

Les Angiospermes, des êtres vivants fixés à l'interface du sol et de l'atmosphère

À partir d'exemples précis, vous envisagerez les problèmes posés par la fixation dans un milieu variable au cours du temps, et les solutions qui permettent aux Angiospermes de réaliser leurs fonctions vitales.

Introduction

- Les **Angiospermes** sont des plantes dont les fleurs se transforment en fruits après la fécondation. Elles occupent une place importante parmi les producteurs primaires des écosystèmes terrestres. Ces végétaux sont ancrés par leur appareil racinaire dans le **sol**, formation géologique superficielle contenant de la matière minérale, de la matière organique en décomposition et une riche biocénose. Leur appareil caulinaire se déploie dans l'**atmosphère**, enveloppe gazeuse de la Terre formée surtout de N₂ (79%) et O₂ (21 %) et source de CO₂ (410 ppm). Les Angiospermes mènent ainsi une vie fixée à l'interface du sol et de l'atmosphère.

- La fixation à un substrat limite les possibilités d'exploration du milieu, et par conséquent les possibilités de s'approvisionner en matière et en énergie. Elle pose aussi problème pour les étapes de la reproduction telles que la rencontre des gamètes issus de reproducteurs différents dans le cas d'une fécondation croisée ou la dissémination des individus de l'espèce. Les êtres vivants fixés sont également soumis aux aléas du milieu qu'ils soient biotiques (comme les prédateurs) ou abiotiques (tempête, épisode de gel...). Lorsque la fixation se fait dans un milieu variable comme le milieu terrestre, on peut aussi se demander comment le fonctionnement de l'organisme fixé répond aux variations du milieu auxquelles il ne peut pas échapper.

Comment les Angiospermes vivent-elles et se développent-elles tout en restant fixées dans un milieu aux paramètres variables ?

Les structures et les processus qui permettent aux Angiospermes de réaliser leurs différentes fonctions vitales (nutrition, reproduction, relation avec l'environnement) en restant fixées, seront successivement envisagées.

En petits caractères gras : des possibilités d'argumenter sur des observations, expériences, etc.

En petits caractères italiques : des schémas pertinents

1 Vie fixée et nutrition

Nutrition = approvisionnement en énergie, en matière (nutriments, gaz) ; rejet des déchets ou de la matière non métabolisée. Comment réaliser ces échanges de matière tout en restant fixé dans un environnement dont le volume est forcément limité ?

1.1 De vastes surfaces d'échanges avec le milieu où la plante est fixée

1.1.1 Une surface racinaire ancrée dans le sol

Le sol = un substrat solide et poreux + solution minérale diluée + êtres vivants. Les racines interagissent de deux façons avec leur environnement.

- **Ancrage** superficiel (appareil adventif et fasciculé) ou profond (appareil pivotant, comme souvent chez les Fabacées)
- Des **échanges** avec la zone d'ancrage optimisés par la structure de l'appareil racinaire

Grande superficie : ramification, structures absorbantes filamenteuses (poils absorbants ou mycorhizes). Barrière d'épaisseur réduite à paroi + membrane.

Mise en évidence du rôle des poils absorbants par l'expérience de Rosène.

Schéma de l'appareil racinaire avec un détail des transports d'eau et d'ions à travers la membrane d'un poil absorbant.

1.1.2 Des associations mutualistes qui compensent l'immobilité

Les **mycorhizes** augmentent le volume de sol qui peut être exploré alors que Rhizobium présent dans les nodosités des Fabacées donne accès à une nouvelle source d'azote (N₂ atmosphérique).

1.1.3 Une surface foliaire déployée dans l'atmosphère

L'atmosphère = un environnement gazeux, de faible portance éclairé et variable, notamment de façon cyclique (cycles nyctéméral et saisonnier).

- **Port dressé** de l'appareil caulinaire ; soutien par la pression de turgescence de chaque cellule et les tissus spécialisés dont le bois (tissu secondaire).

- Une grande surface d'**absorption de l'énergie lumineuse**.

Adaptations de la feuille à la photoréception aux différentes échelles.

Références à l'observation d'une feuille de Dicotylédone (morphologie, anatomie)

Schéma de l'organisation fonctionnelle d'une feuille (coupe transversale avec localisation des tissus et indication de leur rôle).

- Des **échanges** avec l'atmosphère optimisés par la structure de l'appareil caulinaire

Grande superficie : ramification, forme aplatie des limbes, chambre sous-stomatique

Barrière réduite à paroi + membrane.

- Des échanges gazeux **variables selon le cycle nyctéméral** : perte de vapeur d'eau par la transpiration ; sens des flux de O₂ et CO₂ variables selon l'activité photosynthétique.

Bilan 1.1

Les Angiospermes présentent des surfaces d'échanges avec le sol et avec l'atmosphère, dont les **caractéristiques sont identiques**. Chacune de ces surfaces est **spécialisée** dans les échanges avec l'une des composantes du milieu où sont fixées les plantes : l'eau et les ions minéraux du sol ; l'énergie lumineuse (photoautotrophie) et le CO₂ de l'air.

L'eau est absorbée au niveau des racines et rejetée au niveau des feuilles, ce qui met en évidence l'existence de flux entre les surfaces racinaire et foliaire.

1.2 Des flux hydriques entre les surfaces d'échanges

Observations simples mettant en évidence la circulation des sèves : pleurs de la vigne (sève brute) ; rostrés des pucerons fichés dans le phloème (sève élaborée)

1.2.1 Un continuum hydrique du sol à l'atmosphère par la sève brute

- Flux apoplasmique d'une solution essentiellement minérale (eau, ions minéraux, rares molécules organiques dont certaines hormones) des racines vers les feuilles.
- Continuité de la colonne de sève à travers les perforations des éléments de vaisseaux.
- Aspiration de la sève brute consécutive à la transpiration foliaire (mécanisme de tension / cohésion).

1.2.2 Circulation symplasmique de sève élaborée depuis les feuilles

- Distribution des photo-assimilats (eau, molécules organiques, quelques ions minéraux, hormones) des organes sources aux organes puits.
- Circulation de la sève élaborée suivant un gradient de pression liée à la charge active de molécules organiques synthétisées à la lumière et à l'appel des différents organes puits.

Schéma des corrélations trophiques entre les foliaires (au contact de l'atmosphère) et les organes souterrains.

Bilan 1.2

Un double flux de sève permet des **corrélations fonctionnelles** entre les surfaces d'échange des Angiospermes avec les deux composantes de leur environnement. C'est une source **d'énergie extraorganique** (l'énergie solaire) qui entretient ces flux, qui mettent en relation, à travers les organes de la plante, le sol et l'atmosphère.

Puisque la plante est fixée, la réalisation de ces échanges risque d'entraîner l'épuisement des ressources du milieu. *Comment la zone explorée par les plantes peut-elle être renouvelée en dépit de leur immobilité ?*

1.3 Des surfaces d'échanges indéfiniment renouvelées sous contrôle des facteurs du milieu

1.3.1 Des méristèmes primaires à l'origine d'une croissance indéfinie

- Localisation apicale de ces méristèmes (dans les racines et dans les tiges).
Caractérisation de l'activité des cellules méristématiques par le calcul d'index mitotique ou l'incorporation de thymidine tritiée
- Explication du caractère indéfini de leur fonctionnement sur l'exemple du MAC : persistance de cellules souches, à faible activité mitotique, à l'origine de la production indéfinie de nouvelles cellules méristématiques dont les cellules filles grandissent par auxèse.

Organisation fonctionnelle du MAC et participation des différentes zones à la construction d'un phytomère

1.3.2 Une ramification indéfinie en partie liée à l'aptitude des cellules à se différencier

Mise en évidence par des observations

Ramification des tiges par le développement des bourgeons ; ramification des racines.

1.3.3 Une croissance orientée par les facteurs du milieu

Mise en évidence par des observations ou des expériences

Les tropismes (gravitropisme positif des racines, phototropisme positif des tiges) : un contrôle de la croissance compensant le caractère fixé des Angiospermes, tout en contribuant à leur ancrage (pour le gravitropisme)

Bilan 1.

Les Angiospermes exploitent une **source d'énergie inépuisable** dans le milieu où elles sont fixées, l'énergie solaire. Leur vie fixée est liée à leur **photoautotrophie**. Elles prélèvent la matière minérale à l'état dilué dans le sol et dans l'air par de **vastes surfaces d'échanges** dont la surface racinaire, qui permet en outre l'ancrage au substrat. La **croissance indéfinie** de l'appareil végétatif permet l'exploitation de volumes renouvelés du milieu.

Cependant, malgré leur croissance indéfinie, les Angiospermes ne sont pas immortelles. Comment se déroule leur reproduction ?

2 Vie fixée et reproduction

Les Angiospermes peuvent se reproduire de façon végétative (à partir d'organes végétatifs issus d'une seule plante) ou de façon sexuée, par les fleurs ; dans ce dernier cas, la reproduction est biparentale. Même si la plupart des angiospermes possèdent des fleurs hermaphrodites, il se produit souvent une fécondation croisée, ce qui suppose que se rencontrent des gamètes issus d'individus différents. Comment des cellules reproductrices issues de deux organismes fixés différents peuvent-elles se rencontrer dans le milieu aérien peu porteur, desséchant et variable donc peu favorable à la vie et au déplacement de cellules isolées ?

2.1 Rapprochement des gamètes grâce au gamétophyte mâle, le pollen

2.1.1 Le pollen, une structure de dispersion passive

- Libération du pollen par les anthères et transport jusqu'au stigmate d'une fleur de la même espèce.
- Relation entre la structure du grain de pollen et sa fonction : protection, réserves, déshydratation et vie ralentie.

Ultrastructure d'un grain de pollen

2.1.2 Le pollen à l'origine d'un tube conduisant les gamètes mâles vers le gamète femelle

- Germination sur le stigmate d'une fleur compatible et de la même espèce puis croissance du tube pollinique dans le style (milieu hydraté et protégé de l'atmosphère).
- Nutrition et guidage dans le style
- Libération des gamètes mâles dans le sac embryonnaire

Coupe longitudinale de deux fleurs : l'une avec les anthères déhiscentes, libérant le pollen, qui est transporté sur l'autre fleur où se forme un tube pollinique croissant en direction du sac embryonnaire

2.1.3 Une organisation florale adaptée à l'un des vecteurs terrestres du pollen

- Fleurs entomogames (un exemple) : couleurs vives, corolle en tube, nectaires, parfum, pollen de grande taille à exine ornementée ; parfois pièges à insectes.
- Fleurs anémogames (exemple : poacées) : discrètes, grande production d'un pollen de petite taille ; large surface stigmatique.

Description d'exemples précis de fleur anémogame ou entomogame.

Schémas correspondants

2.2 Une fécondation interne à l'abri d'un milieu déshydratant et variable

2.2.1 Importance de l'internalisation du gamétophyte femelle et de sa non-libération.

2.2.2 Fécondation et développement des zygotes dans le sac embryonnaire d'un ovule

- Protection vis-à-vis des contraintes du milieu aérien (déshydratant et variable)
- Embryon nourri pendant son développement par le sporophyte parental femelle à l'aide des réserves de l'ovule et de l'albumen.
- Analogie avec la fécondation interne et la viviparité des Mammifères, animaux terrestres.

2.2.3 Des mécanismes favorisant la fécondation croisée

- Ex : autoincompatibilité gamétophytique.
- Conséquences : rejet des grains de pollen porteurs des mêmes allèles que le pistil.
- Bien relier ce point au sujet : l'allopollinisation favorise le maintien d'un taux élevé d'hétérozygotie dans les populations, ce qui conserve un fort potentiel évolutif, caractéristique importante dans un milieu variable.

Bilan 2.1 et 2.2

Le zygote résultant de la fécondation se développe en un embryon dans l'organisme maternel. *Comment peut-il s'en éloigner dans les phases ultérieures de son développement et contribuer ainsi à la dissémination de l'espèce ?*

2.3 Dissémination passive des individus par des agents du milieu terrestre

2.3.1 Les graines, structures de dissémination de l'espèce issues de la reproduction sexuée

Relations entre la structure de la graine et sa fonction de dissémination de l'espèce : petite taille, téguments résistants, vie ralentie, réserves, axe embryonnaire.

2.3.2 Les fruits, des organes favorisant cette dissémination

- À partir de quelques exemples illustrer les adaptations de la structure des fruits aux différents modes de dissémination de l'espèce : autochorie, barochorie, anémochorie, zoochorie
- Convergence adaptative entre graines et fruits secs indéhiscents : **semences**.
Description d'exemples précis de semences et de leur mode de dissémination.
Schémas correspondants

2.4 Propagation liée à la croissance lors de la multiplication végétative

Propagation liée à la croissance et à la ramification d'organes spécialisés (stolons) ou non (rhizomes, tiges à marcottes).

Bilan 2.

La reproduction des Angiospermes présente des adaptations au milieu terrestre dans lequel elles sont fixées qui **protègent les structures reproductrices** particulièrement fragiles (gamètes, zygote) des contraintes du milieu terrestre. Les Angiospermes utilisent des agents du milieu terrestres (pesanteur, vent, animaux terrestres notamment) pour **dispenser leur matériel génétique** contenu dans les grains de pollen et **disséminer les nouveaux individus** issus de la reproduction à une certaine distance de leur parent, ce qui limite la compétition intraspécifique et favorise la colonisation de nouveaux espaces. Les Angiospermes entretiennent ainsi des relations de **coopération mutualiste** avec des animaux terrestres. *Le milieu terrestre n'est pas seulement contraignant pour les êtres vivants par son caractère déshydratant. C'est aussi un milieu variable.*

3 Vie fixée en relation avec un milieu variable

Les écosystèmes terrestres présentent une grande variabilité spatiale et temporelle. Les Angiospermes qui y sont fixées se trouvent alors soumises aux aléas de la variabilité temporelle notamment au cours du cycle nyctéméral et au cours des saisons. De plus, elles colonisent des milieux très divers.

Les réponses des Angiospermes à la variabilité temporelle du milieu où elles sont fixées, dépendent de l'échelle de temps selon laquelle les facteurs du milieu varient.

3.1 Variations de l'organisation végétative sous la dépendance des facteurs du milieu

3.1.1 Adaptations : modifications héréditaires maintenues par une pression de sélection

Description d'un exemple précis permettant ensuite de définir une adaptation évolutive.

- Adaptation à un facteur abiotique : protection contre la déshydratation des xérophytes : cuticule épaisse, protection des stomates ; réserves d'eau chez les malacophytes.
- Adaptation à un facteur biotique : protection contre les herbivores (épines, substances toxiques, etc.).

3.1.2 Accommodations : modifications non héréditaires en réponse à des facteurs permanents

Description d'un exemple précis permettant ensuite de définir une accommodation.

- Accommodation à un facteur abiotique : feuilles d'ombre et de lumière sur un même arbre ou sur deux arbres d'une même espèce plantés sous deux éclairagements différents.
- Accommodation à un facteur biotique : mycorhizes ou nodosités des Fabacées.

3.1.3 Variations structurales sous l'effet du cycle des saisons

Ex : fonctionnement saisonnier du cambium.

Bilan 3.1

La variabilité des facteurs du milieu dans lequel les Angiospermes sont fixés peuvent entraîner des variations de leur organisation, qui sont consécutives soit à des **mutations** fixées par la sélection naturelle, soit à la **plasticité d'expression d'un génotype donné**.

3.2 Contrôle physiologique par les facteurs abiotiques

3.2.1 Contrôle lié à la variabilité de l'approvisionnement en ressources nutritives

Expériences mettant en évidence la fermeture des stomates en cas de stress hydrique ou leur ouverture à la lumière.

- Contrôle de la conductance des stomates par le niveau de turgescence des cellules de garde : plasmolyse en cas de stress hydrique ; turgescence à la lumière.
- Conséquences sur la photosynthèse et sur la circulation des sèves.

3.2.2 Contrôle lié au cycle des saisons

Ex : contrôle de l'induction florale par des facteurs saisonniers

Expériences mettant en évidence l'effet d'un séjour au froid ou de la photopériode sur l'induction florale.

- Signaux en provenance du milieu : température (vernalisation) ; photopériode.
- Perception de ces facteurs par les feuilles.
- Relais hormonal entre les feuilles et le MAC.

Bilan 3.2

Lorsque les facteurs abiotiques varient de manière cyclique (cycle jour/nuit ou cycle des saisons), leur contrôle entraîne une synchronisation de la physiologie des Angiospermes avec l'environnement.

3.3 Repos végétatif pendant la mauvaise saison

3.3.1 Des structures hivernantes en repos végétatif et résistantes

Description d'un exemple précis : une graine ou un organe de réserve souterrain

Schémas correspondants

- Structures souvent déshydratées, d'où résistance au gel
- Des structures protégées par leurs propres tissus ou par l'environnement
- Des réserves utilisées lors de la reprise d'activité
- Dégager les différentes modalités de la vie ralentie : quiescence et dormance

3.3.2 Un repos végétatif préparé à la fin de l'été

- Paramètres du milieu à l'origine de ce contrôle : baisse de la photopériode et des températures stimulant la réserve et la sénescence foliaire.
- Mise en réserve dans des organes puits.

3.3.3 Contrôle direct de la reprise d'activité par les facteurs abiotiques

Stimulation du métabolisme des racines par les conditions printanières à l'origine de la reprise de circulation de la sève brute.

Bilan 3.

Les Angiospermes soumises aux variations des facteurs de leur environnement montrent deux types de réponses : variation de leur structure (résultant d'**adaptations évolutives** ou de leur **plasticité phénotypique**) ou variation de leur physiologie (**adaptation physiologique**). Ces réponses peuvent être permanentes ou cycliques. La capacité des cellules végétales à survivre en vie ralentie favorise le passage de la mauvaise saison : c'est une façon d'**échapper aux conditions défavorables**.

Conclusion

Bilan sous forme d'un texte, d'un tableau ou d'un schéma dégageant des idées clefs

- Importance de la phototrophie et de la croissance indéfinie pour la vie fixée des Angiospermes.
- Importance des relations interspécifiques mutualistes dans la vie fixée des plantes. Diversité des services échangés contre l'apport trophique de matière organique.
- Importance des pigments captant soit l'énergie lumineuse, soit la lumière en tant que signal. Les plantes sont immobiles mais non pas insensibles à leur environnement.

Ouverture possible

Les Angiospermes un affranchissement reproducteur et végétatif poussé face à l'une des contraintes majeures du milieu terrestre, son caractère desséchant. Ceci est l'un des éléments permettant de comprendre le succès des Angiospermes très présents dans le milieu terrestre.