

Coévolution

Sujet n°7

Mmes Diarra et Seglas

01/01/2015

Sommaire

L'interaction entre espèces: la coévolution.....	3
Un exemple de Coévolution:	6
Pollinisation et coévolution	12
Une dissémination, produit d'une coévolution	14
Bibliographie	15

L'interaction entre espèces: la coévolution

Les passiflores (genre *Passiflora*), plantes grimpantes tropicales, ont la particularité d'accumuler dans les feuilles et les pousses des composés toxiques qui les protègent de la voracité des insectes. Seules les chenilles des papillons du genre *Heliconius* se développent sur ces plantes. La spécialisation des larves est rendue possible par la présence d'enzymes digestives qui dégradent les composés toxiques. Chaque espèce d'*Heliconius* est dépendante d'une espèce de passiflore pour l'alimentation de ses chenilles. Mais les relations entre les deux espèces ne s'arrêtent pas à cette seule interaction. Les femelles d'*Heliconius* déposent des œufs jaune clair sur les feuilles de passiflore. Elles ne pondent pas sur des feuilles qui portent déjà des œufs. À l'instar de l'oiseau qui réduit la taille de sa couvée en conditions difficiles (voir chapitre 4), le papillon évite ainsi une compétition forte entre les larves qui se traduirait par une moins bonne survie de ses propres descendants. Or, certaines espèces de passiflores portent sur leurs feuilles des nectaires jaunes ressemblant aux œufs de papillons. Une femelle de papillon évitera de pondre sur une feuille qui porte de tels points jaunes.

En 1964, P. Ehrlich et P.H. Raven ont proposé l'idée de coévolution pour expliquer le cortège d'espèces d'*Heliconius* chacune spécialisée sur une espèce différente de passiflore. Les enzymes de dégradation

spécifiques des *Heliconius* sont une adaptation qui leur permet de se spécialiser sur une ressource inutilisée par les autres insectes (les feuilles de passiflores). Du point de vue de la plante, le papillon peut être considéré comme une pression de sélection car l'invasion par des chenilles va parfois jusqu'à détruire un plant entier de passiflore. Tout trait qui permet d'éviter la ponte est favorable pour la plante, tout caractère qui permet une meilleure utilisation de la plante est avantageux pour l'insecte. Selon Ehrlich et Raven, la coévolution est « l'évolution de deux ou plusieurs taxons liés par des relations écologiques étroites, mais isolés génétiquement. Ces taxons exercent entre eux des pressions de sélection telles que l'évolution de chacun dépend partiellement de celle des autres ».

Un processus d'adaptation réciproque entre deux espèces qui entretiennent des relations écologiques, comme les passiflores et les *Heliconius* est appelé **coévolution** (au sens large). Les deux espèces exercent des pressions de sélection l'une sur l'autre. Ainsi, entre un hôte et un parasite, l'hôte évolue vers une plus grande résistance, le parasite vers un contournement des résistances. Il est alors une situation où toute nouvelle adaptation d'une espèce provoque une pression supplémentaire pour l'autre. En 1973, van Valen publie le *modèle de la Reine rouge* du nom d'un personnage du roman de Lewis Carroll *De l'autre côté du miroir*. La reine rouge oblige Alice à courir de plus en plus vite pour simplement rester en place, comme sur un tapis roulant en sens contraire. De même, la coévolution entraîne l'apparition conjointe de nouveaux caractères mais aucune des deux espèces ne prend l'avantage, ou alors de façon transitoire.

La coévolution est une théorie utile pour expliquer certains traits chez deux espèces en interaction. Toutes les formes d'interactions écologiques prêtent-elles à coévolution ? Le couple d'espèce doit subir des relations étroites et durables. Des relations étroites signifient des relations spécifiques (entre un hôte et un parasite par exemple) ou spécialisées (entre un prédateur et sa proie par exemple) pour qu'un changement chez l'une puisse entraîner un changement chez l'autre. Des relations sur plusieurs générations sont nécessaires pour que la sélection puisse agir. Les interactions sont soit antagonistes – proie/prédateur, hôte/parasite, plante/herbivore – soit mutualistes. Dans cette dernière catégorie entrent les relations plante/pollinisateur ou plante/disperseur de diaspores. Par exemple, le casse-noix (*Nucifraga caryocatactes*) et le pin arole (ou cembro, *Pinus cembra*) sont coadaptés. Les graines de l'arole sont particulièrement riches (6 700 cal/g). L'oiseau, qui se nourrit presque exclusivement des graines de pin arole,

en cache d'énormes quantités comme réserves, presque toute la production annuelle. Il a ainsi à disposition des graines toute l'année. Mais pour diverses raisons, un tiers des caches environ ne sont pas utilisées et assurent la dispersion et la régénération du pin. La nature des relations introduit une différence entre les coévolutions antagonistes et mutualistes. Le casse-noix et l'arole profitent tous deux de la relation, aucun d'eux ne dépassera l'autre, brisant ainsi l'interaction. En revanche, les intérêts de l'hôte et du parasite sont clairement opposés. Cependant, dans la course, le parasite a toujours une innovation d'avance à laquelle tente de répondre l'hôte. Si l'hôte prend l'avantage, alors le parasite est éliminé : la course est terminée par la victoire de l'hôte. La situation est sans doute peu courante car la résistance a un coût : toute l'énergie qui lui est consacrée ne l'est pas à acquérir de la nourriture, par exemple.

Néanmoins, les effets de la coévolution sont parfois difficiles à mettre en évidence. Dans le cas des relations entre passiflores et *Heliconius*, les nectaires attirent les fourmis et les guêpes, qui se nourrissent aussi des larves d'*Heliconius*. Quelle est la pression de sélection qui pousse les femelles d'*Heliconius* à ne pas pondre sur les feuilles à nectaires : évitent-elles les prédateurs ou une supposée compétition ? De plus, la coévolution ne peut, seule, expliquer l'ensemble des traits d'une espèce, d'autres pressions de sélection sont nécessairement en jeu. La coévolution ne s'applique qu'à un nombre limité de traits mais aussi à un nombre limité d'espèces, qui entretiennent des relations écologiques privilégiées.

Après avoir considéré de l'échelle des gènes aux relations entre espèces, ce dernier paragraphe s'attache à revoir le déroulement de l'histoire de la vie, plus précisément le rythme de l'évolution.

Un exemple de Coévolution:

l'orchidée-comète *Angraecum sesquipedale* et un papillon-sphinx de Madagascar

Nous proposons d'étudier, sous l'angle de la sélection naturelle et de la coévolution, la relation mutualiste qui s'est installée entre une espèce de plante à fleurs (l'orchidée-comète *Angraecum sesquipedale*) et un insecte pollinisateur (papillon-sphinx) sur l'île de Madagascar.

4.1. De l'inférence à la démonstration

Commençons par un peu d'histoire des sciences. C'est Charles Darwin qui, le premier, s'est interrogé à propos de l'orchidée-comète de Madagascar...

► 1862

Charles Darwin (1809-1882) publie un ouvrage dans lequel il expose toutes ses observations et expériences sur diverses orchidées. Nous reproduisons ici un extrait qui traite des orchidées malgaches du genre *Angraecum* et de leurs pollinisateurs (**doc. 1**).

« Je crains de lasser le lecteur, mais je dois dire quelques mots de l'*Angraecum sesquipedale*, dont les grandes fleurs à six pointes, telles des étoiles en cire blanche comme neige, ont forcé l'admiration des voyageurs à Madagascar. Un nectaire* vert en forme de fouet d'une longueur surprenante pend sous le labelle**. Sur plusieurs fleurs que m'a envoyées Mr Bateman, j'ai mesuré des nectaires de 30 cm de long, avec seulement la partie terminale de 4 cm de long remplie d'un nectar très sucré. Quel pourrait être le rôle, pourrait-on se demander, d'un nectaire* d'une longueur aussi disproportionnée ? Nous verrons, je pense, que la fécondation de la plante dépend d'une telle longueur et de la localisation du nectar dans la seule partie terminale effilée. Il est néanmoins surprenant qu'aucun insecte ne soit capable d'atteindre le nectar: nos sphinx*** anglais ont des trompes aussi longues que leurs corps; mais à Madagascar il doit exister des papillons nocturnes avec des trompes susceptibles d'avoir une longueur comprise entre 25 et 27 cm ! »

C. Darwin relate ensuite une série d'expériences réalisées sur cette orchidée pour comprendre comment la pollinisation peut être effectuée. Il conclut :

« Si l'*Angraecum*, dans son habitat forestier naturel, sécrète plus de nectar que ne l'ont fait les plantes vigoureuses expédiées par Mr Bateman, tant et si bien que le nectaire soit plein, de petits papillons nocturnes pourraient y avoir accès, mais ils n'apporteraient aucun bénéfice à la plante. Les pollinies**** resteraient en place, à moins qu'un grand papillon nocturne, doté d'une trompe extraordinairement longue, n'essaye de le soutirer jusqu'à la dernière goutte. Si de telles espèces de grands papillons nocturnes s'éteignaient à Madagascar, on peut être sûr qu'*Angraecum* s'éteindrait de même. D'un autre

côté, vu que le nectar, au moins dans la partie terminale du nectaire, est stocké hors de portée des autres insectes, l'extinction d'*Angraecum* serait probablement une perte grave pour ces papillons. Nous pouvons ainsi comprendre en partie comment la longueur étonnante du nectaire a pu être acquise par des modifications successives. Au fur et à mesure que certains papillons nocturnes de Madagascar devenaient plus grands par sélection naturelle en lien avec leurs conditions de vie générales, que ce soit au stade chenille ou adulte, ou comme leur trompe s'allongeait pour obtenir du nectar d'*Angraecum* et d'autres fleurs à long tube, ces individus d'*Angraecum* qui avaient les nectaires les plus longs (or la longueur du nectaire varie beaucoup chez certaines orchidées) et qui, par conséquent, obligeaient les papillons à introduire leur trompe jusqu'à la base de la fleur, ont été fécondés.

Ces plantes ont produit plus de graines, et les descendants ont hérité en général de nectaires plus longs; et ainsi de suite au cours des générations successives de la plante et du papillon. Alors, il semble qu'il y ait eu une sorte de course à la longueur entre le nectaire d'*Angraecum* et la trompe de certains papillons nocturnes; mais l'*Angraecum* a triomphé car il prospère et abonde dans les forêts de Madagascar, et continue d'obliger chaque papillon à introduire sa trompe au plus profond de son éperon pour soutirer la dernière goutte de son nectar. »

C. Darwin, *On the various contrivances by which British and foreign orchids are fertilised by insects, and on the good effects of intercrossing.*

[À propos des différents dispositifs par lesquels les orchidées exotiques et anglaises sont fécondées, et des bons effets des croisements].

John Murray (London), 1862. Traduction : Gérard Guillot.

Doc. 1. Quand Charles Darwin infère l'existence d'une espèce de papillon à trompe démesurée à Madagascar (1862). *Nectaire : organe sécréteur de nectar; ici, il s'agit de l'extrémité d'un éperon en forme de tube; **labelle : une des six pièces florales d'une fleur d'orchidée, en général dirigée vers le bas et d'une forme différente des autres; ***sphinx : papillon nocturne ou crépusculaire

doté d'une longue trompe; il butine les fleurs en vol stationnaire à la manière des colibris; ****pollinie : masse de pollen aggloméré sous forme d'une petite boule portée par une tige avec un disque adhésif à la base; les pollinies se collent sur l'insecte qui visite la fleur; il va ainsi les transporter d'une fleur à l'autre.

Ce passage contient la célèbre inférence de l'existence, à Madagascar, d'une espèce de papillon dotée d'une trompe longue d'au moins 25 cm, capable de récolter le nectar au fond de l'éperon de l'orchidée-comète (*Angraecum sesquipedale*) et d'assurer en même temps sa pollinisation.

Le texte frappe par son modernisme lorsqu'il évoque les perspectives de disparition de l'un des deux protagonistes et les conséquences d'un tel événement sur l'autre partenaire. Darwin appuie son raisonnement sur la sélection naturelle et l'idée de coévolution : il parle de « course » entre le papillon et l'orchidée (l'interprétation évolutive est explicitée en termes actuels dans la section 2).

Cette inférence suscite des railleries de la part des détracteurs de Darwin. Il faudra attendre pas moins de 40 années avant qu'elle ne soit validée.

► 1867 et 1871

Alfred Russel Wallace (1823-1913), père de la biogéographie et fervent défenseur des idées de Darwin, précise le mécanisme supposé de pollinisation d'*Angraecum sesquipedale* : le papillon doit forcer l'entrée de l'éperon et toucher la base de la fleur avec sa tête pour atteindre le nectar. Il ajoute dans une publication : « *Qu'un tel papillon nocturne existe à Madagascar peut être prédit avec confiance ; et les naturalistes qui explorent cette île devraient le chercher avec la même confiance que celle des astronomes à la recherche de la planète Neptune* [allusion à la découverte de la planète Neptune par Galle en 1846, dont l'existence avait été auparavant prédite par des calculs et observations], *et je me permets d'affirmer qu'ils y arriveront!* » Wallace dessine même le papillon hypothétique en s'appuyant sur l'exemple d'un grand sphinx africain (*Xanthopan morgani*).

► Juin 1873

W. A. Forbes (1855-1882), naturaliste, émet à son tour l'hypothèse que, compte tenu de la longueur de la trompe nécessaire, le grand papillon hypothétique ne peut être qu'un sphinx.

► Juillet 1873

H. Müller (1821-1897), entomologiste, décrit, au Brésil, une espèce de sphinx dont la trompe mesure 25 cm. Des papillons à la trompe démesurée existent donc bel et bien.

► 1903

L. W. Rothschild (1868-1937) et K. Jordan découvrent à Madagascar un sphinx qui répond aux critères inférés par Darwin. Il s'agit de *Xanthopan morgani praedicta*, sous-espèce d'un sphinx présent en Afrique tropicale (*praedicta* étant, on l'aura compris, un hommage à Darwin). Sa trompe mesure près de 27 cm de long et, au repos, lorsqu'elle est enroulée, elle décrit pas moins de 20 tours pour se loger sous la tête. En revanche, ces deux naturalistes ne peuvent observer la pollinisation effective des *Angraecum* par ce papillon.

► 1992

À Madagascar, une orchidée rare est découverte : *Angraecum eburneum longicalcar* qui possède un éperon long de... 40 cm ! Le nectar ne remplit que les trois derniers centimètres de l'éperon et des projections à l'intérieur du tube de l'éperon préviennent les intrusions d'opportunistes comme les fourmis tentées d'aller prélever le nectar au fond.

G. Kritsky, entomologiste, postule donc, 130 ans après Darwin, l'existence d'un sphinx encore plus grand que *Xanthopan morgani praedicta*, dont la trompe mesurerait

37 cm de long (la longueur juste nécessaire pour atteindre le nectar tout en étant obligé de s'appuyer sur l'entrée de la fleur). Une telle trompe n'existe chez aucun autre insecte: il faut donc imaginer un sphinx géant dont l'envergure, toutes proportions gardées avec les autres espèces existantes, atteindrait 15 cm! Là encore, le raisonnement s'appuie sur la notion de coévolution: l'orchidée nouvellement décrite ne peut survivre que si elle a fidélisé un pollinisateur précis qui, compte tenu des caractéristiques de l'orchidée et de la faune existant par ailleurs à Madagascar, ne peut être qu'un sphinx.

► 1997

Il est confirmé que le sphinx décrit en 1903 est bien le pollinisateur de *Angraecum sesquipedale*. Il publie des clichés de la scène de pollinisation qui deviendront célèbres.

2. L'interprétation évolutive de la relation entre l'orchidée-comète *Angraecum sesquipedale* et un papillon-sphinx

Dans de nombreuses régions tropicales du monde, on observe des relations relevant du mutualisme entre les orchidées à long éperon et les papillons-sphinx pollinisateurs, mais à Madagascar, elles prennent un relief tout particulier. En effet, outre l'exemple historique de l'orchidée *Angraecum sesquipedale* pollinisée par le sphinx *Xanthoplia morgani praedicta* (voir ci-dessus), au moins 70 espèces d'orchidées de l'île (soit près de 10 % des orchidées malgaches) sont dotées d'éperons dont la longueur excède 18 cm et sont pollinisées par des sphinx à longue trompe (on connaît actuellement à Madagascar 5 espèces de papillons de ce type).

Comment expliquer ces relations à la lumière de l'évolution?

La fidélisation d'une espèce d'insecte par l'orchidée se traduit par l'optimisation du transport du pollen: ce dernier voyage entre les seuls individus de l'espèce d'orchidée considérée. Aussi, les orchidées possédant des fleurs avec un long éperon (où le nectar n'est donc accessible qu'à un seul pollinisateur spécialisé) se trouvent sélectivement favorisées en termes de succès reproductif (meilleure fécondation donc meilleure production de graines)

Quant aux papillons à longue trompe, ils ont accès à une source de nourriture riche en sucres, disponible pendant une longue période (les fleurs d'orchidée durent longtemps), aisément repérable (grâce à la signature visuelle et olfactive des fleurs, qui compense en quelque sorte leur rareté) et pour laquelle ils ne sont pas en compétition avec d'autres papillons ou insectes. D'où un avantage sélectif sur ces derniers – c'est ainsi que l'on traduirait, en termes actuels, l'expression de Darwin «*comme leur trompe [celle des sphinx] s'allongeait pour obtenir du nectar d'Angraecum*». Toutefois, en visitant des fleurs à éperon plus court, le papillon n'a pas à avancer la tête jusqu'au centre de la fleur et il dépense moins d'énergie pour accéder au nectar. Dans ces conditions, il a peu de chances d'emporter les pollinies et l'orchidée n'est plus favorisée en terme de succès reproductif.

La relation orchidée-sphinx semble donc résulter d'une coévolution, d'une «course» – pour reprendre l'expression de Darwin – entre la longueur de l'éperon de l'orchidée et la longueur de la trompe du papillon: la sélection naturelle favorise d'une part les orchidées ayant l'éperon le plus long possible – en tout cas un peu plus long que la trompe du papillon, obligeant ce dernier à toucher le centre de la fleur et récolter les pollinies – et d'autre part les papillons à longue trompe, qui ont ainsi accès à une riche ressource alimentaire exclusive.

D'autres interprétations évolutives sont cependant envisageables. Ainsi M. Wasserthal – qui, le premier, a observé un sphinx en train de polliniser l'orchidée-comète –

considère que la longue trompe aurait été sélectionnée comme un dispositif anti-prédation permettant de se protéger des araignées-crabes ou des mantes dissimulées sur les fleurs. Ces dernières sont spécialistes de la capture des insectes butineurs qui se posent sur la fleur. Avec une longue trompe, le sphinx butineur ne se pose pas sur la fleur et il est donc hors de leur portée. De leur côté, les orchidées à long éperon auraient été favorisées par la sélection naturelle parce qu'elles pouvaient être pollinisées par ces sphinx à longue trompe. Dans un tel scénario, l'évolution des orchidées dépend de celle des sphinx, mais la réciproque n'est pas vraie. On n'a toutefois jamais observé de tels cas de prédation sur des insectes de la taille des sphinx.

3. Des expériences pour tester l'impact de la structure florale sur le succès de la pollinisation

Charles Darwin a émis l'hypothèse que la longueur du tube de la fleur (souvent formé par la corolle) et la longueur de la trompe ou de la langue de l'insecte butineur étaient corrélées: l'insecte doit étirer le plus possible sa langue ou sa trompe pour atteindre le nectar et, ce faisant, il est obligé de toucher les organes sexuels de la plante, assurant ainsi le transport du pollen d'une fleur à l'autre et la pollinisation. Ainsi, au cours de l'évolution, des fleurs à corolles plus profondes auraient conduit à la sélection naturelle d'insectes avec des langues/trompes plus longues et vice versa :

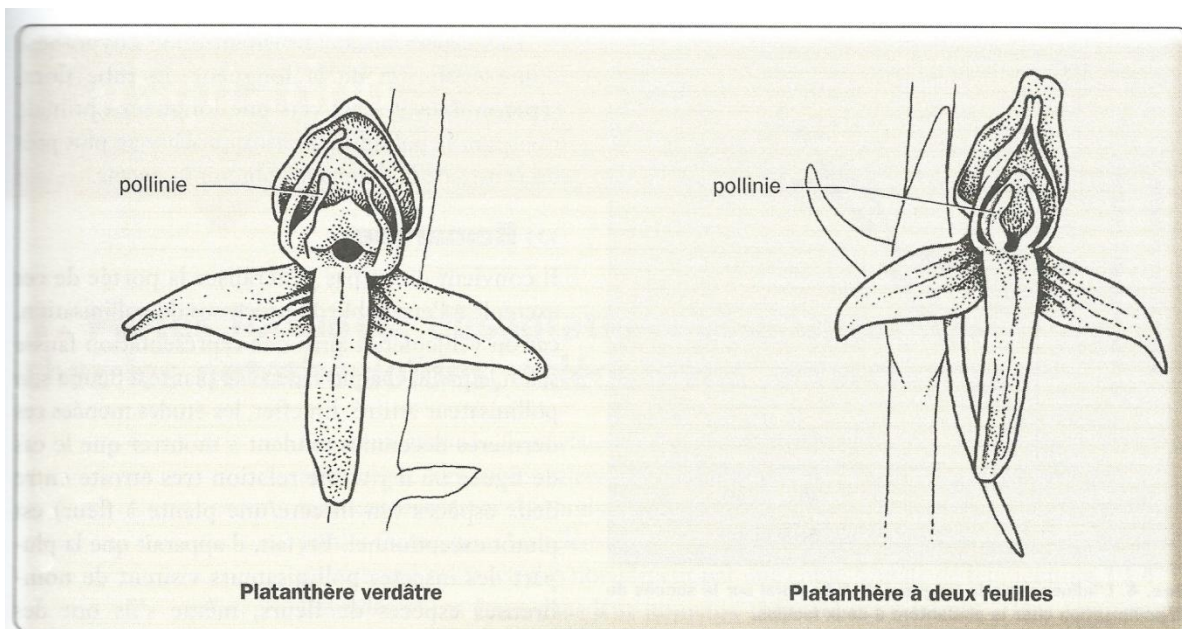
les fleurs et les insectes pollinisateurs auraient coévolué. D'une manière plus générale, on peut supposer qu'il existe un lien entre certains dispositifs de l'anatomie florale et leurs pollinisateurs.

En 1988, le botaniste L. A. Nilsson a réalisé une série d'expériences sur deux espèces d'orchidées des îles de la Baltique (Suède) – la platanthère à deux feuilles *Platanthera bifolia* et la platanthère verdâtre *Platanthera chlorantha* – afin de tester l'impact de la structure florale sur le succès de la reproduction. Nous en présentons ici l'essentiel.

La platanthère à deux feuilles et la platanthère verdâtre sont deux espèces d'orchidées assez proches. Elles sont relativement communes en France dans les pelouses, les prairies et les bois clairs. Elles peuvent s'hybrider assez facilement. Elles présentent toutes deux les caractères généraux de fleurs adaptées à la pollinisation par des papillons nocturnes: ce sont des fleurs blanches plus ou moins odorantes, à corolle en forme d'étoile, avec un long éperon nectarifère.

Platanthère à deux feuilles (<i>Phalanthera bifolia</i>)	Platanthère verdâtre (<i>Phalanthera chlorantha</i>)
Deux feuilles à la base d'une tige robuste	
Fleurs assez grandes, bien ouvertes, en forme d'étoile, blanches à blanc verdâtre	
Labelle entier en forme de langue pendante et étroite	
Éperon long et arqué de 2 à 4,5 cm de long chargé de nectar en son extrémité	
Deux pollinies	
Fleurs très odorantes au fort parfum de vanille	Fleurs peu odorantes
Pollinies rapprochées, serrées et parallèles	Pollinies fortement écartées à la base
Éperon long et fin	Éperon plus épais au bout
Pollinisée essentiellement par les sphinx (papillons nocturnes à longue trompe): les pollinies se collent sur la trompe	Pollinisée essentiellement par les noctuelles (papillons nocturnes à trompe courte): les pollinies se collent sur les yeux

Doc. 2. Caractéristiques comparées de deux espèces d'orchidées : la platanthère à deux feuilles et la platanthère verdâtre.



Doc. 3. Vue de face de la fleur de la platanthère verdâtre (a) et de la fleur de la platanthère à deux feuilles (b).

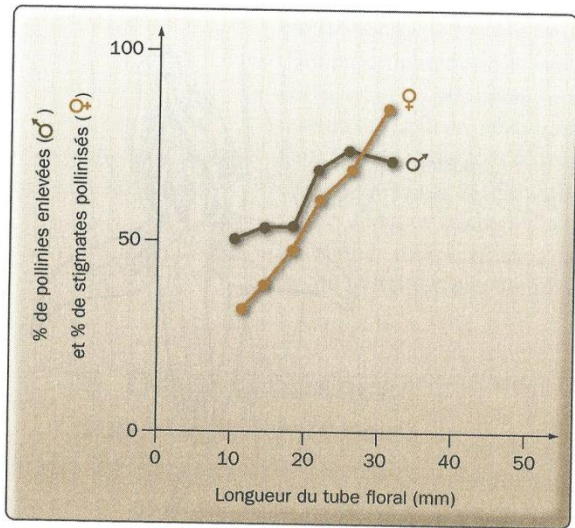
Chez ces deux orchidées, la disposition des pollinies est bien différente, apparemment en lien avec le type de pollinisateur (doc. 2 et 3) : les pollinies très rapprochées de la platanthère à deux feuilles adhèrent à la base de la trompe longue et fine des sphinx, tandis que les pollinies écartées de la platanthère verdâtre se fixent sur les deux yeux des noctuelles posées sur la fleur et occupées à plonger leur trompe dans l'éperon.

Nilsson émet l'hypothèse que la disposition des pollinies est adaptée à une pollinisation optimale par des pollinisateurs différents. Si son raisonnement est exact, les orchidées hybrides, dont la position des pollinies est désavantageuse pour les deux types de pollinisateurs potentiels, doivent se reproduire moins efficacement. Pour tester son hypothèse, Nilsson étudie des individus hybrides dont les pollinies se trouvent dans une position intermédiaire. En moyenne, ces individus produisent moins de graines que les individus de l'une des deux espèces parentes. L'hypothèse est donc validée.

Dans une seconde série d'expériences, Nilsson teste, sur la platanthère à deux feuilles, l'hypothèse suivante : la longueur du tube floral (dans ce cas, l'éperon) est optimisée par la sélection naturelle de telle sorte que le papillon butineur (ici un sphinx) est obligé de frotter sa tête contre l'entrée de la fleur, récoltant ainsi les deux pollinies à la base de sa trompe. Pour cela, le chercheur étire ou raccourcit les éperons grâce à des liens qui repoussent le nectar en amont de la ligature. Il mesure ensuite sur chaque fleur ainsi traitée :

- le nombre de pollinies enlevées (fonction reproductrice « mâle ») ;
- le nombre de stigmates pollinisés (fonction reproductrice « femelle »).

La courbe figurée document 4 représente l'évolution du succès reproductif des platanthères à deux feuilles selon la longueur de leurs éperons. Elle montre que plus les éperons sont longs, plus il y a de pollinies enlevées : les sphinx sont obligés de pousser leur tête au plus près de la fleur pour obtenir le nectar. En revanche, plus les éperons sont courts, moins il y a de pollinies enlevées : les sphinx peuvent prélever le nectar sans avoir à pousser leur tête au plus près, en restant à distance en vol sur place. On retrouve les mêmes résultats avec la fonction reproductrice femelle : si le sphinx s'approche moins du centre de la fleur, il aura moins de chances de toucher le stigmate et d'y déposer une pollinie (s'il en porte une!).



Doc. 4. L'influence de la longueur du tube floral sur le succès de la pollinisation chez la phalantère à deux feuilles.

Ces expériences confirment donc l'hypothèse d'une évolution de la longueur du tube floral (éperon dans ce cas) vers une longueur optimale obligeant le pollinisateur à s'approcher au plus près du centre de la fleur pour obtenir le nectar.

»» Remarque

Il convient de ne pas généraliser la portée de cet exemple à l'ensemble du processus de pollinisation, car on véhiculerait ainsi une représentation fautive selon laquelle chaque espèce de plante à fleur a son pollinisateur attiré. En effet, les études menées ces dernières décennies tendent à montrer que le cas de figure où il y a une relation très étroite entre deux espèces (un insecte/une plante à fleur) est plutôt exceptionnel. En fait, il apparaît que la plupart des insectes pollinisateurs visitent de nombreuses espèces de fleurs, même s'ils ont des préférences; il existe des réseaux très complexes

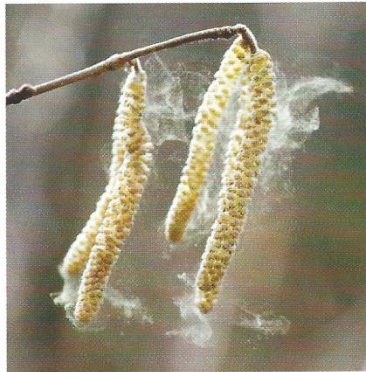
associant des communautés d'insectes à des communautés de plantes. Par ailleurs, on connaît un grand nombre d'insectes qui sont capables d'accéder au nectar vite et facilement sans pour autant féconder la fleur ou récupérer du pollen.

Pollinisation et coévolution

Les plantes vivent fixées : néanmoins, elles doivent échanger des gamètes pour assurer une reproduction biparentale. Ces échanges peuvent impliquer des animaux : les exemples présentés ici montrent l'existence d'adaptations croisées, produits d'une coévolution entre plante et animal pollinisateur.



A Il existe plusieurs modes de dissémination du pollen



Fleurs mâles de noisetier laissant échapper le pollen

La **pollinisation** permet la fécondation des organes femelles d'une fleur par du pollen. Quand l'autofécondation est impossible (cas le plus fréquent), le pollen doit être transporté d'une fleur à une autre. Ce transport peut être assuré par le vent (anémogamie) ou par les animaux (zoogamie). L'animal pollinisateur le plus connu est l'abeille qui passe de fleur en fleur et transporte ainsi le pollen.

Abeille et fleur ont subi des modifications permettant de faciliter leur relation, ces modifications réciproques résultent d'une **coévolution**.



Abeille butinant une fleur de colza

Doc. 1 Plusieurs modes de dissémination du pollen.

• Les glandes nectarifères

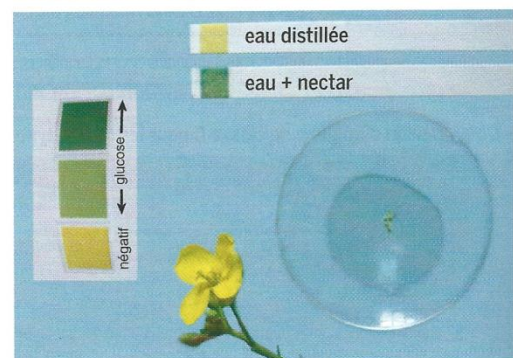
De nombreuses fleurs produisent un liquide nommé nectar grâce à des glandes nectarifères. Ces glandes sont le plus souvent situées au niveau des pétales, à l'intérieur de la fleur. Les fleurs de colza possèdent de telles glandes à la base des étamines, visibles en enlevant les pétales (*photographies ci-dessous*).



Position (a) et détail (b) d'une glande nectarifère de colza montrant la production d'une goutte de nectar.



■ PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL



Pour mettre en évidence la nature sucrée du nectar :

- Enlever les pétales de fleurs de colza.
- Observer les étamines à la loupe binoculaire pour repérer les glandes nectarifères, puis les découper avec des ciseaux fins.
- Placer les glandes dans un verre de montre contenant 2 mL d'eau distillée.
- Écraser les glandes avec un agitateur en verre et mélanger.
- Réaliser un test de présence de glucose dans le verre de montre.

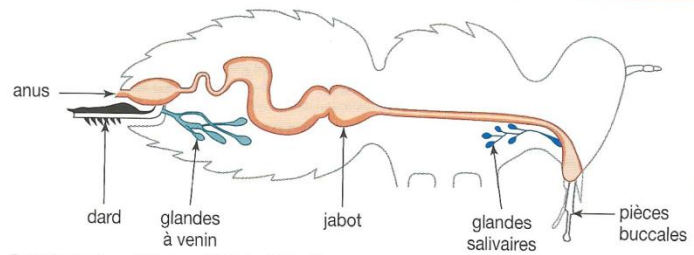
Doc. 2 Des pièces florales attirant les insectes pollinisateurs.

B L'adaptation des insectes pollinisateurs

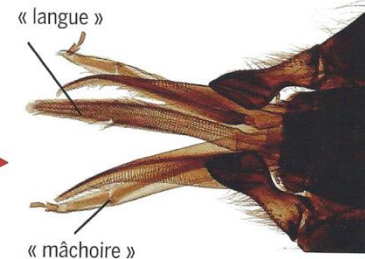
Les abeilles prélèvent le nectar des fleurs pour le ramener à la ruche et en faire du miel. Leurs pièces buccales forment un tube permettant d'aspirer le nectar et de le stocker dans le jabot. Il sera ensuite régurgité lors du retour à la ruche.



Abeille régurgitant du nectar



Système digestif simplifié de l'abeille



Pièces buccales d'une abeille ▶
Les deux « mâchoires » et la « langue » peuvent se refermer pour former un tube.

Doc. 3 Les pièces buccales de l'abeille lui permettent de récupérer le nectar.

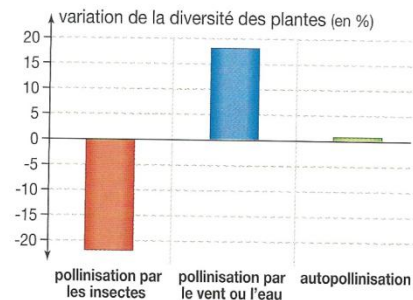
• Des insectes adaptés pour la pollinisation



Le comportement et l'anatomie des abeilles favorisent leur rôle de pollinisateur. Pour récolter le nectar et le pollen nécessaires à la vie de la ruche, une abeille peut visiter plusieurs milliers de fleurs en une seule journée. De plus, les abeilles ont tendance à ne visiter qu'une seule espèce de fleur au cours d'un même voyage. Le corps des abeilles est couvert de poils sur lesquels le pollen s'accroche facilement (*photographie ci-dessus*).

• Une étude sur le rôle pollinisateur des abeilles

Depuis plusieurs années, les abeilles voient leur nombre diminuer. Différents facteurs peuvent l'expliquer : pesticides, maladies, parasites, nouveaux prédateurs comme le frelon asiatique. Une étude britannique a confirmé ces faits, en révélant une baisse du nombre d'abeilles de plus de 67 % dans les zones étudiées. Les chercheurs ont également estimé en parallèle les variations de diversité des plantes en fonction de leur stratégie de pollinisation. Les résultats sont présentés dans le *graphique ci-dessous*.



Doc. 4 Des adaptations conjointes de la plante et de son pollinisateur.

Une dissémination, produit d'une coévolution

Le *Melocactus violaceus*, un cactus d'une dizaine de centimètres de diamètre, pousse sur les sols sableux des zones désertiques brésiliennes. Il produit des fruits roses au niveau d'un *cephalium* blanchâtre situé à son sommet. Le lézard

Tropidurus torquatus est un des rares animaux à pouvoir manger ces fruits ; il permet ainsi la dissémination des graines qui se retrouvent dans ses déjections. Cette collaboration entre plante et animal est le produit d'une coévolution.



Le lézard *Tropidurus torquatus*

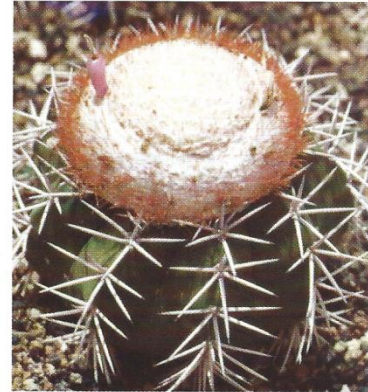
action sur le cactus

adaptation évolutive
du lézard

coévolution du cactus
et du lézard

action sur le lézard

adaptation évolutive
du cactus



Melocactus violaceus avec un fruit sortant du *cephalium*

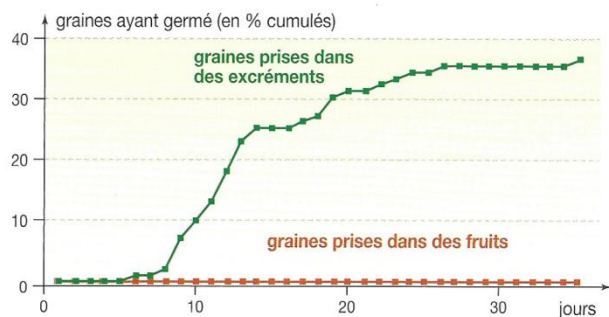
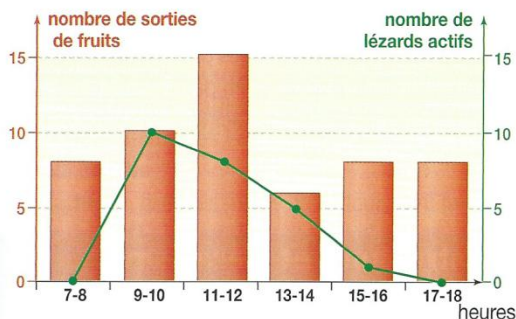
• Adaptations de la plante

Le lézard est un des rares animaux de la région à pouvoir être actif dans la journée. Les températures dépassent en effet régulièrement les 50 °C et le manque d'eau se fait sentir. Le cactus produit des fruits sucrés et très riches en eau ; ils se forment dans le *cephalium* et ne sortent qu'à maturité. Une équipe de chercheurs a mesuré le rythme de sortie des fruits de 118 cactus pendant une journée et l'a mis en parallèle avec le nombre de lézards présents autour des plantes. Les résultats sont présentés ci-dessous.

• Adaptations du lézard

La morphologie du lézard lui permet de manger facilement les fruits du cactus : il est assez petit pour se faufiler entre les épines et sa bouche est assez grande pour pouvoir ingérer le fruit. Après digestion, les graines se retrouvent dans les déjections du lézard qui les dépose en moyenne à trois mètres de la plante mère.

Pour estimer le pouvoir germinatif des graines digérées, des chercheurs ont récupéré et planté des graines mangées par des lézards. Ils ont suivi le taux de germination de ces graines au cours du temps en comparaison avec des graines n'ayant pas transité par le système digestif d'un lézard. Les résultats sont présentés sur le graphique ci-dessous.



Doc. 3 Une relation étroite entre deux espèces.

Bibliographie

1. « Evolution, synthèse des faits et théories » F. Brondex. Dunod. P151 à 153
2. « Guide critique de l'évolution. », G.Lecointre. Belin. p : 335 à 340.
3. « Sciences de la Vie et de la Terre, TS, enseignement spécifique». C. Lizeaux, D. Baude. Bordas. Programme 2012, p. 122-123
4. « Sciences de la Vie et de la Terre, TS, enseignement spécifique». C. Lizeaux, D. Baude. Bordas. Programme 2012, p. 125