Les cellules des bactéries et des archées ne possèdent pas de noyau ; leurs cellules ont une structure plus simple, et leur ADN nage avec les autres molécules à l'intérieur de la cellule.

Le développement d'une nouvelle plante ou d'un nouvel animal commence au moment où l'œuf fécondé se divise en deux, puis quatre, et ainsi de suite jusqu'à ce que l'organisme entier soit construit. À chaque division cellulaire, l'ADN se duplique et chacune des deux nouvelles cellules, les cellules filles, reçoit la réplique

complète de l'ADN présent dans l'œuf fécondé. Les cellules formées au début de ce développement sont les cellules souches, ce qui signifie qu'elles peuvent donner naissance à différents types de cellules. Les cellules souches produisent souvent de nouvelles cellules souches. Quelquefois, pourtant, la division cellulaire résulte en deux différents types de cellules, une nouvelle cellule souche identique et une cellule reprogrammée, à travers de subtils changements dans la façon dont les gènes sont utilisés, pour produire une population de cellules aux capacités spécifiques, notamment pour la formation d'organes particuliers comme les racines, les tiges, les feuilles ou les fleurs. Les cellules souches végétales sont comparables à celles de l'embryon humain, sauf qu'aucune question éthique ne se pose si l'on veut les utiliser pour faire des expériences.

Chacun sait que les animaux fabriquent un type particulier de cellules – les gamètes – dont le rôle est de créer la génération suivante. Les ovules produits par les femelles et le sperme des mâles doivent pouvoir se rencontrer, soit dans le corps de la mère, comme chez certains insectes et chez tous les mammifères, soit à l'extérieur, dans l'environnement, comme chez les poissons. Les gamètes qui donneront naissance aux ovules et au sperme sont mis de côté très tôt au cours du développement de l'animal. Chez les mammifères, dont les êtres humains, ça se passe au début du développement de l'embryon. Ces cellules sont protégées jusqu'à ce que soit venu le moment de mûrir.

LA FABRIQUE DES FLEURS

Les plantes à fleurs ont aussi des gamètes, mais elles ne les mettent pas de côté au début de leur développement. Ceux-ci se forment plus tard au cours de la vie de la plante, c'est l'une des étapes de la formation de la fleur. Les gamètes – ovules et pollen – viennent également des cellules souches, mais ils ne se développent que quand une plante a suffisamment mûri pour produire une fleur, à ce moment-là, le pollen est fabriqué dans le stigmate et les ovules le sont dans le carpelle de la fleur.

Les cellules souches sont rassemblées à l'extrémité de la pousse : c'est ce qu'on appelle le « méristème ». Quand les cellules du méristème se divisent, l'une des deux nouvelles cellules forme une partie de la plante elle-même – une tige plus longue ou le début d'une feuille, par exemple. L'autre reste à l'intérieur du méristème, elle est là pour recommencer le processus. Plus tard, au moment de la floraison, certaines cellules méristématiques reçoivent des signaux leur indiquant qu'il est temps de changer de programme et de se préparer à produire des cellules pour la construction de la fleur. C'est une tâche complexe, car les quatre organes de la fleur – le carpelle, les étamines, les pétales et les sépales – seront tous faits de cellules spécifiques. Ensemble, ces quatre organes permettront la formation d'un fruit contenant les graines qui pousseront pour donner la génération suivante. Nous sommes au cœur de ce qui fait qu'une fleur est une fleur.

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

Avant de se lancer dans la fabrication d'une fleur, les plantes doivent savoir si c'est le bon moment. De nombreux animaux, dont nous-mêmes, ont besoin d'arriver à maturité avant de pouvoir se reproduire, et ils sont nombreux à ne le faire qu'en certaines saisons. Les plantes doivent mûrir avant de pouvoir fabriquer des fleurs et des graines, mais la maturité ne suffit pas. Le moment de la floraison est très important pour que la fertilisation, et la dispersion des fruits et des graines qui suit, soient efficaces. De nombreux gènes sont là pour retarder la floraison jusqu'au moment opportun. Parmi les signaux indiquant que l'instant est propice se trouvent la température et la lumière, sur lesquels nous reviendrons dans le livre. La coordination entre la reproduction et les éléments de l'environnement n'est pas propre aux plantes. Beaucoup d'animaux réagissent à des repères tels que la durée du jour. Les hamsters sibériens, par exemple, se reproduisent quand les jours sont plus longs, à l'instar des plantes.

Comme elles ne peuvent pas bouger de l'endroit où elles poussent, les plantes ont deux problèmes de distribution à résoudre avant de produire une nouvelle génération. D'abord, elles doivent trouver le moyen d'épandre leur pollen sur leur carpelle ou sur celui de leurs voisins de la même espèce. Ensuite, elles doivent réussir à disperser leurs graines, car si celles-ci se contentaient de retomber là où les fleurs se forment, les plantes émergentes s'agglutineraient et seraient en

LA FABRIQUE DES FLEURS

compétition les unes contre les autres pour l'eau, la lumière et la nourriture.

Le problème de la distribution du pollen peut être résolu grâce au vent, c'est la solution adoptée par certaines plantes. Hélas, le vent n'est pas constant et il est peu efficace, car il n'a pas de cible précise. L'évolution a trouvé une solution plus fiable en liant la vie des plantes à celle des oiseaux et des insectes. Le nectar que produisent de nombreuses fleurs joue le rôle d'appât. Les insectes et les oiseaux s'approchent pour y goûter, beaucoup ont d'ailleurs développé des formes qui les aident à y accéder, par exemple les longs becs des oiseaux-mouches et la petite trompe des papillons. Pendant qu'elles se nourrissent, ces petites bêtes prélèvent du pollen en effleurant le stigmate, puis le déposent sur un autre carpelle de la même plante ou celui d'une autre qu'ils butinent ensuite.

Quant au second problème, celui de la distribution des graines, l'évolution a mis au point plusieurs moyens d'y remédier. Les petites touffes poilues qui contiennent les graines des pissenlits sont une solution : le vent les éparpille. Les jardiniers qui doivent désherber au printemps savent que la stratégie des pissenlits est particulièrement efficace. Les oiseaux, quant à eux, ramassent d'autres types de graines sur leurs pattes ou leurs plumes, et les sèment loin de leur source. Les animaux consomment des graines et des fruits contenant des graines, et celles qui ne sont pas digérées sont déféquées ailleurs. C'est l'un

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

des processus naturels qui fait que le vivant est un immense réseau interdépendant.

Les graines peuvent être minuscules, peu importe, elles contiennent l'ADN qu'il faut pour produire une nouvelle plante, même un arbre gigantesque. Cet ADN vient, tel que le pollen et l'ovule l'ont livré, à parts égales des graines de chacun des parents. Les graines contiennent aussi des aliments pour nourrir la nouvelle plante au début de sa croissance, avant que ses feuilles et ses racines aient suffisamment poussé pour lui fournir de l'eau et de la nourriture en quantité suffisante. C'est ce qui explique que certaines graines, comme les haricots ou le maïs, sont assez grosses pour nourrir les animaux, y compris les hommes.

CHAPITRE III

PERCEVOIR L'ENVIRONNEMENT

Ceux qui vivent sous des latitudes hautes ou moyennes, avec quatre saisons distinctes, attendent avec impatience l'apparition des fleurs à la fin de l'hiver ou au début du printemps, quand les jours rallongent et que la température de l'air commence à se réchauffer. Le paysage se pare de teintes variées, loin de la grisaille et de la blancheur de l'hiver. Au cours des mois qui suivent, c'est toute une gamme de fleurs, de couleurs et de senteurs qui se transforme suivant un ordre prévisible, qui revient tous les ans.

Dans les régions où les changements de saison sont moins marqués, voire inexistant, certaines fleurs poussent toute l'année. Cela dit, même là, il arrive que la floraison rythme les changements de mois : malgré de faibles variations de température, c'est à la fin de l'hiver ou au début du printemps que les amandiers fleurissent en Californie centrale et en région méditerranéenne.

LA FABRIQUE DES FLEURS

Aux États-Unis, le ministère de l'Agriculture a divisé le pays en différentes zones plus ou moins alignées sur les latitudes, sauf l'extrême Ouest. Ces zones sont également assemblées en fonction de leur température hivernale la plus basse. La plupart des catalogues de jardinage reproduisent la carte des États-Unis suivant cette division et la description des plantes comprend des recommandations variant suivant la zone où chaque plante doit être plantée pour fleurir. Les États du Moyen-Atlantique, situés le long de la côte Est, sont dans la zone 7, où certaines variétés de fleurs de cerisiers éclosent début avril. Les cerisiers fleurissent un peu plus tard dans la zone 6, au Nord, où il fait plus froid. En Californie du Nord, zones 9 et 10, ils fleurissent encore plus tôt. L'éclosion des fleurs sauvages varie également.

Quiconque est un peu attentif aura remarqué que, depuis quelques années en Amérique, les températures ont tendance à augmenter un peu plus tôt dans l'année à cause du réchauffement climatique. En 2012, les cerisiers de la zone 7 ont fleuri fin mars, quelques semaines avant la date habituelle, si bien que, quand les touristes sont arrivés à Washington pour le festival annuel des cerisiers, début avril, les fleurs n'étaient plus que l'ombre d'elles-mêmes, loin de leurs superbes nuances rosées. Cette année-là, le ministère de l'Agriculture a modifié la répartition des zones du pays pour l'adapter au réchauffement climatique, et il est probable qu'il faudra de nouveau la modifier si les températures de

LES PLANTES ET LEURS POUVOIRS

la Terre continuent à augmenter. Les insectes et les oiseaux sont encore plus perturbés que les hommes par ces changements de date de floraison. Si les fleurs se forment avant que les pollinisateurs soient prêts à recueillir leur nectar, la relation essentielle qui unit les fleurs aux insectes et aux oiseaux est bouleversée.

La température n'est pas tout. La variation de la durée des nuits (et des jours), à mesure que la Terre effectue sa révolution annuelle autour du Soleil, joue aussi sur l'époque de la floraison. Non seulement il fait plus chaud au printemps, mais les jours s'allongent.

Chacun sait que dans l'hémisphère Nord les jours commencent à rallonger après le solstice d'hiver, en décembre, et à raccourcir après le solstice d'été, en juin. Dans l'hémisphère Sud, c'est l'inverse, décembre est le mois du solstice d'été, et juin, celui du solstice d'hiver. Au Nord comme au Sud, l'allongement de la journée est synonyme de températures plus élevées, surtout dans les zones tempérées. Dans les deux hémisphères, la lumière du Soleil varie en intensité et en orientation à chaque moment du calendrier. Ces variations s'ensuivent de la révolution annuelle de la Terre autour du Soleil selon un axe de rotation incliné. Ce qui veut dire que la relation de la Terre et du Soleil diffère légèrement chaque jour. Les plantes sont plus sensibles que nous aux changements temporels du cycle lumière/obscurité, lesquels influent sur le moment où les fleurs apparaissent.

LA FABRIQUE DES FLEURS

Le moment de la floraison varie beaucoup selon les espèces. Les azalées et les rhododendrons donnent des fleurs au printemps, mais plus tardivement que les cerisiers, alors que leurs bourgeons sont visibles tout l'hiver. Les chrysanthèmes et les asters fleurissent rarement avant fin août début septembre. Cette progression annuelle des couleurs et des senteurs est ce qui incite les jardiniers à poursuivre un travail dur, parfois frustrant. Un jardin bien conçu a toujours des fleurs pour attirer le regard avant que les premiers gels sévissent.

Ce déploiement de fleurs, annuel et régulier, prouve que les plantes connaissent parfaitement leur environnement. Elles réagissent à la lumière, à la température, à la gravité, voire au toucher, et elles exploitent ce « savoir » pour décider du moment où enclencher le processus de la fabrication de la fleur.

Les plantes annuelles germent, poussent, fleurissent, forment et dispersent de nouvelles graines en quelques semaines, soit le temps d'une saison relativement courte. Les reines de l'été, telles que les soucis, les pétunias, les zinnias et les variétés annuelles d'*Arabidopsis*, fleurissent au printemps peu après que les graines ont été semées et que les plantes ont commencé à pousser. À l'inverse, certains arbres grandissent pendant plusieurs décennies avant de fleurir. L'âge et la maturité des plantes influencent le moment de leur floraison, et cette influence est caractéristique de chaque espèce. Les bambous fleurissent rarement,

et souvent ils meurent après. Les peupliers poussent entre sept et dix ans avant de fleurir. Lorsqu'ils font pousser des agrumes, les jardiniers doivent attendre plusieurs années avant que leurs arbres soient assez matures pour produire des fleurs et des fruits. À cause de ces cycles de vie très longs, il est difficile de croiser des arbres pour obtenir telle ou telle caractéristique recherchée ou de recourir à des manipulations génétiques pour les modifier. Les chercheurs doivent attendre des années avant de voir les résultats de leurs expériences.

Il faut sept ans avant qu'un châtaigner puisse fleurir et donner des graines. C'est un vrai problème pour ceux qui cherchent à réimplanter ces superbes arbres aux États-Unis. Jusqu'au début du xx^e siècle, une immense partie du pays, de la côte Est jusqu'à l'ouest du Mississippi, était couverte de châtaigniers d'Amérique, des arbres grands et magnifiques, dont les enfants adoraient récolter les fruits. Ces châtaigniers étaient exploités par plusieurs industries alimentaires pour les hommes et les animaux, et par l'industrie du bois pour les meubles et les bâtiments. Hélas, au début du xx^e siècle, ils ont commencé à disparaître, emportés par une maladie fongique appelée la brûlure du châtaignier. Cinquante ans plus tard, ils étaient tous morts.

Sachant que les châtaigniers d'Asie résistent au champignon responsable de cette brûlure, des programmes de fertilisation croisée des fleurs des deux types d'arbres ont été mis en œuvre. On espère que les gènes responsables de la résistance des châtaigniers d'Asie s'implanteront

dans l'ADN de leurs cousins d'Amérique. Les lecteurs intéressés peuvent lire *American Chestnut* de Susan Freinkel qui revient plus longuement sur ce projet. Chaque génération d'arbre prenant au minimum sept ans, de nombreuses décennies sont nécessaires avant de pouvoir étudier le résultat des fertilisations croisées, ce qui est très long. Heureusement, grâce à la plante modèle *Arabidopsis*, on peut analyser plusieurs générations en une seule année, et les connaissances acquises sont applicables aux arbres. Par exemple, le jour où ils ont compris comment une plante annuelle telle qu'*Arabidopsis* passait du stade juvénile à celui de la floraison en quelques semaines, les horticulteurs ont pu entreprendre d'accélérer le cycle de vie des arbres. Les informations fournies par cette petite plante permettent d'améliorer la production de peupliers et de nouveaux agrumes, entre autres. Alors qui sait si elles ne permettront pas de hâter le retour des châtaigniers d'Amérique ?

La maturité est évidemment un repère important pour la floraison, mais il n'est pas toujours facile à observer. La maturité d'une plante se définit en partie par l'activité des hormones à l'intérieur de cette plante. Une hormone, qu'elle soit dans un végétal ou dans un animal, est une molécule qui peut se déplacer d'une cellule à une autre et influencer plusieurs de leurs propriétés. Elle joue un rôle de molécule-signal.

Pour résumer, il existe au moins trois différents types de signaux pour la floraison. Le premier, la maturité,

dépend de paramètres internes à la plante, alors que les deux autres, la température et la lumière, sont environnementaux. Chacun de ces repères est complexe et dépend d'une série d'événements, notamment de l'activité d'un certain nombre de gènes. Outre la complexité spécifique de ces différents marqueurs, tous doivent être coordonnés pour que le message reçu par la plante lui signale clairement qu'il est temps pour elle de fleurir. Nous-mêmes, nous coordonnons les signaux internes et environnementaux avant d'entreprendre la plupart de nos comportements. Cette coordination est un véritable défi, pour nous comme pour les plantes. Lesquelles perçoivent, assimilent et ajustent les signaux de floraison de différentes façons et à différents rythmes en fonction de leurs gènes.

Pour comprendre la variabilité du moment de la floraison chez différentes espèces, il faut comprendre comment l'activité des gènes change suivant la température, la lumière et la maturité. C'est une tâche difficile, même si les chercheurs ont fait des découvertes impressionnantes ces dernières décennies. Aujourd'hui, plusieurs aspects de la sensibilité des plantes à l'environnement sont relativement bien connus, mais d'autres commencent à peine à faire l'objet de travaux expérimentaux.

Certaines mutations génétiques produisent des plantes qui fleurissent plus tôt ou plus tard que les individus typiques de leur espèce. D'autres produisent des plantes qui ne fleurissent pas. L'étude des conséquences

de la mutation d'un gène permet de comprendre le rôle joué par le gène que nous appellerons « normal » pour déterminer le moment de la floraison. Nous avons déjà vu le cas où une plante mutante produit des feuilles et aucune fleur : le gène modifié avait été baptisé *LFY* bien avant que l'on sache à quoi servait le gène sain correspondant, si ce n'est favoriser la formation de fleurs. Les plantes qui connaissent ce genre de mutations sont des outils précieux pour analyser le phénomène de la floraison, car leurs graines portent les mêmes mutations et sont un matériau fiable pour mener des expériences. Il n'empêche, pour faire de la recherche sur les plantes mutantes et obtenir des résultats probants, il faut faire pousser des milliers de plants. Le jour où l'on a compris qu'*Arabidopsis thaliana* pouvait servir de modèle fut donc une étape décisive pour l'étude de la génétique de la floraison.

Le fait est que l'on peut cultiver des centaines de plants d'*Arabidopsis* dans des boîtes qui n'occupent que quelques mètres carrés dans une serre. Cette concentration facilite le repérage des plantes mutantes qui affichent un mode de floraison inhabituel. Une fois qu'elles sont identifiées, leurs graines peuvent être récoltées et fournir une base fiable pour obtenir des plantes identiques. Si c'est une plante qui ne fleurit pas, il faut faire appel à des techniques particulières. Les plantes qui mutent spontanément sont très rares, mais il est possible d'accélérer la fréquence des mutations en traitant les graines avec des produits chimiques ou

des radiations. Par ailleurs, il existe une grande variété d'*Arabidopsis* sauvages dont les comportements diffèrent : certaines sont annuelles, d'autres sont vivaces ; certaines fleurissent tôt, d'autres, tard. Preuve que l'étude d'*Arabidopsis* est essentielle pour comprendre les plantes, le génome complet d'*Arabidopsis thaliana* (toute la séquence de son ADN) a été définitivement établi en 2000 et il est disponible sur le Web. La recherche sur les différences entre les gènes des variantes naturelles et ceux des plantes mutantes isolées en laboratoire est extrêmement utile pour comprendre la floraison.

Un mot d'avertissement. Les travaux sur *Arabidopsis* fournissent un cadre qui permet de comprendre comment les gènes influent sur le moment de la floraison et sur l'ensemble du processus de la formation d'une fleur. Toutefois, chaque plante est unique et a ses propres fleurs et son propre calendrier de floraison, une séquence annuelle qui se remarque très facilement quand on regarde dans les jardins. Dans les régions tempérées, les cerisiers fleurissent tôt, de même que la plupart des crocus. Apparaissent ensuite les jonquilles, puis les tulipes, qui les suivent généralement. Chaque plante manifeste certaines variations autour des schémas établis à partir des travaux sur *Arabidopsis*. Ces variations sont liées à des différences de gènes au sein des différentes espèces ; ce sont souvent des modifications minimales, qui produisent pourtant des changements majeurs en ce qui concerne la

forme des fleurs ou la réaction des plantes à leurs repères environnementaux.

Une grande part de ce qui est expliqué dans cet ouvrage doit évidemment beaucoup aux recherches sur *Arabidopsis* puisqu'elle a fait l'objet de nombreuses expériences. De façon plus générale, les travaux sur les pétunias et les gueules-de-loup, de même que sur les plantes cultivées pour l'alimentation telles que le riz et le maïs, ont aussi contribué à ce que nous savons... ou croyons savoir.

Les plantes, comme les animaux, perçoivent et interprètent chacune à leur façon un certain nombre de facteurs environnementaux. Un bon petit plat simule nos sens grâce à son fumet, au grésillement que nous entendons dans la poêle au moment de la cuisson, à la vue de l'assiette pleine face à nous et aux crampes provoquées par la faim que nous éprouvons. Chacun de ces signaux est perçu par un système distinct au sein de nos organes sensoriels et de notre cerveau, et l'ensemble fait que nous allons nous asseoir à table avec un couteau, une fourchette et une cuillère, prêts à déguster une première bouchée. Les sensations des humains et les différentes façons dont elles sont interprétées et reliées entre elles par le corps et le cerveau résultent de centaines de millions d'années d'évolution animale. C'est également vrai chez les plantes qui ressentent, interprètent et coordonnent les signaux de la floraison.

Les plantes et les animaux évoluent à partir du moment où les mutations des gènes produisent de

nouvelles propriétés qui, par hasard, sont avantageuses dans un environnement donné. La progéniture de l'organisme modifié intègre la mutation et la propage pour peupler cet environnement hospitalier. C'est ainsi que de nouvelles mutations s'accumulent jusqu'à ce qu'apparaisse une espèce distincte du premier parent, et qui ne peut plus se reproduire avec lui. Les formes et les aptitudes des espèces telles que nous les voyons ne sont ni les seules ni forcément les plus efficaces. L'évolution exige seulement que ces formes et ces aptitudes fonctionnent suffisamment bien dans l'environnement disponible pour que l'organisme puisse survivre. Si ce n'était pas le cas, d'autres plantes et animaux peupleraient la Terre. Tout ce que nous voyons autour de nous est ce que l'évolution a réussi ; les ratés, eux, périssent. L'essentiel pour un organisme destiné à se maintenir dans le temps, c'est que ses gènes fonctionnent dans l'environnement qui est le sien.

En évoluant, les plantes ont acquis l'aptitude à ressentir la température, la luminosité, et leur durée. À l'heure qu'il est, la recherche nous en a appris plus sur leurs capacités à percevoir la lumière que la chaleur. En tout cas la manière dont elles le font, comme tous les êtres vivants, est liée à des processus chimiques et physiques or, la chaleur comme la lumière sont des formes d'énergie.

La lumière qui vient du Soleil couvre un large spectre de longueurs d'onde dont nous ne voyons

LA FABRIQUE DES FLEURS

qu'une partie et le côté rouge du spectre, qui correspond aux grandes longueurs d'onde, transmet moins d'énergie que le côté violet. Pour sentir la lumière et la chaleur, les plantes et les animaux utilisent certaines molécules qui reconnaissent et absorbent dans leur structure l'énergie que la lumière dégage. Ces différentes molécules absorbent la lumière de différentes parties du spectre, donc des énergies spécifiques. Ce sont des molécules complexes, comme toutes les molécules du vivant, construites à partir de molécules plus simples grâce à des catalyseurs appelés enzymes, codés pour ce faire dans les gènes.

La chlorophylle a beau ne pas être un signal de floraison, c'est un bon exemple pour comprendre ce qu'il se passe quand la lumière du soleil atteint une plante. La chlorophylle est une grosse molécule, complexe, qui absorbe la lumière des côtés bleu et rouge du spectre visible de la lumière du soleil. La plante réfléchit de la lumière verte, c'est pourquoi nous la voyons verte. Les feuilles rouges des érables du Japon sont dues à d'autres molécules, appelées « anthocyanes ». Les plantes exploitent aussi la lumière ultraviolette et infrarouge. Chaque fois qu'une certaine énergie lumineuse est absorbée, le reste du spectre est réfléchi. Comme nous le verrons plus loin, les changements structurels, qui se produisent dans certaines molécules quand l'énergie lumineuse est absorbée, peuvent servir de signaux déclencheurs pour la plante qui, par

exemple, se tournera vers le Soleil ou démarrera la production de fleur.

Bien que les trois signaux de floraison – lumière, température et maturité – fonctionnent différemment, ils entraînent tous l'activation du *FLORIGÈNE*, un gène spécifique de la plante qui enclenche le processus de la floraison.

Il y a plus de cent ans, les botanistes ont découvert qu'ils pouvaient forcer la floraison d'une plante en lui injectant de la sève d'une autre plante pleine de fleurs. La sève contenait une sorte de « bouton marche » déclenchant la floraison. Il a fallu encore cinquante ans de recherches avant que l'on puisse écrire la phrase suivante, grâce à une simple expérience : une unique feuille de plante à fleurs, greffée sur la tige d'une plante n'ayant pas encore fleuri, suffit pour que la plante récipiendaire commence à générer des fleurs. Les deux plantes peuvent être de deux espèces différentes : *Arabidopsis* et le riz, pourtant très éloignés, réagissent au même signal. Ces expériences toutes bêtes ont dévoilé trois choses importantes : les feuilles fabriquent à l'intérieur d'elles-mêmes une substance ; cette substance (ou l'un de ses dérivés) voyage à travers la sève jusqu'aux cellules situées à l'extrémité croissante, là où commence la floraison ; cette même substance (ou des substances proches) est active chez une grande variété de plantes. La substance mystère qui provoque un changement radical du programme de la plante a alors été baptisée « florigène ».

LA FABRIQUE DES FLEURS

Cette substance se déplaçant dans la plante et agissant comme un signal, il était probable que ce soit une sorte d'hormone.

Pendant soixante ans, les chercheurs avaient essayé d'identifier le florigène, mais sans succès. Il a fallu attendre ces dix dernières années pour qu'ils aient la réponse : la soi-disant hormone qui se déplace des feuilles aux tiges, puis à l'extrémité supérieure de la plante, est finalement une protéine : le FLORIGÈNE. Comme une protéine a forcément un code génétique qui lui correspond dans l'ADN de l'organisme, les savants se sont concentrés sur le gène *FLORIGÈNE* pour comprendre comment il s'active quand il est temps que la plante fleurisse.

L'histoire de la floraison est de plus en plus une histoire de gènes. Mais avant de nous pencher plus précisément sur le FLORIGÈNE, il faut nous plonger dans ce que sont les gènes et comment ils s'activent et se désactivent. Nous reprendrons le fil de l'histoire du FLORIGÈNE dans le chapitre VI.