

LA VIE FIXEE DES PLANTES : STRUCTURES / FONCTIONS EN LIEN AVEC UN MODE DE VIE A L'INTERFACE AIR /SOL

définition d'une plante : (du latin Plantae) = organisme eucaryote pluricellulaire à la base des chaînes alimentaires (maillons 1) = Embryophytes = Plantes terrestres = Archégoniates = Cormophytes = Plantes vasculaires (à vaisseaux de conduction des sèves)

plantes = immobiles ≠ animaux dont l'immense majorité est mobile

vie fixée de la plante = vie globale immobile dans un substratum rocheux, le sol et tournée vers l'atmosphère et la lumière, source d'énergie = contrainte !

COMMENT L'EVOLUTION A SÉLECTIONNÉ LES INNOVATIONS HISTORIQUES TELLES QUE LES PLANTES À FLEURS SONT GLOBALEMENT ADAPTÉES À CETTE VIE FIXÉE ?

Combien ? > 300 000 espèces dont presque toutes = **Spermaphytes = Phanérogames** (végétaux à fleurs à graines)

= **Gymnospermes** (conifères ou résineux) à feuilles en aiguilles, d'écaillés ou nulles et à fleurs sans pistil et graines à nu non recouvertes par un ovaire

+ **Angiospermes** (Momocotylédones + Dicotylédones) à fleurs avec pistil en 3 parties (stigmate, style, et ovaire à ovules et/ou graines), étamines, enveloppe florale (péricorolle), apparus il y a - 210 Ma

COMMENT UNE PLANTE PARVIENT-ELLE DANS SON MILIEU DE VIE À RÉALISER SES GRANDES FONCTIONS SELON UN MODE DE VIE FIXÉE ?

Comme tout organisme, le végétal réalise des **échanges de matière et d'énergie avec son milieu de vie** (voir 1ère S : 2B : fonctionnement d'un écosystème). Chez l'animal majoritairement internalisées, ces **surfaces sont externalisées chez le végétal.**

De quels phénotypes une plante est dotée selon vous pour optimiser ses fonctions ?

nécessité pour une sélection positive en terme de survie et de reproduction par sélection naturelle darwinienne :

quoi ?	pour quelle fonction ?
optimisation des surfaces d'échanges avec le milieu (racines, tiges, feuilles)	nutrition
optimisation de phénotypes contre les agressions du milieu (abiotiques : variations saisonnières physico-chimiques, mécaniques et biotiques : biologiques : prédateurs, parasites)	défense
optimisation du développement de stratégies pour échanger ses gamètes à distance (pollinisation) et de dispersion via les graines des fruits pour assurer une germination à l'origine de plantules, nouvelles futures plantes aptes à se reproduire une fois leurs structures de reproduction fonctionnelles à leur tour	reproduction

Sujet Juin BAC 2016 Métropole

Dans son ouvrage, «L'éloge de la plante» (2004), le botaniste Francis Hallé discute des surfaces d'échanges chez les végétaux et animaux.« Mesurer la surface d'un végétal n'est pas chose facile [...] Quelle peut être la surface aérienne d'un arbre de 40 m de haut ? Une estimation de 10 000 m² (1 ha) n'est certainement pas exagérée ; la surface « interne » permettant les échanges gazeux serait 30 fois supérieure. [...]. En ce qui concerne les surfaces racinaires, les investigations sont encore plus difficiles et les données encore plus rares : la surface souterraine d'un plant de seigle serait 130 fois plus grande que la surface aérienne. [...]. »

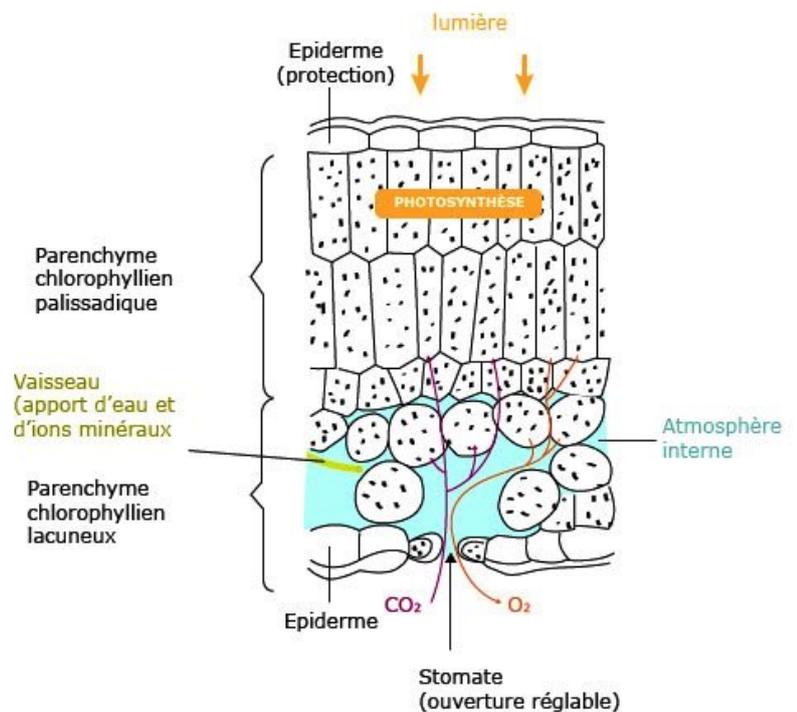
Expliquons d'abord en quoi les structures des organes impliqués dans les échanges nutritifs externes et internes d'une plante sont adaptées à son mode de vie fixé

I / NUTRITION ET VIE FIXÉE

L'appareil végétatif (tiges, feuilles, racines) de la plante comprend 2 surfaces d'échange avec le milieu extérieur : les **feuilles** et les racines.

Les plantes sont ancrées dans le sol par leurs racines et ne disposent pas de structures de locomotion : elles entretiennent une vie fixée qui leur apporte des contraintes.

Partons de l'équation-bilan de la photosynthèse : la biodisponibilité en CO₂ atmosphérique est faible donc il y a nécessité d'avoir des dispositifs de capture efficaces pour la photosynthèse dans un contexte où les variations climatiques sont possibles soit les variations de contraintes pour la plante ($\Delta\theta > 0$: sécheresse ou < 0 : gel, taux d'humidité faible ou fort)



Pour la capture de substances nutritives, les plantes doivent être adaptées pour exploiter les ressources à leur disposition (**le CO₂ atmosphérique à un taux faible de 0,04% = > 400 ppm, l'eau et les ions minéraux présents dans le sol**). Ces ressources sont toutefois diluées et disponibles de façon variables au cours du temps.

Dépendantes de leur milieu de vie, elles ne peuvent en fuir les contraintes (sécheresse, température basse, présence de prédateurs, etc.).

A/ 2 surfaces d'échanges avec le milieu

1/ vie fixée et surfaces d'échanges aériennes foliaires, interfaces sol / atmosphère

a/ structure foliaire et capture de lumière

Les feuilles présentent un rapport S/V surface/volume très fort : la surface est maximale et le volume est minimal grâce à une longue structure plate (épaisseur faible).

⇒ cela participe à l'optimisation de la taille et de l'efficacité de la surface d'échanges avec l'air :

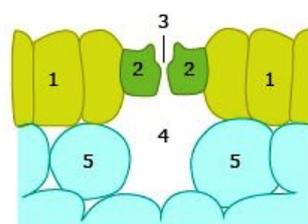
Des coupes transversales (CT) de feuilles de végétaux montrent :

- un épiderme supérieur formé d'une seule couche de cellules non chlorophylliennes, parfois recouvert d'une couche cireuse (protectrice), la cuticule, peu perméable aux échanges de gaz ou de solutions.
- un **parenchyme chlorophyllien palissadien** constitué de cellules **riches en chloroplastes**, aux parois minces et aux vacuoles bien développées : c'est la **zone principale de capture de l'énergie lumineuse**. (orientation parallèle aux rayons lumineux => ↗ efficacité des échanges avec les radiations lumineuses, photons)
- un **parenchyme chlorophyllien lacuneux dans lequel les cellules sont disjointes (méats) : c'est une surface d'échange où la capture de l'énergie lumineuse est moindre mais où la capture du CO₂ est très forte**
- un **épiderme inférieur riche en stomates** (immense majorité, face étant exposé le moins à la lumière, la supérieure ayant donc un évitement de cela déshydratation avec de plus une cuticule plus épaisse de lipides que l'inférieure)

b/ stomates et échanges gazeux

stomate : quoi ? où ? orifice de petite taille présent dans

Stomate vu en coupe



1. Cellules épidermiques (protection contre la dessiccation)
2. Cellules stomatiques
3. Ostiole
4. Chambre sous-stomatique
5. Cellules de parenchyme chlorophyllien

l'épiderme (surtout inférieur, côté le moins exposé à la lumière) des organes aériens des végétaux, les feuilles permettant les échanges gazeux entre la plante et l'air ambiant (dioxygène, dioxyde de carbone, vapeur d'eau...) ainsi que la régulation de la pression osmotique.

combien ? : densité : de 50 à 500 par mm²

Lorsqu'elles sont exposées également sur les deux faces, les stomates se répartissent aussi sur les deux faces. Ils sont beaucoup moins nombreux chez les espèces xérophytes, et sont alors souvent enfoncés dans l'épiderme au fond de sillons.

- Les Dicotylédones ont habituellement plus de stomates sur l'épiderme inférieur que l'épiderme supérieur, puisque ses feuilles sont tenues horizontalement, l'épiderme supérieur est directement illuminé. Cependant, la limitation du nombre de stomates sur l'épiderme supérieur permet de freiner les déperditions d'eau => donc lien angle d'exposition à la lumière / répartition des stomates non aléatoire => fruit d'une sélection naturelle (orientée en terme de survie et reproduction des variants des individus des espaces)
- Les Monocotylédones ont des feuilles verticales => même nombre de stomates sur les 2 épidermes.
- Si la plante a les feuilles flottantes, comme le nénuphar par exemple, il n'y aura aucun stomate sur l'épiderme inférieur comme il peut absorber des gaz directement de l'eau par la cuticule. Dans le cas d'une feuille submergée, aucun stomate ne sera présent.

structure : 2 cellules stomatiques (cellule de garde) chlorophylliennes, à vacuole délimitant l'orifice stomatique ou ostiole. Celui-ci s'ouvre plus ou moins, selon les besoins, en fonction de la turgescence (état cellulaire causée par une entrée d'eau intracellulaire). Sous l'ostiole se trouve, généralement dans le parenchyme sous-jacent, un espace vide appelé chambre sous-stomatique.

Rôles : utilisés par les plantes pour réaliser des échanges de gaz avec leur milieu. L'air contenant le dioxyde de carbone et le dioxygène entre par l'ouverture du stomate, l'ostiole, pour être utilisé dans la photosynthèse et la respiration.

- le dioxygène O₂ (g) est un déchet produit par la photosynthèse dans les cellules du parenchyme contenant des chloroplastes ; il est expulsé par ces mêmes ouvertures
- le dioxyde de carbone CO₂ (g) entre comme entrée de carbone pour la photosynthèse, base pour faire la matière carbonnée de la plante (voir 2nde)
- la vapeur d'eau H₂O(g) est dégagée dans l'atmosphère par ces pores durant la phase d'évapotranspiration des plantes : ce dégagement d'eau provoque une tension sur la colonne d'eau dans le xylème, principal moteur pour faire monter la sève brute jusqu'en haut de l'arbre (feuilles)

Dans de bonnes conditions hydriques, les 2 cellules stomatiques absorbent l'eau, se courbent, et tel un ballon trop gonflé, permettent l'ouverture de l'ostiole.

Hugo von Mohl (XIX^e) :

- la présence de chloroplastes sur les cellules stomatiques (ou cellules de garde)
- le mécanisme d'ouverture de l'ostiole repose sur l'augmentation du volume des cellules de garde par des phénomènes d'osmose. En effet, l'énergie produite par les chloroplastes permettrait de jouer sur le caractère hypotonique ou hypertonique par la transformation de l'amidon en glucose ou de glucose en amidon, molécules qui n'ont pas les mêmes caractéristiques osmotiques. En réalité certaines cellules de garde ne possèdent pas de chloroplastes (l'oignon par exemple) et ce postulat a été abandonné. L'ion K⁺ est en réalité l'élément déterminant du phénomène : son entrée et sa sortie de la vacuole est étroitement contrôlée et gouverne la turgescence des cellules stomatiques et donc l'ouverture des stomates. En cas de stress hydrique les racines synthétisent de l'acide abscissique qui agit sur les cellules stomatiques et provoque leur fermeture par plasmolyse, limitant ainsi les pertes d'eau. L'ouverture et la fermeture de l'ostiole se fait en fonction des conditions climatiques (chaleur, humidité, luminosité) et internes. Certaines plantes (dites CAM comme les Crassulacées) n'ouvrent leurs stomates que la nuit pour éviter les trop grandes déperditions d'eau.

il y a une régulation de l'ouverture des ostioles par les cellules de garde :

ouverture	lorsque la concentration en CO ₂ diminue (c'est-à-dire lorsque la photosynthèse augmente donc lorsqu'il y a plus de lumière) en réponse à une irradiation à la lumière bleue (donc lorsque l'ensoleillement est fort et la photosynthèse à son maximum).
------------------	---

fermeture

en réponse à des concentrations internes en CO₂ fortes, quand les températures sont importantes, en présence de vent fort et d'humidité faible, à des signaux hormonaux comme les acides abscissiques (ABA).

c/ méats et circulation des gaz

au niveau des feuilles :

- 1/ capture de CO₂ + rejet d'O₂ surtout au niveau des stomates +
- 2/ surface de réception de la lumière pour la photosynthèse : la feuille est à cellules riches en chloroplastes

La tige soutient ces 2 zones d'échanges : elle assure un port dressé (favorable à une capture optimale de lumière par la plante) dans le milieu peu porteur qu'est l'air.

selon François Hallé un arbre de 40 m de haut aurait un hectare de surface d'échanges avec l'atmosphère

existence de formes d'optimisation de l'absorption de la solution hydrominérale du sol :

- le nombre très élevée de feuilles
- la structure de la feuille : longue, de grande surface, très fine
- l'existence de très nombreuses cellules chlorophylliennes pour capter la lumière par leurs nombreuses chloroplastes à chlorophylle formant des rangées rectangulaires (parenchyme palissadique) et d'autres cellules formant le parenchyme lacunaire

NB :

- le parenchyme palissadique, constitué de cellules allongées et jointives, permet, après avoir absorbé une partie de l'énergie lumineuse, d'assurer une transmission efficace des radiations lumineuses vers la partie inférieure de la feuille (effet fibre optique)
- le parenchyme lacuneux, par sa surface irrégulière, permet une transmission performante par effet miroir et diffusion, à l'ensemble des cellules chlorophylliennes.
- l'existence de replis internes (chambres pour les échanges de gaz) situées en arrière des stomates, structures essentiellement situées à l'épiderme inférieur des feuilles et s'ouvrant suivant les conditions du milieu (température, concentrations en ions ...)

Ainsi, de nombreuses adaptations ont été sélectionnées au cours de l'évolution par sélection naturelle permettant d'optimiser l'absorption de l'énergie lumineuse par des feuilles, organes fins et plats constituant une vaste surface d'échanges nutritifs très efficace pour capter l'énergie lumineuse

nécessaire à la photosynthèse.

On peut citer :

- la disposition des feuilles face à la lumière (aspect positionnel)
- l'abondance des feuilles dans la couronne, le nombre élevé de chloroplastes par cellule de feuille et la quantité de chlorophylle par chloroplaste : nombreuses lamelles empilées (thylakoïdes) (aspect quantitatif)
- la cyclose des chloroplastes
- le trajet optique des photons allongé par transmission, réflexion et diffusion.

2/ vie fixée et surfaces d'échanges souterraines racinaires, interfaces plante / hydrosphère-sol

a / la zone pilifère

énorme surface difficilement estimable due à des formes d'optimisation de l'absorption de la solution hydrominérale du sol :

- 1/ nombreuses dichotomies de la racine primaire en racines secondaires puis radicelles
- en fin de structure, l'existence de très nombreuses (millions le plus souvent) cellules très allongées au niveau membranaires en doigts de gants, les poils absorbants

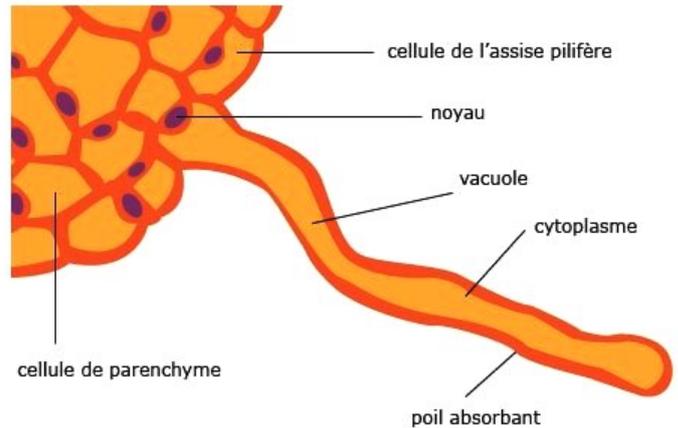
en pénurie d'eau, ils s'allongent

- filaments mycéliens de champignons si pas de poils absorbants

b / les mycorhizes (voir chapitre la diversification du vivant)

Constat : chez la plupart des plantes sauvages, l'observation des racines montrent une absence totale de poils absorbants,

remplacés par un manchon jaune/orangé autour des racines les plus fines. Il s'agit des mycorhizes, associations symbiotiques nutritives entre des mycètes (champignons) de la litière (sol) et les cellules racinaires (poils absorbants) des végétaux. Il y a bénéfice réciproque pour les 2 partenaires : le champignon absorbe l'eau très efficacement et en donne une grande partie à la plante tandis que la plante produit la matière organique qu'elle retourne au champignon. (cf chapitre diversification du génome)



Les racines sont très ramifiées, très longues et présentent de très nombreux poils absorbants qui augmentent très fortement la surface d'absorption de la solution hydrominérale du sol, cellules de la couche cellulaire périphérique très allongées et absorbant l'eau et les sels minéraux de façon active, ce qui compense la dilution des ressources en molécules minérales du sol (ions du CAH, cf 1ère S)

c / le transfert vers les éléments conducteurs

Il y a 2 principales surfaces d'échanges chez la plante : les racines et les feuilles.

Les racines sont le siège de la capture de l'eau et des sels minéraux présents dans le sol, nécessaires à l'hydratation de la plante et à la réalisation de la photosynthèse.

L'existence de nombreux poils absorbants au niveau des racines permet d'augmenter la surface d'échange racinaire et ainsi compenser la dilution des ressources du sol. Les racines ont aussi un rôle de stockage des réserves nutritives. Certaines plantes n'ont pas de poils absorbants et établissent une association symbiotique avec des champignons qui leur permettent d'accroître leur capacité d'absorption. En échange, la plante apporte de la matière organique aux champignons. On nomme ces associations des mycorhizes.

3/ Quantification des surfaces d'échange (cf AP)

a/ différentes méthodes d'estimation de la surface foliaire

b/ modélisation des surfaces d'échange

c/ comparaison des surfaces d'échange végétales et animales

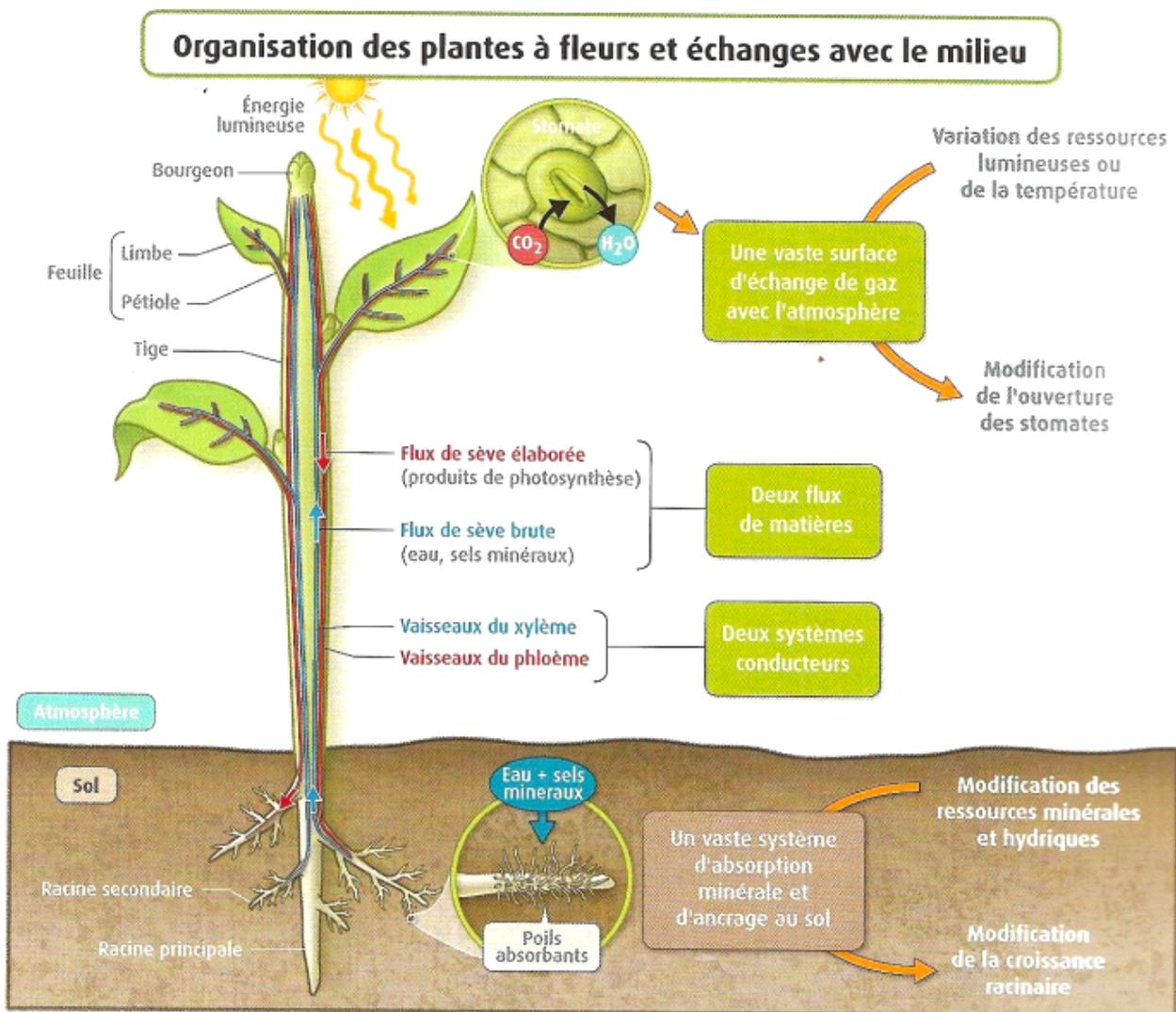
B/ Des systèmes de conduction en relation avec le milieu

Les 2 surfaces d'échanges sont mises en relation par la circulation de sèves, qui assurent des flux de matière au sein de la plante. Cette circulation s'effectue au sein de tissus conducteurs.

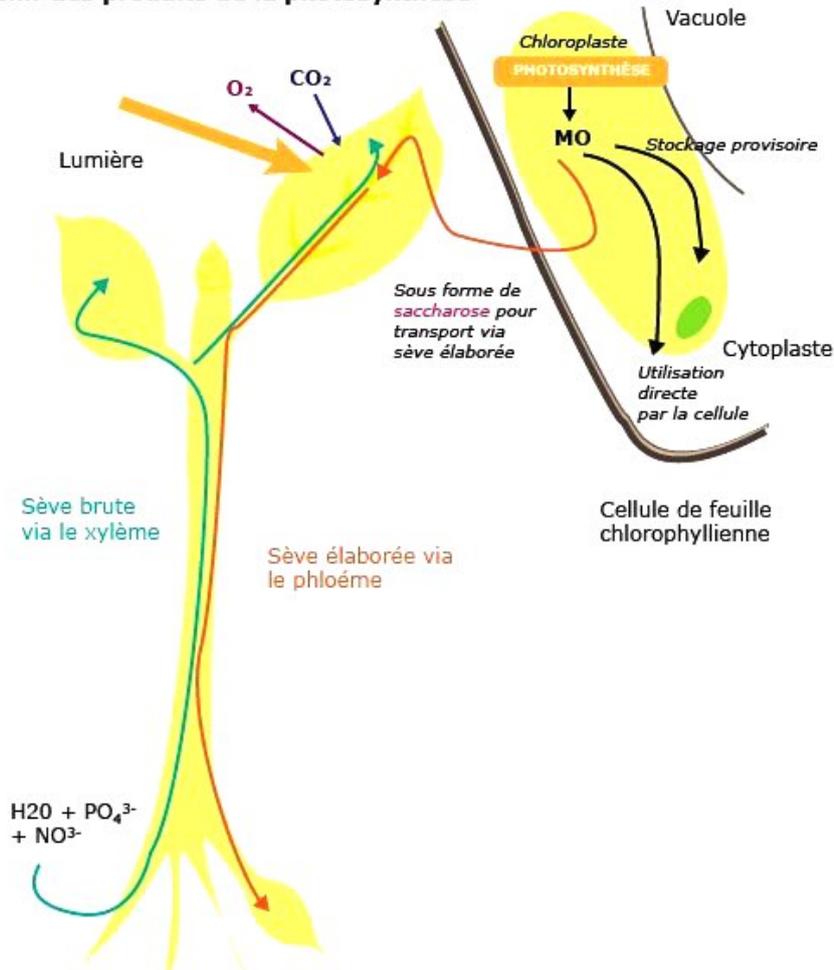
Il existe 2 types de sèves :

<p>La sève brute</p>	<p>elle est constituée d'eau et d'ions, et circule au sein des vaisseaux du xylème</p> <p>xylème, du grec xylon, « bois » = tissu xylémique = constituant des tissus végétaux = association de vaisseaux, faisceaux de cellules mortes alignées et entourées de lignine servant à transporter, conduire de grandes quantités d'eau et de nutriments depuis le sol (sève brute issue de la solution hydrominérale prélevée par les racines) jusqu'à l'« usine photosynthétique » que constitue l'appareil foliaire.</p> <p>Le xylème étant composé de cellules mortes, les solutés n'ont pas besoin de franchir de membrane plasmique pour transiter dans la plante, ce qui permet des gains substantiels d'énergie en évitant notamment l'utilisation de pompe ATP dépendante depuis les racines vers les feuilles et les organes tels que les fruits, les fleurs, etc.</p> <p>+ cellules mortes ou vivantes de soutien et cellules associées</p>
<p>La sève élaborée</p>	<p>elle est riche en sucres et en acides aminés, et circule au sein du phloème, depuis les organes photosynthétiques vers les organes non photosynthétiques.</p> <ul style="list-style-type: none"> - le xylème est un ensemble de cellules mortes superposées dont la paroi cellulaire est renforcée par la lignine - le phloème est un ensemble de cellules vivantes dont la paroi cellulaire est recouverte de cellulose.

On peut ainsi schématiser les différents flux de matière au sein de la plante :



Devenir des produits de la photosynthèse



PHOTOSYNTHESE : $hv + n \text{ CO}_2 + n \text{ H}_2\text{O} \Rightarrow (\text{CH}_2\text{O})_n + n \text{ O}_2$

La plante développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec l'atmosphère (échanges de gaz CO₂, O₂ et vapeur d'eau H₂O, capture de la lumière) et avec le sol (échange d'eau et d'ions).

La plante développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec :

- l'atmosphère (échanges de gaz CO₂ (g), O₂ (g), H₂O, capture des photons solaires)
- le sol (échange d'eau et d'ions, voir CAH 1ère S : rappels : le sol est un milieu complexe composé de 4 types d'éléments : gazeux (air), liquides (eau), minéraux +/- solubles dans l'eau et organiques. Parmi les différents éléments minéraux en présence, les argiles s'associent à la matière organique du sol (l'humus) pour former, sous l'action stabilisatrice du calcium, le complexe argilo-humique. La structure en feuillet des argiles confère au complexe une puissante charge négative. Une certaine quantité de cations libres de la solution du sol peuvent alors s'y fixer (Ca²⁺, K⁺, H⁺, Na²⁺ etc.). Le complexe argilo-humique est ainsi un véritable réservoir d'éléments nutritifs pour la culture / animation sur le CAH : <http://www.agro-systemes.com/images/anim-cah-potassium-2.swf>)

Des systèmes conducteurs permettent les circulations de matières et d'énergie dans la plante, notamment entre systèmes aérien et souterrain.

La plante possède à leur niveau des structures et des mécanismes de défense (contre les agressions du milieu, les prédateurs, les variations saisonnières : voir plus loin II /).

Expliquons maintenant en quoi les structures des organes impliqués dans la fonction de défense d'une plante sont adaptées à son mode de vie fixé

II / VIE FIXEE ET DEFENSE

⇒ voir annexe

Expliquons enfin en quoi les structures des organes impliqués dans la fonction de reproduction d'une plante sont adaptées à son mode de vie fixé

III / REPRODUCTION ET VIE FIXEE

A/ De la fleur au fruit à graine(s)

QUELLE EST L'ORIGINE DES GRAINES ?

La plante étant fixée, ce sont les graines qui dispersent l'espèce et favorisent son extension / présence / développement / dissémination dans leur milieu de vie ou de nouveaux. D'où viennent-elles ? vu au Collège : de la pollinisation des ovules des ovaires du pistil (organe femelle) par des grains de pollen issus des étamines (organes mâles)

Les fleurs sont produites à partir d'un **méristème floral** (méristème : tissu à cellules particulières pouvant générer un nouvel organe ou tissu) sous la conduite de l'expression de **gènes du développement**. Des mutations de ces gènes appelés homéotiques (mutation *apetala*, *agamous*, *pistillata* créant des homéoses, comme chez les Animaux...) conduisent à des fleurs mal formées : les allèles mutés du gène *apetala2* aboutissent à des carpelles à la place des sépales, et les étamines peuvent remplacer les pétales : homéose = apparition d'un organe au mauvais endroit ou mauvais développement si mutation de ces gènes architectes, ici de la différenciation correcte de la fleur).

Les **pièces fertiles (style, stigmate, ovaires et étamines)** sont adaptées au mode de dispersion du pollen : ainsi, **pour une dispersion par le vent, les stigmates sont plumeux et les étamines tombantes**.

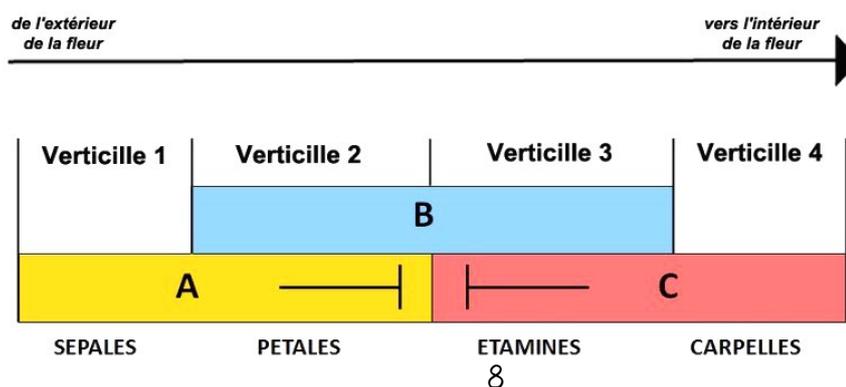
Dans le cas d'une coopération animale, la fleur par sa couleur, la présence de nectaires (glandes qui sécrètent le nectar sucré capté par l'animal), l'odeur, les stries des pétales sous radiations à UV captés par les papillons, ou la chaleur qu'elle dégage va attirer l'insecte, la chauve-souris, l'oiseau... **La pollinisation de la plante est souvent spécifique de l'animal qui la butine, la plante allant jusqu'à mimer l'insecte et ses phéromones, hormones attractives de l'espèce attirée.**

<https://www.youtube.com/watch?v=RGtnbub596g>

http://www.pixiflore.com/pages/lecon_bota/lecons.html

exemples :

- les « **orchidées-bourdon** », dont le parfum est l'imitation végétale du parfum du partenaire sexuel du bourdon pollinisateur. Il est fascinant de voir que, bien entendu, l'insecte en question à chaque fois est leurré par la plante : ni bourdon femelle avec lequel se reproduire, ni charogne à déguster : de la fleur et que de la fleur ! Le nectar est alors présent dans la fleur pour " récompenser " les insectes qui ont été bernés, afin qu'ils se rassasient et reviennent quand-même. Quoi qu'il en soit, leur appétit sexuel ou alimentaire les a fait s'agiter, et ils repartent de la fleur, énervés et dans le meilleur des cas repus de nectar, avec une cargaison de pollen qui leur permettra, à la prochaine escale sur une autre fleur, de la polliniser sans le savoir



- **les odeurs cadavériques des fleurs des arums** : ces odeurs attirent des mouches qui prennent la fleur pour une charogne à déguster et elles deviennent ainsi vectrices du pollen collant, qui se trouve libéré par les étamines fragilisées par les chocs mécaniques associés à leur mouvement et à l'air désenchanté (température des printemps/étés).

Des barrières physiques, temporelles ou génétiques ont été conservées par sélection naturelle et participent à limiter l'autofécondation (au sein d'une même fleur dite autogame) : si et seulement si le grain de pollen est reconnu par les stigmates (interactions moléculaires impliquant des récepteurs des cellules stigmatiques externes épidermiques, alors il y aura fécondation des ovules. La fleur va alors évoluer en fruit avec des ovules fécondés devenant graines.

Évolution de la fleur en fruit et coupe transversale (CT) du fruit

Secs ou charnus, chaque fruit contient un (ou des) graine(s). Elles se dispersent spontanément dans leur environnement (le concombre éclate par exemple), alors que pour d'autres espèces, un vecteur est nécessaire pour la dispersion des graines.

B/ Les gènes architectes des fleurs

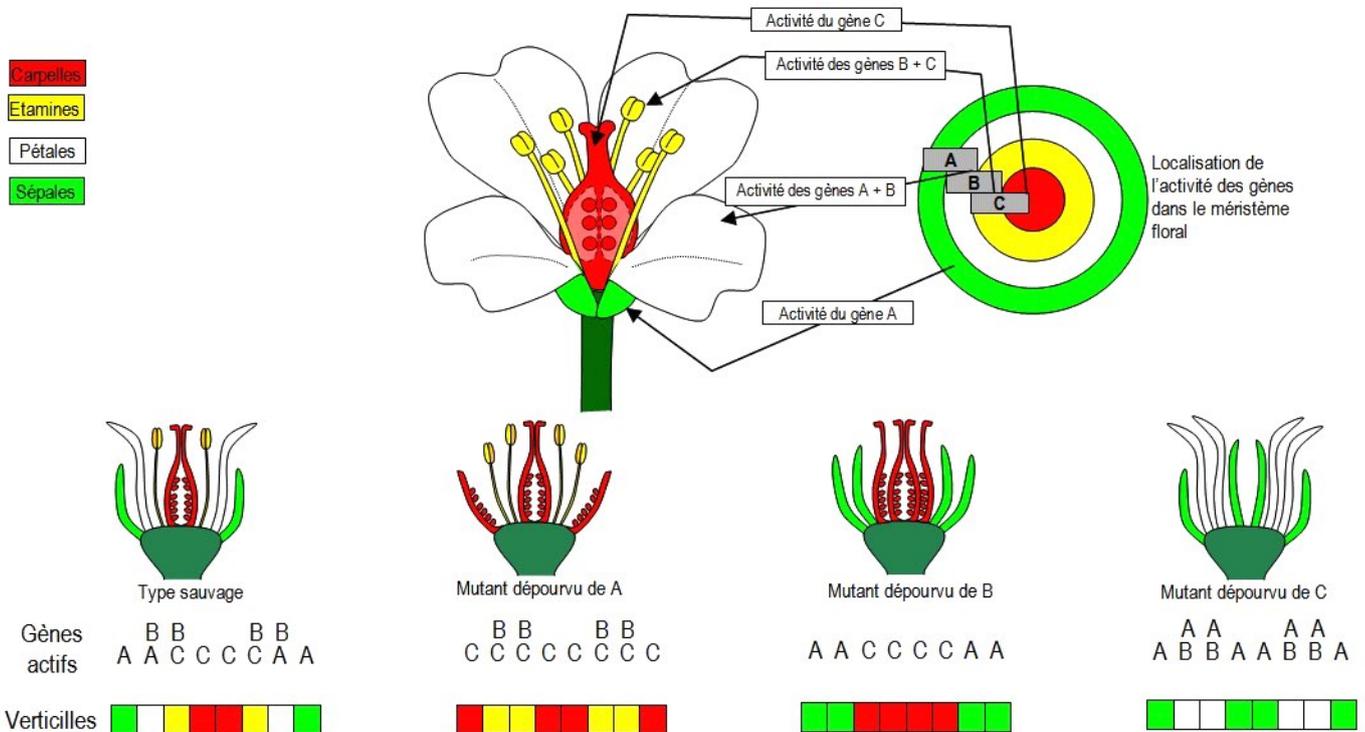
gène architecte = gène homéotique = gène de développement : gène qui joue un rôle d'initiation de l'expression d'autres qui participent à la synthèse de protéines et d'ARNs intervenant dans la mise en place d'un organe au cours du développement embryonnaire ou méristématique

⇒ cf AP : diagramme floral

verticille : organes pièces florales disposés par 3 minimum autour d'un même point d'insertion : calice (sépalés), corolle (pétales), périanthe (calice+ corolle), androcée (étamines), gynécée (carpelles réunis en un pistil)

Modèle ABC : Lieux d'expression des gènes (classes de gènes) d'identité des organes dans le développement floral

D'après : dossier hors série de la revue *Pour la Science*, janvier 2000 ; *Biologie* de Neil Campbell et Jane Reece édité par Pearson Education (7^e édition) ; *biologie végétale* de Raven, Evert et Eichert chez De Boeck université (6^e édition) ; http://serres.u-bourgoane.fr/IMG/pdf/Cours_LBG_Bioveq_5_2009.pdf



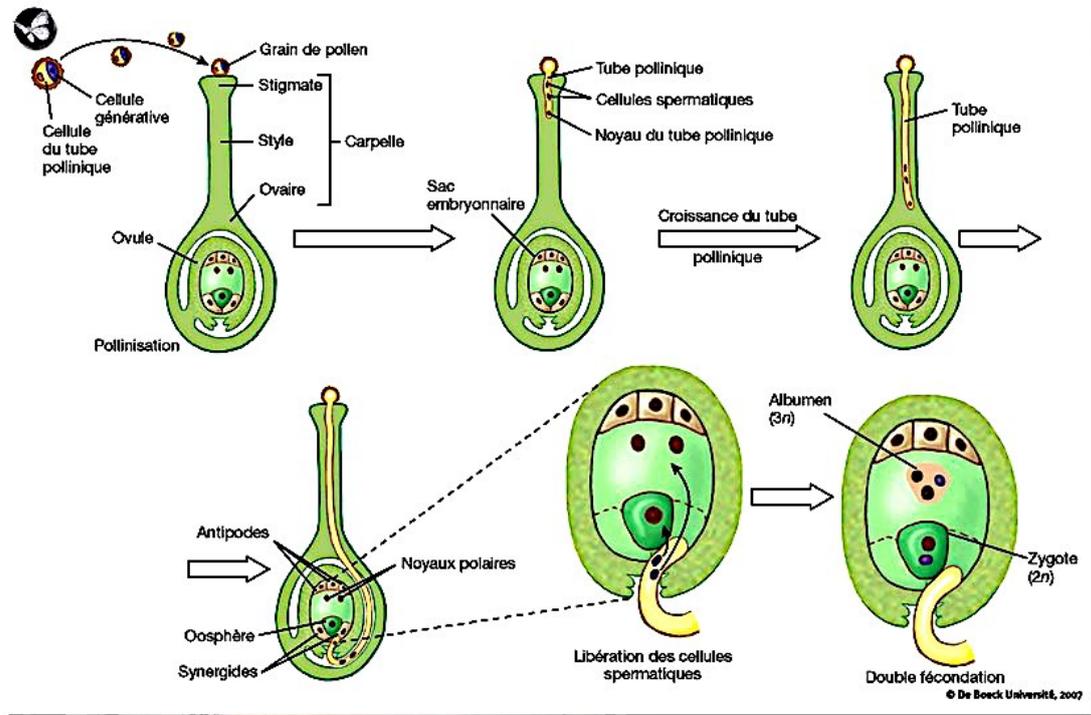
C/ Quelques aspects de la reproduction sexuée des plantes à fleurs

Dans les **étamines**, organes reproducteurs mâles des plantes à fleurs, des cellules en méiose donnent des cellules à l'origine des **grains de pollen** : chacun contient 2 cellules à noyau haploïde.

Dans chaque ovule, il y a des ensembles multicellulaires à 7 cellules nommés **sacs embryonnaires dont 2 haploïdes sont aptes à fusionner via leur noyau avec chacun des noyaux des 2 cellules d'un grain de pollen compatible**

La formation des graines se fait selon :

1/ un transport des grains de pollen des étamines (anthères) au stigmate d'une fleur de la même espèce : c'est la



pollinisation, qui est assurée par le vent ou les insectes

2/ une germination des grains de pollen arrivés sur le stigmate en tubes polliniques qui s'allongent dans le style et arrivent finalement dans l'ovaire où ils libèrent chacun leur gamète mâle avec son noyau dans 2 cellules de l'ovule :

l'une s'appelle oosphère et donnera par fusion avec le 1er noyau du grain de pollen dit reproducteur le zygote (= cellule-oeuf) diploïde à l'origine de la graine et 2 autres noyaux du sac embryonnaire de l'ovule dits bipolaires s'associent avec le 2è noyau des grains de pollen forment un ensemble triploïde par fusion de leur contenus (caryogamie des noyaux bipolaires puis avec le noyau dit végétatif du grain de pollen), l'albumen, qui formera un tissu nourricier protégeant la graine : on parle donc de double fécondation. Elle est interne car les gamètes mâles ne sont jamais libérés dans le milieu extérieur et garantit le succès de la reproduction en milieu aérien (hostile, car desséchant). Le développement de l'embryon se fait à l'intérieur de la plante mère, comme chez les Mammifères : c'est une sorte de viviparité qui, associée à la dormance des graines, est un dispositif adapté à la vie aérienne. Puisque les plantes sont immobiles, la rencontre des gamètes est facilitée par la production d'un très grand nombre de vecteurs de gamètes, les grains de pollen, très légers et facilement transportés par les agents extérieurs : vent et pollinisateurs tels que des mammifères, des oiseaux et surtout des insectes, en particuliers les abeilles.

donc : l'ovaire se transforme en fruit à graines, chaque ovule donnant un albumen triploïde à réserves et un embryon diploïde, les 2 formant la graine, structure de dispersion de l'espèce germant en conditions favorables (température modérée, eau)

attention : le gamète femelle animal est l'ovocyte II, mais chez les Plantes à Fleurs, l'ovule contient le gamète femelle. De même, le spermatozoïde animal, gamète mâle n'a pas pour équivalent direct le grain de pollen, qui contient 2 cellules et qui n'est pas le gamète mais le gamétophyte mâle des Plantes à Fleurs, le vecteur contenant les gamètes mâles.

germination d'un grain de pollen de tabac :

<http://www.youtube.com/watch?v=-uv9zl03UGo>

<https://www.youtube.com/watch?v=YvVb0xhK07c>

<http://arnmessenger.com/2014/12/19/les-mots-damour-des-plantes-a-fleurs/comment-page-1/>

D/ Autofécondation et fécondation croisée

Les fleurs d'une plante bisexuée (♂ + ♀) ont des pistils à stigmates pouvant recevoir du pollen de la même fleur ou d'une fleur du même plant : dans ce cas, un gamète mâle (grain de pollen) féconde un gamète femelle (oosphère) du même individu : c'est **l'autofécondation (exemple : Arabidopsis Thaliana)**

Chez beaucoup de Plantes bisexuées, **des dispositifs font que c'est le pollen d'un plant qui féconde le gamète femelle d'un autre plant : il y a fécondation croisée (ou allofécondation des plantes allogames).**

E/ Adaptations à la vie fixée

adaptation	intéret(s) reproducteurs évolutifs
la fécondation interne des noyaux de 2 cellules du gamétophyte femelle contenu dans les ovules des ovaires protégés par une paroi en bas du pistil par ceux des 2 cellules des grains de pollen amenés au stigmate et de contenu (gamétophyte mâle) jamais en contact direct avec le milieu extérieur libéré par des tubes polliniques	garantie du succès reproducteur (fitness) en milieu arien (hostile car déséchant) avec développement embryonnaire comme chez les mammifères (équivalent de viviparité)

<p style="text-align: center;">dormance des graines :</p> <p>définition : forme de vie ralentie durant une période où la croissance, le développement sont temporairement interrompus : cela réduit l'activité métabolique et aide donc l'organisme à conserver de l'énergie, étroitement associée aux conditions environnementales. La dormance prédictive (dite aussi innée ou primaire) se produit avant l'apparition de conditions défavorables, mécanisme codé génétiquement. exemple : la photopériode et la diminution de température sont utilisées par de nombreuses plantes pour prédire l'arrivée de l'hiver. Une graine dormante n'a pas les capacités de germer tant que les facteurs environnementaux sont sous le seuil favorable à la germination.</p> <p style="text-align: center;">stades de la dormance :</p> <p>1/ l'initiation : l'entrée en dormance dépend surtout des conditions environnementales détectées (diminution des ressources alimentaires, variations de température, pH ...photopériodisme, etc.). La réponse cellulaire entraîne des changements dans l'expression des gènes et des synthèses protéiques. C'est un mécanisme à coût énergétique pour la formation de structures « de repos » et de la machinerie nécessaire à la transition stade dormant/non-dormant. Il existerait donc un compromis (trade-off en anglais) entre l'investissement énergétique, le degré de résistance environnementale et la réactivité à entrer en phase de dormance face aux changements de l'environnement.</p> <p>2/ le maintien : pour rester en état de dormance, il convient de limiter au maximum les dépenses énergétiques : il y a généralement réduction massive de la synthèse d'ARN ribosomiques et messagers, augmentation de la dégradation des protéines, ainsi que de nombreux ajustements métaboliques. Souvent, la germination n'est pas immédiate et nécessite le passage par une période de dormance, inhibée par divers mécanismes (présence d'inhibiteurs, de protéines photosensibles, ou de systèmes mécaniques tels que l'imperméabilité des enveloppes à l'eau ou à l'O₂).</p> <p>3/ la sortie : il n'y a adaptation que si le passage d'un état dormant à non-dormant est possible quand les conditions environnementales le permettent : on observe alors la reprise des activités métaboliques et enzymatiques via la sécrétion de facteurs de croissance.</p>	<p>minimisation des risques (bet-hedging en anglais)</p>
--	---

COMMENT L'ÉVOLUTION EN PARALLÈLE DES POLLINISATEURS ET ENSEMENCEURS ANIMAUX A T-ELLE ACCOMPAGNÉE CELLE DES PLANTES ?

F/ Quelques aspects de la coévolution

COMMENT LE POLLEN EST-IL DISPERSÉ ? PAR QUI ? COMMENT ?

1/ pollinisation et coévolution

La pollinisation est assurée :

PAR QUI ?	COMMENT ?
POUR DE NOMBREUSES PLANTES PAR LES INSECTES (ENTOMOGAMIE)	<p>ceux-ci recherchent dans la fleur une source nutritive : le nectar (liquide sucré sécrété par des glandes, les nectaires, à la base des pièces florales) et le pollen, notamment par les abeilles. Si un insecte visite une fleur, le pollen se fixe aux soies (poils) de son corps : lorsqu'il en visite d'autres, l'insecte abandonne quelques grains de pollen sur les stigmates gluants. Certains grains forment des boules accrochés chez les abeilles à la paire de pattes postérieures à crochets.</p> <p>Souvent, on constate une remarquable adaptation entre les structures de la fleur où sont situés les nectaires et les pièces buccales de l'insecte qui permettent d'aspirer le nectar.</p> <p>exemple 1 : l'orchidée de Madagascar étudiée par Darwin et son papillon pollinisateur (le sphinx) Cette orchidée possède une corolle avec un éperon nectarifère de 30 cm de long : les nectaires sont au fond de ce tube. Darwin imagina que la pollinisation de cette orchidée devait être assurée par un papillon muni d'une trompe de grande longueur. Le papillon devait introduire sa tête dans la fleur avec une forte chance de se recouvrir de pollen (chez l'orchidée, le pollen forme des masses appelées pollinies). En butinant une fleur d'une autre plante, il dépose une partie de son pollen sur le stigmate, réalisant une pollinisation croisée.</p> <p>Un papillon nocturne présentant ses caractéristiques a été découvert une quarantaine d'années plus tard à Madagascar : sa trompe mesure en moyenne 25 cm de longueur, soit un peu moins que le tube nectarifère, ce qui oblige l'insecte à pénétrer dans la fleur pour se nourrir.</p> <p>Cette remarquable relation entre 2 phénotypes, l'un d'une plante, l'autre par un insecte est appelée coadaptation, spécifique (une espèce de papillon précise et une espèce précise d'orchidée). Darwin a interprété ce phénomène sous l'angle évolutif et aujourd'hui on utilise le terme de coévolution pour traduire les mécanismes ayant abouti à cette coadaptation.</p>
PAR LE VENT	
PAR DES MAMMIFÈRES	

Une coévolution implique une relation étroite et de longue durée entre les populations de 2 organismes. Au départ, ces 2 populations devaient être différentes d'actuellement : **l'évolution de la plante a été influencée par l'insecte : celui-ci a exercé une pression sélective sur la plante entraînant un changement phénotypique au cours du temps. Inversement, la plante exercé une pression sélective sur l'insecte. Pour qu'on puisse parler de coévolution, il faut que les 2 espèces aient exercé une pression de sélection l'une sur l'autre. La coévolution repose sur la sélection naturelle comme force évolutive.**

Voyons comment l'insecte a pu exercer une pression sélective sur la plante. Imaginons une population d'orchidées dont les tubes nectarifères sont de longueur différente (cette différence étant d'origine génétique). Pour recueillir le nectar, les papillons n'ont pas besoin de pénétrer dans les fleurs à tubes nectarifères courts car leur trompe est plus longue que l'éperon. En conséquence, leur tête ne se couvre pas du pollen et ils ne contribuent pas à la pollinisation de ces orchidées. En revanche, ils doivent enfoncer leur tête dans les fleurs à tubes longs pour introduire leur trompe ; leur tête se couvre de pollen et ils participent à la pollinisation. En conséquence, la pollinisation de papillons exerce une pression de sélection négative sur les populations d'orchidées à tubes courts qui, moins pollinisées, produisent moins de graines. Imaginons maintenant une population d'orchidées dont les tubes sont longs et une population de papillons dont les trompes sont de longueur différente. Les papillons aux trompes les plus courtes pourront difficilement atteindre le nectar des fleurs, ce qui retentira sur la reproduction de ces insectes. En conséquence, ces papillons sont l'objet d'une pression de sélection négative de la part des orchidées. Ces interactions ont lieu progressivement tout au long de l'histoire évolutive de 2 espèces. L'état observé aujourd'hui - orchidée à long tube nectarifère et papillon à longue trompe - est le fruit de cette longue coévolution.

exemple 2 : Sauge des Prés & bourdon : http://www.svtaclairij.fr/coevolution/sauge/synthese_images.htm

genre *Salvia* : non-expression des 2 étamines postérieures et les 2 étamines antérieures peuvent fonctionner comme un levier distributeur de pollen, dispositif à l'origine d'un processus de pollinisation très particulier auquel participent le plus souvent les bourdons ou l'abeille domestique.

origine de l'élongation du connectif : études de phylogénie moléculaire (J. B. Walker and K. Sysmsma 2007) : au moins 3 origines différentes, indépendantes, au cours de l'évolution au sein de la tribu Mentheae, le modèle staminal ancestral étant celui d'une

étamine à 2 loges polliniques fertiles, réunies par un connectif sans aucune élongation (modèle ancestral des *Menthae*, voir [chez *Mentha sylvestris*](#)).

Il faut donc envisager que le levier staminal des espèces du genre *Salvia* (en particulier *S. pratensis*) résulte d'une évolution soumise à la pression sélective des pollinisateurs, à partir du modèle ancestral. En réalité, il y a probablement eu pression sélective mutuelle des partenaires au cours d'une évolution interdépendante (coévolution).

des caractéristiques d'une fleur endogame : fleur de Saugé : diapo

- à nectar abondant, vivement colorée, à violet de sa corolle très bien repéré par l'abeille et probablement les bourdons
- lèvre inférieure : véritable piste d'atterrissage et permet aux insectes de s'accrocher pour récolter le nectar. Le pollen est produit dans des loges polliniques cachées dans le casque de la lèvre supérieure de la corolle, il ne peut être transporté par le vent. Les grains sont collants et peuvent facilement s'accrocher aux poils des insectes puis être retenus par un stigmate. Le levier staminal, dispositif très spécialisé, dépose le pollen avec une grande précision sur le dos de l'insecte butineur à condition qu'il ait été actionné par le visiteur => il convient particulièrement bien aux bourdons et à l'abeille domestique.

Une fleur qui fournit de la nourriture (nectar surtout mais aussi pollen) aux bourdons

- Un nectar abondant, à la portée des bourdons

Comme cela a été expliqué par ailleurs, le disque nectarifère situé au fond du tube de la corolle produit un nectar abondant que la plupart des bourdons, avec leur appareil buccal suceur-aspirateur à longue langue, peuvent facilement récolter.

- Du pollen distribué automatiquement par la fleur sur le dos de chaque bourdon récolteur de nectar

Lorsqu'un bourdon récolte du nectar, il actionne le levier staminal distributeur de pollen de la fleur de saugé qui lui dépose des grains sur le dos. Le pollen récupéré passivement est parfois exploité par l'insecte. Certains bourdons exploitent activement le pollen, ils saisissent et bougent les étamines avec leur mandibules puis rassemblent les grains récupérés (pelotes) dans les corbeilles de leurs pattes postérieures.

<http://www.svtclairj.fr/coevolution/sauge/interactions.htm>

Les bourdons, des agents efficaces de la pollinisation, souvent croisée, de la Saugé des prés

Quand un bourdon place son proboscis dans une position permettant la récolte du nectar d'une fleur au stade mâle, il provoque le basculement des étamines qui déposent un peu de pollen (au pouvoir germinatif élevé) sur son dos, dans une zone qui est à peu près toujours la même pour une espèce de *Bombus* donnée (thorax ou ailes ou éventuellement abdomen). Les poils de l'insecte peuvent retenir les grains collants (pollenkitt). Le pollen de cette fleur ne peut pas germer sur ses propres stigmates (ni en général sur ceux des fleurs voisines du même rameau qui sont, le plus souvent également au stade mâle) car ils ne sont pas réceptifs.

Si le bourdon visite ensuite une fleur au stade femelle, il peut à son arrivée ou lors de son départ, frotter son dos sur la fourche stigmatique (style allongé) et laisser quelques grains de pollen qui pourront éventuellement germer car les stigmates sont réceptifs. Le bourdon assure alors passivement le transport du pollen le plus souvent d'une fleur au stade mâle d'un pied sur une fleur au stade femelle d'un autre pied : la pollinisation est alors croisée. L'autopollinisation est possible mais il faut qu'elle concerne une fleur au stade mâle d'un pied et une fleur au stade femelle du même pied, elle est moins probable. La protandrie favorise la pollinisation croisée que les bourdons (et l'abeille domestique) peuvent assurer avec efficacité.

Les insectes et *Salvia pratensis* profitent mutuellement des interactions mises en place au cours de l'évolution entre les pollinisateurs et la plante.

<https://www.youtube.com/watch?v=liWkp0bx3MY> : pollen de baobab et chauve-souris

<https://www.youtube.com/watch?v=oDSaN5u4KEM> : colibri

<https://www.youtube.com/watch?v=PzKrUDV1fIQ> : abeille et fleur de framboisier

<http://lewebpedagogique.com/brefjailuleblogduprofdesvt/2014/11/16/evolution-lhypothese-de-la-reine-rouge-van-valen-1972/>

2/ dispersion des semences (graines) et coévolution

COMMENT SONT-ELLES DISPERSÉES ? COMMENT, EN GERMANT, DONNENT-ELLES DE NOUVELLES PLANTES ?

définition : semence : graine ou fruit à graine(s)

La dissémination des semences qui permet aux plantes à fleurs de conquérir de nouveaux milieux est également assurée par le vent (graines légères, parfois munies d'aigrette de poils, d'ailes facilitant leur dispersion) et par les animaux (graines munies d'aiguillons ou de crochets qui s'attachent à leur pelage) ou se retrouvant dans les déjections des animaux les ingérant (oiseaux frugivores et granivores).

Certaines plantes produisent des semences petites, nombreuses, souvent munies de dispositifs facilitant la dispersion par le vent. Mais, chez beaucoup de plantes, les animaux jouent un rôle essentiel dans la dissémination. Les semences peuvent être dispersées en s'attachant aux poils, plumes ou autres parties du corps d'un animal, mais surtout par la consommation, le passage dans le tube digestif d'un animal et finalement le rejet par les excréments. Les fruits charnus font partie des stratégies facilitant la dissémination des graines par les animaux. On observe parfois une relation entre les caractéristiques des plantes et celles des animaux assurant la dissémination en consommant des fruits, ce qui fait que l'on parle de coadaptation (la morphologie des fruits est fréquemment adaptée aux caractéristiques morphologiques générales des animaux frugivores) ? Comme dans le cas de la pollinisation, on l'interprète comme une **coévolution, c'est-à-dire que l'on suppose qu'au cours de l'histoire évolutive de la plante, les animaux ont exercé une pression sélective favorisant les plantes aux phénotypes attractifs pour les animaux et inversement, les plantes ont exercé une pression sélective sur les animaux.**

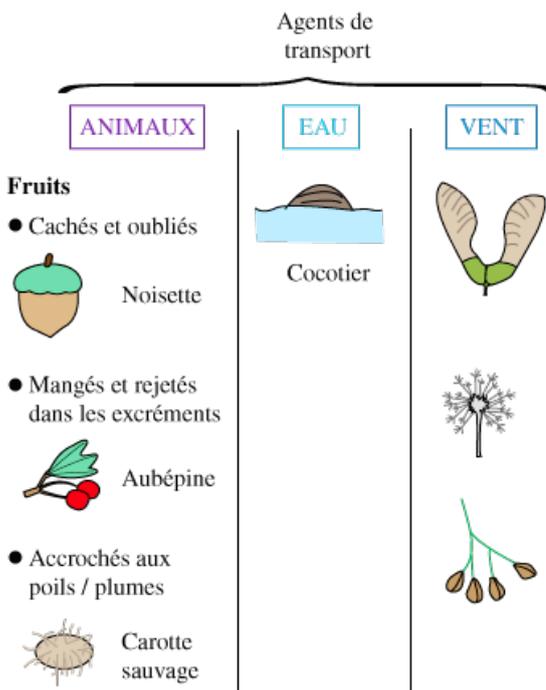
Ainsi, dans les forêts tropicales, un grand nombre de plantes ligneuses ont des fruits charnus très riches en sucres appréciés par des Primates. On peut penser qu'au cours de l'histoire évolutive de ces arbres tropicaux, les Primates ont exercé une sélection en favorisant la dissémination des plantes produisant les fruits les plus riches en sucre. Inversement, les plantes ont exercé une pression au cours de l'histoire évolutive des primates frugivores en favorisant ceux qui avaient les organes de la gustation les plus développés. On parle de coévolution des Primates frugivores et des plantes. Mais cette coévolution n'a guère été démontrée et elle est en tous cas beaucoup moins étroite que dans le cas de la pollinisation. En effet, une plante peut avoir ses fruits consommés par plusieurs animaux et un même animal peut consommer plusieurs plantes. On parle de **coévolution diffuse**.

IMMOBILES (MODE DE VIE FIXÉE), LES PLANTES ANGISOPERMES, PAR SÉLECTION NATURELLE PROGRESSIVE AU COURS DU TEMPS, PRÉSENTENT DES PHÉNOTYPES D'ORGANISATION APTES À LA FACILITATION DE LA RENCONTRE DES GAMÈTES PAR UNE PRODUCTION ÉLEVÉE DE GRAINS DE POLLEN TRÈS LÉGERS, COLLANTS ET DONC FACILEMENT TRANSPORTABLES PAR LE VENT OU LES POLLINISATEURS. LA DISSÉMINATION DES SEMENCES (GRAINES LÉGÈRES, PARFOIS À AIGRETTES POILUES OU AILES FACILITENT LEUR DISPERSION) SE FAIT PAR TRANSPORT VIA LE VENT (ANÉMOCHORIE), LES ANIMAUX (ZOOCHORIE : GRAINES À AIGUILLONS OU CROCHETS D'ATTACHE À LEUR PELAGE) OU EXCRÉTÉES PAR DES ANIMAUX CAR PROTÉGÉES D'UNE DIGESTION, DANS LES DÉJECTIONS D'OISEAUX OU EXCRÈMENTS MAMMIFÈRES FRUGIVORES OU GRANIVORES. L'EAU PEUT ÉGALEMENT ÊTRE LECTRICE DU TRANSPORT DES GRAINES (HYDROCHORIE). ELLE LEUR PERMET LA CONQUÊTE DE NOUVEAUX MILIEUX (LES PLANTES À FLEURS DOMINENT L'OCCUPATION DES TERRITOIRES AU SEIN DES VÉGÉTAUX TERRESTRES, CE QUI TRADUIT UNE BONNE SÉLECTION NATURELLE) PAR UNE DISPERSION FACILITÉE. LES PLANTES AÉRIENNES ANGISOPERMES FIXÉES ASSURENT DONC LEUR REPRODUCTION GRÂCE À DES CARACTÉRISTIQUES ADAPTÉES À LEUR MILIEU ET CE MODE DE VIE FIXÉE : LA COLONISATION DU MILIEU PAR LES PLANTES EST DÉPENDANTE DE LA DISSÉMINATION DES FRUITS ET DES GRAINES. DANS DE NOMBREUX CAS, LA COLLABORATION ENTRE LA PLANTE ET L'ANIMAL DISSÉMINATEUR RÉSULTE D'UNE COÉVOLUTION. EX : LE FRUIT DU GUI EST CONSOMMÉ PAR LES OISEAUX. L'ORGANISATION FLORALE, CONTRÔLÉE PAR DES GÈNES DE DÉVELOPPEMENT DU MÉRISTÈME FLORAL, ET LE FONCTIONNEMENT DE LA FLEUR PERMETTENT LE RAPPROCHEMENT DES GAMÈTES ENTRE PLANTES FIXÉES. LA POLLINISATION DE NOMBREUSES PLANTES REPOSE SUR UNE COLLABORATION COÉVOLUTIVE (COADAPTATION) POLLINISATEUR / PLANTE. LA FÉCONDATION INITIE LA TRANSFORMATION DE LA FLEUR EN FRUIT À GRAINES : ELLE EST, COMME LE DÉVELOPPEMENT DE L'EMBRYON, INTERNE. LA DISPERSION DES GRAINES, NÉCESSAIRE À LA SURVIE ET LA DISPERSION DE LA DESCENDANCE, REPOSE SOUVENT DONC SUR UNE COLLABORATION COÉVOLUTIVE DISSÉMINATEUR / PLANTE.

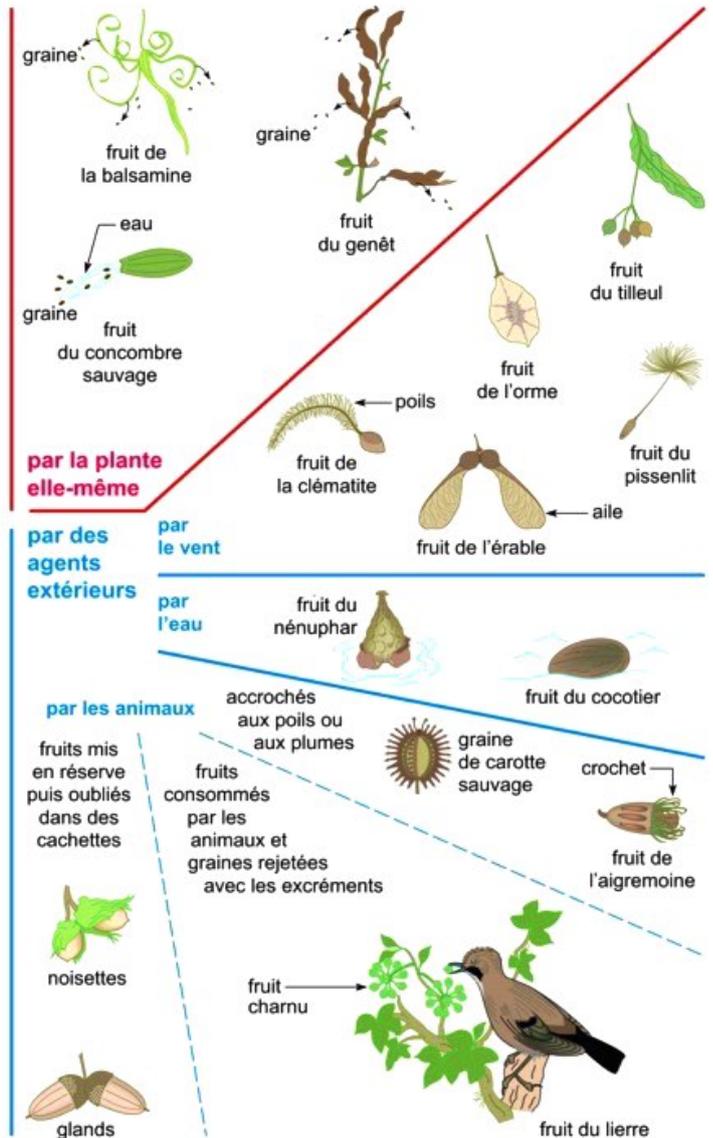
MODES PRINCIPAUX
DE DISPERSION DES
GRAINES

COMMENT ? ET EXEMPLES

Les différents modes de dispersion des graines



La dispersion des graines et des fruits des plantes à fleurs



LE VENT : ANÉMOCHORIE	<ul style="list-style-type: none"> transporte des fruits secs dotés d'expansions membraneuses, comme des ailettes (exemple : pissenlit, érable)
PAR L'EAU : HYDROCHORIE	exemple : noix de coco
PAR CHUTE GRAVITAIRE : BAROCHORIE	exemples : marron, châtaigne
LES ANIMAUX : ZOOCHORIE	<ul style="list-style-type: none"> peuvent disséminer les graines passivement (les fruits s'accrochent au pelage) ou activement, volontairement ou pas. Par exemple, un lien très étroit s'est formé entre les fourmis et 3 000 espèces végétales, telles que la violette sauvage. Dans d'autres cas, plus simplement, le fruit est digéré par l'animal et les graines sont relâchées avec les excréments, dans du fumier immédiatement disponible. - par les animaux (zoochorie) : tous les fruits charnus (cerises, abricot ...) et certains fruits qui s'accrochent au pelage (bardane)

AINSI, ANCRÉE DANS LE SOL, LA PLANTE PRÉSENTE À L'INTERFACE ATMOSPHÈRE (AIR)/ LITHOSPHERE SUPERFICIELLE (SOL) :

- 1/ UNE SURFACE FOLIAIRE OPTIMISÉE POUR CAPTURER LE MAXIMUM DE PHOTONS, ÉCHANGER DES GAZ (O_2 ET CO_2) IMPLIQUÉS DANS LA RESPIRATION ET LA PHOTOSYNTHÈSE ET RÉALISER L'ÉVAPOTRANSPIRATION GÉNÉRATRICE DE L'ABSORPTION DE LA SOLUTION HYDROMINÉRALE DU SOL EN ENTREtenant UN GRADIENT DE PRESSION PERMETTANT L'ÉLÉVATION DES SÈVES
- 2/ UNE SURFACE LIÉE À UN RÉSEAU RAÇINAIRE DÉVELOPPÉ SOLUTION HYDROMINÉRALE DU SOL PAR UN RÉSEAU (EAU H_2O , SELS MINÉRAUX SOUS FORME D'IONS : NITRATES, PHOSPHATES, K^+ .
- 3/ DIVERSES ADAPTATIONS AFIN DE RÉsISTER AUX DANGERS AUXQUELS ILS SONT EXPOSÉS : DE FORMES DE RÉsISTANCE, DE PRODUCTION DE TOXINES, D'IMPERMÉABILITÉ EN MILIEU SEC (CUTICULE ÉPAISSE, STOMATES PEU NOMBREUX ET SOUVENT FERMÉS)

UNE COÉVOLUTION AVEC DES ANIMAUX A PERMIS D'OPTIMISER LA DISPERSION DU POLLEN ET LA DISSÉMINATION DES GRAINES, INDISPENSABLES POUR FAVORISER LA FONCTION DE REPRODUCTION DE VÉGÉTAUX GLOBALEMENT IMMOBILES.

Film : France 5 : Belles plantes mais pas potiches (2012) :

http://www.dailymotion.com/video/xvtwvz_belles-plantes-mais-pas-potiches_tech

ANIMATIONS

http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/animations_flash/cellule_vegetale.swf

http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/animations_flash/double_fecondation.swf

http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/animations_flash/exercice_legende_fleur.swf

http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/animations_flash/fleur.swf

http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/animations_flash/plante_transgenique.swf

http://lycee.nicolas-cohen.org/fichiers/animations_flash/teosinte_mais.swf

<http://www.aucoeurdelarbre.ca/fr/arbre-et-son-milieu/>