



CARNETS
DE
SCIENCES

Vincent Albouy

Pollinisation

Le génie de la nature

éditions
Quæ

Vincent Albouy

Pollinisation Le génie de la nature

Éditions Quæ

Collection Carnets de sciences

Des insectes en ville

Vincent Albouy
2017, 184 p.

Cap sur le grand continent blanc
Sylvain Mahuzier, Jean-Pierre Sylvestre
2016, 184 p.

Les insectes sociaux

Éric Darrouzet, Bruno Corbara
2015, 168 p.

Les déchets, du big bang à nos jours
Christian Duquennoi
2015, 168 p.

Les insectes, histoires insolites

Patrice Leraut
2015, 120 p.

Oiseaux marins. Entre ciel et mers
Fabrice Genevois, Christian Barbraud
2015, 200 p.

Anatomie curieuse des vagues scélérates
Michel Olagnon, Janette Kerr
2015, 176 p.

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex, France

www.quae.com

© Éditions Quæ, 2018

ISBN : 978-2-7592-2801-0

ISSN : 2110-2228

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

SOMMAIRE

L'intimité des plantes	4
La vie sexuelle des plantes	9
La reproduction, c'est la vie.....	11
Mille et une stratégies de reproduction végétale.....	14
La pollinisation, ou plutôt les pollinisations	19
Les accessoires de la séduction	24
Quand chacun fait un pas vers l'autre	37
Une relation qui ne date pas d'hier	39
Les syndromes de pollinisation	42
Tomber dans la dépendance.....	65
Les ratés d'une association fructueuse	73
Sur le fil du rasoir	75
Tricheurs et compagnie	81
Un dupeur, ça trompe énormément.....	84
Stratégies individuelles et réseaux collaboratifs	95
Généraliste ou spécialiste, une question de degré.....	97
La pollinisation en réseau.....	106
Productions agricoles et pollinisation	117
Quantifier l'inquantifiable	119
Qui pollinise quoi ? Les forces physiques	127
Qui pollinise quoi ? Les animaux	131
L'abeille mellifère qui cache la forêt des pollinisateurs sauvages.....	143
Vers une crise de pollinisation ?	149
Des clignotants qui passent au rouge.....	151
Pollinisateurs en péril	157
Que faire ?	167
Du service écosystémique gratuit vers un service commercial payant ?	177
Bibliographie	183
Crédits photographiques.....	184

L'INTIMITÉ DES PLANTES

Pas de fausse pudeur : la pollinisation est avant tout une affaire de sexe, de sexe végétal. Pour faire bref, c'est la solution trouvée par les plantes terrestres pour concilier deux impérieuses contraintes : l'impossibilité de bouger par enracinement au sol et la nécessité pour les deux sexes de se rencontrer afin de se reproduire au mieux. Comme souvent dans la nature, cette solution est un bricolage improbable qui débouche, dans ses formes les plus évoluées, sur une subtile coadaptation entre deux partenaires : la plante et son animal pollinisateur.

Afin de bien comprendre les enjeux et les contraintes de la pollinisation, il est nécessaire de connaître l'évolution de la sexualité des plantes depuis les algues dans l'océan primitif jusqu'aux plantes à fleurs les plus sophistiquées que sont les orchidées. Nous découvrirons la structure et les fonctions de la fleur, cette invention surprenante entièrement orientée vers une pollinisation de plus en plus efficace.

Après cette entrée en matière indispensable, nous passerons en revue les différentes stratégies de reproduction et de pollinisation des plantes. Une occasion de découvrir la diversité des solutions adoptées par chaque partenaire pour effectuer au mieux cette tâche essentielle à la survie des plantes, donc à celle de tous les êtres vivants qui en dépendent.

Au passage, la légende d'une relation mutualiste qui ne voit que des gagnants sera remise en question en explorant les marges et les bas-fonds de la pollinisation, quand elle est en équilibre instable ou quand l'un des partenaires ne joue plus le jeu. Les comportements de tricherie ou de duperie nous rappellent que la morale est étrangère à la nature : seul le résultat compte.

La complexité des relations de pollinisation au sein des communautés végétales et animales ne sera pas oubliée. Car si plantes comme pollinisateurs s'entraident ou se concurrencent, ils ne sont pas seuls au monde et doivent composer avec d'autres acteurs, notamment les espèces herbivores.

La question de la réelle dépendance de l'agriculture vis-à-vis de l'abeille domestique et des autres pollinisateurs est complexe. Comment distinguer le vrai du faux en cette matière ? Cette question est souvent obscurcie par des généralisations parfois hâtives et par une évolution permanente des variétés cultivées qui nécessite de réévaluer constamment cette dépendance.

Les menaces d'une crise de pollinisation, aussi bien pour la flore sauvage que pour les plantes cultivées, doivent être évaluées au regard des atteintes

Page de droite
Un citron vient
flirter avec une
coquelourde
des jardins.





à la biodiversité au niveau mondial. Elles ne concernent pas la seule abeille mellifère mais l'ensemble des pollinisateurs. Et nous terminerons par les actions engagées comme celles qui pourraient l'être pour tenter d'éviter cette crise.

Tout au long du texte, vous lirez des formulations telles que « les plantes produisent du nectar pour attirer les pollinisateurs et améliorer leur reproduction ». Bien sûr, il n'y a de la part de la plante aucune volonté consciente d'attirer qui que ce soit. C'est un raccourci bien pratique, et bien plus facile à lire, pour éviter des lourdeurs du genre « les individus qui, par une légère modification de leur métabolisme, ont sécrété un liquide contenant des molécules de sucre ont ainsi attiré plus d'animaux. Ce qui a entraîné une pollinisation un peu meilleure que celles des autres individus de leur espèce ne produisant pas de sucre. Leurs gènes porteurs de cette caractéristique se sont alors répandus plus largement au fil du temps ».

Une abeille solitaire
et un coléoptère
à l'assaut d'une fleur
d'iris des marais.



A photograph of two pink lotus flowers in full bloom, surrounded by large, vibrant green lily pads. The flowers have multiple layers of petals, and their centers show stamens. The background is a soft-focus view of the pond's surface and more lily pads.

**La vie sexuelle
des plantes**



La vie sexuelle des plantes

Si vous pratiquez la pêche à pied sur l'estran rocheux, vous savez combien les algues sont glissantes. Notamment le goémon et autres fucus, ces algues à lanières brunes et rugueuses munies de flotteurs. Et si vous pêchez lors des grandes marées d'équinoxe, vous avez pu vous rendre compte que les risques de glissade sont bien plus importants en mars qu'en septembre.

Pourquoi ? Parce qu'au printemps les algues sont en pleine reproduction. Les peuplements de fucus sont composés de pieds femelles et de pieds mâles. Chacun émet une matière gluante, qui les rend si glissants, appelée mucilage. Ce mucilage est incolore chez les femelles et doré chez les mâles. Il contient les cellules reproductrices, très différentes d'aspect : grosses cellules rondes femelles et petits haricots flagellés mâles.

Dans une scène culte de son film *Tout ce que vous avez voulu savoir sur le sexe sans jamais oser le demander*, Woody Allen déguisé en spermatozoïde participe à la grande course à la fécondation où se pressent de nombreux participants pour peu d'élus. Il se passe la même chose dans la mer, les cellules mâles étant bien plus nombreuses que les cellules femelles. Et tout finit par un *happy end* : quand deux cellules de sexe opposé arrivent à mélanger leurs chromosomes, un petit fucus embryonnaire est né.



■ Page précédente

Deux fleurs de nymphéas viennent de s'épanouir sous le regard d'une grenouille.



■ La reproduction, c'est la vie

La reproduction, c'est-à-dire la capacité de produire un individu nouveau par un ou des individus existants, est la définition même de la vie. Les êtres vivants se caractérisent par leur capacité à se reproduire à l'identique, ou presque. C'est sur ce « ou presque » qu'agit la sélection naturelle, moteur de l'évolution des espèces, nous y reviendrons.

Le fucus vésiculeux, l'une des algues les plus communes des côtes rocheuses de nos régions, dissémine ses gamètes dans le secret des vagues.

Une histoire de gènes

Les formes les plus primitives, bactéries et algues bleues, ont une cellule sans noyau. Pour se reproduire, elles dupliquent leurs organites — leurs brins d'ADN qui constituent leurs gènes — et elles se divisent en deux. La cellule des formes les plus évoluées possède un noyau dans lequel se trouvent leurs gènes, rassemblés en longues chaînes : les chromosomes. Ces chromosomes vont par paires et les généticiens donnent la formule chromosomique d'une



Le nom des algues bleues est trompeur, elles appartiennent en fait aux bactéries les plus primitives. Leur couleur bleue est due à la chlorophylle qui leur permet d'absorber le gaz carbonique de l'air.



L'alternance des générations chez les plantes

Dans le schéma classique de la reproduction animale, l'individu à $2n$ chromosomes produit directement des gamètes à n chromosomes. La femelle produit des ovules, le mâle produit des spermatozoïdes.

Chez les végétaux, le cycle est un peu plus complexe et s'accomplit en deux temps. L'individu à $2n$ chromosomes ne produit pas directement des gamètes à n chromosomes, mais des spores. C'est pourquoi il est appelé sporophyte, « plante à spores » si l'on traduit du grec. Chaque spore va germer et produire un nouvel individu à n chromosomes. C'est celui-ci qui produira les gamètes et qui est appelé gamétophyte, « plante à gamètes ». Un gamète mâle s'associera alors à un gamète femelle pour donner un nouvel individu à $2n$ chromosomes, autrement dit un nouveau sporophyte. Une génération à $2n$ chromosomes alterne ainsi avec une génération à n chromosomes chez les plantes, alors que chez les animaux une génération à $2n$ chromosomes succède à une génération à $2n$ chromosomes.

Pour les plantes à fleurs, le sporophyte correspond à la plante elle-même. Elle produit des spores qui vont rester à l'intérieur des étamines et s'y développer pour donner les grains de pollen. Chaque grain de pollen est un gamétophyte qui est composé de deux cellules uniquement, à n chromosomes. Il produit un gamète mâle qui ira à la rencontre d'un gamète femelle.

espèce sous la forme $2n$. Par exemple, nous, êtres humains, chez qui $n = 23$, possédons 46 chromosomes.

Cette architecture cellulaire autorise la reproduction sexuée. Une innovation fondamentale, qui permet le mélange du patrimoine génétique de deux individus. Elle repose sur l'apparition des gamètes, cellules produites par division, mais qui n'ont pas dupliqué, lors de cette division, leurs chromosomes. Chaque gamète se retrouve avec n chromosomes. Dans le cas de l'humain, l'ovule et le spermatozoïde, gamètes femelle et mâle, possèdent donc 23 chromosomes chacun. Quand un spermatozoïde pénètre un ovule, le matériel génétique des deux cellules se mélange. C'est la fécondation, et le nombre requis de 46 chromosomes est atteint. Un nouvel individu est né.

Pourquoi la pollinisation ?

Les algues, les premiers végétaux à être apparus, baignent dans l'eau où les gamètes mâles nagent grâce à des cils vibratoires (les flagelles) pour rejoindre les gamètes femelles. Héritières des algues, les premières plantes terrestres que sont les mousses vont conserver cette alternance des géné-



rations entre un sporophyte et un gamétophyte, et la nécessité pour le gamète mâle de nager dans l'eau pour rejoindre le gamète femelle. Leur premier pas vers la vie terrestre sera accompli en réduisant les besoins des gamètes mâles à une simple lame d'eau. Elles ont obligation de vivre dans un milieu humide au moins une partie de l'année, mais plus de vivre dans l'eau. Et l'alternance des générations est réduite car le sporophyte n'est plus un individu autonome. Il se développe en parasite sur le gamétophyte en coussinet, prenant l'aspect d'une capsule au bout d'une tige. Elles-mêmes héritières des mousses, les fougères vont dépendre toujours d'une lame d'eau pour le déplacement des gamètes mâles. Sporophyte et gamétophyte sont séparés, mais le second est très petit, discret et fugace.

Les plantes supérieures ou plantes à graines, conifères et Angiospermes, ont repris l'« idée » des mousses en l'inversant : le gamétophyte se développe en parasite sur le sporophyte, la plante. Ce gamétophyte, c'est le grain de pollen, individu réduit à deux cellules. Et le gamète mâle n'a plus besoin d'eau pour rejoindre le gamète femelle, car c'est le gamétophyte lui-même qui se déplace. Une fois arrivé sur l'organe sexuel femelle d'un autre individu, il « germera », c'est-à-dire émettra un long tube jusqu'au gamète femelle, par lequel le gamète mâle pourra passer et assurer la fécondation.

La pollinisation, c'est donc l'astuce trouvée par les plantes à graines, enracinées au sol et incapables de se déplacer, pour ne plus dépendre de l'eau quand le gamète mâle doit rejoindre le gamète femelle. C'est l'affranchissement total du milieu aquatique primitif. Mais c'est un moment délicat pour la plante car un grain de pollen parti d'une fleur doit se retrouver au bon endroit sur une autre fleur pour être utile à sa reproduction. Le pollen étant incapable de mouvements actifs, il dépend totalement d'un vecteur pour se déplacer. Ce vecteur peut être physique (la gravité, l'eau, le vent), mais dans la plupart des cas il s'agit d'un animal : le pollinisateur.

Les mousses, plantes terrestres encore primitives, restent très dépendantes de milieux humides au moins une partie de l'année.



Les fougères sont des plantes terrestres ayant presque totalement coupé le cordon avec la mer originelle. Sauf au moment de la reproduction, où elles dépendent encore d'un milieu très humide.



La reproduction est une phase cruciale pour la survie des espèces. La sélection naturelle très forte qui s'exerce à ce moment-là a conduit à l'apparition de stratégies de pollinisation très différentes, certaines très simples et d'autres si complexes que deux êtres vivants, le végétal et l'animal pollinisateur, sont devenus totalement dépendants l'un de l'autre pour leur survie. C'est cette histoire extraordinaire que nous allons explorer dans cet ouvrage.

■ Mille et une stratégies de reproduction végétale

La nature a horreur de mettre tous ses œufs dans le même panier. Tel un investisseur gérant son portefeuille d'actions en bon père de famille, c'est-à-dire en le diversifiant, elle joue sur de multiples stratégies de reproduction, en privilégie certaines sans en exclure aucune.

Une maman toute seule

Le clonage, c'est-à-dire la reproduction d'un individu à l'identique, apparaît comme une technique de pointe de la génétique moderne. Mais si le mot est nouveau, la chose est aussi ancienne que la vie. La première bactérie, qui s'est reproduite en se répliquant et en se divisant, n'a rien fait d'autre que se cloner. Les plantes aussi pratiquent le clonage. C'est la « reproduction végétative ».

Les algues vertes de l'estran ou les plantes aquatiques d'eau douce sont souvent fragmentées par les violents courants d'eau qui peuvent survenir à l'occasion des tempêtes ou des crues violentes. Chaque fragment demeure en vie, se développe et donne un nouvel individu complet. Ni plus ni moins que du clonage. C'est ainsi qu'apparaissent des marées vertes dans les eaux côtières chargées de nitrates et de phosphates.

La fragmentation peut être le résultat de la mort de la plante. Ainsi la pomme de terre accumule des réserves dans certaines parties de ses tiges, les tubercules. Quand elle meurt, les tubercules se retrouvent indépendants après la disparition des morceaux de tige qui les reliaient. Chacun donnera au printemps suivant un nouvel individu. Encore clonage.

Parfois, l'enracinement du futur nouvel individu précède son émancipation de la plante-mère. La

Chaque tubercule de pomme de terre peut donner un nouvel individu qui sera un clone génétiquement identique au pied qui l'a produit.





ronce émet à la belle saison de grandes tiges souples retombant sur le sol en une longue courbure. À l'endroit où l'extrémité de la tige touche le sol, des racines se développent et une pousse vigoureuse se dresse vers le ciel, avant que la partie de tige qui la reliait à la touffe d'origine, ne meure. La nouvelle tige peut aussi partir des racines, il s'agit alors d'un drageon comme chez les peupliers ou les bambous. Toujours clonage.

La parthénocarpié, ou production de graines sans fécondation, est intermédiaire entre la reproduction sexuée dont elle suit le processus normal, et la reproduction végétative, car seul le matériel génétique de la plante-mère se retrouve dans les plantes-filles.



Cette fleur d'églantier exhibe sans complexe ses organes sexuels.

LE SAVIEZ-VOUS ?

Les kalanchoës sont des plantes grasses poussant dans les zones sèches, voire désertiques, de Madagascar, d'Afrique subsaharienne et d'Asie du Sud-Est. Beaucoup sont très appréciées des collectionneurs de plantes grasses et sont cultivées et vendues comme plantes d'intérieur.

Certaines espèces ont un mode de reproduction végétatif très original. De petites masses de tissu embryonnaire subsistent dans leurs feuilles. Elles peuvent se développer et produire de petites plantules complètes : quelques feuilles minuscules en rosette et un bouquet de petites racines. Lorsque la feuille qui les porte est secouée par le vent ou heurtée par un animal, ces plantules se détachent spontanément. Tombées au sol, elles peuvent alors s'enraciner et produire un nouvel individu. Les feuilles succulentes, gorgées de réserve d'eau, leur permettent en effet de survivre quelques mois sans apport extérieur si les conditions sont trop hostiles, en cas de forte sécheresse par exemple.



Ci-dessus, une plante qui accouche : le kalanchoë et sa portée de petites rosettes, représentant autant de nouvelles plantes génétiquement identiques. À gauche, une autre espèce de kalanchoë, endémique des zones sèches de Madagascar.



Un papa et une maman

Les pieds mâles et femelles du ricin ne se distinguent qu'à la floraison.



À l'inverse de la reproduction végétative, pratique solitaire, la reproduction sexuée implique l'union avec un partenaire de sexe différent. Si la grande majorité des animaux sont unisexués, avec quelques rares cas d'individus possédant les deux sexes, comme les escargots, c'est l'inverse chez les plantes. La majorité d'entre elles possèdent les deux sexes chez le même individu. L'architecture dominante des fleurs est un organe femelle entouré par des organes mâles. L'églantier, la violette, la marguerite, la primevère, autant de représentants communs de ce groupe dominant aux fleurs dites hermaphrodites.

Parfois, un même individu porte à la fois des fleurs uniquement mâles et d'autres uniquement femelles, comme les chênes, le noisetier ou le ricin. Ces espèces sont dites monoïques. Certaines plantes poussent la séparation encore plus loin, avec des pieds femelles portant uniquement des fleurs femelles, et des pieds mâles portant uniquement des fleurs mâles, comme la banale ortie des bords de champs ou l'asperge. Elles sont dites dioïques.

Plus de 50 nuances d'impudicité

En 1870, l'illustre entomologiste Jean-Henri Fabre, alors professeur au lycée d'Avignon, fut dénoncé en chaire pour ses comportements dangereux : n'avait-il pas l'audace de parler des fleurs et de leur fécondation — en termes pourtant fort chastes et voilés — lors de ses cours libres auxquels assistaient des jeunes filles ? Il est vrai que les plantes sont exhibitionnistes et exposent leurs organes sexuels à tous les regards.

La fleur caractérise le vaste groupe des Angiospermes. Bien que le plus récemment apparu dans le monde végétal, il est largement dominant dans tous les milieux terrestres. Une fleur primitive, réduite aux seuls organes sexuels, existe chez les Gymnospermes, autrefois appelés conifères.

Les différentes parties de la fleur sont des feuilles modifiées, pouvant porter des structures qui produisent cellules reproductrices ou sécrétions diverses comme des parfums ou du nectar sucré.

Ce modèle, qui est celui d'une fleur simple, par exemple celle de l'églantier ou du bouton d'or, se complique ou se simplifie dans certains groupes.



Les chatons pendants qui apparaissent sur les noisetiers en hiver sont constitués de nombreuses fleurs mâles regroupées.



Un peu de vocabulaire floral

En partant de la base de la tige florale, les **bractées** sont des feuilles associées à la fleur. Puis cette tige, ou **pédoncule**, s'élargit en un **réceptacle** qui porte les différentes pièces de la fleur.

Viennent d'abord les **sépales**, généralement verts, protégeant le bouton floral, puis qui constituent le **calice** quand la fleur est épanouie. Ils peuvent se colorer chez certaines espèces.

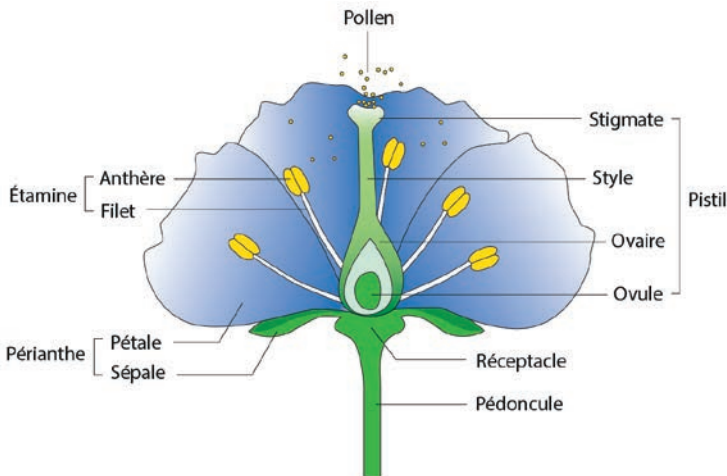
Viennent ensuite les **pétales**, pièces encore protectrices mais aussi souvent plus grandes et colorées, jouant un grand rôle dans la signalisation de la fleur. Ils constituent la **corolle**.

Sépales et pétales sont complémentaires : en nombre égal dans la plupart des cas, ils alternent entre eux, un pétale se trouvant dans l'intervalle entre deux sépales et inversement. Ensemble, ils constituent le **péricorolle**, qui joue un grand rôle dans la constitution du microclimat qui règne au cœur de la fleur. Quand sépales et pétales ne se distinguent pas les uns des autres, ils prennent le nom commun de **tépales**.

L'**androcée** ou appareil mâle est composé d'**étamines**, qui succèdent aux pétales. Elles sont composées chacune d'une tige, le **filet**, coiffé par une partie renflée, l'**anthère** ou sac pollinique, qui produit et stocke le **pollen**. Celui-ci est composé de grains microscopiques qui doivent germer sur les organes femelles pour atteindre les ovules et les féconder. Enfin, au cœur de la fleur se trouve le **gynécée**, ou appareil femelle, composé d'un ou plusieurs **carpelles**. Ces futurs fruits au sens botanique du terme contiennent les **ovules**, futures graines. Les carpelles forment l'**ovaire**, prolongé par une partie allongée, le **style**, terminé par une partie dilatée, le **stigmate**, adapté pour recevoir le pollen et favoriser sa germination. L'ensemble de ces pièces forme le **pistil**.



L'organisation des fleurs primitives se reconnaît toujours dans la fleur d'anémone, bien qu'elle se soit simplifiée au fil du temps.





Des pièces peuvent manquer, d'autres se souder entre elles, prendre des formes et des couleurs des plus bizarres. Par exemple, sépales et pétales sont colorés et difficiles à distinguer chez les orchidées, alors qu'étamines et pistil sont agglomérés en un seul organe. D'autres plantes forment des fleurs composées, des inflorescences, comme la marguerite au cœur jaune composé de centaines de fleurs fécondes sans pétales entouré de dizaines de fleurs stériles réduites à un seul pétale blanc, le ligule.

À la recherche de la fleur ancestrale

Une équipe de chercheurs regroupés autour d'Hervé Sauquet de l'Université d'Orsay vient de reconstituer la fleur ancestrale. Ce n'est pas la fleur la plus ancienne, mais celle de l'ancêtre de toutes les plantes à fleurs actuelles. Pour ce faire, ils ont utilisé de vastes banques de données génétiques et morphologiques ainsi que de puissants ordinateurs capables de traiter rapidement cette masse d'informations pour produire des arbres de parenté. Ensuite ils ont pu définir statistiquement l'état le plus probable d'un caractère donné chez l'ancêtre d'un groupe d'espèces si l'on connaît leurs relations de parenté.

Une grosse machine que cette étude, dans tous les sens du terme, basée sur l'analyse d'une vingtaine de caractères. À l'arrivée, une jolie fleur. De grande taille, comprenant plusieurs étages de tépales non soudés entre eux,



La marguerite n'est pas une fleur mais une inflorescence, c'est-à-dire le regroupement de nombreuses fleurs simples.

Les fleurs d'orchidée, ici une espèce du Costa-Rica, sont parmi les plus belles et les plus vivement colorées du règne végétal.

