

Chapitre 7 : L'organisation fonctionnelle des plantes à fleur

Les **Angiospermes*** ou plantes à fleur forment un groupe monophylétique (composé par tous les descendants d'un même ancêtre commun). Elles constituent le principal groupe de végétaux en milieu aérien, avec plus de 350 000 espèces connues, mais ils possèdent une organisation commune.

**angiosperme* : du grec ancien ἄγγεῖον, *aggeion* (« vase », « réceptacle ») et σπέρμα, *spérma* (« graine »), soit littéralement « graine dans un récipient », par opposition aux *Gymnospermes* (les conifères) qui forment aussi des graines mais sans enveloppe protectrice.

Comment s'organise une Angiosperme ?

En quoi cette organisation reflète-t-elle une optimisation du prélèvement de ressources, sélectionnée par son environnement ?

Comment sa morphologie se met-elle en place ?

I) Description de l'appareil végétatif d'une Angiosperme

A) Morphologie d'une plante à fleur

Toutes les plantes à fleurs ont une même organisation générale : une **tige** portant des **feuilles** et ancrée dans le sol par un **système racinaire**, l'ensemble formant l'appareil végétatif. Il est néanmoins variable selon les espèces et selon les conditions du milieu.

Plantes épiphytes (orchidées, fougères mais non Angiospermes).

Absence de feuilles sur les Cactées.

Lentilles d'eau sans tiges.

B) Un vie fixée entre sol et air

Une plante Angiosperme fixée sur son substrat réalise la photosynthèse ; elle reçoit ou prélève en même temps dans son environnement :

- la lumière et les gaz dans l'atmosphère ;
- l'eau et les sels minéraux dans le sol

Toutefois, si un sol a une inertie thermique et hydrique assez élevée, la partie aérienne subit de fortes variations de température, d'humidité et d'éclairement.

II) Les surfaces d'échanges des Angiospermes

La loi de Fick exprime la faculté de diffuser d'une molécule et est liée au coefficient de diffusion D (en $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$) ; elle s'écrit :

$$F = - DS G \quad \text{ou} \quad \frac{\Delta m}{\Delta t} = - D \cdot S \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

- avec F = **flux de matière** (en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) correspondant à la quantité de matière Δm qui traverse la section S pendant un temps Δt donc on a $F = \Delta m / \Delta t$
- et G = gradient de concentration c'est-à-dire la variation spatiale de concentration : $G = \Delta C / \Delta x$
- D = coefficient de diffusion

Cette loi exprime simplement que le flux est proportionnel au gradient c'est-à-dire que plus la différence spatiale de concentration est forte plus il passe de matière.

A) Les racines, des organes spécialisés dans le prélèvement des ions du sol et l'absorption de l'eau

1) Le système racinaire

La racine permet l'ancrage de la plante et l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs du sol ou sels minéraux. L'ensemble des racines d'une plante forme son système racinaire, qui peut être :

- de type *pivotant*, avec une racine principale, pouvant être très profonde, comme pour les arbres de type chêne, hêtre, ou un plant de carotte, ou la mercuriale (cf.TP) ;
- de type *fasciculé*, où toutes les racines sont de taille similaire, comme pour les racines de poireau.

Ce système occupe un volume de plus en plus grand à mesure de la croissance de la plante, mais il est difficile à quantifier.

2) La recherche de ressources dans le sol

Au niveau des racines, se trouvent des cellules particulières qui constituent les **poils absorbants** : ceux-ci vont absorber l'eau du sol et les ions qui s'y trouvent. Certains ions sont en effet indispensables à la vie de la plante :

- l'**azote**, sous forme de nitrates (NO_3^-) permet la synthèse d'acides aminés, donc de toutes les protéines (enzymes, protéines membranaires,...) ;
- le **potassium** (K^+) n'entre pas dans les synthèses de molécules, mais il est indispensable pour maintenir une pression osmotique dans les cellules, et donc favoriser l'entrée de l'eau dans la plante au niveau des racines (et au niveau des stomates aussi) ;
- le **phosphore** (PO_4^{3-}) permet la synthèse des acides nucléiques (ADN, ARN, ATP et dérivés).

D'autres ions sont aussi nécessaires, comme Fe^{2+} (enzymes, cytochromes, pigments), Mg^{2+} (synthèse de la chlorophylle), Ca^{2+} (renforcement des parois),...

Toutefois, la majorité des Angiospermes établit des **symbioses** permettant d'augmenter ce prélèvement, en réalisant des **mycorhizes*** avec le mycélium des champignons (cf. chapitre 5 TP 1) : cette association intime peut se réaliser :

- au niveau des cellules corticales de la racine, ce qui se traduit par la suppression des poils absorbants et par une déformation caractéristique de la racine (en massue) : on parle d'**ectomycorhizes**, et cela concerne environ 5 % des Angiospermes ;
- directement dans la racine, au niveau des cellules du parenchyme cortical : on parle alors d'**endomycorhizes**, et cela concerne 80 % des Angiospermes.

L'avantage de cette association pour la plante réside dans le fait qu'un mycélium de champignon est constitué par un réseau de filaments, chaque filament étant constitué de cellules très allongées : cette structure est beaucoup plus simple à construire que celle d'une racine pluricellulaire avec des tissus différenciés, et donc beaucoup plus efficace pour explorer et exploiter les ressources limitées d'un sol. Cette association est aussi bénéfique pour le champignon, qui, en échange de l'eau et des sels minéraux, reçoit des glucides issus de la photosynthèse des plantes.

***mycorhize** : du grec myco, « champignon » et rhiza, « racine », terme introduit en 1885 (par le botaniste allemand A.Frank) : résultat de l'association symbiotique entre des champignons et les racines des plantes.

En plus de la mycorhization, une autre association, avec des bactéries du sol (*Rhizobium* sp., *Bradyrhizobium* sp.) peut se mettre en place, et apporter un **surplus d'azote** : ce sont les **nodosités**, formant des nodules sur les racines, et présentes surtout chez les Fabacées (Acacia, haricots, luzernes, trèfles,...). En effet, suite à la symbiose, la racine se déforme et abrite dans des vacuoles intracellulaires les bactéries, qui sont alors capables de prélever le diazote de l'atmosphère pour le convertir en ions nitrates directement assimilables par la plante (moyennant une grande quantité d'ATP issue de la dégradation de la matière organique provenant de la plante). Cet apport permet une synthèse enrichie d'acides aminés et de protéines : les Fabacées sont connues pour la teneur élevée en protéines de leurs graines (pois chiches, lentilles, soja...).

*Source de protéines sur tous les continents (cf. domestication).
+ Rôle d'engrais vert entre deux cultures.*

B) Les feuilles, des organes spécialisés dans la collecte de la lumière et les échanges gazeux

1) La collecte de la lumière

À l'extrémité opposée des racines, les **feuilles** assurent habituellement la photosynthèse, qui débute par la collecte de lumière. Elles présentent une structure presque invariante, sélectionnée pour assurer de façon optimale cette fonction, par le développement de **grandes surfaces de faible épaisseur** (cf. loi de Fick).

La coupe transversale d'une feuille montre un **épiderme supérieur** protégé une **couche cireuse** (lipides hydrophobes) protégeant de l'eau, et en-dessous se trouvent les cellules photosynthétiques, localisées dans le **parenchyme palissadique** contre la face supérieure de la feuille, dirigée vers les rayons lumineux : cela permet d'optimiser le rendement de la photosynthèse. Le mouvement des chloroplastes (= cyclose) à l'intérieur de ces cellules renforce la collecte de la lumière.

Cas de plantes de sous-bois qui ont une couche de cellules rouges sur l'épiderme inférieur, renvoyant une partie de la lumière vers le parenchyme palissadique pour augmenter le flux reçu (ex : Cyclamen)

2) Les stomates, des structures contrôlant les échanges gazeux

La transpiration (H_2O vapeur) et les échanges gazeux (O_2 et CO_2) sont permis par les stomates qui sont constitués de deux cellules stomatiques (cellules de garde) qui délimitent une ouverture appelée **ostiole**. Les cellules stomatiques sont deux cellules spécialisées et très différenciées : elles présentent une paroi très épaisse au niveau de l'ostiole.

Lorsque les cellules sont turgescents, l'ostiole est ouvert. En revanche, quand la pression hydrostatique est plus faible dans les cellules stomatiques, l'ostiole se ferme. Les stomates sont répartis uniquement sur la **face inférieure de la feuille**, la moins exposée au soleil (ce qui évite la déshydratation extrême ou dessiccation).

Le contrôle de la turgescence de la vacuole des cellules de garde permet donc une **protection hydrique** : en conditions sèches (pleine journée d'été), la déshydratation provoque la fermeture des ostioles, ce qui permet de réduire (voire d'arrêter) les pertes d'eau par évapotranspiration ; la conséquence est une réduction de la photosynthèse, qui dépend des échanges gazeux. L'ouverture des ostioles varie donc au cours de la journée, des saisons, et de l'année.

III) Les faisceaux cribro-vasculaires, un système conducteur entre organes

A) Un double réseau circulatoire

Un organe végétal est constitué de **cellules plus ou moins différenciées et spécialisées**. Toutes les cellules sont spécialisées dans une **fonction donnée**. La différenciation s'accompagne de **changements** dans la **forme des cellules**, la **nature des organites** (chloroplastes dans les cellules photosynthétiques) et dans la **nature des molécules synthétisées**.

Certaines cellules sont extrêmement et irréversiblement différenciées. Elles ne sont utiles qu'une fois **mortes** : ce sont certains tissus de protection (le liège) ou des **tissus de conduction de la sève brute** (eau et ions) qui donneront avec le temps le bois... Ces tissus sont les trachéides et vaisseaux du **xylème**, qui conduisent la **sève brute**, issue de l'absorption racinaire, riche en eau et en sels minéraux.

Un autre tissu conducteur de sève existe : le **phloème**. Le phloème conduit la **sève élaborée**, contenant de l'eau, des sucres (dont le saccharose) et des acides aminés issus de la photosynthèse en provenance des feuilles. Ce tissu conducteur est constitué de **cellules vivantes** et forme notamment ce qui est appelé les **tubes criblés** et le **liber**.

Les vaisseaux du xylème ont une paroi renforcée en **lignine** (colorée en vert au carmino-vert), et les cellules du phloème ont une paroi **cellulosique** colorée en rose (cf. CH 9 TP 1).

B) Les moteurs de la circulation des sèves

La circulation des sèves est permise par deux processus complémentaires :

- la poussée racinaire ou **guttation** ;
- l'**évapotranspiration**, qui est le moteur principal de la montée du xylème ; ce processus repose sur la cohésion moléculaire du liquide dans des vaisseaux de faible diamètre, où les forces de cohésion sont supérieures aux forces de gravité (phénomène de capillarité).

Le phloème est mis en circulation par passage d'eau entre les deux types de vaisseaux conducteurs, notamment aux extrémités de la plante, ce qui forme un réseau circulatoire.

IV) Croissance végétale et recherche de ressources

A) Méristèmes et zones de croissance

La croissance d'une plante se réalise au niveau des **apex*** caulinaires (**bourgeons**, terminal ou axillaire) ou racinaires par multiplication cellulaire, élongation et différenciation. La zone de mitoses, le **méristème***, permet de former des amas de cellules qui se différencient ensuite en organes (= organogenèse).

***apex** : du latin *apex*, « sommet » : extrémité d'une racine (*apex racinaire*) ou d'une tige (*apex caulinaires*, du latin *caula*, la tige).

***méristème** : du grec *μεριστός*, *meristos*, « divisé », zone de division cellulaire, à l'origine d'organes et/ou de tissus végétaux.

Au niveau des tiges, les méristèmes mettent en place des structures répétitives, les **phytomères***, constitués chacun :

- d'un nœud à partir duquel se développe une feuille,
- d'un entre-nœud, c'est-à-dire d'un segment de la tige compris entre deux nœuds successifs
- et d'un bourgeon axillaire situé à la base de la feuille.

***phytomère** : du grec ancien *φυτόν*, *phyton* « végétal » et *μέρος*, *meros* « partie », unité fonctionnelle constitutive d'une plante, dont la répétition permet la mise en place de l'appareil végétatif.

La succession de ces phytomères permet l'édification d'un végétal, en fonction de son information génétique.

B) Mise en évidence de tropismes

Les expériences de germinations de blé ou de maïs montrent que la croissance des racines et des tiges est orientée en fonction de facteurs externes, ce sont les **tropismes***. Les racines poussent selon un gravitropisme positif, c'est-à-dire vers le sol, dans le sens de la gravité, et les tiges subissent un phototropisme positif, vers la lumière. (Pages 206-207)

***tropisme** : du grec *τρόπος*, *tournement*, signifie la tendance d'un organisme à croître (surtout d'une plante) dans une direction donnée, par exemple vers le bas ou vers la lumière.

phototactisme (Tournesol) = mouvement orienté, mais sans croissance.

C) Intervention de phytohormones

La multiplication cellulaire, l'élongation, la différenciation en organes est sous l'influence de **phytohormones** ou hormones végétales, dont la plus importante est **l'auxine**. Celle-ci diffuse dans la sève ou la paroi du végétal et oriente la croissance de la plante en agissant à court et long terme :

- une réponse rapide de la cellule par libération de H^+ dans la paroi, ce qui conduit à la déstabilisation des liaisons moléculaires et au relâchement de la structure de la paroi ; associé à une pression de turgescence de la vacuole, cela se traduit par la croissance de la cellule (élongation) ;
- une réponse lente : l'auxine active la transcription de gènes intervenant dans la synthèse de molécules nécessaire à la constitution d'une nouvelle paroi => croissance par intussusception (ajout de matière).

D'autres hormones agissent à d'autres niveaux : les gibberellines (stimulation de l'élongation des entrenœuds, stimulation de la levée de dormance des graines et des bourgeons), l'éthylène (accélération de la sénescence foliaire et de la maturation des fruits, stimulation de l'abscission ou chute des feuilles), l'acide abcissique,...

Ethylène utilisé dans les mûrisseries de bananes importées vertes pour contrôler la maturation et donc l'approvisionnement des magasins selon la demande.

Conclusion :

Les Angiospermes possèdent une organisation générale commune, avec des organes caractéristiques : feuilles, tiges et racines. Ceux-ci permettent la **vie fixée à l'interface sol/atmosphère** dans un milieu variable au cours du temps.

Une plante développe des surfaces d'échanges de grande dimension avec l'atmosphère (échanges de gaz, capture de la lumière) et avec le sol (échange d'eau et d'ions), souvent renforcées par l'association avec des champignons (mycorhizes). Des systèmes conducteurs permettent les circulations de matières dans la plante, notamment entre systèmes aérien et souterrain.

Le développement d'une plante est permis par l'activité de méristèmes, au niveau des apex, qui conduisent à former de nouvelles cellules qui s'allongent et se différencient en tissus et en organes, selon l'influence d'hormones végétales influencée par l'environnement.

Mots-clés : organisation générale d'une Angiosperme (tige, racine, feuille), stomates, vaisseaux conducteurs, xylème, phloème, méristème, tropisme, phytohormone, organogenèse, phytomère, auxine.