



HAL
open science

Pollinisation : un équilibre en péril

Emmanuelle Porcher

► **To cite this version:**

Emmanuelle Porcher. Pollinisation : un équilibre en péril. Collège de France, 2024, 978-2-7226-0661-6. 10.4000/12pkd . hal-04800723

HAL Id: hal-04800723

<https://hal.science/hal-04800723v1>

Submitted on 24 Nov 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Leçons inaugurales



Emmanuelle Porcher
Pollinisation:
un équilibre en péril



**COLLÈGE
DE FRANCE**
— ÉDITIONS —



COLLÈGE
DE FRANCE
1530

Collège de France

Pollinisation : un équilibre en péril

Leçon inaugurale prononcée au Collège de France le jeudi 18 janvier 2024

Emmanuelle Porcher

DOI : 10.4000/12pkd
Éditeur : Collège de France
Lieu d'édition : Paris
Année d'édition : 2024
Date de mise en ligne : 18 novembre 2024
Collection : Leçons inaugurales
ISBN numérique : 978-2-7226-0834-4



<https://books.openedition.org>

Édition imprimée

ISBN (Édition imprimée) : 978-2-7226-0661-6
Nombre de pages : 72

RÉFÉRENCE NUMÉRIQUE

Porcher, Emmanuelle. *Pollinisation : un équilibre en péril*. Collège de France, 2024, <https://doi.org/10.4000/12pkd>.

Métadonnées de couverture

Crédits

Aurore Chassé (graphisme) et Patrick Imbert (photo) / Collège de France, 2024

Licence de la couverture

Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International - CC BY-NC-ND 4.0

Ce document a été généré automatiquement le 19 novembre 2024.



Le format PDF est diffusé sous licence Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International - CC BY-NC-ND 4.0 sauf mention contraire.



Le format ePub est diffusé sous licence Creative Commons - Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International - CC BY-NC-ND 4.0 sauf mention contraire.

RÉSUMÉ

Si la biodiversité est souvent comprise comme la variété des formes de vie, elle se caractérise aussi par la diversité des interactions entre les êtres vivants : compétition, coopération, prédation... Produit d'une longue coévolution, ces interactions maillent la surface de la Terre et font de la biodiversité le « tissu vivant de la planète », qui régule son fonctionnement. La crise de la biodiversité actuelle implique ainsi non seulement la disparition d'espèces, mais également celle, tout aussi grave, des interactions : le tissu vivant de la planète se distend.

À travers l'étude révélatrice des interactions entre plantes à fleurs et pollinisateurs, l'auteur met en lumière le délitement progressif de ce maillage essentiel à la vie sur Terre. Pour inverser la tendance, elle propose de rétablir une autre forme d'interactions : celles entre l'humanité et le reste du vivant.

NOTE DE L'ÉDITEUR

La chaire annuelle Biodiversité et écosystèmes du Collège de France bénéficie du soutien de la fondation Jean-François et Marie-Laure de Clermont-Tonnerre.

EMMANUELLE PORCHER

Emmanuelle Porcher est écologue et biologiste de l'évolution. Professeure au Muséum national d'histoire naturelle, directrice du Centre d'écologie et des sciences de la conservation, elle est très impliquée dans les programmes de sciences participatives. En 2023-2024, elle est professeure invitée au Collège de France sur la chaire annuelle Biodiversité et écosystèmes, créée avec le soutien de la Fondation Jean-François et Marie-Laure de Clermont-Tonnerre.

Pollinisation : un équilibre en péril

Chaire Biodiversité et écosystèmes
2023-2024

Emmanuelle Porcher

**Pollinisation :
un équilibre en péril**



**COLLÈGE
DE FRANCE**
— ÉDITIONS —

La chaire annuelle Biodiversité et écosystèmes
du Collège de France bénéficie du soutien
de la fondation Jean-François et Marie-Laure
de Clermont-Tonnerre.

Graphisme
Aurore Chassé

Édition
Marion Razakariasa

Isbn 978-2-7226-0661-6
© Collège de France, 2024

Éditions du Collège de France
11, place Marcelin-Berthelot
75231 Paris Cedex 05
contact : editions@college-de-france.fr
✕ @EditionsCdF
📷 @editionscdf

La version numérique de cet ouvrage est publiée sur le portail
OpenEdition : <https://books.openedition.org/cdf/156>.

 **OpenEdition**
Books

**Leçon inaugurale
prononcée au Collège de France
le jeudi 18 janvier 2024**

n° 326

Monsieur l'Administrateur,
Mesdames et Messieurs les Professeur-es,
Monsieur le Président du Muséum national
d'histoire naturelle,
Cher-es collègues,
Cher-es ami-es, chère famille,
Mesdames et Messieurs,

J'adresse mes plus chaleureux remerciements à Jean-François et Marie-Laure de Clermont-Tonnerre, qui ont permis l'existence de cette chaire annuelle, à Sonia Garel et Edith Heard, pour leur proposition d'y postuler, et, de façon générale, à Monsieur l'Administrateur et Mesdames et Messieurs les Professeur-es pour m'avoir offert cette opportunité unique de partager des connaissances qui sont, comme nous allons le voir, une construction collective, avec un collectif au-delà du monde académique, sur un sujet qui me paraît très important, les interactions entre les plantes et leurs pollinisateurs et la façon dont elles sont en train de se transformer. Je remercie également de tout cœur l'ensemble de mes collègues, en formation ou confirmé-es : sans toutes ces personnes, la plupart des travaux que je vais vous présenter ici n'auraient pas été possibles.

La planète est en crise. Une crise dans le fonctionnement de son climat, une crise dans le fonctionnement de la vie qui l'habite. Toutes deux sont intimement liées et sont bien sûr causées par le développement exponentiel d'une seule espèce, l'espèce

humaine, par la croissance de sa taille de population et l'augmentation rapide de son niveau de vie, toujours plus exigeant en ressources. Son empreinte sur la planète peut se visualiser y compris depuis l'espace, par exemple de nuit, sous forme de pollution lumineuse (fig. 1).

Au milieu de ces crises, celle des insectes. Depuis les années 1990, mais plus encore ces dix dernières années, de nombreuses études alertent sur ce qui semble être une diminution très rapide et massive de leur abondance. En particulier, plusieurs publications scientifiques sont parues presque simultanément entre 2019 et 2020 ; largement reprises dans les médias généralistes, elles ont également déclenché un avis de l'Académie des sciences en 2021 appelant à une action urgente¹. Les mots utilisés dans les médias sont très inquiétants² : « disparition », « apocalypse », « catastrophe », « Armageddon »...

Cette disparition est alarmante, car les insectes sont omniprésents dans les milieux terrestres et y jouent des rôles très importants. Ils forment un groupe très diversifié, avec une estimation de trois à huit millions d'espèces existantes, dont seulement

-
1. Hervé Jactel, Jean-Luc Imler, Louis Lambrechts *et al.*, « Insect decline: Immediate action is needed », *Comptes rendus. Biologies*, vol. 343, n° 3, 2020 [paru en 2021], p. 267-293, <https://doi.org/10.5802/crbiol.37> ; voir aussi <https://www.academie-sciences.fr/fr/Communique-de-presse/communique-de-presse-declin-des-insectes-1-urgence.html>.
 2. Voir par exemple <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/insectes-1-2-insectes-disparaissent-chaque-annee-68949/>.



Figure 1. Une partie de la planète Terre vue de nuit.

L’empreinte des humains y est particulièrement visible à travers la pollution nocturne, qui a des effets démontrés sur un grand nombre d’espèces sauvages, et notamment sur les pollinisateurs nocturnes, avec des conséquences pour la reproduction des plantes³. Image composite (2012).

un peu plus d’un million sont connues — soit plus de la moitié des espèces actuellement décrites sur Terre. Les insectes sont la source de nourriture de nombreuses espèces, ils participent au recyclage de la matière organique (cadavres, déjections, autres matières organiques, etc.), ils contribuent à réguler la croissance des végétaux et à contrôler les tailles de populations d’espèces animales dont certaines

3. Eva Knop, Leana Zoller, Remo Ryser *et al.*, « Artificial light at night as a new threat to pollination », *Nature*, vol. 548, 2017, p. 206-209, <https://doi.org/10.1038/nature23288>.

consomment les plantes cultivées. Enfin, et c'est le sujet dont nous allons parler aujourd'hui, ils sont indispensables à la reproduction de la majorité des espèces de plantes, *via* un processus appelé « pollinisation ».

Plantes, pollinisateurs et pollinisation : définition et origines de l'interaction

Qu'est-ce que la pollinisation ? C'est le transport du pollen, qui est la forme de vie des plantes qui porte les cellules reproductrices mâles, les spermatozoïdes (fig. 2). Chez les plantes à fleurs, aussi appelées « Angiospermes » dans le jargon botanique, ce grain de pollen est produit par les parties mâles des fleurs, les étamines, et doit atteindre la partie femelle des fleurs, le pistil, pour assurer la production de graines et de fruits, d'où naîtront de nouvelles plantes. Autrement dit, cette étape est indispensable dans la reproduction sexuée des plantes à fleurs. Or le pollen est inerte, il ne peut se déplacer de façon autonome. Il dépend donc d'un moyen de transport, qui peut être simplement le vent, mais qui est très souvent un animal, que l'on appelle « pollinisateur ». On estime que les quatre cinquièmes des 300 000 espèces de plantes à fleurs dépendent au moins en partie des pollinisateurs pour leur reproduction.

Cette relation entre plantes et pollinisateurs est une *interaction* écologique, c'est-à-dire un phénomène

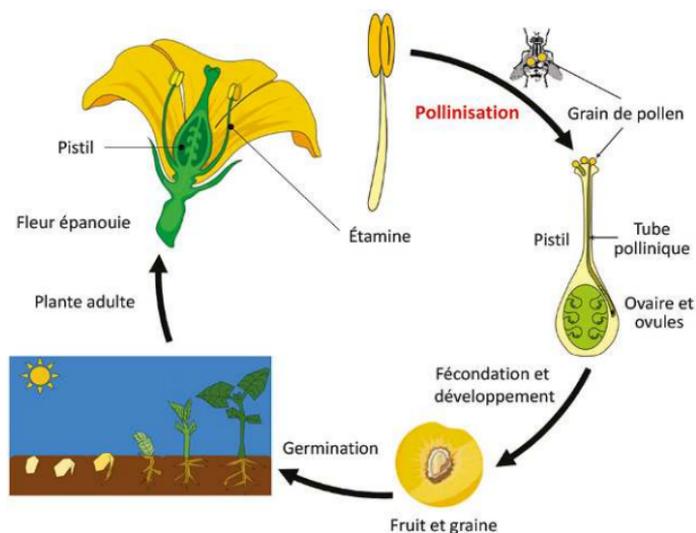


Figure 2. Le rôle de la pollinisation dans le cycle de vie des plantes à fleurs.

Le transport de pollen a lieu entre la partie mâle d'une fleur, l'étamine, qui produit le pollen, et la partie femelle, le pistil. Une fois le pollen déposé sur le pistil, il produit un tube pollinique qui transporte les spermatozoïdes vers les ovules, où sont présentes les cellules reproductrices femelles. Ce rapprochement des cellules reproductrices mâles et femelles permet la fécondation et la production d'un embryon, qui après développement donnera une plantule, dans une graine (issue de la transformation de l'ovule), dans un fruit (issu de la transformation de l'ovaire). La germination de la graine conduit à la production d'une nouvelle plante.

par lequel chaque partenaire agit (*action*) sur l'autre (*inter*). Pour le pollinisateur, l'échange permet d'obtenir de la nourriture, sous la forme de nectar, un liquide sucré qui fournit l'énergie nécessaire à son activité, ou de pollen, qui constitue une source de protéines et de lipides importante, utilisée par

exemple pour nourrir les larves chez les abeilles. Cette nourriture assure la croissance, la survie et la reproduction des pollinisateurs, et ainsi le maintien de leurs populations. En retour, la plante obtient de cette interaction un transport (non intentionnel) de pollen par le pollinisateur, ce qui s'avère beaucoup moins hasardeux que de s'en remettre au vent, et lui assure une meilleure reproduction. Il s'agit donc d'une interaction à bénéfices réciproques, que l'on nomme un « mutualisme ».

Pourquoi ce processus de pollinisation est-il particulièrement important parmi les interactions écologiques ? Tout d'abord, parce que les plantes constituent la charpente du monde vivant actuel et de son fonctionnement : les quatre cinquièmes de la matière vivante sur la planète sont des plantes. Parce qu'elles sont capables de photosynthèse, c'est-à-dire de produire cette matière vivante à partir uniquement d'éléments minéraux et d'énergie lumineuse, elles sont, en outre, à la base de la plupart des chaînes alimentaires, fournissant de la nourriture pour les herbivores, qu'ils soient grands ou petits, et pour tous les autres groupes — animaux, champignons ou micro-organismes — qui se nourriront sur les plantes ou les organismes qu'elles alimentent. Cela inclut bien sûr les humains : nous dépendons totalement de ces chaînes alimentaires qui commencent par les plantes. Par ailleurs, les plantes piègent le dioxyde de carbone de l'atmosphère et stockent ainsi une très grande quantité de carbone, contribuant de ce fait à



Figure 3. Une vue d'artiste d'une forêt du Carbonifère.

tamponner les conséquences négatives des émissions humaines de ce gaz à effet de serre majeur. Elles participent donc fortement à limiter le réchauffement du climat, ceci également parce qu'elles transpirent : la transpiration des plantes fait baisser la température, ce dont on peut se rendre compte si l'on passe à proximité d'un parc en ville pendant une canicule, mais elle permet aussi d'humidifier l'atmosphère et d'entretenir des microclimats humides, comme autour de la forêt amazonienne.

Parmi toute la diversité des plantes, plus de 90 % est actuellement représentée par les plantes à fleurs. Cela n'a pas toujours été le cas. La figure 3 présente une vue d'artiste de l'aspect de la végétation

il y a 300 millions d'années, au Carbonifère. Elle comportait majoritairement des espèces du groupe des Fougères ainsi que des plantes du groupe des Gymnospermes, qui contient les actuels conifères, c'est-à-dire les pins, sapins et apparentés.

Déjà à cette époque, les interactions de pollinisation existaient, car les Gymnospermes produisent du pollen. Ces interactions sont attestées par des fossiles remarquablement préservés, dont certains montrent des grains de pollen sur le corps d'insectes. Elles ont donc émergé avant l'apparition des plantes à fleurs, dont la date est encore incertaine, mais il y a au moins 130 millions d'années, et peut-être encore plus précocement selon certains fossiles ou certaines estimations fondées sur l'étude de l'ADN des espèces actuelles⁴. Après leur apparition, les plantes à fleurs ont évolué rapidement, avec une augmentation du nombre de leurs espèces : on parle de « diversification » ou de « radiation ». Cette diversification a été si rapide que le biologiste Charles Darwin y voyait un « abominable mystère⁵ », car il n'avait pas toutes les clés à l'époque pour comprendre quels processus ont permis de passer aussi rapidement de quelques espèces à des centaines de milliers. Ces processus

4. Michael J. Benton, Peter Wilf et Hervé Sauquet, « The Angiosperm Terrestrial Revolution and the origins of modern biodiversity », *New Phytologist*, vol. 233, n° 5, 2022, p. 2017-2035, <https://doi.org/10.1111/nph.17822>.

5. Lettre privée adressée au botaniste Joseph Dalton Hooker, 22 juillet 1879, <https://cudl.lib.cam.ac.uk/view/MS-DAR-00095-00485/1>.

sont d'ailleurs encore débattus à ce jour, mais il est probable que les interactions avec les insectes y ont fortement contribué. Dans tous les cas, cette diversification des plantes à fleurs a eu des répercussions considérables sur l'évolution des insectes, dont plusieurs groupes, tel celui des abeilles, se sont eux-mêmes diversifiés juste après l'apparition des plantes à fleurs, comme en témoigne une augmentation rapide du nombre de groupes d'insectes interagissant avec les plantes à fleurs parmi le registre fossile.

L'évolution et la diversification des plantes à fleurs et des insectes pollinisateurs ont eu lieu en parallèle, on parle alors de « coévolution ». Cette coévolution fait intervenir le mécanisme universel de sélection naturelle. Le principe est simple : certains individus naissent avec des caractéristiques, apparues au hasard de mutations dans leur ADN, qui leur confèrent de meilleures capacités à croître, survivre ou se reproduire. Mécaniquement, ces individus vont donc produire plus de descendants que les autres, et les mutations de leur ADN qui leur confèrent ces caractéristiques avantageuses vont se répandre dans les populations de génération en génération. Prenons l'exemple des plantes et imaginons que l'ancêtre des plantes à fleurs avait des fleurs vertes comme le reste de la plante, difficiles à distinguer parmi la végétation. Imaginons maintenant un mutant présentant une modification de pigment de telle sorte que la fleur n'est plus verte,

mais jaune. Cette fleur jaune est beaucoup plus repérable par les insectes que les fleurs vertes des autres individus. Elle est de ce fait susceptible de recevoir davantage de visites de pollinisateurs, d'être mieux pollinisée et donc de produire davantage de graines et de descendants que les plantes à fleurs vertes. Dans les générations suivantes, il y aura ainsi de plus en plus de fleurs jaunes dans la population (fig. 4). Ce mécanisme est valable pour toute caractéristique des plantes qui leur permet de bénéficier d'un meilleur transport de pollen, et toute caractéristique des pollinisateurs qui leur permet de trouver plus facilement de la nourriture.

Cette coévolution a eu lieu en différents endroits du monde, avec différents partenaires, et a abouti à une grande diversité. Chez les plantes, cette diversité produite par l'évolution conjointe avec les pollinisateurs s'observe de façon frappante dans la taille, la forme, les couleurs et les odeurs des fleurs, qui sont les structures assurant la reproduction (fig. 5a). Elles peuvent avoir des formes très discrètes, vertes comme le reste de la plante, souvent pour des espèces dont le pollen est transporté par le vent. Observons par exemple la pelouse d'un jardin ou d'un parc au printemps : si elle n'a pas été tondu depuis quelque temps, on y distinguera de petits épis, semblables à des épis de blé miniatures, qui sont en réalité un ensemble de fleurs avec tous les éléments nécessaires à la reproduction, dont les étamines, lieu de la production du pollen. À l'extrême opposé, on trouve

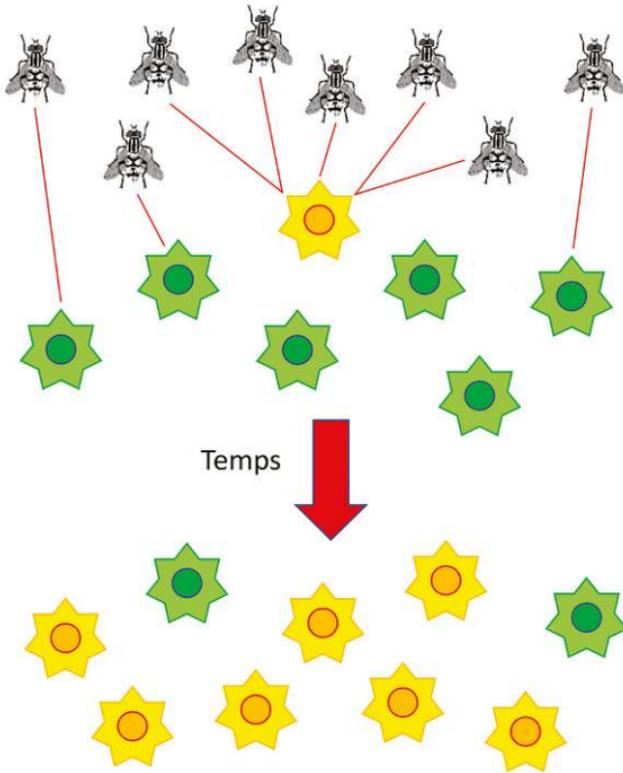


Figure 4. La sélection naturelle fait augmenter la fréquence des plantes à fleurs jaunes dans les populations.

En haut, une population de plantes à fleurs produisant majoritairement des fleurs vertes, à l'exception d'un mutant à fleurs jaunes. Les traits rouges reliant les pollinisateurs aux fleurs représentent des visites, qui permettent le transfert de pollen et donc une meilleure reproduction des plantes les plus visitées. En bas, la même population quelques générations plus tard.



Figure 5. Un aperçu de la diversité des plantes à fleurs et des pollinisateurs.

(a) Diversité des couleurs et des morphologies des fleurs dans le groupe des plantes à fleurs. De gauche à droite et de haut en bas : une espèce de rafflésie (*Rafflesia* sp.), le châtaigner commun (*Castanea sativa*), la grande pervenche (*Vinca major*), une espèce de fuchsia (*Fuchsia regia*), le ray-grass anglais (*Lolium perenne*), une espèce du genre *Aeonium*, l'ophrys bécasse (*Ophrys scolopax*), l'akébie à cinq feuilles (*Akebia quinata*), le coquelicot (*Papaver rhoeas*), la fleur chauve-souris (*Tacca chantrieri*), le trolle d'Europe (*Trollius europaeus*), la passiflore bleuâtre (*Passiflora caerulea*), le plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*), le pois vivace (*Lathyrus latifolius*), l'arum titan (*Amorphophallus titanum*), une espèce d'hibiscus (*Hibiscus clayi*), la crépide de Nîmes (*Crepis sancta*) et l'espèce *Erythrina lysistemon*.

par exemple les espèces de rafflésies, des plantes parasites qui n'ont ni tige, ni feuille, ni racine, et qui vivent sous forme de quelques cellules dans des lianes de la forêt tropicale asiatique. Ces plantes sont également très discrètes, en revanche, quand elles fleurissent, c'est tout autre chose : elles produisent des fleurs qui peuvent dépasser un mètre de diamètre et peser plus de dix kilos,



Figure 5 (suite). (b) Diversité des pollinisateurs en France. Ne sont présentés que les quatre principaux ordres de pollinisateurs actifs en France : hyménoptères, le groupe des abeilles, guêpes, bourdons, etc. (vert) ; diptères, le groupe des mouches (rouge) ; coléoptères, le groupe des coccinelles (bleu) ; lépidoptères, le groupe des papillons (orange).

mais qu'il est déconseillé d'offrir en bouquet, si toutefois on réussit à les porter : elles sentent le cadavre, car elles sont pollinisées par des mouches qui habituellement viennent pondre sur les chairs en décomposition.

Chez les insectes, cette diversité s'observe dans plusieurs groupes qui se sont spécialisés dans la pollinisation (fig. 5b). En particulier, le groupe des abeilles, où toutes les espèces — ou presque — sont impliquées dans la pollinisation, est apparu suite à l'émergence des plantes à fleurs. Ce groupe comporte bien sûr l'abeille domestique, la plus connue et la plus étudiée de ces

espèces, mais il existe des milliers d'autres espèces d'abeilles, sauvages. Et le rôle de pollinisation n'est clairement pas limité à ces insectes hyménoptères : beaucoup d'espèces de mouches, notamment les syrphes, ces petites mouches qui ressemblent à des abeilles ou des bourdons, contribuent de façon importante à la pollinisation, mais aussi des coléoptères et un grand nombre de papillons, dont des papillons de nuit. Hors d'Europe, bien d'autres groupes contribuent à la pollinisation, notamment des chauves-souris et d'autres petits mammifères, des oiseaux, dont les colibris, et parfois même des lézards, des escargots, ou des invertébrés marins pour les plantes à fleurs qui fleurissent sous l'eau, comme la posidonie.

La biodiversité, la diversité du vivant, est souvent présentée comme une collection d'espèces isolées, mais ce sont les interactions, et leur diversité, qui font « tourner la planète », car elles contrôlent les échanges de matières et d'énergie entre les êtres vivants, et avec l'air, les sols, les océans... La diversité de ces interactions peut se retrouver y compris au sein du microcosme que constituent les échanges entre une plante et les animaux qui la visitent. Sur la photographie de la figure 6, par exemple, nous observons bien sûr une relation mutualiste, à bénéfices réciproques, où l'espèce au centre de la fleur, la cétoine grise, trouve son alimentation en consommant du pollen et, par la même occasion, contribue à la reproduction de cette plante en transportant

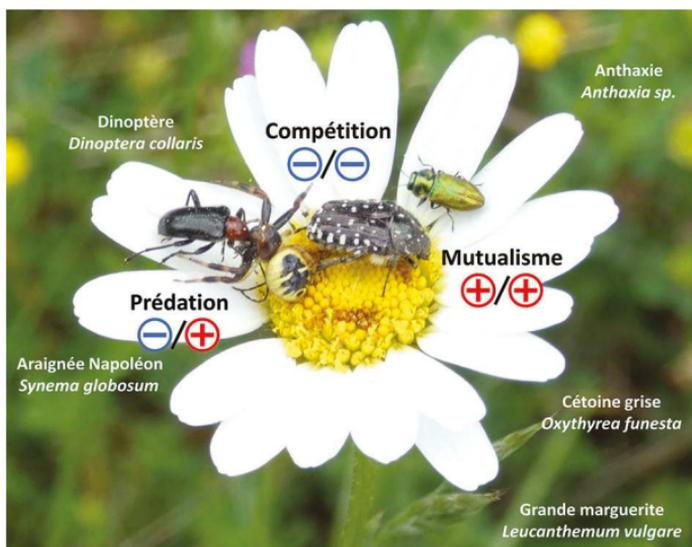


Figure 6. Une illustration de la diversité des interactions que l'on peut observer autour d'une fleur.

son pollen. Mais on trouve aussi une interaction de prédation, avec cette araignée-crabe Napoléon, qui porte si bien son nom (voyez-vous le bicorne ?), en train d'essayer de manger un dinoptère. Ici, l'interaction est bénéfique pour l'araignée, qui se nourrit, mais évidemment néfaste pour le dinoptère, qui va en mourir. Enfin, nous avons probablement un exemple d'interaction avec des effets négatifs réciproques, que l'on appelle « compétition » : la cétoine grise et ce coléoptère vert, une anthaxie, interfèrent sûrement l'un avec l'autre et sont ainsi moins efficaces pour prélever leur nourriture.

En plus d'impliquer d'autres groupes d'espèces que les seuls insectes pollinisateurs, les interactions

entre plantes et animaux peuvent s'étendre dans l'espace, grâce aux mouvements des individus. Prenons par exemple une espèce de sepside, une toute petite mouche que l'on trouve en France (photo en bas à gauche de la figure 7a). Cet insecte contribue, avec d'autres espèces, à la pollinisation, et donc à la production des fruits, du gui blanc, une espèce de plante que l'on côtoie parfois au Jour de l'an et dont les individus sont soit mâles, soit femelles. Du fait de cette séparation physique entre mâles et femelles, l'intervention des insectes dans la pollinisation, et donc dans la production de fruits, est d'autant plus importante. Or les fruits du gui sont très consommés par divers oiseaux, en particulier, en France, par des espèces de grives, dont certaines se reproduisent dans le nord de l'Europe, voire en Russie ou en Islande, et viennent passer la saison froide plus au sud.

Ces mouvements des individus peuvent être retracés grâce à un programme de marquage des oiseaux par pose de bagues métalliques portant un numéro unique. En France, un tel programme existe depuis le début du xx^e siècle ; il est actuellement piloté par le Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux, hébergé au Muséum national d'histoire naturelle. On peut ainsi obtenir les localisations des oiseaux marqués pour la grive mauvis entre l'endroit où ils ont été capturés pour la première fois et les endroits où ils ont été réobservés, soit vivants, soit morts, car c'est une espèce chassée. L'analyse de telles données montre que ces oiseaux

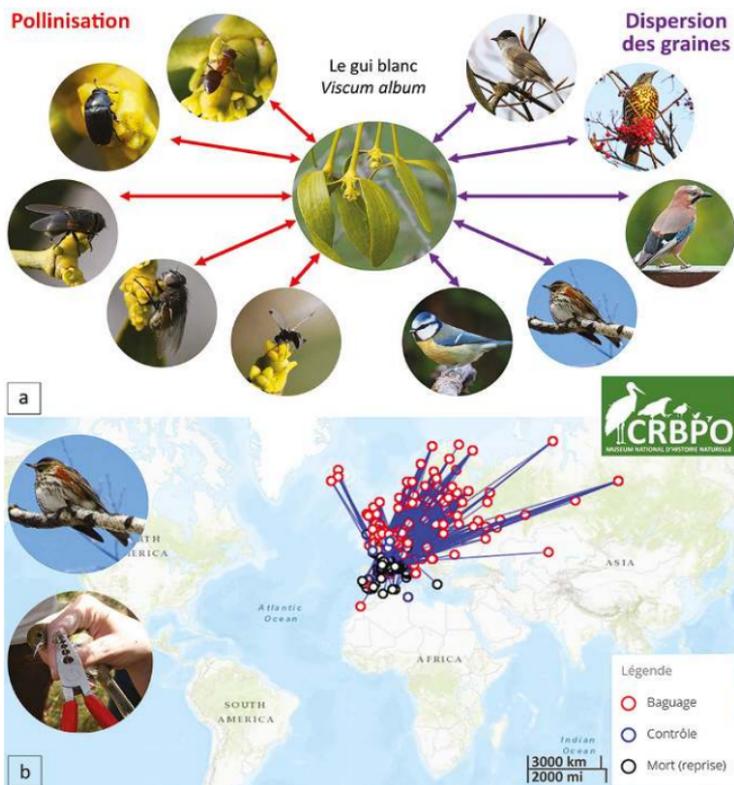


Figure 7. Diversité des interactions autour du gui blanc (*Viscum album*) et extension des interactions écologiques dans l'espace.

(a) Réseau d'interactions de pollinisation (à gauche) et de dispersion des graines (à droite). Insectes : de haut en bas, une fourmi, un nitidulide, deux espèces de mouches indéterminées et un sepside. Oiseaux : de haut en bas, une fauvette à tête noire, une grive draine, un geai des chênes, une grive mauvis et une mésange bleue.

(b) Déplacements des individus de grive mauvis (*Turdus iliacus*) retracés grâce au programme de baguage du Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux. Les cercles rouges marquent les endroits où les oiseaux ont été capturés pour la première fois et bagués ; les cercles bleus et noirs marquent les endroits où les individus ont été observés de nouveau, soit vivants (bleu), soit morts (noir).

sont capables de parcourir des milliers de kilomètres chaque année, par exemple entre la France, zone où les individus passent l'hiver, et l'Islande ou l'est de la Russie, où ils se reproduisent en été (fig. 7b).

On constate ainsi qu'une diminution de la taille de population d'une petite espèce de mouche apparemment anodine peut influencer la reproduction du gui, donc la quantité de boules de gui disponibles pour nourrir les grives, donc le nombre de grives mauvis pouvant survivre à l'hiver en France, et donc, par ricochet, avoir un effet sur une autre espèce de plantes, ou d'insectes, consommée par les grives en Islande ou en Russie. Cet exemple montre à lui seul que ce qui affecte une unique espèce peut rapidement se propager à l'échelle de la planète, selon la métaphore du battement d'aile de papillon qui provoque un ouragan à l'autre bout du monde, jusqu'à connecter tous les êtres vivants sur Terre.

Étudier les interactions plantes-pollinisateurs et, de façon générale, la diversité du vivant, c'est donc s'attaquer à des systèmes complexes, très interconnectés (fig. 8), que Robert Barbault, écologue et biologiste de la conservation, appelait « le tissu vivant de la planète⁶ ». John Muir, un écrivain et naturaliste américain militant pour la protection de la nature, disait de cette nature : « Quand nous essayons d'isoler un élément, nous réalisons qu'il est relié

6. Robert Barbault et Jacques Weber, *La vie, quelle entreprise ! Pour une révolution écologique de l'économie*, Paris, Seuil, 2010, p. 15.

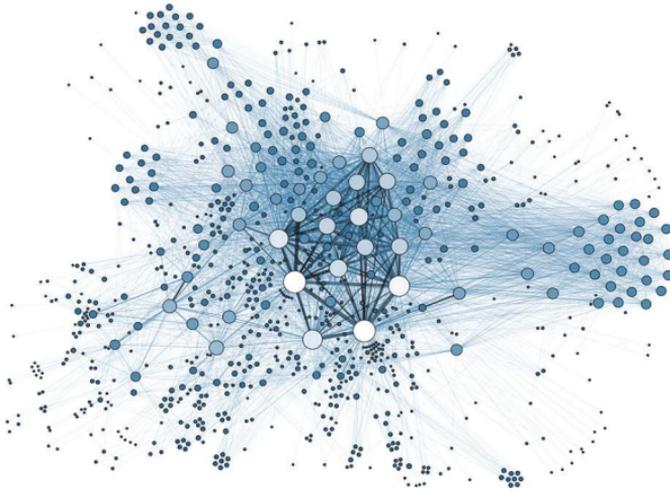


Figure 8. Une représentation d'un réseau d'interactions, ici un réseau social.

solidement, par un millier de fils invisibles qui ne peuvent être rompus, à tout le reste dans l'univers⁷ », ce qui représente particulièrement bien, à mon sens, cette interdépendance généralisée entre tous les êtres vivants de la planète, qui assure le bon fonctionnement de cette dernière.

C'est l'objet de l'écologie en tant que discipline scientifique de comprendre cette complexité en étudiant les interactions entre les êtres vivants et leur environnement, que cet environnement soit les

7. John Muir, carnet du 27 juillet 1869, cité dans Stephen Fox, *The American Conservation Movement: John Muir and His Legacy*, Boston, Little, Brown & Company, 1981, p. 291.

autres êtres vivants ou l'environnement physique : le sol, l'air, l'eau, etc. Les chercheurs et chercheuses en écologie vont souvent gambader dans la nature à la poursuite des petites fleurs et des papillons, et cela peut constituer un aspect attractif du métier. Mais cela ne suffit pas. Il faut aussi, et surtout, être capable de quantifier la dynamique de ces systèmes, de conceptualiser leur fonctionnement et le rôle des interactions dans ce fonctionnement, et pouvoir identifier des lois générales au milieu de cette diversité. La modélisation mathématique est un outil possible, très utilisé en écologie, pour quantifier, conceptualiser et comprendre le fonctionnement de ces systèmes complexes.

Par exemple, dans le cas des réseaux d'interactions entre espèces, lorsqu'on compare les interactions entre plantes et herbivores d'une part et entre plantes et pollinisateurs d'autre part, et qu'on décrit la structure générale de ces réseaux, on constate qu'en moyenne les réseaux de type plantes/herbivores sont davantage modulaires, avec des petits groupes d'espèces qui interagissent préférentiellement entre elles et peu avec les autres groupes. Les réseaux de type plantes/pollinisateurs, quant à eux, sont plus emboîtés, avec notamment des espèces très généralistes de plantes qui interagissent avec un grand nombre d'espèces de pollinisateurs et *vice versa*, ce qui crée des liens forts entre toutes les espèces du réseau. Une approche par modélisation mathématique a permis de démontrer que la structure de ces

deux types de réseaux favorisait leur stabilité face à des perturbations de l'environnement⁸. En d'autres termes, les réseaux plantes/pollinisateurs sont d'autant plus stables qu'ils sont plus emboîtés, tandis que les réseaux plantes/herbivores sont d'autant plus stables qu'ils sont plus modulaires.

Les interactions plantes-pollinisateurs en péril

Les interactions plantes-pollinisateurs sont donc un mutualisme établi depuis plus de cent millions d'années, qui a traversé avec succès des changements environnementaux majeurs au cours de l'histoire de la Terre, des réchauffements, des glaciations, et qui a été façonné par les lois de l'évolution et de l'écologie pour faire face à ces variations de l'environnement. Nous, les êtres humains, faisons partie de ces éléments, nous sommes nous aussi reliés au reste de l'univers par ces fils invisibles, pourtant il semble que nous soyons en train de réaliser de gros accrocs dans ce tissu vivant de la planète, notamment, mais pas uniquement, en provoquant la disparition des insectes, avec des conséquences pour le fonctionnement de l'ensemble.



8. Elisa Thébault et Colin Fontaine, « Stability of ecological communities and the architecture of mutualistic and trophic networks », *Science*, vol. 329, n° 5993, 2010, p. 853-856, <https://doi.org/10.1126/science.1188321>.

Comment nous rendons-nous compte que les insectes disparaissent ? Ce n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire. Idéalement, pour mesurer les changements dans l'abondance d'un groupe, il faudrait ce que l'on appelle des « suivis standardisés », c'est-à-dire des observations répétées dans le temps, au même endroit, toujours de la même façon, avec la même méthode, et sur la totalité du territoire que l'on souhaite étudier, non uniquement sur quelques sites davantage préservés. Ces suivis standardisés existent pour quelques groupes, par exemple en France pour les oiseaux, avec le Suivi temporel des oiseaux communs mis en place à la fin des années 1980. Bien qu'ils soient arrivés un peu tard, ces suivis montrent de nombreux changements, notamment une diminution de l'abondance de la plupart des espèces, particulièrement celles qui habitent les espaces agricoles.

Pour les plantes et les pollinisateurs, la situation est plus compliquée, car ils attirent moins les naturalistes que les oiseaux, pour plusieurs raisons. D'une part, ils sont trop diversifiés. La France métropolitaine, par exemple, héberge environ 600 espèces d'oiseaux, mais 6 000 espèces de plantes et au moins 40 000 espèces d'insectes. Ils sont aussi trop petits, pas assez jolis... Il y a bien quelques naturalistes et taxonomistes motivé-es pour aller étudier les papillons de jour, les abeilles, les orchidées, plutôt dans les pays industrialisés... Mais pour les ronces ou les mouches du groupe des Empididae, de petites

mouches bossues dont l'apparence ne satisfait pas aux canons de la beauté définis par les sociétés humaines, ou pour étudier le reste du globe, il existe bien trop peu de personnes compétentes et intéressées, alors même que les ronces sont une source de nourriture importante pour les pollinisateurs, que les Empididae contribuent considérablement à la pollinisation de certaines plantes et que la connaissance et la conservation des interactions plantes-pollinisateurs sont cruciales partout dans le monde.

Heureusement, il existe tout de même quelques poignées de naturalistes passionné-es qui se sont intéressé-es aux plantes et aux insectes. Cet effort a d'abord visé à décrire l'extrême diversité de ces deux groupes, notamment à travers la récolte de spécimens pour les collections naturalistes — et le Muséum national d'histoire naturelle abrite à ce titre une des collections les plus volumineuses du monde. Cependant, il s'est fait de manière souvent désordonnée, chacun avec sa méthode, au gré des expéditions aux quatre coins du monde, et il en résulte des données qualifiées d'« opportunistes », avec beaucoup de biais, comme nous allons le voir.

Ce sont aussi souvent des données dites « d'occurrence », qui indiquent qu'une espèce est présente à un endroit à un moment. Quand une espèce n'est pas notée quelque part, on ne sait pas si c'est parce qu'elle était absente de ce lieu, ou parce qu'une personne est venue, l'a observée, mais n'a pas jugé utile ou intéressant de déclarer cette observation

(c'est souvent le cas pour les espèces communes), ou bien tout simplement parce que personne n'est allé observer cet endroit. Dès lors, il devient difficile d'évaluer si des changements observés au cours du temps sont des changements réels du monde vivant ou seulement des changements dans la façon dont il est observé. Par ailleurs, il faut attendre longtemps, qu'une espèce disparaisse d'un endroit, avant de détecter un changement, alors que si l'on mesurait l'abondance, le nombre d'individus, on pourrait détecter plus directement des changements subtils. La météorologie, par exemple, a harmonisé mondialement la manière de mesurer la température dès la deuxième moitié du XIX^e siècle, tandis que nous n'avons que très peu de programmes pour mesurer l'abondance des espèces de manière identique — et, de nouveau, ceux qui existent sont récents et ne concernent que quelques groupes charismatiques, comme les oiseaux ou les papillons.

Une façon rapide de se rendre compte de ces biais dans les données récoltées est de consulter la carte des données mondiales fournie par le Global Biodiversity Information Facility⁹, une initiative internationale pour regrouper toutes les données de biodiversité. La carte présentée en page d'accueil du site montre une quantité impressionnante d'informations : plus de 2,6 milliards de données

9. Voir <https://www.gbif.org/>. La carte des données mondiales de biodiversité est visible tout en bas de la page d'accueil de ce site.

d'occurrence à ce jour ; sur la carte, les couleurs vertes les plus claires indiquent les zones avec le plus de données. On observe notamment que les données sont beaucoup plus nombreuses dans le monde occidental : Europe, surtout de l'Ouest, Amérique du Nord, Japon, etc. Ce biais dans l'espace, associé à d'autres biais — dans le temps, entre groupes du vivant —, suggère que les données opportunistes disponibles ne sont pas uniquement représentatives de la diversité du monde vivant, mais aussi de la façon dont elles sont récoltées. Nous sommes donc en présence de données massives — le *big data* — qui se révèlent en fait plus ou moins utiles selon les questions que l'on pose. Ou, pour citer Bruno Strasser et Paul Edwards¹⁰ : « Le *big data* est la réponse. Mais quelle est la question ? » Ces données sont extrêmement utiles pour décrire de nouvelles espèces, ou encore pour caractériser les changements d'activité des insectes pendant une année ; elles sont en revanche beaucoup plus compliquées à utiliser quand il s'agit de décrire les changements en cours de l'abondance et de la diversité des espèces.

Des collègues britanniques se sont par exemple appuyés sur des travaux en statistique menés dans les années 1960 pour montrer que le volume des

10. Bruno J. Strasser et Paul N. Edwards, « Big Data is the answer... But what is the question? », *Osiris*, vol. 32, n° 1, 2017, p. 328-345, <https://doi.org/10.1086/694223>.

données ne peut corriger les biais existants¹¹. Ils ont utilisé pour cela la callune, une espèce de la famille des bruyères, qui est un modèle idéal car on peut connaître sa distribution réelle par la photographie aérienne, grâce aux tapis de fleurs roses qu'elle forme et qui sont très visibles du ciel. La distribution de la callune en Grande-Bretagne peut aussi être mesurée grâce aux données recueillies par les botanistes anglais, qui sont très nombreux du fait d'une importante tradition naturaliste dans ce pays : ils ont visité près de 20 000 sites d'un kilomètre carré, ce qui est considérable. Mais il s'avère que la distribution des botanistes ayant réalisé des observations est quasiment opposée à la distribution de la callune : les observations de cette espèce sur le terrain ne correspondent pas du tout à la distribution réelle. Il en résulte que l'abondance de la callune en Grande-Bretagne est très sous-estimée par ces données opportunistes et que son estimation est aussi éloignée de la valeur réelle que si elle avait été réalisée à partir de seulement 28 sites bien distribués sur tout le territoire.

Avec ces collègues britanniques, nous soulignons dans une étude commune l'importance d'identifier ces biais dans les données, de les déclarer et, si possible,

11. Robin J. Boyd, Gary D. Powney et Oliver L. Pescott, « We need to talk about nonprobability samples », *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 38, n° 6, 2023, p. 521-531, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2023.01.001>.

de les corriger, pour être en mesure de produire des conclusions solides sur les changements de biodiversité en cours¹². Ces résultats mettent surtout en avant le fait que, pour caractériser les changements actuels, il n'est pas utile de multiplier à l'infini la quantité de données de biodiversité récoltées de façon désordonnée. Mieux vaut concentrer ses efforts sur un plus petit nombre de données récoltées de façon bien structurée, c'est-à-dire avec une méthodologie cadrant la procédure de choix des sites étudiés et d'obtention des données.

Voici un exemple de situation où l'hétérogénéité des données et de la façon de les analyser peut conduire à des conclusions opposées. En 2020, trois articles importants faisant état de changements dans les populations d'insectes sont parus. Le premier, à l'échelle mondiale, concluait à un déclin des insectes terrestres, mais à une augmentation moyenne de l'abondance des insectes aquatiques¹³. Le deuxième, pour les États-Unis, montrait à partir de données de sites suivis à long terme qu'il n'y avait aucun déclin net de l'abondance ou de la diversité,

12. Robin J. Boyd, Gary D. Powney, Fiona Burns *et al.*, « ROBITT: A tool for assessing the risk-of-bias in studies of temporal trends in ecology », *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 13, n° 7, 2022, p. 1497-1507, <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13857>.

13. Roel van Klink, Diana E. Bowler, Konstantin B. Gongalsky *et al.*, « Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances », *Science*, vol. 368, n° 6489, 2020, p. 417-420, <https://doi.org/10.1126/science.aax9931>.

mais là encore sans méthode homogène entre sites¹⁴. Enfin, le troisième, pour le Royaume-Uni, élaboré à partir de données opportunistes d'occurrence, constatait des changements, mais ne leur attribuait pas de sens privilégié, parlant plutôt de variations complexes dans l'abondance des insectes¹⁵. Ces trois articles proposaient donc des résultats contradictoires. Avec quelques collègues, nous avons montré qu'une partie de ces contradictions venaient du fait que la période de référence des données utilisées commençait à des dates différentes. Cette période de référence n'a pas beaucoup d'importance si l'abondance des insectes diminue de façon régulière : quel que soit le point de départ, on en déduit toujours qu'il y a une diminution. En revanche, si l'abondance varie de façon irrégulière, avec des périodes d'augmentation et des périodes de diminution, ce qui est très souvent le cas chez les insectes, alors la date de début de l'étude est déterminante. Si l'on commence à mesurer par exemple pendant un pic d'abondance, on conclut que l'abondance est en train de diminuer.

14. Michael S. Crossley, Amanda R. Meier, Emily M. Baldwin *et al.*, « No net insect abundance and diversity declines across US Long Term Ecological Research sites », *Nature Ecology & Evolution*, vol. 4, 2020, p. 1368-1376, <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1269-4>.

15. Charlotte L. Outhwaite, Richard D. Gregory, Richard E. Chandler *et al.*, « Complex long-term biodiversity change among invertebrates, bryophytes and lichens », *Nature Ecology & Evolution*, vol. 4, 2020, p. 384-392, <https://doi.org/10.1038/s41559-020-1111-z>.

Mais si l'on commence à mesurer pendant un creux d'abondance, on conclut le contraire. En intégrant les effets de cette date de référence dans les analyses statistiques, nous montrons que les trois études produisent en fait des résultats convergents¹⁶. Mais nous soulignons aussi qu'en l'état actuel des connaissances, avec ce type de données opportunistes très biaisées, on ne peut conclure si l'abondance des insectes augmente ou diminue à grande échelle.

Il est donc indispensable de mettre en place un effort collectif pour homogénéiser la façon dont nous mesurons les changements du vivant. De façon générale, la recherche est un processus éminemment collectif. Comme je l'ai déjà indiqué, j'ai été invitée individuellement sur cette chaire au Collège de France, mais tous les travaux présentés ici sont les résultats de collaborations. En histoire naturelle, face à l'extraordinaire diversité du monde vivant, toutes les forces vives sont requises pour décrire et comprendre son fonctionnement. Le Muséum national d'histoire naturelle ne s'y trompait pas, qui, au XIX^e siècle, éditait un guide pour conseiller les voyageurs dans la collecte d'objets d'histoire naturelle. Les sciences participatives, des programmes de recherche associant chercheurs, chercheuses et

16. François Duchenne, Emmanuelle Porcher, Jean-Baptiste Mihoub *et al.*, « Controversy over the decline of arthropods: A matter of temporal baseline? », *Peer Community Journal*, vol. 2, 2022, art. e33, <https://doi.org/10.24072/pcjournal.131>.

participant-es bénévoles pour répondre à une question scientifique, contribuent à cette construction commune des connaissances par l'ensemble des membres d'une société. Elles peuvent être particulièrement utiles pour accroître les connaissances sur des parties du vivant où les forces en puissance dans le monde académique ne sont pas suffisantes, comme les insectes.

Au Muséum national d'histoire naturelle, et maintenant en collaboration avec l'Office français de la biodiversité, il existe un tel projet de sciences participatives, qui a pour objet de mieux caractériser et comprendre les changements en cours de la biodiversité : le réseau Vigie-nature¹⁷, qui propose des observatoires pour tous les types de publics, depuis les naturalistes confirmé-es jusqu'aux personnes sans connaissances *a priori*, simplement curieuses de nature, et pour un grand nombre de groupes : oiseaux, chauves-souris, algues, mollusques, mais aussi, bien sûr, insectes et plantes. Ces programmes proposent de suivre un protocole afin que tous et toutes les participant-es récoltent les données de la même façon ; ils sont également non destructifs — c'est important — et construits en partenariat avec des associations naturalistes.

J'ai eu l'occasion de travailler avec ces programmes de sciences participatives, qui montrent

17. Voir <https://www.vigienature.fr/>.

tous des changements majeurs dans le vivant. Par exemple, Vigie-flore¹⁸ est un observatoire qui mobilise des centaines de botanistes bénévoles depuis 2009 pour suivre les changements de la flore en France. Ce suivi a permis de montrer que la flore française est en train de se transformer face au réchauffement climatique, avec une augmentation au cours du temps des préférences de température des espèces, comme l'illustre le graphique de la figure 9a¹⁹. Nous montrons aussi que ces transformations ne sont malheureusement pas assez rapides en comparaison de la vitesse du changement du climat²⁰.

L'Observatoire agricole de la biodiversité²¹ est un programme à destination des agriculteurs et agricultrices, qui sont invité·es à observer les espèces sauvages dans leurs champs, dont les abeilles et les papillons, et à indiquer quelles sont leurs pratiques agricoles. Ce programme a permis de montrer une diminution générale de l'abondance des abeilles et des papillons, mais qui dépend desdites pratiques agricoles (fig. 9b) : dans les champs qui reçoivent

18. Voir <https://www.vigienature.fr/fr/vigie-flore>.

19. Gabrielle Martin, Vincent Devictor, Eric Motard, Nathalie Machon et Emmanuelle Porcher, « Short-term climate-induced change in French plant communities », *Biology Letters*, vol. 15, n° 7, 2019, art. 20190280, <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0280>.

20. François Duchenne, Gabrielle Martin et Emmanuelle Porcher, « European plants lagging behind climate change pay a climatic debt in the North, but are favoured in the South », *Ecology Letters*, vol. 24, n° 6, 2021, p. 1178-1186, <https://doi.org/10.1111/ele.13730>.

21. Voir <https://www.observatoire-agricole-biodiversite.fr/>.

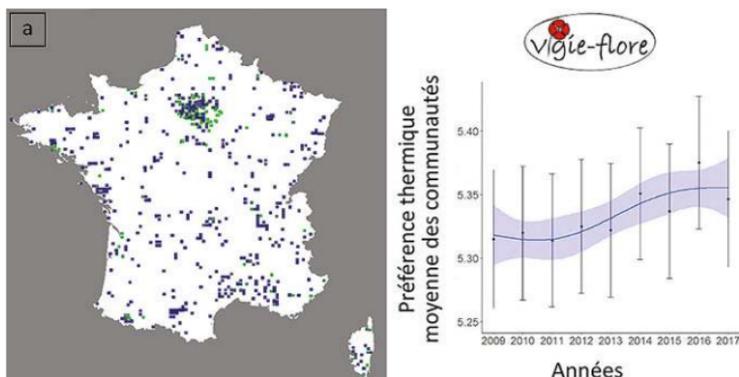


Figure 9. Deux exemples de programmes de sciences participatives permettant de démontrer des changements au cours du temps (a) dans la composition des communautés de plantes et (b) dans l’abondance des pollinisateurs.

(a) Vigie-flore est un programme de suivi de la flore commune s’adressant aux botanistes experts. Il a été lancé en 2009 avec le soutien du réseau de botanistes francophones Tela botanica²². Il a permis de suivre les changements de la flore sur plus de 3 800 sites en France (carte de gauche, les sites suivis plus longtemps sont indiqués avec des couleurs tirant vers le vert). Le graphique montre une augmentation de la préférence thermique moyenne des communautés de plantes au cours du temps depuis 2009²³.

de grandes quantités de pesticides et d’engrais minéraux, la diminution est la plus marquée. En revanche, dans les parcelles cultivées avec des pratiques plus respectueuses de l’environnement, de type agroécologique, on peut observer des ré-augmentations de l’abondance des pollinisateurs, ce qui est une bonne nouvelle²⁴.

22. Voir <https://www.tela-botanica.org/>.

23. D’après Gabrielle Martin *et al.*, « Short-term climate-induced change in French plant communities », *op. cit.*

24. Olivier Billaud, Rose-Line Vermeersch et Emmanuelle Porcher, « Citizen science involving farmers as a means to document temporal trends

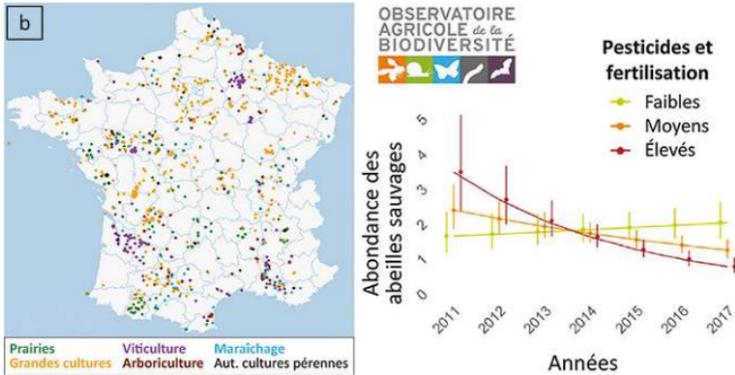


Figure 9 (suite). (b) L'Observatoire agricole de la biodiversité est un programme de suivi des espèces sauvages des champs s'adressant aux agricultrices et agriculteurs. Il permet de suivre les changements d'abondance des abeilles sauvages, des papillons, des vers de terre, des invertébrés du sol et des chauves-souris dans plus de 3 000 parcelles en France. La carte de gauche montre la distribution des parcelles suivies au moins une année, avec les différents types de culture distingués par des couleurs différentes. Le graphique montre les variations d'abondance moyennes des abeilles sauvages au cours du temps en fonction de l'intensité des pratiques (utilisation de pesticides et d'engrais minéraux)²⁵.

Ces travaux sont parmi les premiers à montrer des changements d'abondance des plantes et des pollinisateurs à l'échelle nationale, à partir de suivis standardisés. Ils sont en accord avec plusieurs initiatives semblables dans d'autres pays, la plupart s'appuyant sur des sciences participatives. Ils démontrent sans

in farmland biodiversity and relate them to agricultural practices », *Journal of Applied Ecology*, vol. 58, n° 2, 2021, p. 261-273, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13746>.

25. D'après Olivier Billaud *et al.*, voir la note précédente.

ambiguïté des changements majeurs dans le groupe des plantes et celui des pollinisateurs, dans un sens plutôt négatif — et ce, malgré les controverses qui persistent autour de l'analyse des données opportunistes que j'ai évoquées plus haut.

Face au constat de modifications profondes chez les plantes et les pollinisateurs, un autre défi de taille est de réussir à identifier les causes de ces changements, idéalement pour les faire disparaître. On connaît désormais très bien les principaux moteurs des changements de biodiversité en général, qui agissent aussi sur les plantes et les pollinisateurs. Il s'agit en premier lieu de la destruction des habitats naturels des espèces, mais également des pollutions diverses, dont celles par les pesticides, des dérèglements climatiques, dont les effets commencent à être détectables et vont probablement s'amplifier à l'avenir, et enfin de l'introduction d'espèces exotiques ou, dans une moindre mesure pour les plantes et les insectes, de la surexploitation des populations naturelles, par exemple pour certaines espèces de gentianes utilisées pour fabriquer des liqueurs. Ces mécanismes sont produits par diverses activités humaines, et un grand défi est d'être capable d'isoler les effets respectifs de ces activités, si l'on veut pouvoir proposer des mesures pour la préservation des plantes et des pollinisateurs. Une partie significative de mes travaux porte ainsi sur les effets de l'agriculture industrielle.

Cette agriculture industrielle est considérée comme une des toutes premières causes des changements actuels de biodiversité, ce qu'ont démontré très récemment en Europe des travaux sur les oiseaux utilisant, par exemple, les données du Suivi temporel des oiseaux communs pour la France²⁶. Dans cette étude, l'agriculture industrielle est identifiée comme la première cause de diminution des populations d'oiseaux en Europe. Avec plusieurs collègues, nous essayons d'aller plus loin et d'isoler spécifiquement les effets des différentes variables qui caractérisent une agriculture intensive, toujours sur les oiseaux. Et nous montrons que l'abondance des espèces d'oiseaux dans les paysages agricoles est souvent reliée de façon négative à l'utilisation de pesticides à cet endroit, ceci toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire en contrôlant les autres caractéristiques de l'agriculture. Il semble donc que ces pesticides soient une source importante de disparition des oiseaux, possiblement en partie parce que les graines de plantes et, surtout, les insectes dont ils se nourrissent sont en train de disparaître. Des études sont en cours pour tester cet effet des pesticides sur plantes et insectes.

26. Stanislas Rigal, Vasilis Dakos, Hany Alonso *et al.*, « Farmland practices are driving bird population decline across Europe », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 120, n° 21, 2023, art. e2216573120, <https://doi.org/10.1073/pnas.2216573120>.

Des conséquences multiples au déclin des plantes et des pollinisateurs

Ces modifications majeures des communautés de pollinisateurs sont susceptibles d'avoir des conséquences sur les plantes, et bien au-delà. Assez intuitivement, nous pouvons d'abord nous attendre à une moins bonne pollinisation des plantes du fait d'une moindre abondance ou diversité des pollinisateurs, ce qui aura des effets sur la reproduction des plantes qui dépendent le plus des pollinisateurs. Avec le programme Vigie-flore, nous montrons en effet que ces espèces ont une abondance qui diminue en moyenne, contrairement aux espèces non dépendantes des pollinisateurs.

Ces résultats concordent avec d'autres études sur le plus long terme révélant des disparitions conjointes localement de certaines plantes et de leurs pollinisateurs, comme pour le bleuet, une espèce représentée très densément sur le tableau de Vincent Van Gogh intitulé *Champ de blé aux bleuets* (1890), mais qui a été en forte régression dans les espaces agricoles. L'intérêt du programme Vigie-flore, qui récolte des données d'abondance, est de permettre de quantifier ces changements quasiment en temps réel, autrement dit, quand il est encore temps d'agir, contrairement aux données d'occurrence, avec lesquelles il faut attendre la disparition des espèces pour détecter un changement.

Cette disparition des pollinisateurs et les problèmes de reproduction qu'elle entraîne imposent également de nouvelles pressions de sélection sur les plantes. Il se trouve que chez la majorité des plantes à fleurs, les fonctions femelle et mâle de la reproduction sont présentes dans chaque individu, souvent au sein de chaque fleur. Cette particularité octroie aux plantes la capacité de se reproduire avec elles-mêmes, ce qu'on appelle de l'« autofécondation ». Si les pollinisateurs deviennent plus rares, alors il est possible que les caractéristiques des plantes qui favorisent l'autofécondation, par exemple un rapprochement des parties femelle (le pistil) et mâle (les étamines) de la fleur, leur permettent de produire des graines et donc des descendants plus facilement, et soient elles-mêmes favorisées par la sélection naturelle.

J'ai travaillé sur des modèles mathématiques qui prédisent qu'une telle évolution vers davantage d'autofécondation serait effectivement favorisée en l'absence de pollinisateurs²⁷. Dans les années 2010, cette prédiction a été confirmée par des approches expérimentales qui ont délibérément privé les plantes de pollinisateurs et les ont laissées évoluer

27. Emmanuelle Porcher et Russell Lande, « The evolution of self-fertilization and inbreeding depression under pollen discounting and pollen limitation », *Journal of Evolutionary Biology*, vol. 18, n° 3, 2005, p. 497-508, <https://doi.org/10.1111/j.1420-9101.2005.00905.x>.

pendant plusieurs générations²⁸. Ces expériences montrent que les caractéristiques des fleurs qui favorisent l'autofécondation apparaissent rapidement, et que la fréquence de l'autofécondation augmente donc rapidement dans ces populations. Plus récemment, l'année dernière, une approche d'écologie de la résurrection a montré que ces changements ont lieu en ce moment même dans les populations naturelles²⁹. Les auteurs ont ressuscité une population de pensées sauvages vieille de vingt ans en utilisant un ancien stock de graines qu'ils ont mis à germer, et ils ont comparé les caractéristiques des plantes à celles des populations actuelles de cette même espèce. Ils ont constaté, comme dans les populations expérimentales, que la fréquence de l'autofécondation avait augmenté : les plantes se reproduisent plus souvent avec elles-mêmes qu'avec d'autres individus. Mais plus grave encore, les caractéristiques des fleurs qui attirent les pollinisateurs sont en train de disparaître : par rapport à la population ancestrale

-
28. Sarah A. Bodbyl Roels et John K. Kelly, « Rapid evolution caused by pollinator loss in *Mimulus guttatus* », *Evolution*, vol. 65, n° 9, 2011, p. 2541-2552, <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2011.01326.x> ; Daniel D.L. Gervasi et Florian P. Schiestl, « Real-time divergent evolution in plants driven by pollinators », *Nature Communications*, vol. 8, 2017, art. 14691, <https://doi.org/10.1038/ncomms14691>.
29. Samson Acoca-Pidolle, Perrine Gauthier, Louis Devresse *et al.*, « Ongoing convergent evolution of a selfing syndrome threatens plant-pollinator interactions », *New Phytologist*, vol. 242, n° 2, 2023, p. 717-726, <https://doi.org/10.1111/nph.19422>.

il y a vingt ans, les fleurs sont plus petites et produisent moins de nectar. Cela peut sembler une bonne nouvelle pour les plantes, qui parviennent à se reproduire en se passant des pollinisateurs, mais ce n'est pas du tout le cas.

Ce qui est en train de se produire, c'est la mise en place d'un véritable cercle infernal qui peut conduire à la disparition des plantes comme des pollinisateurs. S'il y a moins de pollinisateurs, la pollinisation est moins efficace. Par conséquent, soit les plantes produisent moins de graines, ce qui peut faire diminuer la taille des populations, soit la sélection naturelle favorise les caractéristiques qui augmentent la capacité d'autofécondation chez les plantes, et donc le maintien des populations de plantes dans un premier temps. Dans les deux cas, cela conduit à une diminution des ressources alimentaires disponibles pour les pollinisateurs, donc à moins de pollinisateurs, et ainsi de suite, jusqu'à aboutir à leur disparition. Pour ce qui est des plantes, les populations qui ne parviendront pas à se passer des pollinisateurs sont également condamnées à court terme. Quant à celles qui auront réussi à se reproduire sans pollinisateurs, par autofécondation, les études de l'histoire évolutive des plantes sur le long terme montrent qu'elles sont elles aussi condamnées, car ces populations ont une diversité génétique plus faible que les populations qui se reproduisent par croisements entre individus, et ne sont plus capables de s'adapter suffisamment vite aux variations de

leur environnement³⁰. C'est particulièrement le cas à l'heure actuelle où les humains imposent des changements très rapides de l'environnement aux autres êtres vivants.

Il semble donc effectivement que la pollinisation des espèces sauvages soit affectée par la disparition des insectes. Qu'en est-il de la pollinisation des plantes cultivées, qui nous concerne très directement puisque les deux tiers des espèces de plantes cultivées dépendent au moins en partie des pollinisateurs pour leur production de graines et de fruits ? Je citerai simplement deux exemples en lien avec notre quotidien : le café, et plus encore, le cacao. Pour ces deux espèces, des modèles de projection climatique suggèrent que nous pourrions subir des pénuries dues à la disparition de leurs pollinisateurs³¹. À l'échelle mondiale, nous disposons de données qui suggèrent que ces espèces dépendantes des pollinisateurs ont des rendements plus faibles, mais aussi plus variables au cours du temps, que les espèces non dépendantes comme les céréales ; rendements qui sont difficilement améliorables par des ajouts d'engrais ou de pesticides. Pour un exemple

30. Emma E. Goldberg, Joshua R. Kohn, Russell Lande *et al.*, « Species selection maintains self-incompatibility », *Science*, vol. 330, n° 6003, 2010, p. 493-495, <https://doi.org/10.1126/science.1194513>.

31. Joseph Millard, Charlotte L. Outhwaite, Silvia Ceașu *et al.*, « Key tropical crops at risk from pollinator loss due to climate change and land use », *Science Advances*, vol. 9, n° 41, 2023, art. eadh0756, <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh0756>.

concret, en France, en Bourgogne, on estime que le rendement des cultures de cassis est actuellement divisé par quatre du fait du manque de pollinisateurs. Avec des collègues, nous avons conçu un indice qui permet d'estimer l'efficacité de la pollinisation de toutes les espèces cultivées. Cet indice montre un fort déficit de pollinisation dans le nord de la France, une zone très défavorable aux pollinisateurs du fait de son agriculture intensive et de son climat³².

Il est encore temps : des solutions pour conserver les plantes, les pollinisateurs et leurs interactions

C'est un tableau bien sombre, quoique réaliste, de la situation actuelle que j'ai dépeint ci-dessus ; mais il existe des solutions pour préserver le vivant en général, et les interactions plantes-pollinisateurs en particulier.

La biologie de la conservation s'est développée face à ce constat, au départ comme une discipline de gestion de crise, donnant la priorité à des populations ou des espaces naturels particulièrement

32. Gabrielle Martin, Colin Fontaine, Francesco Accatino et Emmanuelle Porcher, « New indices for rapid assessment of pollination services based on crop yield data: France as a case study », *Ecological Indicators*, vol. 101, 2019, p. 355-363, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.022>.

menacés d'extinction et souvent à des espèces ou des espaces remarquables, que la société a identifiés comme ayant une forte valeur autre qu'économique. C'est typiquement le cas du panda, qui est devenu l'emblème du WWF (World Wide Fund for Nature) ; pour les plantes, c'est par exemple le sabot de Vénus, l'orchidée qui possède les plus grosses fleurs dans l'Hexagone, et pour les insectes, l'Apollon, un joli papillon blanc à ocelles noires et rouges qui, depuis les années 1990, a disparu d'un tiers des départements où il était présent. Ce souci pour une partie de la biodiversité particulièrement menacée et dans l'urgence s'est ensuite étendu à l'ensemble du vivant, avec le concept de « nature ordinaire », c'est-à-dire la nature que l'on peut observer autour de nous tous les jours, mais qui n'en est pas moins en train de changer également, comme l'ont montré les suivis standardisés mis en place à partir des années 1990. À cette nature ordinaire, on a pu associer le concept instrumental de « services écosystémiques », qui représente les avantages que nous tirons des êtres vivants sauvages, comme de la nourriture, un air et une eau de qualité, une régulation du climat, des sources d'inspiration, etc.

Dans les deux cas, de nombreux types d'actions ont été proposés pour préserver ces populations ou ces espaces, qu'ils soient remarquables ou ordinaires. Il y a quelques années, une synthèse de près de 13 000 articles scientifiques publiés depuis le début des années 2000 permettait d'évaluer l'efficacité de

ces actions de conservation³³. Parmi ceux-ci, plus de 1 000 articles étudiaient des actions concrètes de conservation et démontraient que, lorsque ces actions sont effectivement mises en place, elles sont très souvent efficaces, par exemple la protection d'espaces — les aires protégées — ou d'espèces.

Nous sommes donc dans une situation où nous savons que nous détruisons le vivant sauvage, où les biologistes de la conservation ont des propositions concrètes qui peuvent être efficaces, mais où nous ne semblons pas les mettre en œuvre de façon suffisante, si l'on en juge par les dynamiques actuelles de la biodiversité, qui suggèrent que l'érosion se poursuit. Pourquoi les humains n'agissent-ils pas assez efficacement et assez rapidement pour protéger leur environnement ? En posant cette question, j'ouvre une boîte de Pandore. Un tel sujet pourrait facilement occuper au moins la moitié des chaires du Collège de France pendant de nombreuses années. Je vais donc simplement donner quelques éléments clés.

Un premier élément de réponse est la complexité de l'action à mettre en place. Face aux dérèglements climatiques ou aux changements de la biodiversité, nous avons affaire à ce que les anglophones appellent des *wicked problems*, que l'on peut traduire par « des problèmes épineux » : quelle que soit la façon dont

33. Laurent Godet et Vincent Devictor, « What conservation does », *Trends in Ecology & Evolution*, vol. 33, n° 10, 2018, p. 720-730, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.07.004>.

on les aborde, on risque de se piquer. Ces problèmes n'ont pas de solution unique ni de solutions simples, ils sont caractérisés par des éléments interdépendants, et une solution à une partie du problème peut créer d'autres problèmes. C'est le cas de la transition énergétique : l'installation d'éoliennes, vertueuse sur le plan des émissions de CO₂ dans l'atmosphère, peut avoir des effets négatifs sur certaines espèces sauvages. Ces dispositifs sont donc indispensables, mais leur installation et leur utilisation doivent être pensées pour minimiser les effets sur la biodiversité.

La conservation de la nature se doit donc de dépasser les seules approches écologiques et de s'ouvrir aux disciplines qui permettent de comprendre le fonctionnement de notre monde dans sa globalité. C'est ce que proposent les sciences de la conservation, développées par exemple dans mon unité de recherche, le Centre d'écologie et des sciences de la conservation, et qui allient écologie, biologie de l'évolution, mais aussi sociologie, sciences politiques, économie, géographie, ethnologie, urbanisme, psychologie, etc., pour comprendre comment les humains, des individus aux organisations, interagissent avec les autres qu'humains et leur environnement physique, et rechercher des solutions intégrées aux problèmes environnementaux.

Certaines de ces approches montrent par exemple qu'une partie du problème vient d'un autre type d'extinction des interactions : celles des humains avec le reste du vivant et de leur environnement

autre qu'urbain. Depuis 2010, la moitié de l'humanité vit en ville, et cette proportion est en augmentation. En France, ce sont plus de huit personnes sur dix. Ce mode de vie urbain se traduit par une déconnexion avec le fonctionnement du vivant, que les chercheurs et chercheuses en sciences sociales peuvent mesurer.

Nous pouvons également autoévaluer cette déconnexion au moyen d'un questionnaire simple. La figure 10a (page suivante) montre huit logos de marques dominantes dans le monde économique. Demandez-vous combien de marques vous êtes capables de nommer à partir de ces logos. Pour la plupart d'entre nous, c'est un exercice facile (encore qu'en ce qui me concerne, je fais partie d'une classe d'âge qui maîtrise mal le dernier logo), ce qui suggère que nous connaissons très bien notre environnement socio-économique.

À présent, refaisons l'exercice avec huit espèces d'oiseaux (fig. 10b). Pour beaucoup, l'exercice est nettement moins facile, et pourtant ces espèces sont l'équivalent des marques précédentes : ce sont les plus abondantes en France, nous les voyons et les entendons tous les jours, au moins au printemps, y compris jusque dans le cœur des villes. Nous les voyons et nous les entendons, mais très souvent nous ne les regardons plus et nous ne les écoutons plus. Et, au passage, si vous avez répondu « pigeon » pour la deuxième espèce de la ligne du bas, c'est une réponse correcte, mais imprécise, un peu comme si



Figure 10. Un autotest de votre connaissance du monde socio-économique (a) et du monde naturel (b) qui vous entourent. Essayez de nommer autant de marques (a) ou d'espèces d'oiseaux (b) que vous pouvez. Les réponses pour les oiseaux sont en note de bas de page³⁴.

vous aviez répondu « vêtement » pour le logo avec un crocodile. Il existe plusieurs espèces de pigeons, comme de mésanges, de fauvettes, de pinsons, etc.

34. De gauche à droite et de haut en bas : la fauvette à tête noire, *Sylvia atricapilla* ; le merle noir, *Turdus merula* ; le rouge-gorge, *Erithacus rubecula* ; la mésange charbonnière, *Parus major* ; l'étourneau sansonnet, *Sturnus vulgaris* ; le pigeon biset, *Columba livia* ; le moineau domestique, *Passer domesticus* ; le pinson des arbres, *Fringilla coelebs*.

Cette déconnexion est valable y compris pour notre relation avec les insectes pollinisateurs. Ils sont en diminution, ce qui a des conséquences pour la pollinisation des espèces de plantes cultivées dont nous dépendons en bonne partie pour notre alimentation. Face à un tel constat, les sociétés humaines pourraient tenter de trouver des solutions pour restaurer ces populations. Mais ce n'est pas l'option principale qui est choisie : très souvent, nous préférons nous émanciper encore davantage de notre dépendance à ces insectes. Cela peut passer par des voies très contrastées, allant du plus naturel au plus artificiel : remplacement des pollinisateurs sauvages par des pollinisateurs domestiques, ce qui, en caricaturant un peu, pourrait se comparer à un remplacement des oiseaux en train de disparaître par des poules ; sélection de variétés cultivées qui dépendent de moins en moins des insectes pour leur production de graines et de fruits ; pollinisation à la main, par des ouvriers et ouvrières agricoles, comme c'est le cas pour la vanille ; enfin, pollinisation par des machines. Les premiers projets ont d'abord expérimenté des prototypes de drones miniatures qui, de façon non surprenante, n'ont pas été très loin. Actuellement, les solutions technologiques s'orientent plutôt vers de grosses machines pulvérisatrices de pollen. Ces solutions sont éminemment questionnables à plusieurs titres : elles sont très coûteuses ; elles renforcent parfois le cercle infernal qui conduit à la disparition des pollinisateurs ; enfin, si elles réduisent la

dépendance des agricultrices et agriculteurs aux pollinisateurs, elles renforcent fortement leur dépendance aux entreprises productrices de ces solutions, à l'instar de l'utilisation d'engrais de synthèse, de pesticides, d'organismes génétiquement modifiés ou de nouvelles techniques d'amélioration des plantes.

La première étape pour réussir à mieux conserver le monde vivant et sa diversité est ainsi probablement de réapprendre à le connaître et à l'apprécier, car nous sommes plus enclins à protéger ce que nous aimons. Il y a donc un enjeu énorme de reconnexion des êtres humains à leur environnement naturel, qui peut avoir lieu par l'éducation, mais aussi par des découvertes mobilisant les émotions, un vecteur puissant de transformation des personnes. Là encore, les sciences participatives peuvent être précieuses, car elles proposent aux participantes et aux participants de (re)découvrir les espèces sauvages autour d'eux et de s'émerveiller devant leur diversité. Le Suivi photographique des insectes pollinisateurs, ou Spipoll, est un programme qui vise à suivre les interactions plantes-pollinisateurs en prenant des photographies de ces interactions³⁵. Mes ami-es et ma famille le connaissent bien, car je m'arrête souvent pendant les vingt minutes du protocole pour « mitrailler » une plante en fleurs.

35. Voir <https://www.spipoll.org/>.

Les participant·es au Spipoll augmentent rapidement leur connaissance des espèces qu'ils observent et leur compréhension de la démarche scientifique. Les participant·es à l'opération *Papillons* de l'Observatoire de la biodiversité des jardins³⁶ changent quant à eux la façon dont ils entretiennent leur jardin au cours du temps pour utiliser moins de pesticides et fournir plus de ressources pour les pollinisateurs. Enfin, les agriculteurs et agricultrices qui participent à l'Observatoire agricole de la biodiversité développent une nouvelle forme de relation avec les espèces sauvages, qu'ils perçoivent comme des alliées mystérieuses, dont le fonctionnement reste en partie insaisissable, mais à qui ils sont prêts à faire confiance, et ils ne veulent plus prendre le risque de les voir disparaître.

Pour conclure, je voudrais terminer sur une note d'espoir. Certes, nous savons que la biodiversité, dont les plantes et leurs pollinisateurs, est en train de changer massivement et rapidement, dans une dynamique que l'on peut qualifier « d'effondrement ». Mais nous savons aussi qu'il existe des solutions pour contrecarrer cet effondrement, et avec mes collègues nous travaillons d'arrache-pied pour améliorer ces solutions, aussi bien sous l'angle de l'écologie que des sciences sociales. Et tous les espoirs sont permis, car l'un des avantages cruciaux du problème de la

36. Voir <https://www.vigienature.fr/fr/operation-papillons>.

conservation du vivant, à la différence de la préservation du climat, est que le vivant peut réagir très vite et de façon spectaculaire. Pour ce qui est du climat, nous savons d'ores et déjà que les actions que nous mettons en place aujourd'hui, et qui sont indispensables, ne porteront leurs fruits que dans plusieurs dizaines d'années. Ce n'est pas du tout le cas pour le vivant : la vie existe sur la planète depuis près de quatre milliards d'années, elle s'est maintenue grâce à l'évolution par sélection naturelle malgré des changements de son environnement nombreux et parfois intenses. Les relations mutualistes, de coopération entre individus et espèces, telles les relations entre plantes et pollinisateurs, contribuent à maintenir la dynamique du vivant. Il suffit que nous lui redonnions du temps, et de l'espace, pour qu'elle puisse à nouveau prospérer. La recherche en sciences de la conservation le montre sans ambiguïté : laissez une partie de votre jardin évoluer librement, en cessant d'utiliser les pesticides, et vous verrez les papillons et les autres insectes revenir ; convainquez les jardiniers de l'école de vos enfants ou du parc près de chez vous de ne plus tondre aussi fréquemment les pelouses, laissez celles-ci se transformer en prairies, et vous verrez revenir les orchidées ; cessez d'empoisonner les vautours, laissez-les accéder à de la nourriture, et vous verrez des centaines d'oiseaux au vol majestueux ; agissez pour réduire l'utilisation des pesticides en agriculture, pour favoriser des produits locaux et des fermes de petite taille, et les plantes

et les insectes deviendront plus abondants dans les espaces agricoles, avec des conséquences positives également pour les oiseaux et l'ensemble du vivant... Il n'est pas trop tard, quelques espèces ont déjà disparu, mais la majorité sont encore là. Nous pouvons réparer les dégâts que nous avons commis.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier les milliers de participantes et de participants enthousiastes à Vigie-nature et aux autres programmes de sciences participatives, à qui nous devons une bonne partie de nos connaissances actuelles sur l'état de la biodiversité en France et dans le monde. J'adresse également mes plus chaleureux remerciements à l'ensemble des membres du Centre d'écologie et des sciences de la conservation, personnels d'appui à la recherche et chercheur-es, qui déploient chaque jour toute leur énergie enthousiaste pour la conservation du vivant. Enfin, je dédie cette leçon à Marc Ohlmann (1992-2023), un jeune chercheur brillant et passionné, que son autre passion, la montagne, n'a tragiquement pas laissé contribuer comme il aurait pu à la recherche sur les interactions écologiques.

Crédits

Figure 1. Une partie de la planète Terre vue de nuit.

NASA Earth Observatory.

Figure 2. Le rôle de la pollinisation dans le cycle de vie des plantes à fleurs.

Mariana Ruiz (schéma de fleur), Wikimedia Commons, domaine public, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mature_flower_diagram.svg ;

Sarang (graine et fruit), Wikimedia Commons, domaine public, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Drupe_fruit_diagram.svg ;

Aslyntodd (étapes de la germination), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Stages_of_germination_in_pea_plants.svg ;

François Ory (dessin de mouche). Image sous licence Creative Commons CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Figure 3. Une vue d'artiste d'une forêt du Carbonifère.

Geoffrey Martin, *Triumphs & Wonders of Modern Chemistry*, New York, D. Van Nostrand Company, 1913, p. 227, <https://digital.sciencehistory.org/works/kp78gg91j>.

Figure 4. La sélection naturelle fait augmenter la fréquence des plantes à fleurs jaunes dans les populations.

Emmanuelle Porcher (schéma) et François Ory (dessin de mouche). Image sous licence Creative Commons CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Figure 5. Un aperçu de la diversité des plantes à fleurs et des pollinisateurs.

(a) Rahmad Himawan (rafflésie), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rafflesia_flowers_in_the_tropical_forest_of_Kemumu.jpg ; Viascos (châtaignier), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Castanea_sativa_flores.jpg ; Phonon.b (pervenche), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vinca_major_flower.jpg ; André Karwath (fuchsia), Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.5, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fuchsia_regia_-_blossom_\(aka\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fuchsia_regia_-_blossom_(aka).jpg) ; Rasbak (ray-grass), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lolium_perenne_flowers,_engels_raaigras_bloeiend_aartjes.jpg ;

Nadiatalent (*Aeonium*),
Wikimedia Commons, CC BY-
SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeonium_protandry.jpg ;
Gllawm (ophrys bécasse),
Wikimedia Commons, CC BY-
SA 4.0, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ophrys_scolopax_\(Asnières-en-Poitou\)_17052019_02.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ophrys_scolopax_(Asnières-en-Poitou)_17052019_02.jpg) ;
Captainpixel (akébie), Wikimedia
Commons, CC BY-SA 4.0,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Akebia_quinata_male_and_female_flower.jpg ;
Robert Flogaus-Faust
(coquelicot), Wikimedia
Commons, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Papaver_rhoeas_RF.jpg ;
Geoff Mckay (fleur chauve-
souris), Wikimedia Commons,
CC BY 2.0, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bat_Flower_or_Cat_Whiskers_\(Tacca_Chantrieri_\(49532732922\)\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bat_Flower_or_Cat_Whiskers_(Tacca_Chantrieri_(49532732922)).jpg) ;
Ivar Leidus (trolle d'Europe),
Wikimedia Commons, CC BY-
SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trollius_europaeus_flower_-_Keila.jpg ;
Michael Gasperl (passiflore
bleuâtre), Wikimedia Commons,
CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PassifloraCaerulea_Bluete_von_oben.jpg ;

Bob Embleton (plantain
lancéolé), Wikimedia Commons,
CC BY-SA 2.0, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ribwort_Plantain_\(Plantago_lanceolata\)_-_geograph.org.uk_-_824043.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ribwort_Plantain_(Plantago_lanceolata)_-_geograph.org.uk_-_824043.jpg) ;
Cbaile19 (pois vivace),
Wikimedia Commons, CC0 1.0,
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lathyrus_latifolius,_2023-06-08,_Beechview,_03.jpg ;
US Botanic Garden (arum
titan), Wikimedia Commons,
domaine public, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Titan-arum1web.jpg> ;
David Eickhoff (hibiscus),
Wikimedia Commons, CC BY 2.0,
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hibiscus_clayi_\(5113322360\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hibiscus_clayi_(5113322360).jpg) ;
Krzysztof Ziarnek/Kenraiz
(crépide), Wikimedia Commons,
CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Crepis_sancta_kz06.jpg ;
SAplants (*Erythrina lysistemon*),
Wikimedia Commons, CC BY-
SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erythrina_lysisstemon_0841.jpg.
(b) Emmanuelle Porcher.
Image sous licence Creative
Commons CC BY-SA 4.0,
<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Figure 6. Une illustration de la diversité des interactions que l'on peut observer autour d'une fleur.

Jean-Luc Boulat/ascalaf07 (photo de fleur, programme Spipoll) et Emmanuelle Porcher (commentaires).

Figure 7. Diversité des interactions autour du gui blanc (*Viscum album*) et extension des interactions écologiques dans l'espace.

(a) Janmar (photos d'insectes, programme Spipoll) ; Gailhampshire (gui blanc), Wikimedia Commons, CC BY 2.0, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_mistletoe_flower_\(Viscum_album\)_51964521348.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_mistletoe_flower_(Viscum_album)_51964521348.jpg) ; Ron Knight (fauvette à tête noire), Wikimedia Commons, CC BY 2.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sylvia_atricapilla_-_Lullington_Heath,_East_Sussex,_England_-_male-8.jpg ; MPF (grive draine), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:2020-01-01_Mistle_Thrush_with_Rowan_berries,_Jesmond_Dene_1.jpg ;

Luc Viatour (geai des chênes), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Garrulus_glandarius_B_Luc_Viatour.jpg ; Andrew Bazdyrev (grive mauvis), Wikimedia Commons, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turdus_iliacus_106766121.jpg ; Francis C. Franklin (mésange bleue), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eurasian_blue_tit_Lancashire.jpg. (b) Andrew Bazdyrev (grive mauvis), Wikimedia Commons, CC BY 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Turdus_iliacus_106766121.jpg ; Emmanuelle Porcher (bagueage) ; Centre de recherches sur la biologie des populations d'oiseaux – CRBPO (carte). Image sous licence Creative Commons CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Figure 8. Une représentation d'un réseau d'interactions, ici un réseau social.

Martin Grandjean, Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Social_Network_Analysis_Visualization.png.

Figure 9. Deux exemples de programmes de sciences participatives permettant de démontrer des changements au cours du temps (a) dans la composition des communautés de plantes et (b) dans l'abondance des pollinisateurs.

(a) Emmanuelle Porcher/
Vigie-flore.

(b) Emmanuelle Porcher/
Observatoire agricole
de la biodiversité.

Figure 10. Un autotest de votre connaissance du monde socio-économique (a) et du monde naturel (b) qui vous entourent.

(a) De gauche à droite et de haut en bas : Starbucks, Apple, Mercedes-Benz, Google, Nike, McDonald's, Lacoste, TikTok.
(b) Spacebirdy (fauvette à tête noire), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sylvia_atricapilla_-_Burgenland_1.jpg ; Si Griffiths (merle noir), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blackbird_Blackbird_\(Turdus_merula\)_In_Snow.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Blackbird_Blackbird_(Turdus_merula)_In_Snow.jpg) ; Alexis Lours (rouge-gorge), Wikimedia Commons, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/>

[wiki/File:European_Robin_2023-10-14.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:European_Robin_2023-10-14.jpg) ; Frank Vassen (mésange charbonnière), Wikimedia Commons, CC BY 2.0, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Great_tit_\(Parus_major\),_Parc_de_Woluwé,_Brussels_\(13042792905\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Great_tit_(Parus_major),_Parc_de_Woluwé,_Brussels_(13042792905).jpg) ; Pierre Selim (étourneau), Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Toulouse_-_Sturnus_vulgaris_-_2012-02-26_-_2.jpg ; Satdeep Gill (pigeon biset), Wikimedia Commons, CC BY-SA 4.0, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Common_pigeon_at_Waterlow_Park,_London_01.jpg ; Adamo (moineau domestique), Wikimedia Commons, CC BY 2.0 DE, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passer_domesticus_male_\(15\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Passer_domesticus_male_(15).jpg) ; Andreas Trepte (pinson des arbres), Wikimedia Commons, CC BY-SA 2.5, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chaffinch_\(Fringilla_coelebs\)_-_original.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chaffinch_(Fringilla_coelebs)_-_original.jpg).
Image sous licence Creative Commons CC BY-SA 4.0, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>.

Les leçons inaugurales du Collège de France

Depuis sa fondation en 1530, le Collège de France a pour principale mission d'enseigner, non des savoirs constitués, mais « le savoir en train de se faire » : la recherche scientifique et intellectuelle elle-même. Les cours y sont ouverts à tous, gratuitement, sans inscription ni délivrance de diplôme.

Conformément à sa devise (*Docet omnia*, « Il enseigne toutes choses »), le Collège de France est organisé en une cinquantaine de chaires couvrant un vaste ensemble de disciplines. Les professeurs sont choisis librement par leurs pairs, en fonction de l'évolution des sciences et des connaissances. À l'arrivée de chaque nouveau professeur, une chaire nouvelle est créée qui peut ou bien reprendre, au moins en partie, l'héritage d'une chaire antérieure, ou bien instaurer un enseignement neuf.

Plusieurs chaires thématiques annuelles (Informatique et sciences numériques, Innovation technologique, Mondes francophones, Santé publique, Biodiversité et écosystèmes, L'invention de l'Europe par les langues et les cultures, Avenir commun durable) et pluriannuelles permettent également d'accueillir des professeurs invités.

Le premier cours d'un nouveau professeur est sa *leçon inaugurale*. Solennellement prononcée en présence de ses collègues et d'un large public, elle est pour lui l'occasion de situer ses travaux et son enseignement par rapport à ceux de ses prédécesseurs et aux développements les plus récents de la recherche. Les leçons inaugurales dressent un tableau de l'état de nos connaissances et contribuent ainsi à l'histoire de chaque discipline. Elles nous introduisent en outre dans l'atelier du savant et du chercheur. Beaucoup d'entre elles

ont constitué, dans leur domaine et en leur temps, des événements marquants, voire retentissants. Elles s'adressent à un large public éclairé, soucieux de mieux comprendre les évolutions de la science et de la vie intellectuelle contemporaines.

Publiées par le Collège de France sous forme de livrets depuis 1949, les leçons inaugurales ont fait l'objet pendant vingt ans d'une coédition avec Fayard (n° 164 à 318). Depuis l'automne 2023, les livres savants, novateurs et prestigieux composant cette collection-phare de l'institution sont édités et commercialisés par les Éditions du Collège de France. Ils sont parallèlement diffusés sous forme numérique en accès ouvert *freemium* sur le portail OpenEdition Books.

Derniers titres parus
dans la collection

325. Benoît Sagot, *Apprendre les langues aux machines*, 2024
324. Laurent Coulon, *Les voies ouvertes à l'égyptologie*, 2024
323. Denis Duboule, *Les temps de l'embryon*, 2023
322. Mathilde Touvier, *Rôle de la nutrition dans la prévention des maladies chroniques. Un enjeu de santé publique*, 2023
321. Didier Fassin, *Sciences sociales par temps de crise*, 2023
320. Phụng Bui Trân, *Les femmes dans l'histoire du Viêt Nam. Regard d'une historienne*, 2023
319. Virginie Courtier-Orgogozo, *Penser le vivant autrement*, 2023
318. Lydéric Bocquet, *La mécanique moléculaire des fluides : un champ d'innovation pour l'eau et l'énergie*, 2023
317. Laurence Boisson de Chazournes, *L'eau en droit international : entre singularité et pluralité*, 2023
316. Antoine Lilti, *Actualité des Lumières : une histoire plurielle*, 2023
315. Esther Duflo, *Expérience, science et lutte contre la pauvreté (presque) quinze ans après*, 2023
314. Nalini Anantharaman, *Histoires de spectres*, 2023
313. Benoît Peeters, *Un art neuf : la bande dessinée*, 2023
312. Mieke Bal, *Un rêve culturel : l'Europe au pluriel*, 2023

311. Rémy Slama, *Causes et conditions extérieures des maladies et de la santé*, 2022
310. Wendy E. Mackay, *Réimaginer nos interactions avec le monde numérique*, 2022
309. Tatiana Giraud, *Dynamique et évolution de la biodiversité et des écosystèmes*, 2022
308. Daniel Lincot, *Énergie solaire photovoltaïque et transition énergétique*, 2022
307. Jean-Jacques Hublin, *Homo sapiens, une espèce invasive*, 2022
306. Christian Gollier, *Entre fin de mois et fin du monde : économie de nos responsabilités envers l'humanité*, 2022
305. Yadh Ben Achour, *La révolution, une espérance*, 2022
304. Alberto Manguel, *Europe : le mythe comme métaphore*, 2022
303. Frédéric Magniez, *Algorithmes quantiques. Quand la physique quantique défie la thèse de Church-Turing*, 2021
302. Chris Bowler, *La biodiversité et les écosystèmes à travers le temps et l'espace*, 2021
301. Sonia Garel, *Système immunitaire et dynamique du cerveau*, 2021
300. Timothy Gowers, *Combinatoire*, 2021
299. Jean-Philippe Bouchaud, *De la physique statistique aux sciences sociales*, 2021
298. Samantha Besson, *Reconstruire l'ordre institutionnel international*, 2021
297. Luigi Rizzi, *Complexité des structures linguistiques, simplicité des mécanismes du langage*, 2021

296. Marc Henneaux, *Symétrie et gravitation*, 2021
295. Lluis Quintana-Murci, *Une histoire génétique : notre diversité, notre évolution, notre adaptation*, 2021
294. William Marx, *Vivre dans la bibliothèque du monde*, 2020
293. Didier Fassin, *De l'inégalité des vies*, 2020
292. François Recanati, *Langage, discours, pensée*, 2020
291. Walter Fontana, *Du calcul au vivant : le défi d'une science de l'organisation*, 2020
290. François-Xavier Fauvelle, *Leçons de l'histoire de l'Afrique*, 2020
289. Yanick Lahens, *Littérature haïtienne : urgence(s) d'écrire, rêve(s) d'habiter*, 2019

La liste complète des titres est disponible sur le site internet du Collège de France : <https://www.college-de-france.fr/fr/editions/lecons-inaugurales>.

Achévé d'imprimer en mai 2024
sur les presses de l'imprimerie Corlet
14110 Condé-en-Normandie

Dépôt légal : juin 2024
N° imprimeur : 24040553
Imprimé en France