

Suxia Xu, Baojun Wu, Qingyan Shu, Yuxuan Ge

Séductions florales

*Comment les abeilles
voient les fleurs*



Séductions florales

Comment les abeilles voient les fleurs

Suxia Xu, Baojun Wu, Qingyan Shu, Yuxuan Ge

Les fleurs sont inextricablement liées à notre vie : elles produisent des graines et des fruits qui répondent aux besoins vitaux et elles nous procurent un plaisir sensoriel grâce à leurs nombreuses couleurs, odeurs et formes. Leur nature demande qu'elles soient pollinisées pour pouvoir se reproduire et continuer le cycle de la vie. Parmi les différents pollinisateurs, les abeilles sont un des vecteurs les plus connus.

Comment la fleur s'y prend-elle pour attirer l'abeille ? Quelles promesses et quelles récompenses lui accorde-t-elle ?

Les abeilles perçoivent-elles les fleurs de la même façon que nous les Humains ? La réponse est non. Richement illustré par de nombreuses photos de fleurs, ce livre vous montre également des photographies d'imagerie UV pour simuler le monde des fleurs tel qu'il est vu par les abeilles et analyse la structure de vie des abeilles pour comprendre leur relation avec les fleurs.

978-2-7598-3120-3



Séductions florales

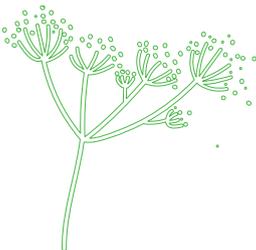




Séductions florales

Comment les abeilles voient les fleurs

Suxia XU, Baojun WU, Qingyan SHU, Yuxuan GE





Membres du comité de rédaction

Rédacteurs en chef : XU Suxia, WU Baojun

Rédactrices en chef adjointes : SHU Qingyan, GE Yuxuan

Certaines des photographies de ce livre ont été fournies par les chercheurs impliqués dans la rédaction de cet ouvrage ; que LIU Yonggang, ZHU Xulong, OUYANG Haibo, YUAN Yaowu et WANG Ruifang en soient remerciés.

Cet ouvrage a bénéficié du financement **B&R Book Program**.

Version originale publiée en chinois : Le monde des fleurs vu par les yeux de l'abeille, édité par Xu Suxia, Wu Baojun. Beijing : Science Press, 2021.3

Composition et mise en pages : Patrick Leleux PAO

Imprimé en France

ISBN (papier) : 978-2-7598-3120-3 – ISBN (ebook) : 978-2-7598-3121-0

DOI : 10.1051/978-2-7598-3120-3

Tous droits de traduction, d'adaptation et de reproduction par tous procédés, réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

© Science Press, EDP Sciences, 2023

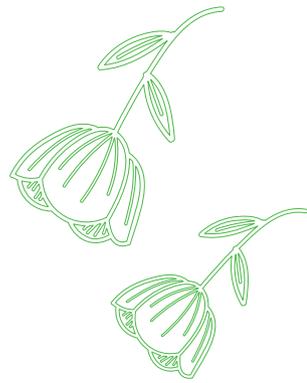
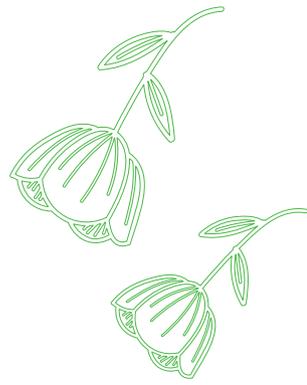


TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	7
Préface	9
Chapitre 1. L'origine des fleurs et des abeilles	15
Un monde de fleurs colorées	15
Structure et sexe des fleurs	19
Survie et reproduction des fleurs et des abeilles	25
Attrait mais aussi danger pour les abeilles	31
Secret de la pollinisation	43
Abeille ouvrière	48
Interactions abeille-plante	50
Chapitre 2. Un regard d'abeille sur le monde des fleurs	57
Un monde de paillettes	57
Les fleurs, vues par les abeilles	69
Chapitre 3. La magie d'attirer les abeilles	81
Variation des tâches florales	81
Sentir les fleurs	90
Période de floraison et mouvement des fleurs	96
La fleur qui change de visage	107
Les astuces des plantes	110
Chapitre 4. Fleurs et abeilles dans le microcosme	117
Structure des pétales en microscopie électronique	117



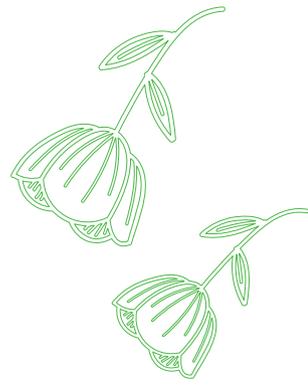
Un faible champ électrique autour des fleurs	123
Chapitre 5. L'inspiration des abeilles : science, architecture et littérature	127
Les abeilles et le prix Nobel.....	127
Ruche et architecture	131
Plantes à miel et à nectar.....	133
Conclusion	139
Les auteurs	145



AVANT-PROPOS

Les fleurs font partie de nos vies grâce aux graines et aux fruits qu'elles produisent et qui viennent répondre à nos besoins fondamentaux, mais elles sont aussi par la variété de leurs formes et de leurs couleurs, un ravissement pour nos yeux et un attrait pour les insectes et oiseaux pollinisateurs.

Quelle vision les abeilles ont-elles des fleurs ? Est-ce la même que la nôtre ? Non. Ce livre propose entre autres de montrer le monde des fleurs tel qu'il est vu par les abeilles en simulant leur vision composée à l'aide de photographies d'imagerie UV mais aussi en présentant les différentes périodes de leur vie au cours desquelles elles établissent leur relation avec les fleurs.



PRÉFACE

Les fleurs font partie intégrante de nos vies. Leurs graines sont produites par les plantes après la floraison. Si le riz, le blé, le maïs (et le sorgho en Chine) sont nos principales sources d'alimentation, les fruits nous offrent également un large choix pour notre régime alimentaire. Les fleurs, quant à elles, avec leur variété de couleurs et de formes, nous procurent un sentiment d'épanouissement spirituel. Elles sont un véritable cadeau dans nos vies et lorsque nous les offrons, nous leur donnons une signification bien particulière, établissant ainsi une relation originale et unique avec elles, bien au-delà de leur mission première. Toutefois, pour les plantes, le rôle principal des fleurs est de permettre le transfert du pollen vers le stigmate.



Hortensia

Dans 90 % des cas, la pollinisation – et donc la formation éventuelle de graines – nécessite l'aide d'un pollinisateur. Il en existe de nombreux : tout d'abord les vecteurs abiotiques, comprenant principalement le vecteur aquatique et le vecteur éolien, ce dernier étant majoritaire puisque la pollinisation par le vent s'effectue chez environ 18 % des angiospermes¹. Notons ici que les gymnospermes² produisent également leurs graines, principalement par pollinisation par le vent. Viennent ensuite les vecteurs biologiques. Très diversifiés, ils comptent de nombreux mammifères (par exemple, les chauves-souris, les écureuils) mais aussi des oiseaux, des insectes et bien d'autres espèces encore. Les insectes comme les abeilles, les papillons de nuit, les coléoptères et les fourmis en constituent la catégorie la plus importante. Précisons ici que les insectes comme les abeilles (abeilles et bourdons) comptent parmi les plus nombreux pollinisateurs au monde.

La visite du pollinisateur sur la fleur permet le transfert du pollen en échange de quoi, le pollinisateur reçoit une « récompense » (du nectar, du pollen). Si la pollinisation ne constitue qu'une étape de la visite du pollinisateur à la fleur, elle est toutefois vitale pour la plante. Par conséquent, la plante doit pouvoir attirer les pollinisateurs et les guider vers elle. Selon les caractéristiques des fleurs, les pollinisateurs entretiennent des préférences, ce qui a permis aux spécialistes de développer le concept du « Syndrome de pollinisation ».

Il consiste en des combinaisons de caractéristiques florales qui ont évolué chez les plantes pour s'adapter à divers pollinisateurs. Par exemple, les fleurs pollinisées par les oiseaux sont généralement de couleur rouge car, à la différence des insectes, ils distinguent le rouge.

1. Les angiospermes sont également appelées plantes à fleurs.

2. Les gymnospermes sont un groupe de plantes à graines nues et ne forment pas de vraies fleurs.



Les fleurs pollinisées par les abeilles sont plutôt de couleur vive, souvent jaune ou bleue, avec assez peu de rouge. Les fleurs visitées par les papillons s'ouvrent surtout le jour, produisent plus de nectar, sont dotées de tubes floraux fins et allongés (souvent avec des éperons ou des nids contenant du nectar) et sont très souvent rouges. Les fleurs pollinisées par les papillons de nuit s'ouvrent généralement la nuit, sont fortement parfumées, avec un tube de corolle³ long et étroit ; elles sont plutôt claires, souvent blanches. Les fleurs fréquentées par les mouches sont quant à elle plutôt ternes, grandes, ouvertes et exhalent une odeur particulière, voire désagréable. À quelques exceptions près, les caractéristiques de la fleur suffisent à déterminer les principaux pollinisateurs de la plante.

La théorie classique de l'évolution des caractéristiques florales stipule que les pollinisateurs ont influencé l'évolution des fleurs.



Pivoine

En ce qui concerne les plantes dépendantes de vecteurs biologiques pour leur pollinisation, bien qu'il soit possible de leur attribuer leurs pollinisateurs sur la base de leurs caractéristiques florales, ces

3. La corolle est l'ensemble des pétales d'une fleur.

dernières restent toutes décrites de notre point de vue. Or la vision de l'homme correspond-elle à celle du pollinisateur ?

Non. Les yeux des abeilles, par exemple, sont plus sensibles aux verts et aux bleus vifs ainsi qu'aux rayons ultraviolets (UV). Autrement dit, les abeilles sont principalement sensibles à la lumière de courte longueur d'onde. L'œil humain lui, réagit aux lumières rouges, bleues, vertes, et ne distingue pas la lumière ultraviolette. La fleur vue par l'abeille ne correspond donc pas à l'image que l'homme en a.



Microula Sikkimensis

Du coup, pour une abeille, à quoi ressemble une fleur ? Et comment les humains perçoivent-ils le monde vu par les abeilles ?

Nous utilisons ici des caméras d'imagerie sensibles aux UV et, en combinant différents filtres, nous pouvons simuler le monde vu par les yeux de l'abeille et déterminer à quoi ressemble une fleur pour elle.



La fleur vue par les yeux de l'Homme



La même fleur vue par une abeille

Avec l'aide du professeur Zachary Huang de l'université d'État du Michigan, nous avons pu obtenir une lentille qui transmet la lumière UV. À cela, nous avons ajouté un filtre qui bloque la lumière infrarouge pour éviter qu'elle n'interfère avec l'image, puis nous avons complété le dispositif par un filtre qui transmet la lumière UV bleue et verte pour obtenir une image finale dans les trois types de lumière.

Ce montage nous a permis de montrer le monde des fleurs vu par les abeilles. La plupart des photographies de ce livre ont été prises par les chercheurs lors de travaux de terrain, soutenus par la *Haibei Alpine Meadow Ecosystem Locating Research Station* et la *Lijiang Forest Ecosystem Locating Research Station* de l'Académie chinoise des sciences, ainsi qu'avec l'aide de nombreux collègues et étudiants de troisième cycle⁴.

4. Les photographies prises en extérieur et les recherches connexes ont été soutenues par la Fondation nationale des sciences naturelles de Chine (32071786, 3147909, 31071814) et le projet scientifique et technologique de Xiamen (3502Z20172015). La publication de cet ouvrage en langue chinoise a également été financée par le Bureau de la communication scientifique de l'Académie des sciences de Chine en 2019, à qui nous tenons à exprimer toute notre gratitude.



Chapitre 1

L'origine des fleurs et des abeilles

UN MONDE DE FLEURS COLORÉES

Les couleurs au fil des saisons sont magnifiques et les éléments de la nature que sont le ciel bleu, les nuages blancs, les montagnes, l'eau qui coule, les forêts, les prairies et les fleurs nous offrent de merveilleux paysages. Les fleurs, quant à elles, sont l'âme de la Terre. Laissons-nous charmer par leur magie...



Pivoine



Grenadier



Lotus



Osmanthus



Chrysanthème



Hibiscus



Narcisse



Prunier

Les plantes fleurissent selon les saisons et sont aussi géographiquement dépendantes. Pour preuve, celles originaires des régions tropicales et subtropicales ont une apparence bien différente de celles des zones tempérées et froides. Elles se distinguent principalement par leur couleur, leur parfum mais aussi par leur taille (anémones, pétunias). En effet, les fleurs tropicales et subtropicales sont en général plutôt éclatantes. Les fleurs des plantes qui poussent sous des climats plus froids, aux périodes d'ensoleillement plus courtes sont, elles, plus petites et moins colorées.

Vus de près, voici quelques spécimens.



Gingembre



Mandevilla



Stellera



Centauree

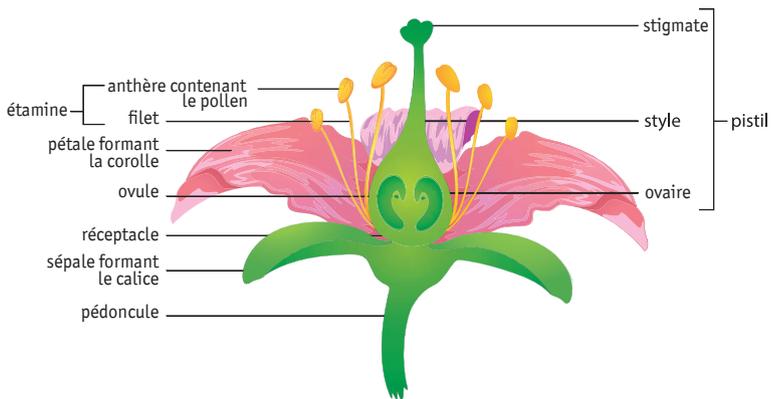


Luzerne



STRUCTURE ET SEXE DES FLEURS

Les fleurs ont un sexe et bien que nous ayons pour habitude de leur attribuer toutes les grâces féminines, elles peuvent aussi être de sexe masculin. Cela s'explique par le fait que les plantes à fleurs sont apparues plus tard sur l'échelle de l'évolution. Les fleurs sont l'organe reproducteur caractéristique des angiospermes, et leur présence constitue l'une des principales différences entre les angiospermes et les autres plantes. C'est pourquoi les angiospermes sont aussi appelées « plantes à fleurs ». La structure d'une fleur d'angiosperme se compose en principe d'un pédoncule, d'un pistil, d'étamines, d'une corolle (pétales) et d'un calice (sépales). Les étamines sont constituées d'anthères et de filaments et le pistil lui, de stigmates, de styles et d'ovaires. L'ovaire est directement impliqué dans la formation du fruit ou de la graine. Le calice et la corolle protègent quant à eux les étamines.



Dessin de la structure d'une fleur

Le réceptacle est la partie qui porte la fleur ; le pédoncule sert quant à lui de support et de guide. D'après la composition des étamines, les fleurs des angiospermes se divisent en deux catégories : les fleurs bisexuées et les fleurs unisexuées. Une fleur bisexuée est une fleur contenant à la fois des étamines et un pistil. Faut-il en déduire qu'une fleur unisexuée est une fleur qui ne contient que des étamines ou que des pistils ? La classification des systèmes sexuels chez les plantes à fleurs unisexuées est bien plus complexe !



Fleurs mâles de l'aspérule (étamines seulement, pas de pistils)

Les pistils et les étamines des fleurs bisexuées peuvent être pollinisés par le vent ou les insectes s'ils arrivent à maturité en même temps et permettre ainsi à la plante de trouver un partenaire sans consanguinité, donnant une progéniture d'être biologiquement plus performante.



En effet, grâce au vent, le pollen peut être disséminé sur de longues distances. Dans la nature, les plantes savent exercer leur intelligence !



Achillée



Vanillée de Cayenne

Certaines plantes possèdent à la fois des fleurs femelles et des fleurs mâles réunies sur un même pied. Ce sont les plantes dites monoïques. Dans le cas du maïs, les fleurs femelles et mâles poussent sur le même pied, les fleurs mâles étant portées par l'extrémité et les fleurs femelles par les aisselles des feuilles. Cette séparation des fleurs femelles et mâles est un bon moyen d'éviter la perte de vigueur ou d'adaptabilité ainsi que la réduction des rendements qui peuvent advenir en raison de l'auto-fécondation et de la consanguinité.



Fleurs mâles (à gauche) et femelles (à droite) du maïs

D'autres plantes sont, elles, dioïques, c'est-à-dire que le pistil et l'étamine se trouvent sur deux pieds séparés ; citons par exemple le *Cycas revoluta*. Elles ne représentent que 5 % des plantes à fleurs. Quels sont alors leurs avantages dans le cadre d'un processus de sélection naturelle ?



Fleurs de Cycas revoluta mâle (à gauche) et femelle (à droite)

Les botanistes pensent que les plantes dioïques pourraient réduire les inconvénients liés à la consanguinité et augmenter les avantages de l'hybridation, tout en évitant la concurrence intersexuelle et en augmentant la capacité des sexes à utiliser des ressources différentes.

Par leurs couleurs inattendues et leur diversité, les fleurs offrent une grande variété de formes ; certaines ressemblent à des trompettes, d'autres à des étoiles, à des gyroscopes, à des soleils et ou à des cloches renversées.

Comment la nature a-t-elle pu créer une gamme aussi vaste et surprenante ?



Fleurs de kiwi dioïques femelle (à gauche) et mâle (à droite)



Sophora



Ipoméé

*Hibiscus**Murier de Chine**Passiflora**Véronique*

SURVIE ET REPRODUCTION DES FLEURS ET DES ABEILLES

Quelles conséquences si une même plante fleurit à des moments différents de l'année ? Nous savons que ses organes nutritionnels accumulent des nutriments grâce à la photosynthèse. Or, une floraison précoce peut entraîner une accumulation insuffisante d'énergie dans les premiers stades du développement de la plante, limitant la production de graines par la suite. En revanche, si la floraison est trop tardive, les graines manqueront de temps pour mûrir, la saison de croissance se révélant trop courte, notamment dans des environnements difficiles ce qui affectera leur production de graines.

Notons que certaines plantes – après une longue période d'évolution – ont développé pour se reproduire un schéma de floraison qui s'adapte aux conditions climatiques et à leur environnement. Le bon moment de la floraison peut avoir un impact considérable sur le succès reproductif de l'espèce : en effet, les plantes évoluent au fil du temps pour s'adapter à leur environnement, tant sur le plan individuel que sur le plan collectif (au niveau de leur population).



Pivoine en première floraison

Les fleurs sont dépendantes de leurs visiteurs. Si pistils et étamines sont présents au sein d'une même fleur et qu'ils arrivent à maturité ensemble, ils vont fonctionner en harmonie. Le pollen des étamines est dispersé sur le stigmate du pistil pendant la floraison pour achever le processus de pollinisation et permettre une production réussie de graines. C'est ce que l'on appelle l'aptitude individuelle, façon pour la plante de se rendre auto-suffisante.

Toutefois, cette auto-suffisance engendre une consanguinité⁵ entre les plantes causée par l'auto-fécondation. Cette auto-fécondation

5. La consanguinité entraîne une réduction de la force, de la forme physique et de la fertilité de la descendance d'un organisme.

permet en revanche de surmonter les inconvénients de la pénurie de pollinisateurs dans les environnements difficiles. Elle offre également une sécurité reproductive pour maintenir les populations de plantes et présente des avantages inégalés pour les plantes hétérozygotes.



Portulaca grandiflora



Mauve



Plumes de Kansas



Aster



En ce qui concerne les plantes pollinisées par le vent représentent environ 1/10^e des plantes à fleurs dans la nature. Toutefois, le vent peut rater sa cible et au fil de l'évolution, certaines fleurs ont dû apprendre à user d'astuces afin de s'assurer un allié plus fiable pour leur reproduction. C'est ainsi que certains insectes, en fonction de goûts spécifiques, deviennent des visiteurs réguliers que les fleurs récompensent de leur pollen ou de leur nectar sucré pour les fidéliser. Ce mode de pollinisation est appelé pollinisation entomophile.

Dans le cas d'une pollinisation éolienne, le vent n'a pas besoin de souffler très fort pour répandre le pollen puisque les fleurs présentent des caractéristiques propres à ce type de pollinisation : elles ne sont en général pas très grandes, plutôt ternes, avec un périanthe⁶ dégradé ou inexistant, n'ont ni parfum ni nectaires⁷. La tige de la fleur est souple et facilement en prise avec le vent. Le pollen, présent en grande quantité, est plutôt pâle. Il est sec et ses grains sont petits et légers (de seulement 0,01-0,06 mm de diamètre) ; ses parois polliniques extérieures lisses le rendent facilement dispersable par le vent. Notons ici qu'un ou deux grains tout au plus atteindront leur cible. Le stigmate des fleurs s'agrandit souvent afin d'accroître ses chances de contact avec le pollen en suspension dans l'air (accroissement du nombre de fourches, effilement pour atteindre l'extérieur du périanthe, ce qui facilite la réception du pollen – c'est le cas des noix par exemple). Certaines fleurs possèdent des chatons souples et renversés (les peupliers), ou des feuilles qui présentent la particularité de pousser d'abord et de fleurir ensuite (le bouleau). Le pollen de certaines espèces sont

6. Le périanthe est le terme générique pour le calice et la corolle de la fleur.

7. Les nectaires sont des glandes multicellulaires, présentes dans les fleurs ou les tissus nutritionnels, qui sécrètent des fluides contenant des matières organiques et servant souvent à attirer les insectes.

dotées de sacs aérifères (le pin). Ce type de pollinisation concerne la plupart des graminées (par exemple le maïs, le chêne, le peuplier et le bouleau) et les gymnospermes (le sapin, le cyprès et le rossolis).

La pollinisation par le vent est beaucoup moins efficace que celle réalisée par les insectes visitant les fleurs et dispersant suffisamment de pollen au bon endroit et au bon moment. Leur stratégie est unique pour réussir la pollinisation et la fertilisation, le pollen volant à volonté. Elles se trouvent couramment dans les régions tempérées ou boréales, établies en une forte concentration de congénères, dans des endroits venteux aux espaces ouverts. Sans être totalement absentes, elles sont toutefois rares sous les tropiques.

Dans les régions tempérées et froides, pour éviter que le feuillage ne gêne la pollinisation, les fleurs pollinisées par le vent fleurissent généralement au début du printemps, avant l'apparition des feuilles. Les plantes herbacées dont la pollinisation est éolienne poussent principalement sur des espaces ouverts où il n'y a que peu d'obstacles.



Cycas revoluta :
pollinisation par le vent



Faux-coquelicot :
pollinisation par les insectes



Bougainvillée

La plupart des fleurs visitées par les insectes possèdent un périanthe brillant, particulièrement distinctif. Elles sont parfumées et certaines développent même des nectaires, autant d'attraits pour les insectes pollinisateurs. Leur pollen est généralement gras et



collant, avec une surface à reliefs, ce qui lui permet de se coller facilement aux insectes. Par conséquent, le pollen des fleurs pollinisées par les insectes se déplace le plus souvent par grappes (on peut compter des centaines de grains). C'est le cas des fleurs de colza, celles des pêches et des abricots.

Les angiospermes sont principalement dépendantes des insectes pour la dispersion de leur pollen même si certaines ont subi plusieurs évolutions indépendantes pour passer de la dépendance aux insectes à celle du vent.

De plus, tous les visiteurs ne contribuent pas à la pollinisation des plantes ; en effet, certains peuvent aussi endommager les fleurs. C'est le cas de gros coléoptères, les orthoptères (les criquets par exemple) et de certains hyménoptères (les fourmis par exemple).

De nombreux petits insectes et autres mangeurs invertébrés peuvent aussi détruire les fleurs, affectant non seulement le potentiel de reproduction de ces dernières mais détériorant aussi l'aspect général de la plante, et empêchant indirectement la possibilité d'une future pollinisation.

ATTRAIT MAIS AUSSI DANGER POUR LES ABEILLES

Tout au long de leur évolution, les plantes à fleurs ou non – des gymnospermes pollinisées par le vent aux angiospermes pollinisées par les insectes – ont lutté pour s'adapter à leur environnement et assurer leur survie.

Les insectes ne visitent pas les fleurs par hasard ; s'ils aident à la pollinisation, c'est qu'ils répondent à différents signaux – forme, parfum, couleur de la fleur – émis par la plante. La grande variété de couleurs des fleurs est due à l'accumulation dans les plantes de métabolites secondaires (anthocyanes, caroténoïdes) qui donnent aux fleurs une couleur vive, distinctive, très attrayante pour les insectes. La formation de ces pigments est régulée dans la plante par un système génétique complet et indépendant qui contrôle

la synthèse des pigments ainsi que le moment et le lieu de leur synthèse.

Les gènes à l'origine de ces pigments sont présents dans la plante lorsqu'elle n'est encore qu'une graine et ils s'activent au stade de la floraison accumulant un grand nombre de pigments à un moment spécifique et à un endroit particulier des pétales. Il ne s'agit pas simplement d'un type de pigment, mais d'une vaste catégorie, comprenant de nombreux types différents.

Les scientifiques ont émis l'hypothèse que la couleur caractéristique d'une fleur correspondrait aux préférences du pollinisateur et que le schéma de distribution des pigments dans la fleur aurait évolué pour répondre au système visuel de chaque pollinisateur. L'évolution du *Mimule* pourrait bien révéler l'effet de la variation de la couleur des fleurs sur les préférences des pollinisateurs.

Le bourdon est le principal pollinisateur du *Mimule* rose tandis que le colibri est celui du *Mimule* rouge. La descendance fait apparaître ou disparaître les caroténoïdes jaunes en raison de l'infiltration de gènes individuels, provoquée par leur croisement. Par conséquent, l'augmentation de la teneur en caroténoïdes des pétales réduit les visites des abeilles de 80 % ; en revanche, elle double le nombre de visites des colibris. Par exemple, une mutation dans un gène lié à la production d'anthocyanes (qui fait passer la couleur des fleurs du bleu-violet au rouge-orange) peut contribuer à passer de la pollinisation par les abeilles à celle par les colibris. La préférence des pollinisateurs contribue ainsi à l'évolution des fleurs et à l'isolement reproductif.



Mimulus rose avec son pollinisateur (en haut), Mimulus rouge avec son pollinisateur (au milieu) et leur descendance (en bas)



Outre les changements de couleur de la corolle, de nombreuses plantes à fleurs présentent des modifications dans leur schéma de distribution des pigments de la corolle au cours de la reproduction, y compris des variations de couleur entre les corolles, les bractées, les étamines ou les groupes d'étamines et ce, le plus souvent, en raison des différents schémas de coloration des cellules de la corolle, donnant des caractéristiques mixtes comme des taches ou des rayures.

Diverses hypothèses ont été formulées sur la fonction de la distribution des pigments. La plus répandue est que l'imitation de pollen, d'anthères, d'étamines, de grappes d'étamines... peut attirer les pollinisateurs vers la fleur ou fournir des guides de pollen et de nectar (appelés « guides de nectar »), c'est-à-dire des chemins que les pollinisateurs peuvent suivre. Le guidage floral est essentiel pour certaines espèces, en particulier pour les fleurs présentant des motifs symétriques (*Orchidaceae*, *Leguminosae*, *Pteridophyta* et *Plantainaceae*), parce que les étamines doivent offrir un endroit spécifique où les pollinisateurs peuvent demeurer ou parce qu'elles sont cachées profondément dans le tube floral et sont difficiles à trouver. Par exemple, les guides floraux jaunes du grand muflier peuvent compenser le fait que les anthères et le pollen sont enveloppés dans la fleur et ne sont pas facilement visibles ; la zone jaune indique la zone d'appui et les rayures fournissent des « guides de nectar », tout comme celui jaune de l'iris ou les taches symétriques de la *Gazania rigens*.



Muflier



Gentiane avec un cœur de fleur jaune et des rayures (guide de nectar) violettes

Des expériences ont été menées pour comparer les réponses des bourdons européens en quête de nourriture vis-à-vis de fleurs artificielles avec ou sans motif étoilé. Un scénario différent a été présenté à des bourdons européens avec un système de récompense sous forme de nectar permettant une évaluation à court ou à long terme.

Les résultats ont montré que les bourdons sont prompts à trouver du nectar dans les fleurs à motifs et passent rarement à côté de leur récompense, que la corolle soit ronde ou d'une autre forme. Le « guide de nectar » est très efficace. Les chercheurs ont constaté que les bourdons ou d'autres espèces d'abeilles s'envolent peu de temps après avoir butiné. Lorsque les fleurs pigmentées d'un motif n'ont pourtant plus rien à offrir, les abeilles elles, continuent de les visiter. Cela suggère que les motifs d'attraction du nectar, visant à faciliter le transfert du pollen de la plante, se fait au détriment de l'alimentation du pollinisateur. Nous ne sommes donc plus dans le cadre d'un bénéfice partagé entre plante et pollinisateur.



Cosmos



Sedum



Le schéma de répartition des couleurs tient compte du système visuel des pollinisateurs. Celui de l'abeille est très différent du nôtre. Les scientifiques supposent en effet qu'il est beaucoup moins discriminant et de moins bonne résolution (peut-être 100 fois moins) que notre perception du spectre. Le bourdon est un pollinisateur exclusif de la verge d'or, et il est probable que ces fleurs aient partiellement évolué pour s'adapter au système visuel trichromatique de ce dernier. De multiples tentatives ont été menées pour modéliser la façon dont les pollinisateurs perçoivent les fleurs mais les recherches sur leur système visuel demeurent encore insuffisantes.

Lorsque le muflier fleurit, les étamines et les pistils ne sont pas visibles et les insectes ne sentent que le nectar des fleurs.

Le bourdon est le seul à pouvoir agir. Ce n'est qu'à son arrivée, lorsqu'il se pose sur les pétales de la fleur que, sous son poids, la fleur s'ouvre pour révéler ses étamines, permettant ainsi la récolte du pollen et du nectar.

Le moment de la floraison de la plante ainsi que son apparence sont-ils également régis par des dispositions génétiques ?

Il existe un modèle théorique bien connu concernant le développement des fleurs, appelé « Modèle ABC de la morphologie florale ». Il suggère que les gènes qui régulent la formation des organes floraux peuvent être divisés en trois groupes, A, B et C, qui, selon leur fonction, agissent dans les organes floraux.

Pour attirer les insectes vers la nourriture, les belles couleurs ne suffisent pas. C'est pourquoi les fleurs sécrètent une substance riche en nutriments, le nectar, grâce à un organe spécifique, le nectaire. L'emplacement des nectaires varie beaucoup d'une plante à l'autre. Chez la plupart des angiospermes, ils se trouvent près des carpelles ou des étamines. Pour d'autres plantes, ils se forment dans la région pétiolaire ou à la base de la feuille.



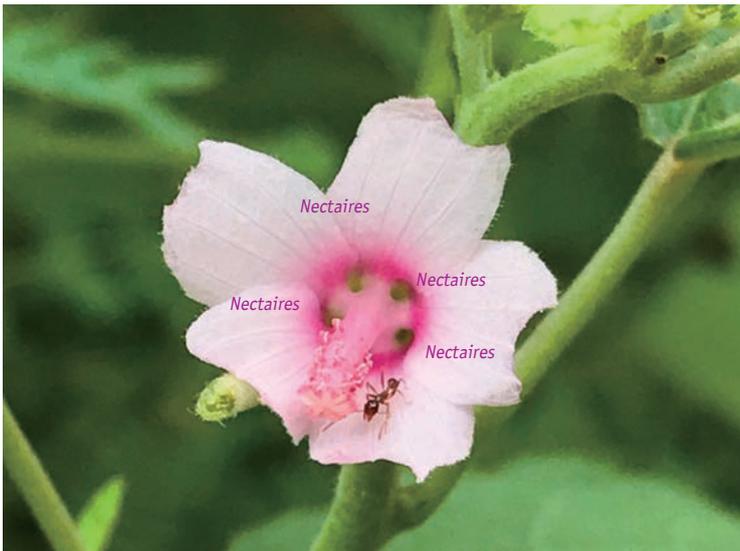
Muflier

Les plantes sans nectaires utilisent quant à elles, des techniques parfois trompeuses dont la plus courante est le mimétisme. Il s'agit de simuler d'autres formes favorables à la pollinisation, augmentant ainsi le taux de visite des insectes. Les pseudo-nectaires constituent un groupe de structures spéciales ; ils imitent les nectaires ou les gouttes de miel mais n'ont pas de fonction sécrétoire. Largement distribués chez de nombreuses angiospermes, ils présentent une grande diversité de taille, de nombre, d'emplacement, de couleur et de forme. Les pseudo-nectaires forment un ensemble de minuscules structures hémisphériques en relief, recouvertes de cellules épidermiques non sécrétoires très rapprochées, aux propriétés

réfléchissantes sous la lumière UV et dans la vision des abeilles. La formation et les propriétés optiques des pseudo-nectaires sont étroitement liées à l'expression spécifique de gènes impliqués dans la division cellulaire, au développement des chloroplastes et à la formation des cires.

Les pseudo-nectaires jouent en fait le rôle d'attracteurs visuels et d'attracteurs de nectar.

Ici, nous pensons à un groupe de plantes, les attrape-mouches, de la famille des Droseraceae. Certains considèrent que cette plante, puisque carnivore, n'a pas besoin de la pollinisation des insectes. Et bien c'est faux !



Les nectaires de la fleur d'hibiscus



Dionée ou attrape-mouche

Les plantes attrape-mouches sont des plantes à graines : étamines et pistils d'une même fleur n'arrivent pas à maturité en même temps et par conséquent, la pollinisation par les insectes constitue un risque pour la reproduction. Il a été démontré que lorsque les attrape-mouches se trouvent dans un environnement domestique, les taux de fructification sont considérablement réduits. Comment les attrape-mouches piègent-ils les insectes ?

Commençons par une présentation de ces plantes carnivores. La feuille de l'attrape-mouche présente à son extrémité, deux parties appelées limbe qui forment un piège. Ce piège est une sorte de mâchoire composée de deux lobes séparés et reliés par une nervure centrale épaisse. La dionée attire les insectes grâce à la sécrétion d'un nectar collant puis referme ses limbes pour piéger définitivement son visiteur. La plante sécrète ensuite des substances digestives qui, pendant plusieurs jours, dégradent et digèrent lentement la proie.

*Nepenthes**Sarracénie*

Comment font ces plantes carnivores pour ne pas piéger leurs pollinisateurs ?

Observons de plus près cette bataille entre fleurs et feuilles ! Dans le cas du gobe-mouche, la stratégie est la suivante : il possède une très longue tige de fleur – s'étendant bien au-dessus du niveau des feuilles – qui capture les insectes présents en dessous. Pour remplir sa mission, la fleur fait l'effort d'étirer sa tige vers le haut, le plus loin possible des feuilles, cachant ainsi les feuilles mortelles sous elle et réduisant de beaucoup le risque de capture des pollinisateurs. Par exemple, les tiges florales du *drosera capensis* sont couvertes de poils glandulaires muqueux, beaucoup plus courts que ceux des feuilles, et qui ne servent pas à la prédation mais à empêcher les insectes pollinisateurs de cheminer le long des tiges florales vers les feuilles pièges situées en dessous. De même, les *nepenthes* évitent presque totalement que les insectes qui viennent les polliniser soient accidentellement dévorés.

SECRET DE LA POLLINISATION

La pollinisation des plantes nécessite parfois l'aide du vent, des insectes ou de l'homme. Les limites de la pollinisation par le vent ont conduit les espèces à développer, durant une longue période d'évolution, un système de fleurs pollinisées par les insectes. Environ 85 % des angiospermes sur Terre sont des plantes pollinisées par les insectes. Elles ont donc grandement besoin de l'activité d'un pollinisateur pour mener à bien leur processus de pollinisation et, même, dans certains cas, réclament-elles plusieurs pollinisateurs pour effectuer plusieurs tâches différentes. Sans pollinisateur, leur reproduction est inefficace, ce qui peut affecter gravement le rendement et la qualité des plantes, voire entraîner la mise en danger ou l'extinction de leur espèce. Or, une grande partie de la nourriture que nous mangeons provient des graines ou des fruits des plantes.



Cirse avec un Citron et une abeille

Selon les statistiques, en 2015, les insectes ont pollinisé 180 millions de tonnes de 22 types de cultures majeures en Chine.

Nous ne développerons pas ici la contribution de la pollinisation par les insectes à la diversité des espèces, nous ne parlerons que de son importance pour les cultures des légumes, des fruits et des céréales, étroitement liées à la subsistance de l'homme. La majorité des cultures vivrières sont des monocotylédones, qui sont auto-fleurissantes et ne dépendent pas de la pollinisation par les insectes. Le sarrasin, quant à lui, dépend fortement de la pollinisation par les insectes mais les légumineuses démontrent un degré faible voire nul de dépendance à cette pollinisation. Les plantes racines ne sont pas tributaires de la pollinisation par les insectes car c'est leur partie souterraine qui est consommée et vendue ; par ailleurs, elles se reproduisent de manière asexuée. À long terme pourtant, les pollinisateurs restent nécessaires à la diversité génétique et à la sélection de nouvelles variétés maintenant la diversité génétique.

La culture de nombreuses espèces et variétés sont plus ou moins fortement assujettie à la pollinisation par les insectes ; noix, drupes, baies, fruits à coque, agrumes, fruits tropicaux et subtropicaux. Parmi les cultures légumières, les melons en sont très dépendants car la plupart sont dioïques à la différence des aubergines. La pollinisation par les insectes augmente le nombre et la qualité des graines des légumes-racines, des légumes-feuilles et des légumes perpétuels (ou vivaces) et les cultures fourragères et d'engrais verts, comme la luzerne, en sont aussi extrêmement dépendantes.

Les plantes font preuve d'une grande intelligence et, au cours du temps, elles ont su évoluer s'améliorant toujours davantage pour s'épanouir pleinement. Les fleurs et les insectes ont en quelque sorte signé un contrat gagnant-gagnant : les fleurs offrent nectar et pollen, et les insectes en échange, travaillent à la pollinisation de ces dernières.



Anémone du Japon avant et après la pollinisation

Les abeilles sont dotées d'outils avantageux : un duvet dense de poils et de soies, ainsi que de longues pièces buccales. Lorsqu'elles récoltent le nectar, elles sont sélectives quant aux fleurs qu'elles visitent. Elles ne s'intéressent généralement pas aux fleurs en bouton ou nouvellement écloses, mais plutôt aux fleurs en pleine floraison, moment où le nectar ou les sécrétions sont les plus abondants. Comment les abeilles sélectionnent-elles les fleurs qu'elles veulent visiter ?

Elles utilisent en fait leurs antennes pour sentir le parfum des fleurs et trouver leur nectar. Les antennes constituent un organe sensoriel important chez les insectes, qui possèdent à la fois un sens de l'odorat et du toucher. Les abeilles possèdent en effet de nombreux récepteurs, connectés à de multiples terminaisons nerveuses communiquant avec le système nerveux central qui, lorsqu'il est stimulé par l'extérieur, commande les activités de l'insecte. Les insectes possèdent différents types d'antennes mais toutes ont pour fonction de trouver de la nourriture, de permettre la recherche du sexe opposé et de sélectionner un endroit pour pondre. En général, les antennes captent les odeurs chimiques et servent aux abeilles à suivre leurs cibles en oscillant de haut en bas, à la manière d'un radar.



Une abeille sur une balsamine, le dos et la tête couverts de pollen

L'abeille possède des pièces buccales masticatrices⁸, qui maintiennent une paire de mâchoires supérieures symétriques gauche et droite en forme d'axe, capable de mâcher du pollen solide et de construire la ruche. La lèvre inférieure, allongée, forme avec la mâchoire inférieure et la langue un tube long et fin, doté d'un sillon au milieu aidant à la fonction de succion. Si ce tube est inséré profondément dans la fleur, un flux constant de nectar peut être pompé. Grâce à ces pièces buccales, l'abeille peut donc collecter du pollen en même temps qu'elle aspire le nectar.

Les abeilles récoltent du nectar mais aussi du pollen. Avant de quitter la ruche, les abeilles ouvrières se rendent généralement dans leur poche à miel pour manger un peu de miel, puis se mettent à la recherche de fleurs. Lorsqu'elles trouvent une source de pollen, elles se posent sur les fleurs. Lors de la collecte, elles collent une importante quantité de pollen sur leur dos grâce à des outils uniques. Elles utilisent d'abord leur palais et leurs pattes antérieures pour racler les grains et les transmettre à leurs pattes médianes, qui brossent

8. Les pièces buccales sont les organes d'alimentation situés de part et d'autre de la bouche des invertébrés.

ensuite le pollen adhérent à leur thorax et à leur abdomen pour le transférer à leurs pattes postérieures ; ces dernières travaillent ensuite alternativement d'un côté à l'autre pour l'amener et le déposer dans le panier à pollen.

Ce panier à pollen est formé par la surface extérieure des longues pattes postérieures de l'abeille ouvrière. Ces dernières sont extraordinairement gonflées, entourées de poils longs et denses qui forment un dispositif particulier pour transporter le pollen. Au fur et à mesure que l'abeille se déplace de fleurs en fleurs, recueillant le pollen et le nectar, ses pattes velues sont couvertes de pollen, ensuite extrait par un « peigne à pollen » situé sur le tarse du pied arrière pour être recueilli dans le panier à pollen, où il est finalement fixé en boule avec du miel.



Panier à pollen d'abeille

Un tel mécanisme permet aux abeilles de travailler avec aisance.

De plus, si le temps le permet, cela leur assure un taux de présence élevé et une assiduité remarquable dans leurs tâches d'aide à la pollinisation et à la fécondation des plantes.

ABEILLE OUVRIÈRE

Les abeilles répartissent naturellement leur travail en fonction des besoins de la ruche. Celles chargées de collecter le nectar et le pollen sont les abeilles ouvrières. Ce sont les plus petites et les plus nombreuses de toute la colonie. Elles sont responsables de l'ensemble du travail au sein de la colonie, y compris de l'allaitement, de la collecte, du nettoyage et de la garde.

Les missions des abeilles ouvrières sont également réparties en fonction de leur âge, suivant quatre périodes : juvénile, jeune, adulte et âgée. Les abeilles juvéniles sont de jeunes abeilles. Dans les trois jours qui suivent leur naissance, elles doivent être nourries par les autres ouvrières ; elles ne restent pas inoccupées pour autant et ont pour mission de maintenir la colonie au chaud et de nettoyer la ruche.

Elles sont généralement âgées de 6 à 17 jours lorsqu'elles sortent de la ruche. À ce moment-là, elles ont développé leurs glandes à gelée royale et leur principale tâche consiste à sécréter de la gelée royale pour nourrir la reine et les toutes jeunes abeilles (jusqu'à l'âge de 3 jours). De plus, elles commencent à tourner de façon répétée la tête vers la ruche pour effectuer la reconnaissance du nid et excréter des fèces (les abeilles excrètent des fèces à l'extérieur de la ruche pendant leur vol). Entre leur 13^e et 17^e jour, les glandes cirières se développent et peuvent sécréter des flocons de cire qui permettent la construction du nid, le nettoyage de la ruche, la production de miel et la régulation de la température de la ruche.

Elles sont les principales récolteuses de nectar, de pollen et d'eau et sont également responsables d'une partie du travail de gardiennage. Lorsque la production de nectar des plantes à fleurs est commencée, la stratégie principale de la famille des abeilles mellifère consiste à produire un grand nombre d'abeilles adultes en même temps.

Dans toute cette organisation, que font les vieilles abeilles ouvrières ? En raison de la grande quantité de nectar qu'elles ont récolté, leurs poils sont usés et elles sont désormais d'une couleur noire et brillante. Elles s'occupent principalement du gardiennage, de la collecte de l'eau et



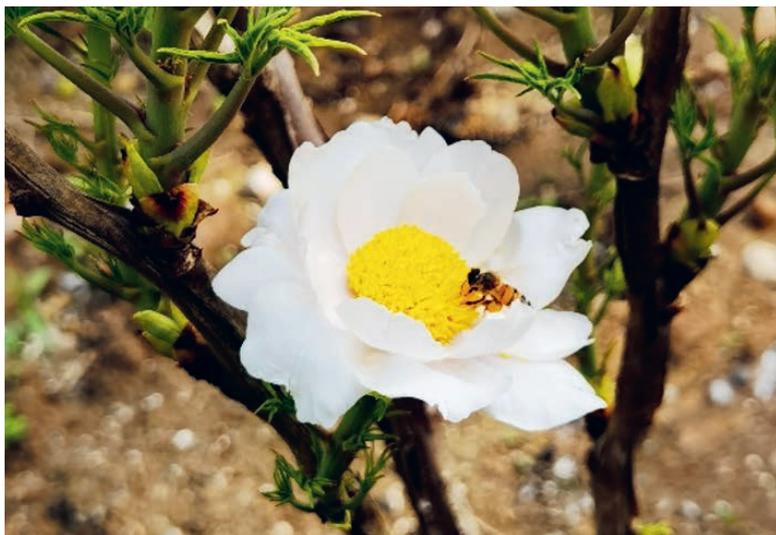
du sel. Lorsque la colonie est menacée par d'autres animaux, elles vont faire face à la menace au sacrifice de leur vie, c'est-à-dire en piquant. Parfois, poussées par la nécessité et entièrement dévouées à la communauté, elles peuvent aller, en cas de pénurie de nourriture, jusqu'à voler les réserves de miel d'autres colonies.

La durée de vie des abeilles ouvrières est généralement de 30 à 90 jours. Pendant la saison estivale de collecte, leur vie est plus courte (d'un mois à un mois et demi) ; sous des températures plus fraîches ou lors des saisons de non-collecte, leur vie est plus longue.

Les abeilles ouvrières peuvent voler à une altitude d'environ 1 km, à une vitesse de 20-40 km/h.

La portée de leur vol peut aller jusqu'à 2,5 km de la ruche et en moyenne, une abeille ouvrière récolte du nectar dix fois par jour en transportant à chaque fois environ la moitié de son poids corporel.

En moyenne, une abeille ouvrière visite 1100 à 1500 fleurs pour obtenir un « panier » de nectar et fabriquera 0,6 g de miel au cours de sa vie.



Abeille sur une fleur de pivoine

INTERACTIONS ABEILLE-PLANTE

Les botanistes qui soutiennent le principe de la spéciation estiment que les insectes ou les oiseaux pollinisateurs évoluent avec les fleurs, se développant de concert avec la reproduction sexuelle des plantes, créant ainsi une diversité de processus dans lesquels plantes et pollinisateurs interagissent. D'une part, le comportement et la morphologie des pollinisateurs influencent l'évolution des plantes à fleurs ; d'autre part, l'évolution des plantes à fleurs entraîne la spécialisation des organes des pollinisateurs. Cette simultanéité permet finalement l'épanouissement de la vie dans la nature.

Les insectes pollinisateurs essaient souvent de suivre le rythme de la phénologie⁹ des fleurs afin d'avoir accès au nectar et au pollen. C'est là un défi écologique majeur, désormais complexifié par des changements environnementaux de plus en plus importants. Il est bien prouvé que les insectes sont apparus sur Terre plus tard que les plantes à fleurs et à peu près en même temps que les dicotylédones¹⁰, et que l'émergence des insectes, en particulier des abeilles, a contribué de manière significative à l'évolution des dicotylédons.

Il est intéressant de noter que les scientifiques ont découvert que, lorsqu'ils sont confrontés à un manque de pollen, les bourdons européens endommagent les feuilles des plantes les moins pollinisées, de sorte que les plantes détruites fleurissent beaucoup plus tôt que les plantes intactes, accélérant ainsi le processus de floraison des plantes. Pourrait-il également s'agir d'un échange d'information entre les plantes et les insectes ? À ce jour, nous l'ignorons, mais

9. La phénologie fait référence à l'adaptation à long terme des organismes aux changements cycliques de la lumière, des précipitations, de la température et d'autres conditions, entraînant des rythmes de croissance et de développement qui y correspondent. Ce phénomène se rapporte principalement aux schémas de croissance, de développement et d'activité des plantes et des animaux et à la réponse des changements abiotiques à la saison.

10. Dicotylédones est le terme général pour les plantes à fleurs dont les graines comportent en principe deux cotylédons (feuille primordiale charnue qui contient les réserves nutritives nécessaires au premier développement de la plante).

nous constatons par exemple, que dans le cas des tomates, les plantes endommagées par les abeilles fleurissent en moyenne 30 jours plus tôt que les plantes non endommagées et 25 jours plus tôt que les plantes endommagées mécaniquement ; dans le cas de la moutarde noire, elles fleurissent respectivement 16 et 8 jours plus tôt.



Plantes dicotylédones - Magnolias dicotylédones

Les interactions plantes-pollinisateurs sont considérées comme un facteur important de l'évolution des fleurs chez les angiospermes. Comme les caractéristiques florales des plantes influencent le comportement des pollinisateurs, l'étude d'une combinaison de caractéristiques florales des plantes peut révéler des relations évolutives synergiques entre les plantes et les pollinisateurs, une diversité de pollinisateurs conduisant à différentes morphologies et couleurs de fleurs.

La diversité de la conception et de la présentation des fleurs chez les plantes est principalement destinée à attirer les insectes pollinisateurs et à favoriser la reproduction des plantes, ce qui entraîne un isolement reproductif entre les différents types de fleurs et une différenciation des espèces. La conception et la présentation des fleurs d'une plante influencent le positionnement des pollinisateurs, l'alimentation en nectar et la dispersion du pollen, jouant ainsi un rôle de premier plan dans la pollinisation et la fructification des plantes à fleurs.



Salicaires

Il existe des plantes et des abeilles qui entretiennent une relation spécifique. À ce titre, connaissez-vous l'histoire de la figue et de la guêpe du figuier ?



La guêpe du figuier est une catégorie spéciale d'insectes pollinisateurs pour les ficus – sachant que l'on dénombre environ 750 espèces de ficus dans le monde et à peu près 1 200 espèces de guêpes pollinisatrices de ficus. Les ancêtres des figuiers du genre *Ficus* sont apparus au Crétacé¹¹ et les ancêtres des guêpes du figuier au Jurassique¹². Au départ, les guêpes du figuier se nourrissaient de leurs ancêtres ficus et les deux établissaient une relation écologique primitive. Au cours de l'évolution, les inflorescences de ces plantes se sont progressivement spécialisées pour ne fournir un habitat de reproduction qu'à une seule espèce de guêpe du figuier, dont elles dépendent pour la pollinisation, pour former aujourd'hui une relation écologique indispensable et exclusive.



Figues

11. Le Crétacé est la dernière époque du Mésozoïque dans les temps géologiques, débutant il y a environ 145 millions d'années et se terminant il y a 66 millions d'années, ce qui en fait la phase la plus longue du Phanérozoïque.

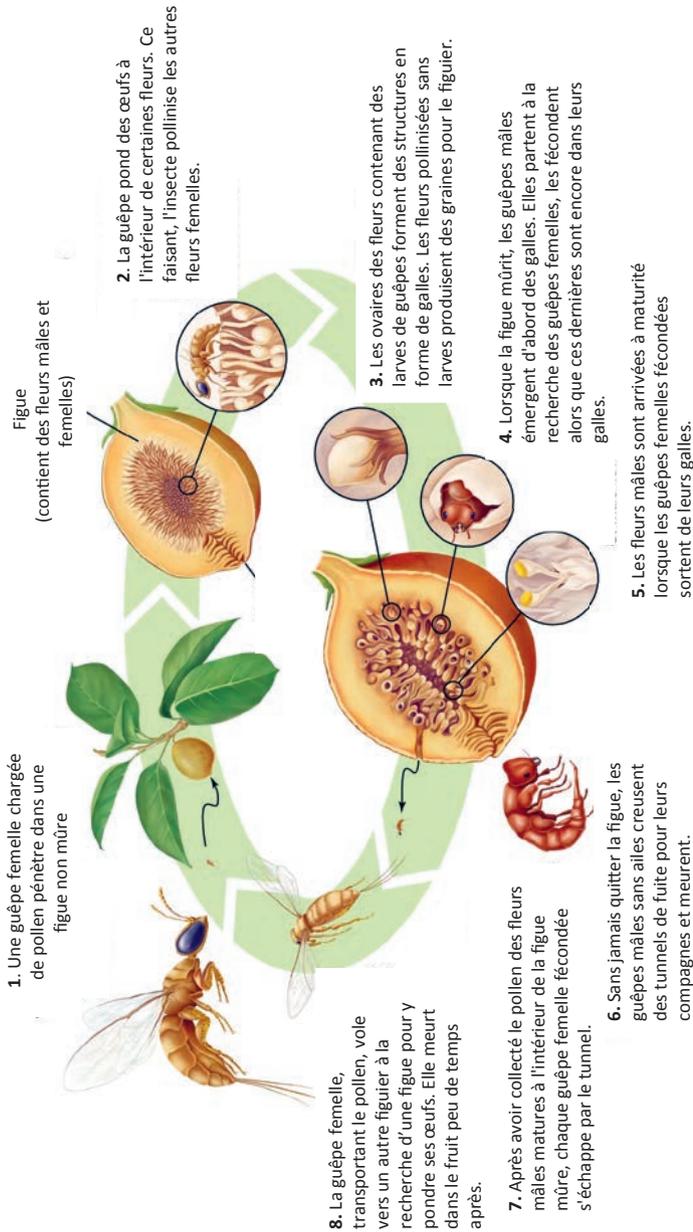
12. Le Jurassique a été défini entre les périodes du Trias et du Crétacé, débutant il y a environ 199 millions d'années et se terminant il y a 145 millions d'années.



Les fleurs du figuier sont minuscules et cachées à l'intérieur de la jeune figue. Il existe des fleurs mâles et des fleurs femelles. La guêpe femelle pénètre dans une figue mâle en passant par l'ostiole (petit trou à la base de la figue) et dépose ses œufs près de l'ovule des fleurs qui vont se transformer en galles. Quand les figues sont mûres, les guêpes mâles sortent des galles, fécondent les femelles (leurs sœurs donc), les aident à sortir de la figue en creusant un tunnel, puis meurent. Les guêpes femelles fécondées et libérées s'envolent chargées de pollen, attirées par les fleurs des figuiers femelles arrivées à maturité. Mais la morphologie de la fleur femelle du figuier est différente de celle de la fleur mâle et empêche le dépôt des œufs. La guêpe femelle est alors prisonnière et va mourir, mais aura auparavant, fécondé les fleurs femelles grâce au pollen qu'elle portait sur elle.

Les figues dépendent exclusivement de l'abeille du figuier, aussi ne transformerait-elle pas toutes les fleurs femelles en galles ? Au cours de leur longue histoire avec les abeilles, les figues ont développé une stratégie gagnant-gagnant par le fait que les fleurs femelles sont de longueurs différentes. 1/3 des fleurs femelles possèdent des styles courts et 2/3 des styles longs ; l'abeille du figuier ne peut utiliser que les styles les plus courts pour éviter qu'elle ne pondre des œufs dans tous les ovaires de la figue et ne transforme toutes les fleurs femelles en galles, auquel cas la figue ne serait pas en mesure de remplir sa « mission » de reproduction.

Les figues sont cultivées et consommées par l'homme depuis plus de 11 000 ans. Actuellement, les preuves les plus anciennes proviennent de la vallée du Jourdain, où l'on a trouvé des figues datant de 9400 à 9200 avant J.-C. Ces dernières étaient incapables de se reproduire dans la nature et l'on peut en conclure qu'il s'agit de plantes délibérément cultivées par l'homme.



L'interdépendance des guêpes et du figuier



Le figuier entretient une relation symbiotique avec les insectes hyménoptères comme la guêpe du figuier, qui lui fournit un abri (ovaire de la fleur et la galle) et tous les nutriments nécessaires à son développement ; l'abeille laisse du pollen pour les fleurs aidant ainsi le figuier à dans son processus de pollinisation. Cette relation harmonieuse correspond à une manifestation de l'interdépendance évolutive entre les figes et les insectes qui s'est développée sur une longue période d'évolution.



Chapitre 2

Un regard d'abeille sur le monde des fleurs

UN MONDE DE PAILLETES

Bien que petite, la structure de l'œil d'une abeille n'est pas simple. La surface de son œil est constituée de nombreuses formes hexagonales délicatement disposées. Cet œil composé est formé à son tour de milliers de petits yeux, chacun étant en mesure de capter un seul pixel. Plus le nombre des petits yeux est élevé, plus la vision est développée et plus l'image vue par l'abeille est nette. En plus d'une paire d'yeux composés, l'abeille possède trois yeux simples, disposés en triangle avec les deux yeux composés, ayant pour fonction de détecter l'intensité de la lumière et la direction de la source lumineuse. Les yeux de l'abeille consomment plus de 60 % de l'énergie de tous les organes de sa tête, et un quart de l'énergie consommée par l'ensemble de son corps au repos.

À quoi ressemble le monde des fleurs pour les abeilles ?

Examinons tout d'abord la structure et la couleur des fleurs en détail.

La couleur des fleurs d'une plante est l'une de ses caractéristiques les plus frappantes. Toutes les couleurs existent dans la nature et il n'est pas exagéré de comparer la nature à un grand coloriste, capable

de transformer en d'innombrables nuances le rouge, l'orange, le jaune, le vert, le bleu, le violet... Le rouge, flamboyant, symbolise la maturité ; il est chaleureux, porteur d'énergie. On estime que 20 % des fleurs sont rouges dans la nature ; citons les plus connues : le badamier, l'hibiscus, l'ipomée, la mauve, les roses, les pivoines, les lotus...

Il existe une grande variété de couleurs chez les fleurs : les chercheurs ont dénombré 4197 couleurs pures, dont 1193 fleurs blanches (28 %), 951 fleurs jaunes (23 %), 923 fleurs rouges (22 %), 594 fleurs bleues (14 %) et 307 fleurs violettes (7 %) ; 153 fleurs vertes (4 %) ; 50 fleurs orange (1 %) ; 18 fleurs brunes (0,4 %), 8 fleurs noires (0,2 %). Selon ces statistiques, les fleurs blanches et jaunes représentent environ 51 % du nombre total d'espèces recensées ; les fleurs rouges, bleues et violette représentent quant à elles environ 43 %.



Badamier



Hibiscus



Ipomée



Rose trémière



Pervenche



Rose



Pivoine



Pourpier



Épilobe à feuilles étroites



Lys Zéphyr



Lotus



Échinacée



Hibiscus



Tabac



Le jaune est lumineux. Identifié à l'énergie solaire, il apporte brillance et douceur mais correspond aussi au sens du sublime, du mystère et de la majesté. Dans la nature, environ 28 % des fleurs sont jaunes, et la plupart d'entre elles dégagent un parfum fort, comme le prunier, le forsythia, l'achillée.

Pourquoi les fleurs sont-elles jaunes ? Certaines fleurs ne contiennent que des caroténoïdes, comme les tulipes, les lys et les roses ; d'autres ne contiennent que des flavonoïdes, comme les azalées, les muflers et les dahlias ; la plupart des fleurs jaunes possèdent une combinaison de caroténoïdes et de flavonoïdes (les soucis et les edelweiss) mais certaines doivent leur jaune à la présence d'un autre type de pigment, les bétalaïnes. Notons que la couleur jaune de certaines fleurs comme le trille et le cactus jaune, peut être due à la présence d'un autre pigment encore : la bétaxanthine.

*Échinacée**Achillée*



Forsythia



Iris

L'orange mélange de jaune et de rouge, est lui chaleureux et accueillant. Citons quelques fleurs orange comme les gerberas, les hémérocailles et les delphiniums orange. Pour certaines, elles doivent la couleur orange de leurs pétales à la présence de oenine ou de bétaxanthine. La couleur orange jaunâtre de certaines fleurs comme les lys, est souvent due à des caroténoïdes ; les fleurs orange rougeâtre comme celles des géraniums, sont souvent causées par des anthocyanines ; les fleurs orange produites par mélange de rouge et de jaune, sont le résultat d'une combinaison d'anthocyanines et de flavonoïdes (comme pour les muflers) ou d'une combinaison d'anthocyanines et de caroténoïdes (comme pour les tulipes). Les fleurs brunes sont, elles, issues de la coexistence d'anthocyanes et de caroténoïdes (le laurier ou la primevère).

Enfin, certaines fleurs orange comme le quinoa et le bougainvillée résultent de la production de pigments – en proportion différentes – jaunes et rouge.



Chrysanthème



Lys



Bougainvillée



Papillons et fleurs de quinoa

Par sa clarté, le blanc symbolise la pureté et l'innocence. Élégance, sainteté, confort, noblesse, harmonie, lui sont autant de notions associées. Les fleurs blanches sont plutôt parfumées ou tachetées. Comme fleurs blanches, nous pouvons citer le frangipanier, le gaura, le magnolia, le cornouillier blanc et la pivoine blanche.

En réalité, les fleurs blanches (y compris celles de couleur crème et ivoire) sont des fleurs jaunes très pâles, leur impression de blancheur étant due au grand nombre de minuscules bulles d'air dans les pétales, invisibles à l'œil nu, réfractant plusieurs fois la lumière incidente pour créer la perception du blanc. En outre, les flavonoïdes jaunâtres des fleurs blanches absorbent la lumière proche des rayons UV de la lumière, de sorte que l'œil humain est incapable de les percevoir comme une couleur. Ces fleurs sont plus attractives pour les insectes, ce qui explique la prédominance des fleurs claires dans les prairies.



Coccinia grandis



Magnolia

*Gaura**Frangipanier**Cornouiller blanc**Pivoine*

La couleur bleue, celle du ciel et de la mer, donne une impression de profondeur, de fraîcheur et de tranquillité, faisant d'elle une couleur apaisante. Il y a peu de fleurs bleues dans la nature, et surtout, peu de fleurs bleu foncé.

Parmi les fleurs bleues, nous trouvons la commeline, le bleuet et le delphinium.

Comme pour les plantes de haute altitude, de forts rayons UV, de longues heures d'ensoleillement et une variation importante de température caractérisent leur environnement.



Commeline



Bleuet



Delphinium



Sauge

Le violet est un mélange de rouge et de bleu, ce qui lui confère son côté mystérieux. Dans cette gamme, nous pouvons citer la campanule, le petrea ou la clematis.



Pétunia



Misère (Tradescantia)



Campanule



Petrea



Clematis

La couleur de la plupart des fleurs, allant du rouge profond, du rose, du violet, au bleu et au noir, est principalement produite par la composition et le contenu des anthocyanes. Il existe de nombreux types d'anthocyanes, comme les pigments du bleuet, du géranium, du delphinium et de la pivoine, et les niveaux variés de ces pigments contribuent aux différentes couleurs des fleurs. De plus, notons que les anthocyanes peuvent être modifiés par des réactions chimiques (l'hydroxylation, la méthylation, la glycosylation, etc.) pour produire des fleurs de différentes couleurs. La formation de fleurs noir violet n'est pas seulement due au type et au contenu des pigments dans la fleur, mais aussi à la forme des cellules épidermiques de ses pétales.

Si ces cellules sont plates, fines et pointues, elles créent ainsi une ombre à la lumière, ce qui donne une couleur noir pourpre. Pour les dix familles des Caryophyllales, les fleurs contiennent principalement des bêtaïnes et des bêtaxanthines qui créent diverses nuances.

Pour les pollinisateurs, l'attrait des plantes est principalement visuelle (couleur et type de fleur). Les autres signaux sont eux olfactifs (le parfum de la fleur).

Les principales catégories de fleurs qui se distinguent grâce à leurs caractéristiques sont les suivantes : les fleurs rouges sont principalement pollinisées par les oiseaux, produisent peu de nectar et sont le plus souvent inodores ; les fleurs jaunes ou bleues sont généralement pollinisées par les abeilles ; les fleurs pollinisées par les papillons s'ouvrent en principe le jour, produisent plus de nectar, ont des tubes floraux longs et minces (souvent avec des éperons ou des nids nectarifères) ; les fleurs pollinisées par les papillons de nuit s'ouvrent la nuit, sont parfumées, avec des tubes de corolle longs et étroits et sont souvent de couleur blanche ou jaune pâle. Les fleurs pollinisées par les mouches sont plutôt ternes, grandes, ouvertes et émettent une odeur distinctive voire, désagréable. Dans la plupart des cas, à quelques exceptions près, il est donc possible de déterminer le principal pollinisateur d'une plante à partir de la couleur de sa fleur.



C'est ainsi que la théorie classique de l'évolution des caractéristiques florales affirme que « les pollinisateurs ont influencé l'évolution des fleurs ».

LES FLEURS, VUES PAR LES ABEILLES

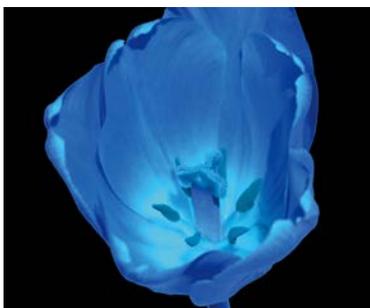
Notre vision du monde se fait à partir de trois couleurs primaires (le rouge, le jaune et le bleu), mélangées dans des proportions variables. Les abeilles elles, voient un monde fait de lumière jaune, verte, bleue et ultraviolette. Les entomologistes ont découvert qu'elles ont une préférence pour le jaune et sont également plus sensibles au bleu.

Avec l'aide du professeur Zhiyong Huang de l'université d'État du Michigan, notre équipe a pu obtenir un appareil photo imitant le principe d'imagerie de l'œil d'une abeille, ce qui nous a permis de prendre un grand nombre de photos pour montrer ci-après à quoi ressemble une fleur pour une abeille.

Par ailleurs, les photos UV, bleues et vertes ont été prises uniquement pour montrer la différence de vision de l'abeille et de l'homme, et ne correspondent pas tout à fait à ce que l'abeille voit. Enfin, comme l'imagerie UV nécessite un long temps d'exposition, les fleurs sont d'abord fixées sur une plateforme avant d'être photographiées en intérieur permettant d'éviter les aléas extérieurs (changement de météo).

Groupe 1 - Fleurs rouges

Les yeux de l'abeille sont complexes, mais même si elle possède des milliers de petits yeux et que sa vision consomme 60 % de l'énergie de sa tête, elle ne voit pas les couleurs comme nous les voyons. Par exemple, elle reconnaît les fleurs rouges comme étant des fleurs nuancées de bleu.



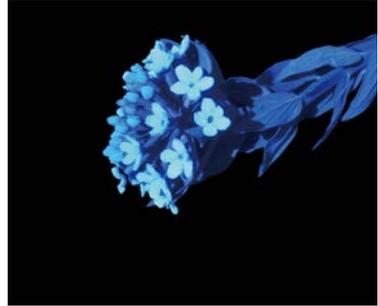
Tulipe



Fleur de pêcher



Rince-bouteilles rigide



Stellera



Loropétale de Chine



Azalée



Groupe 2 - Fleurs jaunes

Les fleurs jaunes sont bleues, vertes ou violettes pour l'abeille, tandis que les étamines jaunes lui apparaissent vert vif. Selon les botanistes, la composition des fleurs jaunes est complexe et il existe de nombreuses combinaisons. Les abeilles peuvent en fait « traduire » le jaune des fleurs en vert clair, vert foncé, bleu clair, bleu foncé, violet clair et violet foncé et ainsi de suite.



Lin jaune



Oxalis des Bermudes



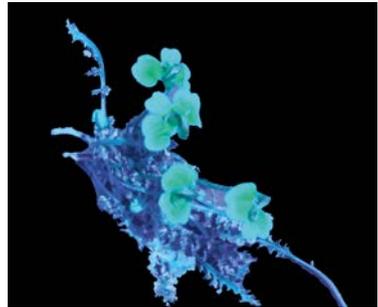
Échinacée



Primevère



Ligulaire



Pédiculaire



Rhubarbe



Pavot



Berberis



Pavot



Capucine

Groupe 3 - Fleurs blanches

Dans la nature, pour attirer abeilles et papillons, les plantes disposent d'un large éventail de compétences pour rivaliser entre elles. La simple fleur blanche par exemple a évolué sur une longue période et continue de le faire afin de rester attirante pour les insectes. À travers la vision de l'abeille, nous voyons des fleurs blanches devenir bleues ou violettes.



Pyrèthre



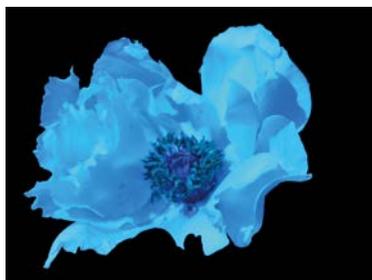
Sauge



Magnolia



Pommier



Pivoine



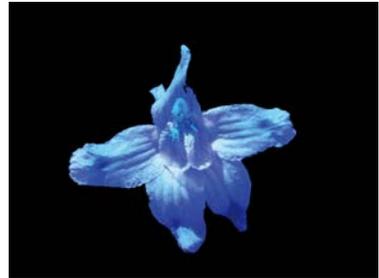
Potentilles blanches et jaune

Groupe 4 - Fleurs violettes

Les fleurs violettes à l'aspect quelque peu austère sont les plus courantes dans la région alpine du plateau Yunnan-Guizhou. Il y a peu de fleurs dans cette région, aussi les abeilles les reconnaissent-elles partout comme étant bleues. Ce plateau situé au sud-ouest de



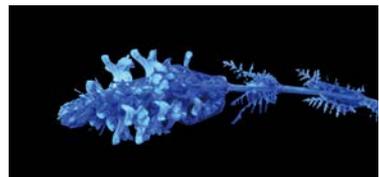
la Chine, est traversé par des courants d'air forts et de nombreuses fleurs choisissent donc d'utiliser le vent plutôt que les abeilles pour répandre leur pollen. En effet, pourquoi produire du nectar et être pollinisé par les insectes alors que ces plantes parviennent déjà à survivre que bien difficilement. Comment trouveraient-elles alors la force nécessaire pour fournir aux insectes du nectar, sachant que par ailleurs, ces derniers se font plutôt rares dans cette région ?



Delphinium



Lomatogonium



Pédiculaire



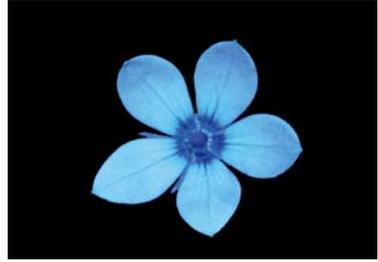
Aconit



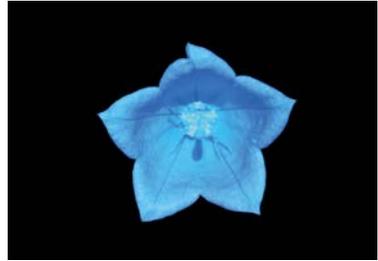
Gentiane



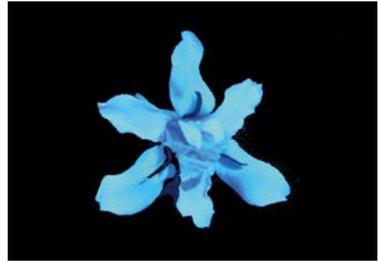
Campanule



Codonopsis



Campanule



Iris

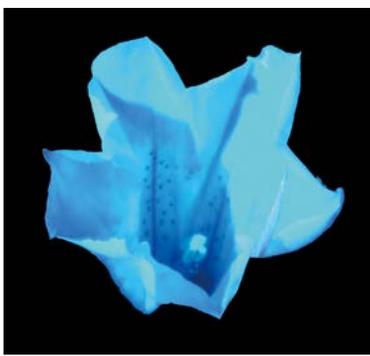


Aster



Groupe 5 - Fleurs bleues

Les fleurs bleues sont relativement rares dans la nature et leur perception par les abeilles n'est pas très différente de la nôtre.



Gentiane



Chapitre 3

La magie d'attirer les abeilles

VARIATION DES TÂCHES FLORALES

Les pétales des fleurs – les lys, les orchidées, les chrysanthèmes, les pivoines et d'autres encore – notamment celles de nombreux cultivars modernes, attirent les abeilles par leurs tâches et leurs rayures colorées. Comme nous, ces ornements ravissent les abeilles. Les chercheurs ont découvert que les taches en pointillé, les dentelles, les étoiles, les dichromatiques, les rayures et les motifs sont en fait les « astuces beauté » des fleurs...



Hémérocalles



Pervenche (dichromatique)



Lys (pointillés)



Pensée (rayures)



Oncidium



Pétunia clivé (rayures)

*Penstemon**Datura*

Les taches florales sont des signaux efficaces, présents sur les fleurs, pour attirer les insectes pollinisateurs ; pour preuve, il a été démontré que les changements de couleur des taches peuvent affecter les visites d'insectes ou d'oiseaux pollinisateurs comme les abeilles, les colibris et les papillons de nuit.

Les tulipes, par exemple, en forme de glands, aux pétales jaunes au milieu et rouge sur les bords, n'attendent que l'arrivée des pollinisateurs. Le camalote, également connu sous le nom de jacinthe d'eau, présente des fleurs en forme de trompette avec des taches jaune vif, parsemées de taches bleues en forme de cœur, chaque fleur étant soigneusement disposée en rangée. Les taches jaunes sur les pétales sont en fait une indication destinée à guider les insectes.



Tulipe



Jacinthe d'eau



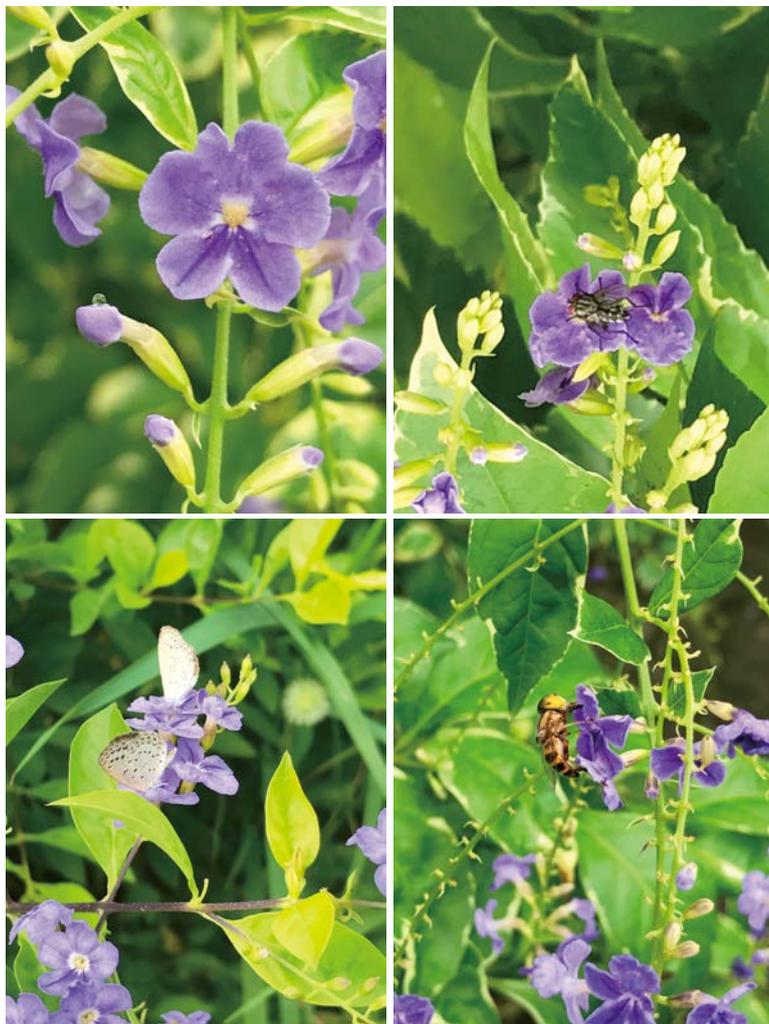
Les fleurs d'Hosta sont d'une couleur violet clair, légèrement rosé. Les pétales montrent timidement leurs couleurs suggérant aux abeilles un passage secret, les attirant directement vers les étamines. Il n'y a pas de meilleur point d'ancrage dans la fleur et les abeilles se précipitent pour aspirer le pollen ou le nectar sans même avoir le confort nécessaire ou l'espace suffisant pour le goûter. Le bourdon s'approche maladroitement des pétales, mais trop gros pour s'y fixer, il doit se poser un moment dans les fleurs avant de repartir affamé...



Hosta

Le nectar produit par les fleurs du vanillier de Cayenne est si abondant que lorsqu'il est en fleur, il semble violet de loin, orné de motifs violet foncé, cachés dans le violet clair. Les abeilles, les drosophiles, les mouches, les papillons, les papillons de nuit et les bourdons visitent sans cesse les fleurs, soit pour les sentir, soit pour en reconnaître la couleur. Les gros insectes n'arrivent pas à se fixer sur les fleurs miniatures des branches souples et ne peuvent pas s'implanter. Très bien guidés, les abeilles et les drosophiles,

en revanche, visitent assez facilement les fleurs du vanillier, non seulement parce qu'elles disposent d'un point d'arrêt solide, mais aussi parce qu'elles ont accès à une bonne quantité d'eau et de nectar.



Vanillier de Cayenne



La ligne pourpre foncé près du centre de la fleur se répand en une tache pourpre foncé, au bout de laquelle se trouvent les étamines jaunes et les grains de pollen qui servent de nourriture aux abeilles, tandis que les trois pétales hors sol sont blancs près du centre de la fleur, formant un demi-cercle autour des étamines. Pour l'œil de l'abeille, ces taches et ces rayures sont frappantes, et lui permettent de se diriger directement et sans se tromper vers le nectar.

Le bougainvillier possède trois petites fleurs disposées en triangle sur trois sépales violets.

La tête haute est dirigée vers le ciel. Le sépale peut aussi être rose, orange, blanc et rouge. Cette magnifique apparence dissimule toutefois un terrible secret : 90 % des bougainvilliers commercialisés sont stériles. Cependant, les botanistes, au cours de leurs longues années de recherche, ont découvert que les variétés individuelles peuvent produire un petit nombre de graines et que les toutes petites fleurs – qui ne font que 0,5 cm de diamètre – s'efforcent de développer de minuscules nectaires et glandes odorantes afin d'attirer les insectes pollinisateurs, devenant ainsi accessibles aux fourmis, aux papillons, aux abeilles et à bien d'autres encore !



Bougainvillier

Le carambolier est un fruit tropical et subtropical que vous avez peut-être déjà goûté mais dont vous n'avez sans doute jamais vu les

fleurs. Vous seriez étonnés par ses merveilleuses petites fleurs, à la fois rustiques et élégantes, qui ne font pas plus d'un centimètre de diamètre, s'ouvrant en grappes sur les tiges, avec cinq pétales rose-violet renfermant cinq stigmates blancs. Elles sont principalement visitées par les fourmis, qui affluent en colonie pour recevoir le nectar et aider à la transmission du pollen.



Carambolier

La *Microula sikkimensis* pousse sur et autour du plateau tibétain, à une altitude de 2000 à 4000 mètres. La couleur des fleurs est un bleu profond et tout à fait unique, teinté de violet. Les petites fleurs, d'un diamètre de 5 mm seulement, poussent sur le plateau, défiant le froid et la sécheresse. La corolle bleue a un centre violet pâle, qui sert de guide à nectar aux insectes comme les abeilles ou les mouches, et contribue à la dissémination du pollen à travers les micropores.



Sachez également que le *Microula sikkimensis* est une plante dont les minuscules fleurs produisent des graines contenant jusqu'à 40 % d'huile, ce qui en fait un oléagineux rare !



Microula sikkimensis

L'orchidée est une plante originaire des régions tropicales du Mexique et qui est cultivée dans de nombreuses régions en Chine, notamment dans le Fujian.

L'orchidée fleurit du printemps à l'automne. Bleue de loin, ses principaux pollinisateurs sont les abeilles et les frelons. Sa corolle est violette ; elle s'ouvre presque verticalement avec un centre violet foncé et des profondeurs jaunâtres ; ses étamines saupoudrées de pollen, sont accrochées au sommet du cœur de la corolle. Cette dernière est étroite et l'abeille doit faire preuve de persévérance pour s'y glisser. Tout le monde n'y a pas accès !

Ceci explique pourquoi, lorsqu'un visiteur parvient jusqu'au cœur de la fleur, il en ressort avec une importante quantité de pollen. En outre, il a été observé que les visiteurs, qu'il s'agisse d'abeilles ou de bourdons, ne restaient que peu de temps sur l'orchidée.

*Ruellia*

SENTIR LES FLEURS

Pour les abeilles qui butinent le nectar et le pollen, l'odorat peut se révéler être un sens plus important encore que la vue. En effet, certains insectes doivent également collecter du pollen pour nourrir leurs larves, car il contient une forte proportion de protéines, de graisses, d'oligo-éléments et de vitamines. Comment une abeille ouvrière peut-elle savoir qu'une plante fleurit à une distance d'un ou deux kilomètres ? Par son odeur. Mais comment peut-elle sentir l'odeur des fleurs si elle n'a pas de nez ?

Il s'avère que les abeilles utilisent leurs antennes comme organe olfactif. Elles sont leur principal organe tactile et olfactif et peuvent sentir les fleurs à des milliers de mètres de distance. Lorsque les scientifiques ont examiné les antennes des abeilles au microscope, ils ont découvert qu'une seule antenne pouvait contenir entre 4 000 et 30 000 récepteurs olfactifs. Lorsque l'appareil olfactif capte une odeur, il envoie immédiatement des informations au cerveau, qui ordonne alors à l'abeille de voler en direction de l'odeur. Ces appareils olfactifs aident non seulement l'abeille à sentir les fleurs, mais aussi à percevoir les changements de température, les variations d'humidité et la force du vent.



Nous savons que les fleurs sont d'une grande variété de couleurs et de formes mais aussi que leurs parfums peuvent être très différents. Pour comprendre ici l'origine d'un parfum, nous devons introduire quelques notions de phytochimie.

Les parfums des fleurs sont des substances métaboliques secondaires contenant certaines informations chimiques libérées par la plante. En moyenne, les mélanges d'odeurs florales varient de 20 à 60 espèces mais peuvent dépasser les 100 espèces. Il est intéressant de noter que les composés les plus présents dans un mélange de composés d'odeurs florales ne sont généralement pas les plus attractifs, et que ce sont le plus souvent les composés moins abondants qui déterminent l'attrait des visiteurs pour une fleur. Par exemple, les fleurs de tournesol contiennent entre 130 et 150 composés volatils odorants. L'odeur des fleurs est le résultat de la longue évolution des plantes et permet de faire le lien entre les plantes, leur environnement et les insectes.

Dans la nature, la majorité des plantes à fleurs dépendent des insectes pour la pollinisation. La concurrence entre eux est donc féroce, et les parfums constituent un moyen pour les fleurs d'accroître leur compétitivité. Quelle odeur les insectes apprécient-ils ?

Selon notre perception olfactive, nous pouvons distinguer trois grandes catégories de parfums chez les fleurs. Premièrement, les senteurs aromatiques. Dans cet ensemble, il existe aussi des fleurs nocturnes presque inodores le jour mais qui diffusent leur parfum la nuit. C'est le cas du jasmin, du gardénia et de la tubéreuse. Les pollinisateurs de ces fleurs sont principalement des papillons de nuit. Les fleurs diurnes comme les roses, les lys, les cyclamens, les violettes, les magnolias, les osmanthes, les gypsophiles et les orchidées sont, elles, principalement pollinisées par les abeilles.

Notons aussi que certains pollinisateurs ne sont attirés que par une seule odeur. C'est le cas par exemple des abeilles terricoles qui ne visitent que des bleuets où des espèces approchantes. Les machaons

asiatiques ne se concentrent eux que sur les poivrons, les agrumes et autres plantes de la famille des Brassicacées, tandis que les plantes crucifères sont les plus populaires auprès des piéridés. Certains pollinisateurs – comme l'abeille chinoise et l'abeille italienne – développent eux un large éventail de préférences et peuvent se nourrir de plantes de différentes familles.

Deuxièmement, contrairement aux fleurs à odeur aromatique, nous trouvons les fleurs malodorantes. Leur odeur – celle de la putréfaction ou d'excréments – est généralement détectable de loin. Pourtant ces fleurs comptent de nombreux adeptes et sont très appréciées des mouches ou des coléoptères. Il s'agit en fait d'un chimio-mimétisme ; autrement dit, dans ce cas de figure, une fleur imite l'odeur produite par la fermentation de protéines ou de matières fécales afin de s'attirer les insectes.

Les composants odorants de ces fleurs sont principalement très volatiles et ont une odeur de poisson.



Rose d'Inde



Cereus (cactus)

*Allium sp.**Mussaenda sp.*

La fleur malodorante peut-être la plus célèbre est celle de l'arum titan (phallus de titan), originaire de Sumatra, connue localement sous le nom de « sorcière de la forêt ». La nuit, la température de la forêt baisse, mais celle de l'arum titan augmente. À mesure que ses pétales pourpre foncé (spathe) se déploient et que sa température continue de grimper, une odeur de pourriture semblable à celle d'un cadavre en décomposition, imprègne la zone, attirant des pollinisateurs comme la Silphidae¹³ et la Lucilie bouchère. La température de l'inflorescence atteint 36 °C pendant le pic de floraison, ce qui imite la température corporelle d'un animal récemment mort et attire ainsi les pollinisateurs. Les coléoptères et certaines mouches, à la recherche de charognes, sont attirés mais tombent pour leur malheur sur l'arum titan dont les bractées lisses vont leur rendre la fuite difficile et finalement les prendre au piège.

13. Silphidae est le nom commun de la famille générale des coléoptères se nourrissant de carcasses ou de charognes.

La nuit suivante, les étamines commencent à mûrir, libérant du pollen qui tombe sur les coléoptères prisonniers. Les parois internes des bractées commencent à devenir rugueuses, offrant alors aux coléoptères une chance de s'échapper tandis qu'un autre arum est en pleine floraison et attend à son tour de la visite...



Arum titan

En fait, de nombreuses fleurs peuvent par leur seule odeur, attirer un groupe de pollinisateurs. C'est notamment le cas des fleurs primitives qui, dénuées de couleurs vives, diffusent en revanche une odeur puissante. La plupart d'entre elles sont des fleurs d'ornement.

La pollinisation des fleurs de magnolias révèle que les abeilles et les coléoptères visitent les fleurs durant leur courte période de floraison.

Les abeilles préfèrent recueillir le pollen dans la zone dense des étamines et ne le transmettent pas aux pistils situés au-dessus. Les coléoptères qui restent dans la fleur toute la nuit sont eux les véritables ambassadeurs des pollinisateurs.

Il existe également des papillons nocturnes particulièrement sensibles à l'odeur des fleurs. Ils peuvent les visiter dans l'obscurité la plus totale, se fiant principalement à l'orientation olfactive, sans jamais se préoccuper de la couleur des fleurs qu'ils visitent.

En outre, les composés volatils odorants des plantes comptent un certain nombre d'analogues de phéromones, phénomène plus particulièrement étudié chez les orchidées. Près d'un tiers des fleurs d'orchidées est pollinisé grâce à un jeu de dupes dans lequel les signaux olfactifs jouent un rôle déterminant. Un exemple classique de pollinisation trompeuse est celui de l'*Ophrys speculum* et de son pollinisateur, la guêpe. L'*Ophrys speculum* dégage en effet le parfum d'une guêpe femelle et imite sa morphologie, de sorte à attirer le mâle.



Ophrys speculum

Un certain nombre de composés sont impliqués dans le système de pollinisation. Les spécialistes ont constaté que la teneur de ces derniers était beaucoup plus élevée dans les fleurs non pollinisées que dans les fleurs pollinisées. Par conséquent, les guêpes femelles non accouplées dégagent un parfum beaucoup plus fort que les femelles accouplées. Notons que le subterfuge des orchidées sera présenté plus en détail dans la dernière partie de ce chapitre.

Pour les plantes à fleurs, attirer les pollinisateurs et permettre la pollinisation grâce à la contribution de ces derniers est un processus fondamental pour la reproduction sexuée. Les fleurs peuvent donc être considérées comme une véritable plateforme d'envoi de signaux sensoriels. Dans ce processus de communication, différentes méthodes de transmissions, comme celle des signaux visuels et des signaux olfactifs, occupent des positions et des rôles différents selon les plantes. Pensons par exemple aux plantes qui fleurissent le jour dont la « publicité » visuelle est dominante et aux plantes qui fleurissent la nuit, dont l'impact olfactif est prépondérant. Des signaux différents peuvent également remplir des rôles différents, par exemple, les signaux olfactifs peuvent être principalement responsables de l'attraction des pollinisateurs à distance, tandis que les signaux visuels peuvent être importants lorsque les pollinisateurs visitent les fleurs.

Outre l'attraction exercée par les odeurs des fleurs sur les pollinisateurs, nous devons également tenir compte des effets répulsifs des odeurs des fleurs sur d'autres visiteurs (par exemple, les voleurs de nectar, les mangeurs de fleurs). Une bonne compréhension des réactions des différents visiteurs aux odeurs des fleurs permettra de mieux appréhender l'évolution d'une odeur de fleur ou d'un type d'odeur de fleur et sa fonction biologique.

PÉRIODE DE FLORAISON ET MOUVEMENT DES FLEURS

La floraison des plantes n'est pas aléatoire, mais strictement contrôlée par des gènes spécifiques. Les scientifiques ont identifié de nombreux gènes impliqués dans la synchronisation de la floraison. En régulant le moment et la quantité d'expression de ces gènes, il est possible de modifier la synchronisation de la floraison des plantes. Par exemple, les plantes qui, à l'origine, fleurissent au printemps et en été, peuvent être manipulées de manière à pouvoir fleurir à certaines autres périodes de l'année. Les plantes



sont-elles capables de réguler elle-même l'expression de ces gènes de floraison ?

L'étude a révélé que cela était possible grâce à l'évolution au fil du temps des plantes. Les chercheurs ont identifié le phénomène de « mémoire embryonnaire » pendant la période de croissance nutritionnelle des plantes et les mécanismes épigénétiques qui régulent ce phénomène. Le gène *FLC*, qui contrôle la période de floraison, reste désactivé après que les plantules ont subi des températures hivernales basses et ce, jusqu'à la floraison à l'âge adulte, même après que les températures printanières ont augmenté. Après la floraison, le *FLC* est réactivé au début du développement embryonnaire ; cette activation est transmise à la plantule, créant ainsi une « mémoire foetale » de la plantule (similaire à la mémoire de la petite enfance d'un adulte). Le *FLC* est activé en automne dans les plantules (les graines germent et émergent en automne), empêchant ainsi la plante de fleurir avant ou pendant l'hiver. Le développement précoce de l'embryon après la floraison efface la mémoire des basses températures et active le gène *FLC*, responsable de la régulation de la floraison, permettant à la génération suivante de développer un mécanisme moléculaire qui nécessite des températures hivernales basses pour fleurir au printemps. Ce mécanisme épigénétique qui agit sur l'expression du *FLC* porte le nom de vernalisation.

Existe-t-il d'autres moyens de contrôler la floraison des plantes que la modification génétique par les scientifiques ? Sur une longue période de production, les chercheurs ont découvert qu'il est possible de contrôler la floraison par la lumière.

Les changements de conditions d'éclairage peuvent en effet également modifier le rythme de floraison des plantes. Comme les plantes poussent dans des environnements géographiques différents, elles ont développé des besoins variés en lumière.

De nombreuses plantes ont besoin d'une importante quantité de lumière pour fleurir et fructifier correctement au cours de leur



développement. Celles-ci ne peuvent former des boutons floraux que si la durée de la lumière du jour dépasse une durée critique (14-17 heures) ou si la période d'obscurité est inférieure à un certain nombre d'heures. Les plantes qui ont besoin d'un temps de lumière journalier plus long que celui dont elles disposent demeureront au stade de la croissance nutritionnelle. Les plantes de jours longs, comme le blé, l'orge, le colza, le radis et les pois, ont besoin de longues périodes de lumière. Rappelons ici que c'est le cas de la plupart des plantes des régions dont la latitude est supérieure à 60°. Certaines plantes, en revanche, exigent une certaine durée d'obscurité tout au long de leur développement. Bien qu'elles aient également besoin de lumière, elles en ont beaucoup moins besoin (généralement une durée plus courte que la durée critique du jour (moins de 12 heures mais pas moins de 8 heures)) pour fleurir. Ces plantes sont appelées plantes de jours courts : plus la période d'obscurité est longue, plus la florescence est précoce et si les heures de jour sont longues, elles ne font que croître.

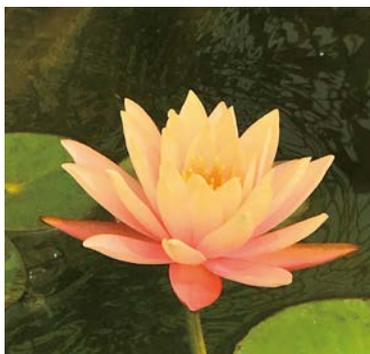
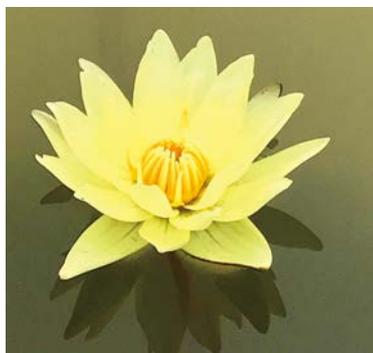
Les plantes qui fleurissent au printemps et à l'automne dans les zones tropicales, subtropicales et tempérées aux basses latitudes sont principalement des plantes de jours courts, où la différence de température diurne et nocturne est relativement faible. Le soja, le maïs, le riz et les arachides à fleurs violettes sont des plantes de jours courts. Si les cultures de courte durée du Sud sont introduites dans le Nord, elles retarderont la floraison et la fructification en raison de longues heures d'ensoleillement ou n'arriveront pas à maturité avant les gelées d'automne ; si les espèces du Nord sont introduites dans le Sud, elles n'arriveront pas assez tôt à maturité en raison des courtes heures d'ensoleillement et ne répondront pas aux exigences de leur période de fertilité, ce qui entraînera une baisse de rendement ou de qualité. Il existe également des plantes qui ne sont pas sensibles à la durée de la lumière du jour et qui n'ont pas d'exigences strictes, comme le sarrasin ou l'aubergine.



En plus d'être adaptée à la saison, à la température, à la lumière et à d'autres conditions, la floraison des plantes est également liée aux habitudes des animaux. Les plantes fleurissent pour attirer les pollinisateurs (insectes et oiseaux) afin de se reproduire. Ces derniers suivent des horaires de travail différents. Par exemple, les abeilles, les papillons et les oiseaux sont surtout actifs durant la journée tandis que les papillons de nuit, les chauves-souris et les coléoptères préfèrent se déplacer la nuit. Les plantes adaptent donc avec beaucoup de souplesse leurs périodes de floraison afin d'attirer des pollinisateurs spécifiques.

Prenons le cas des nénuphars. Certains d'entre vous ont certainement déjà fait l'expérience de les contempler et de constater que leurs pétales étaient fermés. C'est qu'également connu sous le nom de « Belle au bois dormant », le nénuphar (*nymphaea*) donne des fleurs qui se ferment généralement la nuit et fleurissent tôt le matin. Il s'agit pour lui de s'adapter aux différents rythmes de la journée. Au fur et à mesure que le Soleil se lève et se couche, la lumière, la température et l'humidité se modifient ; la plante utilise toute son intelligence pour s'adapter en conséquence. Le matin, lorsque le Soleil se lève et que les insectes sont actifs, les pétales du nénuphar s'ouvrent.

Le nénuphar est une plante très répandue, que l'on trouve dans le monde entier, les différents environnements créant des périodes différentes pour l'ouverture des fleurs. En d'autres termes, cela signifie que chaque nénuphar possède sa propre horloge biologique, qui varie en fonction de la période de floraison. Pour admirer le nénuphar dans toute sa beauté, il faut donc se mettre à son rythme.



Nénuphars colorés

Une mention spéciale doit être décernée à la star des nénuphars – le nénuphar Victoria. Ses feuilles peuvent atteindre deux ou trois



mètres de diamètre, ses grandes fleurs en forme d'étoile, mesurent quant à elles 30 ou 40 centimètres de diamètre.

Avec 50 ou 60 pétales, il possède une large gamme de couleurs, passant du blanc immaculé durant ses premiers jours à un rose après sa pollinisation. Par sa beauté, il éclipse tous les autres membres de sa famille.



Fleur du nénuphar Victoria d'un blanc pur à la première floraison, devenant rose après la pollinisation

Les bourgeons du Victoria sont en forme d'ananas et les premiers pétales de la fleur se déploient généralement l'après-midi pour s'ouvrir complètement en soirée. Leur métabolisme interne augmente alors et leur température peut grimper d'environ 12 °C. Leur puissant parfum est libéré et attire les insectes. Une fois que ces derniers ont récolté le pollen des autres Victoria, les fleurs commencent à se fermer sur les insectes, confinés à l'intérieur des pétales. À ce stade, les anthères arrivent également à maturité et sont libérées, se fixant sur les insectes. Afin d'éviter l'auto-fécondation, le Victoria n'accepte pas le pollen qu'il vient de libérer. Le soir suivant, les fleurs fleurissent à nouveau et libèrent leurs « prisonniers » afin qu'ils acheminent le pollen vers les fleurs blanches nouvellement ouvertes ; c'est ainsi qu'elles sont pollinisées.

L'adaptation des fleurs n'est pas seulement l'apanage de la famille des nénuphars, les fleurs d'arum développent également un talent



particulier pour attirer les mouches. La spathe des bractées extérieures s'ouvre la nuit, accompagnée d'une forte réaction thermo-chimique qui peut faire monter la température à l'intérieur de la fleur jusqu'à 30 °C.

Les amines produites par la dégradation des protéines dégagent une forte odeur, qui attire de nombreux insectes nécrophages vers la fleur. Ces derniers ne tardent pas à être piégés en tombant au fond de la fleur d'où ils ne peuvent s'extraire en rampant, ce en raison des sécrétions huileuses et des parois lisses de l'intérieur de la spathe ; ils sont alors maintenus prisonniers pendant environ 24 heures. Pendant ce temps, ils vont ramper autour de la partie inférieure de la spathe, transmettant au stigmate le pollen qu'ils ont apporté. Le jour suivant, les anthères mûrissent, le pollen est dispersé et les mouches sont couvertes de pollen ; à ce moment-là, la paroi interne de la spathe change de forme, passant de lisse à ridée. Cela permet aux insectes piégés de s'échapper et de voler vers une autre spathe ouverte.

Les plantes, même au sein d'une même espèce, peuvent avoir des périodes de floraison différentes ; elles doivent donc parfois travailler en équipe pour mieux attirer les pollinisateurs. Prenons l'exemple du calycanthus (ou arbre aux anémones). Il fleurit de début mai à fin juin, et il existe de nettes différences dans la phénologie de floraison des différents groupes. En résumé, si l'on devait comparer un groupe de plantes à une famille, nous dirions que chacune vit à son propre rythme. S'il existe un haut degré de synchronisation entre les membres d'une même famille, les fleurs faneront ensemble et au même moment. En tant qu'espèce menacée, le calycanthus attire davantage de pollinisateurs grâce à ce schéma de floraison concentrée. Toutefois, cela contribue à augmenter le transfert de pollen entre les membres d'une même famille, et donc à accroître le taux de consanguinité et d'auto-fécondation. C'est peut-être l'une des raisons pour lesquelles le calycanthus est une espèce en voie de disparition.

*Calycanthus**Magnolia*

En fonction de son environnement, le *magnolia blumei* de la famille des Magnolias, possède un large éventail d'insectes visiteurs – environ 13 espèces.

Comment ces différents pollinisateurs coopèrent-ils ?

Par beau temps, les principaux pollinisateurs du *magnolia blumei* sont les abeilles et les mouches ; par temps froid, pluvieux ou venteux, ce sont les thrips et les coléoptères. Le *magnolia blumei* est donc sollicité sans relâche !

Lors de sa floraison, le trolle, de la famille des Renonculacées, change, lui, de visiteurs durant sa floraison ; en période de pré-floraison ses pétales sont plus larges, son calice et ses tiges plus courtes et ses principales visiteuses sont les abeilles. Lors de la période de floraison, ses pétales devenus plus étroits, ses tiges s'étant allongées, ce sont les mouches pollinisatrices qui prennent le relais.

*Lotus doré*

Dans le silence de la nuit, certaines fleurs ont rendez-vous avec les insectes. Le telosma cordata, l'onagre, l'épiphyllum à larges feuilles, la pomme épineuse (ou datura officinal), fleurissent la nuit et diffusent un parfum puissant qui attire papillons de nuit et chauves-souris.

En évoquant cette catégorie de plantes, on pense assez naturellement au telosma cordata. Cette appellation est en fait un nom vernaculaire qui désigne les plantes qui fleurissent la nuit. Ici, nous nous intéresserons plus particulièrement au jasmin de nuit, à ses fleurs et à son odeur. La plupart des fleurs s'ouvrent durant la journée et mobilisent sans relâche le monde des insectes. Le telosma cordata choisit lui, de fleurir la nuit, ayant scellé un pacte gagnant-gagnant : il offre l'opportunité aux papillons de nuit de se nourrir lesquels, en retour, contribuent à la dissémination de son pollen.

Les pétales des fleurs du telosma cordata diffèrent des pétales des fleurs diurnes, car les stomates de ses pétales possèdent une caractéristique bien particulière : lorsque l'air s'humidifie, ils s'ouvrent en grand, libérant ainsi encore davantage de parfum. Or, la nuit, l'air est beaucoup plus humide et même sans soleil, les stomates sont agrandis et le parfum est plus fort.



Epiphyllum



Notons que le parfum des fleurs nocturnes est aussi plus puissant les jours de pluie. L'onagre se caractérise par de délicates fleurs très parfumées, jaune pâle et qui s'ouvrent la nuit. Attirés par leur odeur, les insectes se dirigent vers elles pour en aspirer le nectar.

L'onagre a une courte période de floraison (à peu près dix heures) durant laquelle les fleurs vont changer lentement de couleur pour se faner à l'aube. Quand on parle de plantes qui fleurissent la nuit, on ne peut pas oublier l'épiphyllum à larges feuilles qui est un cactus s'adaptant à l'aridité du désert. En fait, de nombreux cactus préfèrent fleurir la nuit, sans doute en raison de la délicatesse de leurs fleurs qui craignent tout particulièrement le soleil. Cette plante plutôt commune, fleurit généralement après 21 heures, et l'ouverture de sa fleur ne dure pas plus d'une heure. Elle se fait donc plutôt rare à contempler.



Onagre

La pomme épineuse (*Datura*) est également une plante à fleurs nocturnes très répandue en Chine, de couleur blanche, aux tubes ouverts en spirale, avec de fines rayures violettes. Au crépuscule, les fleurs de la pomme épineuse s'ouvrent rapidement. Elles sont en forme de trompette et dégagent un parfum puissant. De nombreux insectes nocturnes apprécient son odeur, mais ses principaux visiteurs sont les colibris et les papillons de nuit. Mais attention, il faut rappeler ici que ses racines, ses tiges, ses feuilles, ses fleurs et ses graines contiennent toutes des substances toxiques.



Datura

La fleur d'ipomée blanche également connue sous le nom de *Yuzuga* (au Japon) est originaire des tropiques.

Elle est aujourd'hui largement cultivée à la main et se diffuse sous la forme de graines ou de boutures. Ses grandes fleurs blanches s'ouvrent à la nuit tombée, environ vers 19 heures, déployant les pétales de ses fleurs parfumées, marque de sa personnalité mais aussi signal pour attirer les insectes pollinisateurs nocturnes.



L'ouverture unique de ces fleurs résulte non seulement de leur développement, mais aussi d'un pacte conclu avec les pollinisateurs.

LA FLEUR QUI CHANGE DE VISAGE

Le maquillage souligne la beauté d'un visage. Les fleurs sont elles aussi rompues à cet art. Prenons le cas de la fleur d'Ipomée. Dans les régions froides du Nord, elle s'ouvre au plus tôt en juin et dure généralement jusqu'à la fin du mois d'août ; dans les régions subtropicales, elle fleurit du printemps à la fin de l'automne.

Comme le caméléon, cette fleur peut changer de couleur selon les saisons et même à différents moments de la journée !

Un matin de printemps, alors que je passais sous un viaduc, j'ai été ébloui par un parterre d'ipomée violet en pleine floraison. En repassant au même endroit l'après-midi, j'ai pu constater que les fleurs avaient pris une couleur rose tendre. Après plusieurs semaines d'observation, j'ai remarqué que les ipomées changeaient de couleur, passant du violet le matin au rose l'après-midi. Une seule fois, lors d'une journée particulièrement nuageuse, les ipomées ont dérogé à leur habitude. J'en ai alors déduit que la couleur de leurs fleurs dépendait des conditions météorologiques !

Pourquoi cette fleur change-t-elle de couleur entre le matin et le soir ? Elle commence sa photosynthèse tôt le matin, consommant beaucoup de dioxyde de carbone, ce qui entraîne une augmentation du pH de son liquide interne, tandis que l'après-midi, sa photosynthèse faiblit, son métabolisme s'accélère et le dioxyde de carbone augmentant dans son corps, son pH diminue. Ce sont précisément les anthocyanes des fleurs d'ipomées qui sont sensibles au pH de l'organisme ; dans des conditions de pH élevé (alcalin), les pigments des pétales prennent une couleur bleu violet tandis qu'à pH faible (acide), elles prennent une couleur rose.



Changement de couleur des fleurs d'ipomées du matin au soir



Les couleurs des fleurs d'ipoméée restent inchangées par temps nuageux

Il existe dans la nature de nombreuses autres plantes maîtrisant l'art du travestissement. C'est le cas de la liane vermifuge, qui pousse dans les régions subtropicales. Lors de sa première floraison, c'est une petite fleur blanche ivoire sans prétention, pure et parfumée ; le lendemain, ses pétales s'ouvrent à l'envers et se parent d'un halo rose pâle qui tourne au rouge éclatant quelques jours plus tard.

Cette plante possède un tube floral long et fin pouvant atteindre 7 cm de long. Qui sont ses visiteurs préférés ?

Au début de sa floraison, les pollinisateurs se rendent en priorité sur les fleurs blanches parfumées et très peu visent les fleurs rouges. La liane vermifuge économise en fait son énergie : ayant déjà reçu la visite d'un insecte, elle ne synthétise pas à nouveau son parfum. Ce changement de couleur au cours de la floraison sert également à distinguer les nouvelles fleurs des anciennes, de sorte que les insectes sont avertis des fleurs qui ont été visitées de celles qui ne l'ont pas été, réduisant ainsi le taux de visites répétées.

La liane vermifuge est une plante androgyne¹⁴, caractéristique qui empêche l'auto-floraison, autrement dit la consanguinité entraînant une dégénérescence de la plante. De plus, le changement de couleur des fleurs permet d'attirer différents insectes. Ainsi, lorsque les fleurs blanches s'ouvrent pour la première fois, elles attirent surtout les papillons de nuit, et lorsqu'elles deviennent roses ou rouges, elles sont visitées par des papillons et parfois même par des fourmis. Cette stratégie améliore donc grandement la fertilité des espèces auto-fleurissantes et non fructifères comme le monarque.



Liane vermifuge

LES ASTUCES DES PLANTES

Tout au long de leur évolution, les plantes n'ont cessé de se perfectionner en se dotant notamment de fleurs à nectar. Ce n'est pourtant pas le cas de l'orchidée.

Les orchidées représentent environ 10 % des espèces végétales de la planète et constituent l'une des familles les plus évoluées du monde végétal. Elles sont reconnues pour leur valeur ornementale, écologique et médicinale.

14. Androgyne, également appelé dioïque, désigne le phénomène de maturation des pistils et des étamines à des moments différents dans la même plante ou fleur, et constitue une adaptation pour éviter l'auto-pollinisation.



Le développement d'une glande à nectar dans une fleur mobilise beaucoup d'énergie à la plante, parfois même au prix d'une maturation incomplète de ses graines. C'est pourquoi, certaines plantes préfèrent s'économiser en ne produisant pas de nectar. C'est le cas de certaines orchidées.

En fait, près d'un tiers des orchidées a recours à toute une gamme de stratégies inhabituelles pour attirer les insectes et influencer le monde végétal.

Elles n'offrent aucune récompense aux pollinisateurs ; elles attirent plutôt des insectes grâce à des motifs floraux élaborés et des parfums qui imitent ceux des fleurs nectarifères. Ces stratégies inhabituelles de pollinisation trompeuse jouent un rôle important dans la différenciation des espèces, la formation de la diversité et l'évolution des orchidées.

Pour reconnaître de telles astuces, il faut comprendre la structure de la fleur d'orchidée. Elle comprend les pétales, les sépales, le gynostème, l'ovaire et le style. Le gynostème unit les organes reproducteurs mâle et femelle, tandis que le labelle offre un lieu d'accueil spécial pour les insectes.

Découvrons maintenant les ruses développées par l'orchidée.

L'*Eria coronaria*, aux fleurs blanches et de taille moyenne, fleurit souvent en parterre, au printemps et en été. Lorsqu'il est en pleine floraison, ses pétales blancs sont recouverts de taches jaunes très voyantes. Pour les insectes, le jaune des fleurs signale que le pollen est là !

Au soleil, la fleur de *Eria coronaria* se met à briller d'un éclat doré attirant ainsi les abeilles. Bientôt, des essaims entiers se posent sur les taches jaunes des pétales de la fleur, pour se rendre compte rapidement que ces taches ne sont pas le pollen et le nectar tant convoités. Les abeilles continuent leur chemin vers le labelle et ne se rendent pas compte que la fleur ne lui fournira pas de nourriture. Lorsqu'elles réalisent enfin qu'elles ont été leurrées, elles tentent de sortir de la fleur, mais cette dernière, très étroite, ne leur permet pas de se retourner



pour s'en aller. Les abeilles doivent donc suivre, à reculons, le passage entre le labelle et le gynostème. À cette étape, le pollen à l'intérieur du passage, est collé sur le dos de l'abeille grâce à un disque collant. Ainsi, d'une fleur à une autre, elles contribuent bientôt à la pollinisation de l'eria coronaria.

Le camouflage de l'ophrys jaune est également assez remarquable. La majorité des orchidées du genre ophrys attirent les pollinisateurs par mimétisme, qu'il s'agisse de guêpes, d'abeilles, de mouches ou de non-insectes comme les araignées. Chacune possède un pollinisateur spécifique. Au printemps, les petites fleurs de l'ophrys jaune apparaissent une à une dans les herbes du littoral méditerranéen. Leur labelle est celui d'un motif brun au milieu de ses trois pétales. Elles ressemblent à la *Ctenoplectra cornuta* et comme elle, imitent l'odeur caractéristique de l'abeille cornue femelle, ce qui attire irrésistiblement le mâle.

En sortant de la chrysalide, dans son impatience à trouver une partenaire, ce dernier va confondre le labelle des fleurs de l'ophrys jaune avec une abeille femelle et va s'empresser de se poser dessus. Par conséquent, le pollen du gynostemium qui dépasse de la partie supérieure du labelle est naturellement collé à la tête de l'abeille mâle. Lorsque cette abeille mâle, enthousiaste, tombe à nouveau dans le piège d'une autre fleur de l'ophrys jaune, elle dépose l'amas de pollen sur le stigmate d'une autre fleur (la fleur précédente sur laquelle l'abeille mâle s'est posée), l'aidant ainsi à sa pollinisation.

L'orchidée cybelium compte sur son parfum puissant et sur les taches de ses pétales pour attirer les abeilles. Son odeur est si forte qu'on la sent souvent bien avant de voir ses fleurs. Lorsque les abeilles sentent son parfum et voient les taches sur leurs pétales elles se précipitent, croyant avoir trouvé une source de nourriture.

Cette orchidée, appelée couramment « sabot de Vénus », est une espèce que l'on trouve dans l'ouest des Philippines. Son sépale dorsal a la forme d'un cœur ; son motif est délicat et les deux sépales latéraux sont couverts de granules noirs ressemblant à de la nourriture pour les larves d'insectes.



Cymbidium odorant

Les insectes de passage abondent alors. Ils constatent rapidement que les sépales latéraux sont trop lisses et descendent encore pour se glisser facilement dans les poches inférieures des étamines. Les quatre parois des poches sont elles aussi très lisses ; seule la dernière partie du gynostemium est rugueuse, de sorte que les insectes ne puissent que ramper jusqu'à l'extérieur des poches, et faire ainsi sortir d'importantes quantités de pollen à cet endroit.



Sabot de Vénus

Pour leurrer les insectes, il existe des orchidées aux méthodes encore plus singulières. C'est le cas de *Cymbidium tracyanum* – l'orchidée tigre du Tibet – dont les sépales et le labelle sont couverts de taches. Ses fleurs sont également dotées de pétales labiaux poilus, de sorte que lorsqu'un insecte porteur de pollen la visite, aucun grain de pollen ne lui échappe. L'orchidée araignée, quant à elle, comme son nom l'indique, ressemble à une araignée. Au premier abord, ses fleurs peuvent sembler un peu ternes, mais à y regarder de plus près, ses pétales noirs au cœur jaune lui donnent un véritable éclat et donc un attrait tout particulier.

Les ruses mises en œuvre par les orchidées fonctionnent-elles à tous les coups ? Selon le principe d'adaptation mutuelle entre plantes et insectes, les orchidées devraient compter de moins en moins de visiteurs : les insectes, à force d'être trompés, devraient avoir développé les compétences nécessaires pour reconnaître le piège et ne pas tomber dedans. Sans doute. Toutefois, seulement un tiers des orchidées dans la nature sont sans nectar, alors que la majorité d'entre elles – les deux autres tiers – en sont porteuses.



Orchidée tigre du Tibet



Orchidée araignée

N'oublions pas tout de même que de nombreuses espèces d'orchidées comme le cymbidium, le cymbidium ensifolium, le cymbidium kanran et le lymbidium goeringii var. *longibracteatum*, secrètent, à la base de leurs tiges florales, un fluide odorant, offrant ainsi malgré tout une récompense aux pollinisateurs.

Des études phylogénétiques moléculaires ont montré qu'au cours de l'évolution, des espèces sont passées d'un statut de plantes nectarifères à celui de plantes ne produisant pas de nectar. En effet, les orchidées mimétiques présentent un taux de fécondité très faible (autour de 10 %) avec, dans le cas du *Cypripedium calceolus*, seulement 2 % d'entre elles qui sont fécondes. Quatre-vingt-dix à 98 % des fleurs sont donc considérées comme stériles : en effet, il serait trop énergivore pour la plante de faire de nombreuses fleurs pour attirer des insectes pollinisateurs alors que son taux de fécondité ne dépasse pas les 2 % !

Au sein du groupe de plantes à fleurs qui ont développé des nectaraires, quelle est la fleur la plus économe ? Les botanistes devront encore effectuer de nombreuses simulations pour le savoir...



Chapitre 4

Flours et abeilles dans le microcosme

STRUCTURE DES PÉTALES EN MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE

Pour une fleur, les cellules épidermiques de ses pétales sont vitales pour détecter les facteurs environnementaux (lumière du Soleil, pluie) et pour fournir des repères visuels et tactiles aux insectes pollinisateurs. Les cellules épidermiques de la plupart des pétales d'angiospermes sont constituées de cellules coniques ou papillaires, qui représentent 75 à 80 % du total des cellules. La taille de ces cellules coniques est très variable et leur diamètre peut être jusqu'à 10 fois supérieur d'une espèce à l'autre. La forme commune est hexagonale, mais elle peut aussi être plus arrondie, irrégulière ou amiboïde, ou même étirée en une forme rectangulaire (cas des petites cellules épidermiques des fleurs de gerbera). La structure de surface de ces cellules est également variée et peut être lisse ou enveloppée d'une couche cireuse ; elles peuvent être disposées en ligne droite ou de façon concentrique à partir du sommet du cône.

Ces cellules épidermiques coniques sont souvent considérées comme une caractéristique identitaire des pétales, un marqueur permettant de les distinguer des autres organes floraux ayant subi



une transformation homologue. Au cours des dernières années, les chercheurs ont publié un certain nombre de résultats venus raviver l'intérêt porté aux cellules coniques : ils ont découvert que plusieurs caractéristiques de ces dernières influent directement sur la couleur des pétales, la production des substances olfactives mais aussi sur le degré d'humidité des pétales, et jouent par conséquent un rôle crucial dans l'attraction des pollinisateurs.

En morphologie florale, plusieurs botanistes ont étudié l'influence des cellules coniques des pétales sur la réussite de la reproduction et sur le comportement des pollinisateurs afin d'expliquer pourquoi les angiospermes ont des cellules épidermiques coniques, typiques des pétales.

En 1996, on a découvert l'émergence d'une souche hybride mutante d'hydraste du Canada qui développait une formation dysfonctionnelle des cellules coniques. Deux ans plus tard, des botanistes ont constaté que les fleurs de muflier présentant ce dysfonctionnement avaient beaucoup moins de chances d'être reconnues par les pollinisateurs. Pourquoi ?

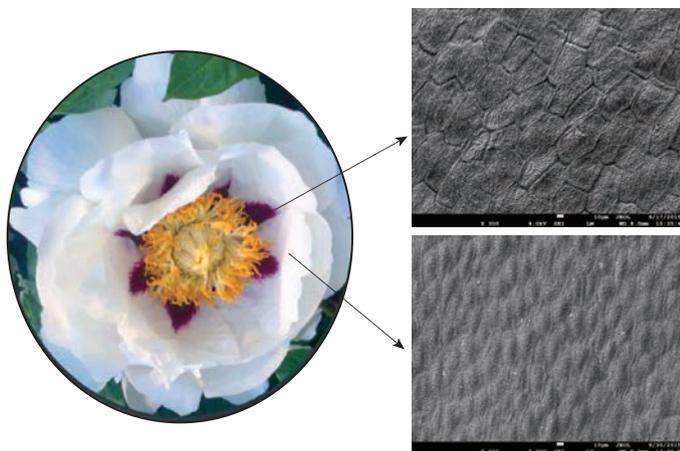
Des études connexes ont montré que les cellules coniques agissent comme un prisme, faisant converger la lumière absorbée par les cellules épidermiques des pétales dans les vésicules des cellules. Les vésicules contiennent des teneurs élevées d'anthocyanes, et la lumière entrante augmente considérablement la saturation de la couleur des pétales. Elle donne également aux pétales un effet de texture brillante et douce. En 2007, des chercheurs ont découvert l'effet des gènes de l'hydraste du Canada sur la couleur des fleurs. Les scientifiques supposent que la capacité du bourdon à percevoir les changements de couleur des fleurs s'explique par le fait que les cellules des cônes absorbent davantage la lumière directe du Soleil lui offrant ainsi une récompense dont la température est appréciée. Une autre raison possible est que les cellules coniques offrent une plus grande surface pour attirer les pollinisateurs : il est prouvé que la taille de la fleur cible a un effet significatif sur l'attraction



des insectes, les grandes fleurs étant plus facilement perçues que les petites.

Des études botaniques ont montré que les pivoines tachetées ont un très important taux de visite des abeilles, preuve que les taches de couleur les attirent particulièrement. L'analyse au microscope électronique à balayage des cellules épidermiques supérieures des parties tachetées et non tachetées des pétales a prouvé que les cellules étaient très différentes, les parties tachetées étant de forme rectangulaire ou irrégulièrement hexagonale et les parties non tachetées étant fusiformes. Les différentes compositions cellulaires peuvent donc avoir un effet significatif sur la réflectance spectrale des pétales.

La couleur des fleurs est également influencée par la nanostructure de la surface des pétales. La nanostructure d'une fleur comporte différentes unités de base qui se répètent, ce qui donne une couleur ou un halo différent. Lorsque la lumière du Soleil brille sur cette nanostructure, la lumière d'une longueur d'onde spécifique est réfléchi, et l'espacement ainsi que la taille des unités de base dans la nanostructure déterminent la couleur de la lumière réfléchi. Comme la taille de la nanostructure facilite la dispersion de la lumière bleue, elle est également à la base de la production de lumière irisée, produisant un signal lumineux diffus, parfois mieux observé dans certaines conditions ou sous certains angles d'éclairage.



En haut : structures au microscope électronique à balayage des cellules épidermiques de différentes zones des pétales de pivoine. En bas : pivoine avec abeilles

Lorsque le Soleil éclaire les pétales sous un certain angle, la structure irrégulière produit un halo bleu qui semble se fondre dans la couleur initiale de la fleur (visible à l'œil nu sur les pétales foncés). Les abeilles sont sensibles à la bande spectrale définie par ce halo bleu. En 2017, les scientifiques ont analysé les nanostructures des fleurs de nombreuses espèces et ont constaté que les abeilles étaient fortement attirées par les fleurs à halo bleu. Lors d'expériences sur le comportement des abeilles, ils ont mesuré la vitesse de butinage

et le nombre de visites des fleurs. Par la suite, ils ont examiné de plus près les trois couleurs de base différentes des fleurs produites par les nanostructures des pétales. Le halo bleu était attrayant pour les abeilles mais n'augmentait pas leur vitesse de butinage pour les fleurs bleues. En revanche, il augmentait leur vitesse de butinage sur les fleurs jaunes et noires. Une telle structure est également présente dans les pétales des fleurs de pivoine. Ces résultats ont été publiés dans la revue *Nature*, en 2017.



Présence de structures en forme de réseau chez les renoncles, *Clematis macrophylla*

Ces nanostructures sont en fait des assemblages en forme de réseau, formés par des plis ou des bandes grossièrement parallèles dans la cuticule des cellules épidermiques des pétales des fleurs. On retrouve ces structures dans de nombreuses plantes, comme l'Hibiscus trionum, dont la base des pétales ressemble à un réseau de diffraction, produisant un faible signal lumineux irisé que les abeilles utilisent comme indice pour identifier les sources

de nectar (cette découverte a été publiée dans la revue *Science*, en 2009). En fait, de nombreuses abeilles sauvages témoignent d'une préférence naturelle pour le bleu, ce qui peut être lié au fait que les fleurs violettes/bleues produisent souvent des taux assez élevés de nectar. Toutefois, les pigments bleus sont difficiles à former dans les pétales. Les fleurs n'hésitent alors pas à employer des mécanismes complexes pour produire de tels signaux, soit en augmentant leur pH soit en produisant des delphinidines (pigments) qui provoquent le bleuissement des anthocyanes. Notons ici que la plupart des angiospermes sont dépourvues de ces modifications pigmentaires, et que la présence de structures photoniques irrégulières dans les pétales pourrait constituer un autre moyen de générer des signaux bleus.



Hibiscus trionum



UN FAIBLE CHAMP ÉLECTRIQUE AUTOUR DES FLEURS

Chaque fleur émet un faible champ électrique qui provient des charges déséquilibrées du sol et de l'atmosphère. En fonction de la forme de la fleur et de sa distance par rapport au sol, chaque fleur possède un champ électrique différent. En d'autres termes, lorsque les abeilles se présentent, chaque fleur envoie son propre message. Comment les abeilles détectent-elles un signal à chaque fois unique ?

Les scientifiques ont découvert que l'arme secrète des fleurs pour attirer les insectes est le champ micro-électrique. Les abeilles ne distinguent pas seulement les fleurs par leur couleur et leur odeur, mais elles reconnaissent également très rapidement leur champ électrique et trouvent ainsi leur fleur préférée.

Pour étudier l'attraction des champs électriques sur les abeilles, un scientifique britannique a créé de fausses fleurs, ressemblant aux vraies par leur couleur et leur odeur. Seule différence : certaines avaient du sucre de canne dans le cœur et d'autres de la quinine amère¹⁵. Au début, les abeilles visitaient les fausses fleurs avec la même fréquence, mais lorsque 30 volts d'électricité statique ont été appliqués aux fleurs gorgées de sucre, les scientifiques ont constaté que les abeilles pouvaient ressentir l'électricité statique à quelques centimètres de distance et que leur taux de visite s'élevait à 81 %. En revanche, une fois le champ électrique supprimé, le taux de visite s'est effondré, ce qui suggère bien que l'augmentation du taux de visite des abeilles était liée à l'attraction du champ électrique.

Par la suite, les scientifiques ont également étudié l'effet de la distribution des charges sur les abeilles. Ils ont fait en sorte que les fausses fleurs aient la même quantité de charges électriques, mais pas la même répartition. Ils ont alors observé que les abeilles

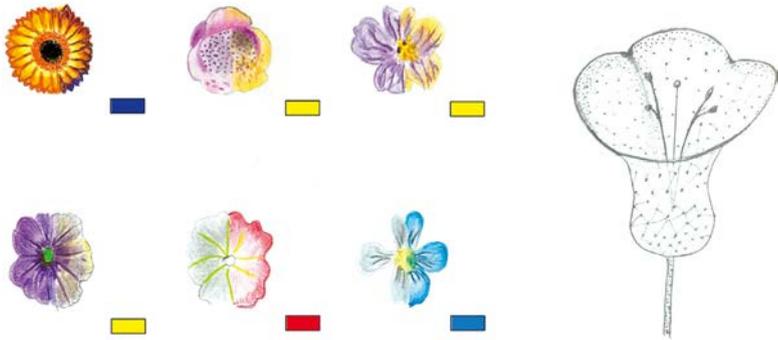
15. La quinine est un alcaloïde de type quinoléine isolé de l'écorce du quinquina, une plante de la famille des Rubiacées, qui possède des propriétés antipaludiques.

préfèrent les fleurs dont la charge était répartie sur les bords des pétales aux fleurs dont la charge était répartie uniformément.

Les recherches ont également montré que lorsque les abeilles visitent une fleur, une partie de la charge positive qu'elles portent est neutralisée par la charge négative des fleurs, de sorte que plus les fleurs sont visitées, moins elles portent de charge et plus le champ électrostatique s'affaiblit. Cela revient à signaler aux abeilles qu'il n'y a plus de nectar, et qu'il n'est pas nécessaire de revenir ! En détectant la force de l'électricité statique, les abeilles sont capables de percevoir si la fleur souhaite qu'elles restent ou qu'elles s'en aillent. L'électricité statique permet donc à la fleur de réguler les flux d'insectes la visitant.

Les abeilles ont des yeux composés pour reconnaître les couleurs des fleurs et des antennes pour identifier les odeurs, mais comment détectent-elles les champs électriques ? Les scientifiques ont découvert qu'elles se fient aux poils qui recouvrent leur corps. Ils ont observé que lorsque le corps de l'abeille était atteint par une lumière, ses poils et ses antennes vibraient et qu'ils sont plus sensibles aux champs électriques. Les chercheurs ont également effectué des enregistrements électriques des poils du corps et des antennes de l'abeille pour voir si leurs mouvements respectifs généraient une activité neuronale. La réponse est que seul le mouvement des poils déclenche une réponse neuronale et que la flexion des poils entraîne l'activation de neurones à la base des poils, ce qui permet à l'insecte de ressentir le champ électrique. Ces résultats mènent à la conclusion que les poils du corps de l'abeille peuvent constituer un capteur plus efficace que ses antennes en formant un véritable réseau électro-réceptif.

Ce champ électrique peut être détecté qu'à une distance d'environ 10 cm entre l'insecte et la fleur. Pour l'abeille, cette distance est importante car elle représente plusieurs fois la longueur de son corps.



À gauche : fleur pulvérisée avec une poudre colorée chargée électrostatiquement (partie droite de la fleur sur la photo), la densité de la poudre montre la variation de l'intensité du champ électrique à la surface de la fleur.
 À droite : photo du modèle géométrique de la fleur utilisé dans l'étude de simulation de l'électroréception des abeilles.

L'électroréception est la capacité de détecter un champ électrique, capacité que possèdent les animaux aquatiques comme les requins, et les dauphins (et certains animaux terrestres comme l'ornithorynque et les échidnés), car elle nécessite un environnement humide pour conduire les signaux. Les araignées possèdent également une électroréception, leurs toiles étant recouvertes de minuscules poils servant à détecter les ondes sonores, les champs électriques ou leurs proies. Au fur et à mesure des avancées de la recherche, il est fascinant de constater combien aujourd'hui nous sommes capables d'explorer ce qui constituait encore hier les grandes énigmes de la nature.



Chapitre 5

L'inspiration des abeilles : science, architecture et littérature

La minuscule abeille est l'une des nombreuses formes de vie sur Terre à laquelle nous soyons intimement liés. Nos ancêtres la célébraient déjà dans des poèmes, reconnaissant ses bienfaits et perpennissant son rôle au cours des siècles.

LES ABEILLES ET LE PRIX NOBEL

Le prix Nobel est une consécration de renommée mondiale, pour ceux qui ont apporté une contribution significative au développement de la science et de la technologie. Vous seriez-vous douté qu'une simple étude sur les abeilles aurait pu remporter une telle récompense ? Dans les années 1920, le zoologiste allemand Karl von Frisch, fondateur de la biologie comportementale, a en effet étudié le comportement et les capacités sensorielles des abeilles dans ce qu'il nomme le « langage des abeilles ».

En 1949, il a également découvert qu'elles percevaient la lumière polarisée et pouvaient identifier leur position grâce au soleil. Ces résultats, qui tiennent en quelques mots, ont pourtant demandé des dizaines d'années de recherche au zoologiste. Dans quel but ?



Karl von Frisch

Au départ, le zoologiste a mené une expérience qui consistait à faire collecter du sucre par une abeille ouvrière dans une assiette plate remplie d'eau sucrée. Il a ensuite marqué l'abeille ouvrière et lorsque cette dernière est retournée à la ruche et en est ressortie, il l'a capturée et l'a empêchée de collecter. Von Frisch a constaté que d'autres abeilles continuaient de voler vers la soucoupe pour recueillir l'eau sucrée : apparemment l'abeille ouvrière marquée, en retournant à la ruche, avait communiqué les informations pertinentes à ses compagnes. En utilisant la même méthode, il a ensuite confirmé ses observations, prouvant ainsi qu'un grand nombre d'abeilles ouvrières envoient des abeilles en éclaireuses à la recherche de nectar avant de quitter la ruche pour leur récolte. Lorsque ces abeilles éclaireuses trouvent un site de nectar favorable, elles se transforment en abeilles collectrices et reviennent à la ruche en effectuant une danse en « 8 » pour indiquer l'emplacement de la nourriture. Mieux encore, elles utilisent la vitesse de la danse pour indiquer la distance entre la ruche et la source de nectar, et communiquent également à leurs compagnes le nombre des différents types de nourriture qu'elles ont trouvé grâce à l'odeur du pollen qu'elles portent sur elles. Riche de ses informations, la colonie peut alors se mettre en vol pour sa récolte !

En 1923, von Frisch a également découvert que lorsqu'une abeille éclaireuse trouvait une source de nectar à moins de 100 mètres de la ruche, elle y retournait : en plus d'y apporter un véritable itinéraire, von Frisch s'est rendu compte qu'elle se déplaçait par une danse en rond, à gauche ou à droite de la ruche. Cette danse peut durer plusieurs minutes avant que l'abeille ne se déplace vers d'autres parties de la ruche et s'envole finalement par la sortie. Ses congénères la suivent alors pour trouver la source de nectar. Si elle se trouve à plus de 100 mètres de la ruche, les abeilles éclaireuses changent de danse en une forme de huit inversé (on parle de « figure de huit » ou de « balancier de queue »). L'abeille exécute d'abord un demi-cercle, puis revient brusquement en arrière et fait ensuite un demi-cercle en sens inverse à partir du point initial, avec une rotation en forme de « 8 » et un balancement constant de son abdomen. La distance exacte dépend du nombre de révolutions de la danse ; les observations montrent que si l'abeille fait 28 tours par minute, la source se trouve à 270 mètres, alors que si elle ne fait que 9 tours, la source se situe à plus de 4 km.



Fleur de buglosse



Nous avons parlé de distance, mais au fait, comment les abeilles s'orientent-elles ?

Différentes observations nous prouvent que les abeilles utilisent la lumière du jour pour se diriger. Si l'abeille danse avec la tête vers le Soleil, cela signifie que la source de nectar se trouve dans la direction du Soleil ; si elle danse dos au soleil, tête basse, la source de nectar se trouve dans la direction opposée au Soleil. Si la tête de l'abeille fait un angle à gauche du Soleil, cela signifie que la source est à gauche du Soleil, et ainsi de suite. Lorsque l'abeille messagère danse, elle incite ses compagnes à faire de même et au fur et à mesure que le corps de ballet se constitue, de plus en plus d'abeilles reçoivent les informations sur la source de nectar.

Plus intéressant encore, en 2023, l'équipe du chercheur Kan TAN de l'Institut de recherche au Jardin botanique tropical de Xishuangbanna de l'Académie chinoise des sciences (CAS) a utilisé un nouveau paradigme expérimental pour créer une colonie composée uniquement de jeunes abeilles qui venaient de sortir de leur ruche. Selon l'étude, toutes les abeilles n'étaient pas nées avec la capacité d'exécuter ces danses. L'apprentissage social a un impact significatif sur la précision du « langage de la danse » des abeilles, et un manque d'éducation dans la petite enfance peut avoir un impact à vie sur les aptitudes à la danse des abeilles par rapport aux abeilles qui grandissent dans des colonies naturelles. Le manque d'opportunités pour les abeilles des jeunes colonies d'apprendre à danser auprès d'abeilles expérimentées au cours de leur développement est similaire au manque d'opportunités pour les nourrissons et les enfants en bas âge d'apprendre et d'interagir avec les adultes au cours de leurs premières années de développement. Lorsque les jeunes abeilles suivent des « danseuses » expérimentées et apprennent d'elles, elles exécutent des danses qui communiquent mieux et plus précisément les informations relatives à leur position. Inversement, les jeunes abeilles qui ne suivent pas et n'apprennent pas des « danseuses » expérimentées exécutent des danses qui ne communiquent pas avec précision les informations

relatives à la position, mais au fur et à mesure qu'elles acquièrent de l'expérience, ces abeilles amélioreront leur capacité à communiquer la direction, mais pas la distance.

En 1965, von Frisch rassemble l'ensemble de ses découvertes dans un livre intitulé *Le langage de la danse et l'orientation des abeilles* (*Tanzsprache und Orientierung der Bienen*). En 1973, il a été distingué par le prix Nobel de physiologie ou médecine, en même temps que Konrad Lorenz, autrichien et fondateur des études des comportements des animaux et que le zoologiste néerlandais-britannique Nikolaas Tinbergen.

RUCHE ET ARCHITECTURE

La ruche est une structure composée de petits nids hexagonaux, appelés alvéoles. Ces dernières sont parfaitement bien disposées. Des mesures minutieuses ont été prises et ont permis de constater qu'elles comptaient chacune un angle obtus régulier et étaient d'un volume de presque toujours $0,25 \text{ cm}^3$. Le fond de la ruche n'est pas plat : il est en effet composé de trois losanges dont un angle obtus de $109^{\circ}28'$ et un angle aigu de $70^{\circ}32'$. Cette conception permet d'utiliser la plus petite quantité de cire possible tout en offrant les dimensions d'une ruche spacieuse. Les alvéoles sont disposées parallèlement avec 7-10 mm d'espace entre elles, perpendiculairement au sol. Chaque ruche est composée de milliers d'alvéoles, construites par les abeilles ouvrières à l'aide de cire d'abeille principalement. Suivant un véritable protocole architectural, cet habitat est parfaitement bien conçu. Difficile de rivaliser et la structure ingénieuse de la ruche est depuis toujours source d'admiration.



Alvéoles

Marx n'a-t-il pas déclaré : « *Les abeilles sont si douées pour construire des ruches qu'elles pourraient faire honte à de nombreux architectes.* »

Quant à Euclide, grand mathématicien grec de l'Antiquité, il considérait les abeilles comme des mathématiciennes et des conceptrices de génie.

De grands architectes comme Frank Lloyd Wright étaient très attachés au motif hexagonal de l'alvéole. L'Israélien Moshe Safdie, lui, doit sa vocation d'architecte à sa fascination pour la forme structurelle du nid d'abeille. Citons aussi les designers japonais qui ont conçu des centaines de bâtiments scolaires, en forme de nids d'abeilles. Le plus grand avantage de la structure de la ruche est qu'elle permet d'économiser des matériaux de construction et présente une résistance exceptionnelle, avantage non négligeable sous la pression aujourd'hui des contraintes croissantes en matière de ressources naturelles.

Son utilisation incarne l'harmonie entre l'homme et la nature. Preuve en est, le bâtiment du Parlement néo-zélandais – aujourd'hui

l'un des bâtiments majeurs du pays – a été conçu comme une ruche dans un pays sujet aux tremblements de terre.

Enfin, la structure en nid d'abeille est aussi utilisée dans l'aviation et pour les parois des satellites artificielles, afin d'augmenter à la fois la résistance des ailes et réduire le poids de la structure. Il est donc fascinant de constater comment les abeilles, à partir des matériaux les plus simples, continuent de nous inspirer !

Les abeilles sont des créatures étonnantes. En récoltant le pollen et le nectar, elles ne nuisent pas aux plantes : au contraire, elles font exactement ce que les plantes attendent d'elles.

Pour toutes ces raisons, elles demeurent une expression profonde et véritable de l'intelligence de la nature.

PLANTES À MIEL ET À NECTAR

Les abeilles produisent des aliments dont nous raffolons : miel, propolis, gelée royale... Pour les récolter, les hommes vont jusqu'à élever des abeilles au prix d'éventuelles piqûres.

Durant l'Antiquité, nos ancêtres ont dû découvrir une ruche par hasard, dans un arbre creux ou à l'intérieur d'une grotte, ils ont goûté le miel et ont commencé dès lors à chercher la manière de l'obtenir.

La valeur du miel a été reconnue très tôt par nos ancêtres et les premières tentatives d'apiculture remontent à 5 000 ans avant J.-C. Un relief du temple du Soleil, construit par les pharaons de la cinquième dynastie d'Égypte (vers 2600 avant J.-C.), représente déjà à cette époque l'apiculture comme un véritable métier. Les Grecs anciens croyaient que le miel était l'Ambrosie dont se nourrissaient les dieux. Aristote, philosophe grec du IV^e siècle avant J.-C., était un fin connaisseur du monde des abeilles. Dans son ouvrage *L'histoire des animaux*, il affirme que « *le miel est le nectar qui descend du ciel, surtout lorsque les étoiles se lèvent et que l'arc-en-ciel traverse le ciel* ».

Selon la littérature, l'apiculture en Chine a une histoire d'au moins 2000 ans. Le plus ancien ouvrage connu sur la médecine chinoise, le *Shen Nong Ben Cao Jing*, cite déjà le jaggery (sucre non raffiné), les larves d'abeille et la cire d'abeille comme étant des remèdes très efficaces, affirmant que le miel a pour effet « *de vaincre toutes les maladies et n'a d'égal aucun médicament* ».

Comment le miel est-il fabriqué ?

Le nectar est sécrété par les nectaires, des organes floraux internes des plantes.



Ruche naturelle

C'est une solution aqueuse sucrée, principalement composée de saccharose, de glucose et de fructose, avec une teneur en eau de plus de 40 %. Il contient également du mannitol, des protéines, des acides organiques, des vitamines, des minéraux, des pigments et des substances aromatiques. La quantité de nectar sécrétée varie sensiblement en fonction de l'espèce végétale. Par exemple, une seule fleur d'eucalyptus grandis sécrète 76,3 mg de nectar par jour.

La production de nectar d'une fleur de tilleul est plus modérée, avec environ 11,54 mg par jour, tandis qu'une fleur de reine des prés ne produit que 0,16 mg par jour. La sécrétion totale de nectar est toutefois très importante en raison du grand nombre de fleurs qui existent dans la nature.

Les abeilles ouvrières prélèvent le nectar des fleurs de plantes dont la teneur en eau est d'environ 40 à 75 %, le déposent dans leur deuxième estomac, le transforment grâce à diverses enzymes puis le régurgite dans les alvéoles. Après 15 jours dans la ruche, le nectar est enrichi en vitamines, minéraux et acides aminés, et ses polysaccharides sont transformés en monosaccharides – glucose et fructose – comestibles pour l'homme. À ce stade, la teneur en eau du miel est inférieure à 23 % : il arrive à maturité pour être récolté. Selon le nectar des fleurs, le miel aura un parfum différent (léger ou fort), sera plus ou moins sucré. Il est à chaque fois unique en son genre et toujours très nutritif.

Le pollen et le nectar collectés, ramenés et stockés dans la ruche, servent à nourrir les abeilles. Les abeilles ouvrières doivent en consommer de grandes quantités pour produire la gelée royale¹⁶. Le pollen est la principale source de protéines pour les colonies d'abeilles et la majorité des abeilles sont élevées pour produire du miel et dépendent naturellement des plantes à nectar.

Qu'est-ce que les plantes à nectar ? Par définition, elles fournissent du nectar aux insectes butineurs et c'est grâce à leur diversité que nous pouvons goûter différentes saveurs de miel.

Elles sont classées en fonction des saisons et en fonction de leur implantation géographique. En règle générale, les plantes des zones tempérées fleurissent plus longtemps que les plantes tropicales tandis que les plantes d'altitude fleurissent plus longtemps que celles de basse altitude.

16. La gelée royale est un nutriment liquide produit par les glandes subpharyngiennes des abeilles ouvrières (c'est-à-dire les glandes à gelée royale) et est utilisée pour nourrir les jeunes larves, les larves de la reine et les reines des abeilles.



Euphorbe à cyathes

Selon les plantes, il existe aussi de grandes variations dans les schémas de floraison. Nous trouvons tout d'abord les plantes qui fleurissent en grand nombre tous les jours pendant une période relativement courte (une semaine ou moins), C'est le cas des légumineuses (Fabacées) et des plantes de la famille du quinoa. Puis, nous avons les plantes qui fleurissent en petit nombre tous les jours sur une période longue ; elles fleurissent donc régulièrement. C'est le cas du *Disanthus cercidifolius* de la famille des *Hamamelidaceae*, dont la floraison peut durer jusqu'à deux mois. Enfin, il y a les plantes qui fleurissent en petit ou grand nombre selon les jours, donc de manière intermittente, comme dans la famille des légumineuses.



Allium sp.

Selon les caractéristiques de la plante, les plantes herbacées ont en général une période de floraison plus longue que les fleurs simples ou les arbustes, qui à leur tour, ont une période de floraison plus longue que les arbres. Selon le pollinisateur, les plantes pollinisées par le vent ont souvent une période de floraison plus courte que les plantes pollinisées par les animaux. Ce cycle de floraison des plantes nectarifères permet aux abeilles du monde entier de disposer d'un approvisionnement abondant en nectar.

Dans la chaîne alimentaire, les plantes sont relativement en aval et les animaux plus en amont, ces derniers se nourrissant de plantes.

Toutefois, soulignons ici que les plantes sont également très dépendantes des animaux.

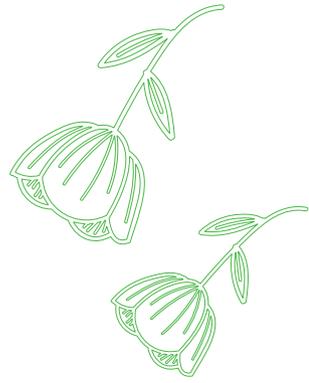
La grande majorité des espèces de plantes à fleurs ont besoin d'animaux comme pollinisateurs. Pour l'homme, plus des trois quarts des principales cultures vivrières au monde dépendent, dans une certaine mesure, de la pollinisation par les animaux pour assurer le rendement ou la qualité. Il est donc clair que la pollinisation allogame nous concerne directement.



Bois de corail

Parmi les plantes à nectar, il existe quelques espèces dont le nectar est toxique pour les abeilles ou les hommes. Lorsque les abeilles s'en nourrissent, cela peut les rendre malades, provoquer chez elles un handicap ou les faire mourir (abeilles adultes, larves ou reine). L'empoisonnement des abeilles se produit souvent lorsque les plantes toxiques sont concentrées, en cas de floraison abondante, par temps sec, à des températures élevées ou lorsque les sources de nectar (pollen) se font rares.

CONCLUSION



Notre écosystème a subi bien des modifications liées à l'urbanisation des campagnes, à la culture excessive de vastes surfaces de terres agricoles et à la dégradation des prairies en raison du surpâturage. Et malheureusement, cela entraîne une diminution des fleurs sauvages, et par conséquent d'insectes pollinisateurs...



Pivoine



Certains chercheurs estiment que l'agriculture moderne, adaptée aux besoins alimentaires de l'homme, nous prive de 98 % des terres aptes à accueillir les fleurs sauvages. Si cette affirmation est vraie, elle cache alors une terrible vérité : si les fleurs disparaissent, les pollinisateurs comme les abeilles et les papillons sont en danger d'extinction. Il faut bien comprendre que le déclin des abeilles et des autres pollinisateurs est directement lié à la perte d'espaces pour les fleurs sauvages. Il existe des centaines d'espèces d'abeilles dans la nature, et elles effectuent des tâches de pollinisation différentes, qui ne dépendent pas d'une ou deux espèces seulement. Pour que les colonies d'abeilles puissent prospérer, elles ont besoin de la présence de différentes espèces de fleurs, leur fournissant différents types de nutriments. Tout comme les humains peuvent présenter des carences en vitamines, minéraux et autres nutriments lorsqu'ils ne consomment qu'une seule catégorie d'aliments par jour, les abeilles sont susceptibles de souffrir de malnutrition en cas de pénurie alimentaire.

Elles ont besoin de se nourrir de nombreux types de pollen et de nectar pour développer leur système immunitaire et si la diversité florale n'est pas respectée, les colonies risquent de s'affaiblir. À ignorer la valeur des plantes, nous rendons-nous compte que si les abeilles venaient à disparaître, nous serions à jamais privés de bon nombre de nos aliments préférés ! Toutefois, si nous nous attachons à maintenir le lien étroit entre la diversité des espèces et celle des fleurs, nous contribuerons à créer un cercle vertueux qui protégera les espèces et nous profitera.

Si nous préservons l'environnement des abeilles, leur population pourra augmenter et faciliter la pollinisation des cultures. Neuf pour cent des abeilles et papillons sont déjà en voie d'extinction dans certaines régions d'Europe ! N'oublions pas le rôle déterminant des pollinisateurs pour protéger notre sécurité alimentaire. Les pollinisateurs sont affectés par divers facteurs dont le principal reste la dégradation de leur environnement. Rappelons que certains d'entre eux sont capables de polliniser tout type de plante, tandis que d'autres ne pollinisent que des plantes bien spécifiques.



Lotus

La nature doit donc absolument maintenir la diversité végétale sans quoi nous pourrions être confrontés à de graves problèmes.

L'agriculture intensive en se consacrant à seulement quelques cultures a elle aussi largement contribué au déclin des pollinisateurs. De plus, il a été démontré que l'utilisation de pesticides est en partie, nocive pour l'environnement, à tel point que certains gouvernements ont élaboré une politique de « Stratégie nationale pour la santé des abeilles et autres pollinisateurs », qui appelle à une plus grande réglementation des effets des pesticides sur les pollinisateurs.

Fin juin 2020, 50 000 bourdons ont été empoisonnés par des insecticides dans l'Oregon. La dernière semaine de juin a également été désignée pour être la « Semaine nationale des pollinisateurs aux États-Unis », message qui appelle à planter davantage de fleurs pour les abeilles et autres insectes. En 2016, les Nations unies ont publié le premier rapport d'évaluation mondiale des pollinisateurs, qui a



Scutellaria baicalensis



Urtica crinita



Pontédérie à feuille en cœur



Glycine

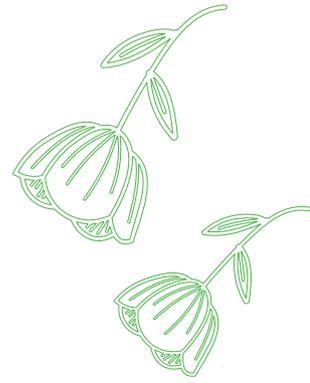


identifié la destruction des habitats et les pesticides comme principales menaces. Sans compter le changement climatique et ses bouleversements qui affectent la vie de tous les insectes.

Sans l'aide de ces petites bêtes, nous n'obtiendrions pas d'aussi bonnes récoltes. Sans elles, la chaîne biologique serait rompue. Chacun devrait donc prendre sa part pour les protéger. Afin de préserver l'harmonie entre l'homme et la nature, il nous faut, plus que jamais, concentrer tous nos efforts à la valorisation de notre environnement et à la protection de la diversité des espèces.



LES AUTEURS



Dr. **XU Suxia** est chercheuse à l'Institut de Botanique Subtropicale de la province du Fujian. Elle a obtenu sa maîtrise à l'École des sciences de la vie de l'Université agricole de Chine en 2003 et son doctorat à l'Institut de botanique de l'Académie chinoise des sciences en 2006. Elle a fait plusieurs séjours scientifiques à l'étranger y compris à l'Université Cornell aux États-Unis (2009) et à l'Institut de Recherche sur l'Agriculture et la Pêche en Belgique (2013). Depuis 2006, elle mène des recherches sur les métabolites secondaires des plantes caractérisées par des bétalaines et leur sélection génétique. En 2022, elle a développé une nouvelle variété de la bougainvillée (Bougainvillea). Elle détient également deux brevets d'invention nationaux en Chine et a plus de 30 publications dans des revues académiques de renommée internationale dont certains ont reçu le prix d'excellence de la science naturelle de la province du Fujian, en Chine.

Elle a grandi dans un petit village au bord du fleuve Jaune, en compagnie d'une douzaine de moutons avec lesquels la promenade au bord du fleuve Jaune était l'un de ses passe-temps préférés d'enfance.



Dr. **WU Baojun** est secrétaire général adjoint exécutif de l'Association des sciences et technologies de l'Académie chinoise des sciences, membre du Conseil de l'Association chinoise des écrivains de vulgarisation scientifique, membre du Conseil de l'Association des écrivains de vulgarisation scientifique de Pékin et membre du comité de vulgarisation scientifique au sein de la Société chinoise de physique. En 2014, sa traduction en chinois de l'œuvre *The Cartoon Guide to Physics* lui a valu le prix d'excellence du livre de vulgarisation scientifique de l'Académie chinoise des sciences et le prix national d'excellence des travaux de vulgarisation scientifique décerné par le ministère des Sciences et de la Technologie de Chine. En 2018, il a reçu de nombreuses distinctions pour l'ouvrage *Rare Treasures: From the Library of the Natural History Museum* traduit en chinois, y compris le prix du Livre d'excellence pour la vulgarisation scientifique de l'Académie chinoise des sciences, le prix Wenjin de la Bibliothèque nationale de Chine. Il a remporté en 2018 le prix « Science Popularization Star » de l'Alliance de vulgarisation scientifique sur Internet de l'Académie chinoise des sciences avant de recevoir le premier prix du Prix du progrès scientifique et technologique de Pékin (catégorie « vulgarisation scientifique »).



Shu Qingyan est docteure et chercheuse HDR à l'Institut de Botanique de l'Académie chinoise des sciences. Elle a été chercheuse invitée en Belgique (2007-2008) puis en post-doctorat aux États-Unis (2008-2009). Ses principaux axes de recherche sont l'amélioration génétique et la sélection moléculaire pour la reproduction des fleurs et des fruits de pivoine. Elle est actuellement directrice exécutive de la branche « pivoine » de la Société chinoise d'horticulture, membre du comité technique du Centre de recherche sur les technologies d'ingénierie Yuanbaofeng au sein de l'Administration Nationale des Forêts et des Prairies de Chine et membre du comité académique du Laboratoire clé de la recherche en médecine tibétaine dans la province du Qinghai. Titulaire de 12 brevets d'invention reconnus par l'État chinois et porteuse de 5 projets de l'évaluation scientifique (3 au niveau international, 2 au niveau national), elle a également publié plus de 40 articles dans des revues académiques telles que *Journal of Experimental Botany*, *Plant Cell Physiology* et *Plant Science*.



GE Yuxuan est ingénieure principale du Bureau de gestion du Parc des Collines parfumées (Xiangshan) de Pékin et engagée dans des travaux de recherche et de vulgarisation scientifique liés à l'aménagement paysager depuis 13 ans. Elle a remporté 5 prix du Progrès scientifique et technologique et 2 prix de vulgarisation scientifique du Centre de gestion des parcs de la municipalité de Pékin. Elle a publié plus de 10 articles dans des revues académiques et détient un brevet d'invention national chinois. Elle également a compilé un système de normes pour la municipalité de Pékin et s'est vu décerner la distinction du « Star of Garden Science and Technology » par le Centre pékinois de gestion des parcs. Parallèlement, elle a conçu et développé une série de cours de vulgarisation scientifique tels que « Observer un arbre ancien », « Explorer la feuille rouge » et « Écologie naturelle », et s'implique activement dans l'écriture et l'édition des livres illustrés de vulgarisation scientifique dont l'un des plus représentatifs est « Je répare des arbres anciens à Xiangshan ».