

Vie fixée et reproduction des plantes

COURS • S14 • TERMINALE

Spécialité de terminale, programme officiel. Cours original rédigé avec une IA. Le cours de ton enseignant fait foi.

Sommaire du cours

Ce que tu dois savoir faire	1
Cours	2
Exemples résolus	10
Méthodes et pièges	11
Vers le PASS	12
Exercices	12
Corrigés	13

Ce que tu dois savoir faire

- Décrire l'organisation d'une plante à fleurs (racines, tige, feuilles, fleurs) et la relier à la vie fixée.
- Calculer et comparer des surfaces d'échange (feuilles, racines) et expliquer leur rôle dans les échanges avec l'air et le sol.
- Distinguer la sève brute et la sève élaborée, leurs tissus conducteurs, leur composition et leur trajet.
- Écrire l'équation bilan de la photosynthèse et expliquer les deux phases (photochimique et chimique) dans le chloroplaste.
- Exploiter des résultats expérimentaux sur la photosynthèse (isotopes, spectres d'absorption et d'action, expérience de Hill).
- Expliquer le devenir des produits de la photosynthèse : saccharose, amidon, cellulose, lignine, métabolites secondaires.
- Expliquer comment une plante fixée fait face aux variations du milieu, aux prédateurs et aux pathogènes.
- Décrire l'organisation d'une fleur et expliquer le rôle des gènes de développement (modèle ABC).
- Expliquer la pollinisation, la fécondation (double fécondation), la formation de la graine et du fruit, puis la dissémination.
- Expliquer ce qu'est la domestication des plantes et en analyser les conséquences génétiques.

Cours

1. L'organisation d'une plante à fleurs et la vie fixée

Une **plante à fleurs** (angiosperme) est un organisme **pluricellulaire autotrophe** qui vit **fixé** au sol : elle ne peut ni fuir, ni chercher sa nourriture, ni rejoindre un partenaire. Son organisation se lit comme une réponse à cette contrainte.

L'**appareil végétatif** comprend :

- un **système racinaire**, souterrain, qui ancre la plante et puise l'eau et les ions minéraux du sol ;
- une **tige**, qui porte les feuilles et les fleurs et assure le transport entre racines et feuilles ;
- des **feuilles**, lames minces et étalées, siège principal de la photosynthèse et des échanges gazeux.

L'**appareil reproducteur** est formé des **fleurs**, qui donnent ensuite les **fruits** et les **graines**.

Sa croissance est **indéfinie** grâce aux **méristèmes**, petits massifs de cellules indifférenciées qui se divisent toute la vie : méristème apical de la tige (au bourgeon terminal), méristèmes des bourgeons axillaires, méristème apical de la racine. Une plante broutée peut ainsi reconstruire ses organes perdus.

Vie fixée signifie : obtenir sur place toute la matière (CO_2 , eau, ions) et l'énergie (lumière), supporter sur place les contraintes du milieu, et confier à d'autres (vent, animaux) le transport du pollen et des graines.

2. De très grandes surfaces d'échange

2.1. Les surfaces d'échange avec l'atmosphère

Les feuilles réalisent les échanges avec l'air : entrée de CO_2 , sortie d' O_2 et sortie de vapeur d'eau (**transpiration**). Leur forme plate donne un **rapport surface sur volume** très élevé.

Les gaz traversent l'épiderme par les **stomates** : chaque stomate est un orifice, l'**ostiole**, bordé de deux **cellules stomatiques** (cellules de garde) qui règlent son ouverture. Ils sont souvent plus nombreux sur la face inférieure de la feuille, protégée du soleil direct. Ailleurs, une **cuticule** cireuse limite les pertes d'eau ; à l'intérieur, des **lacunes** distribuent les gaz aux cellules.

Ouverts, les stomates laissent entrer le CO_2 mais laissent sortir l'eau : en cas de sécheresse, la plante les ferme, au prix d'un arrêt de la photosynthèse.

2.2. Les surfaces d'échange avec le sol

Les racines sont très ramifiées et portent, près de leur extrémité, des **poils absorbants**, prolongements de cellules de l'épiderme racinaire, longs de quelques millimètres et très fins. Ils multiplient la surface de contact avec la solution du sol. Pour une simple plante herbacée, la surface racinaire totale (poils compris) se compte en dizaines voire centaines de m^2 .

La plupart des plantes vivent de plus en **symbiose** avec des champignons du sol : ce sont les **mycorhizes**. Les filaments du champignon (hyphes) prolongent les racines et explorent un volume de sol bien plus grand. Le champignon fournit à la plante de l'eau et des ions minéraux (en particulier des phosphates) ; la plante lui fournit des glucides issus de la photosynthèse. C'est une association à bénéfice réciproque (mutualisme).

Surface d'échange	Milieu	Échanges	Structures qui augmentent la surface
Feuilles	air	entrée de CO ₂ , sortie d'O ₂ et d'eau	limbe plat, nombreuses feuilles, lacunes internes
Racines	sol	entrée d'eau et d'ions minéraux	ramifications, poils absorbants, mycorhizes

2.3. Les systèmes conducteurs

Les surfaces d'échange sont éloignées les unes des autres (les racines dans le sol, les feuilles dans l'air). Deux tissus conducteurs les relient.

- Le **xylème** transporte la **sève brute** : eau et ions minéraux, des racines vers les feuilles. Ses **vaisseaux** sont formés de cellules mortes, vidées de leur contenu, à paroi épaissie de **lignine**, mises bout à bout en tubes continus. Le moteur principal est l'**aspiration foliaire** due à la transpiration : l'eau qui s'évapore par les stomates est remplacée par de l'eau tirée depuis les racines, la colonne d'eau restant continue. S'y ajoute une poussée racinaire plus faible.
- Le **phloème** transporte la **sève élaborée** : eau et matière organique, surtout du **saccharose**, mais aussi des acides aminés et des hormones. Ses **tubes criblés** sont des cellules vivantes, reliées par des cloisons percées (cribles). La sève élaborée circule des **organes sources** (feuilles qui photosynthétisent, organes de réserve qui se vident) vers les **organes puits** (bourgeons, racines, fruits, graines, organes de réserve qui se remplissent). Son trajet peut donc être ascendant ou descendant.

Trajet de l'eau dans la plante

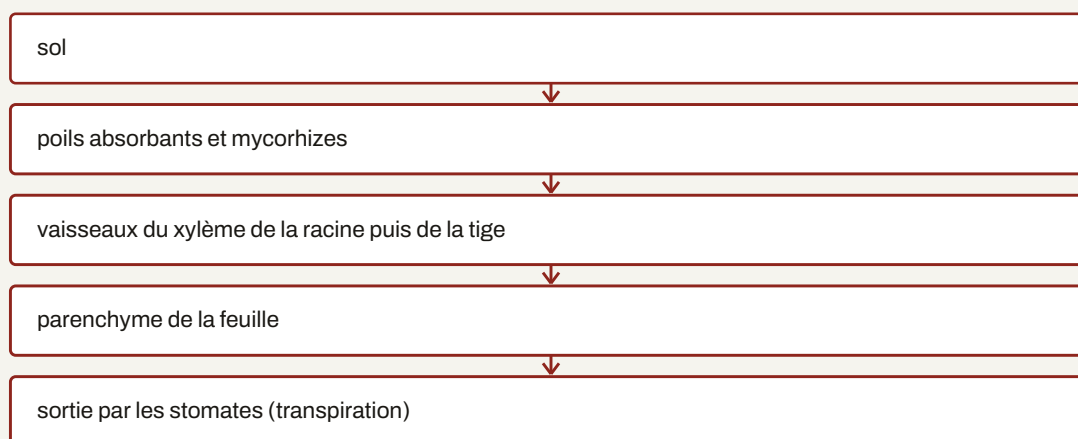
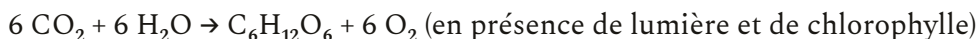


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

3. La photosynthèse

3.1. L'équation bilan

La **photosynthèse** est la production de matière organique à partir de matière minérale (CO_2 et eau) grâce à l'énergie lumineuse. Elle se déroule dans les **chloroplastes** des cellules chlorophylliennes. Son équation bilan simplifiée s'écrit :



Une écriture plus juste fait apparaître $12 \text{H}_2\text{O}$ à gauche et $6 \text{H}_2\text{O}$ à droite, car toutes les molécules d' O_2 produites viennent de l'eau. La photosynthèse **convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique**, stockée dans les liaisons des molécules organiques.

3.2. Le chloroplaste et les pigments

Le chloroplaste est un organe limité par une double membrane. Il contient un liquide, le **stroma**, et un réseau de membranes empilées en saccules, les **thylakoïdes**. Les **pigments photosynthétiques** (chlorophylles a et b, caroténoïdes) sont insérés dans la membrane des thylakoïdes.

Le **spectre d'absorption** de la chlorophylle brute montre deux pics : dans le **bleu** (vers 430 à 450 nm) et dans le **rouge** (vers 660 à 680 nm). Le vert est très peu absorbé : il est réfléchi et transmis, d'où la couleur des feuilles. Le **spectre d'action** (intensité de la photosynthèse selon la longueur d'onde) a la même allure : les radiations efficaces sont celles absorbées par les pigments.

3.3. La phase photochimique, dans les thylakoïdes

Elle exige directement la lumière. L'énergie lumineuse captée par les pigments permet :

- l'oxydation de l'eau (photolyse) : $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4 \text{H}^+ + 4 \text{e}^-$; le dioxygène dégagé provient de l'eau ;
- la réduction d'un transporteur d'électrons R en RH_2 (dans la cellule, il s'agit du NADPH) ;
- la synthèse d'ATP à partir d'ADP et de phosphate.

L'**expérience de Hill** (1937) le montre : des chloroplastes isolés, éclairés, en présence d'un accepteur d'électrons artificiel mais **sans CO_2** , dégagent du dioxygène. Le dégagement d' O_2 ne dépend donc pas de la fixation du CO_2 , et il cesse à l'obscurité.

3.4. La phase chimique, dans le stroma

Elle n'utilise pas directement la lumière, mais elle consomme l'ATP et le RH_2 produits par la phase photochimique. Elle forme le **cycle de Calvin** :

1. le CO_2 est fixé sur une molécule à 5 carbones, le **ribulose biphosphate** (RuBP), par l'enzyme **rubisco** ; il se forme deux molécules à 3 carbones, l'**acide phosphoglycérique** (APG) ;
2. l'APG est réduit en **trioses phosphates** grâce à l'ATP et au RH_2 ;
3. une partie des trioses régénère le RuBP (avec de l'ATP), l'autre sert à fabriquer des sucres (glucose, saccharose, amidon).

Les deux phases sont **couplées** : à l'obscurité, l'ATP et le RH_2 s'épuisent en quelques secondes et la fixation du CO_2 s'arrête aussi.

Les deux phases couplées de la photosynthèse

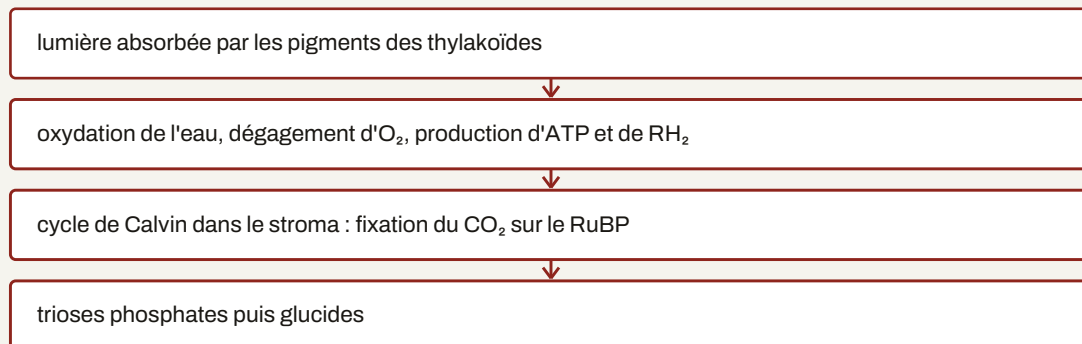


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

4. Le devenir des produits de la photosynthèse

Les trioses phosphates sont le point de départ de toute la matière organique de la plante.

- **Saccharose** : disaccharide (glucose + fructose) fabriqué dans le cytoplasme des cellules des feuilles, c'est la principale forme de **transport** des glucides dans la sève élaborée.
- **Amidon** : polymère de glucose, forme de **réserve**. Il est stocké temporairement dans les chloroplastes le jour, puis hydrolysé la nuit. Il est aussi accumulé durablement dans les **organes de réserve** (tubercules de pomme de terre, graines de céréales, racines tubérisées), dans des plastes appelés amyloplast. On le met en évidence par l'eau iodée, qui le colore en bleu-noir.
- **Cellulose** : polymère de glucose aux liaisons différentes de celles de l'amidon, qui forme des fibres résistantes. Elle constitue l'essentiel de la **paroi** des cellules végétales.
- **Lignine** : molécule complexe qui imprègne la paroi de certaines cellules (vaisseaux du xylème, fibres) et leur donne **rigidité** et imperméabilité. Elle constitue une grande partie du **bois** et permet le port dressé des arbres.
- **Lipides et protéines** : synthétisés à partir des glucides et des ions minéraux (nitrates, sulfates, phosphates) ; ils sont souvent stockés dans les graines (graines oléagineuses comme le colza, protéagineuses comme le pois).
- **Métabolites secondaires** : molécules non indispensables à la vie de chaque cellule mais qui jouent un rôle dans les relations avec l'environnement : **pigments** des fleurs et des fruits (anthocyanes, caroténoïdes) qui attirent les animaux, **tanins** et **alcaloïdes** (nicotine, caféine, morphine) qui repoussent ou intoxiquent les herbivores, molécules odorantes.

Une partie des glucides est aussi **oxydée par la respiration cellulaire** pour produire l'ATP de toutes les cellules, y compris celles des racines et la nuit.

5. Faire face aux contraintes du milieu et aux agressions

5.1. Les variations saisonnières et la sécheresse

Une plante fixée subit les variations de température, de lumière et d'eau. Elle y répond par des adaptations de structure et de fonctionnement :

- **vie ralentie** pendant la mauvaise saison : chute des feuilles des arbres caducs, **bourgeons** protégés par des **écailles**, organes souterrains de réserve (bulbes, tubercules, rhizomes), ou survie sous forme de **graines** seulement chez les plantes annuelles ;
- limitation des pertes d'eau : cuticule épaisse, stomates enfoncés ou peu nombreux, fermeture des stomates en période sèche, feuilles réduites (épines des cactus), tiges qui stockent l'eau.

5.2. Les défenses contre les herbivores et les pathogènes

Ne pouvant fuir, la plante se défend sur place.

- **Défenses structurales** (permanentes) : épines, aiguillons, poils, cuticule et parois lignifiées difficiles à percer.
- **Défenses chimiques** : métabolites secondaires toxiques ou à goût répulsif (alcaloïdes, tanins qui rendent les protéines des feuilles peu digestibles). Certaines sont produites en permanence, d'autres seulement après une attaque (défenses **induites**).
- **Signaux d'alerte** : une feuille blessée produit des molécules signal (acide jasmonique) qui déclenchent la synthèse de défenses dans le reste de la plante ; elle émet aussi des molécules **volatiles** (comme l'éthylène) qui peuvent induire les défenses des plantes voisines ou attirer les prédateurs des herbivores. Chez certains acacias d'Afrique, des feuilles broutées augmentent en peu de temps leur teneur en tanins, et les arbres voisins font de même.
- **Associations avec d'autres êtres vivants** : certains acacias logent et nourrissent des fourmis qui attaquent les herbivores.

5.3. La reproduction asexuée

Beaucoup de plantes se multiplient aussi **sans fécondation**, par **multiplication végétative** : stolons du fraisier, tubercules de la pomme de terre, bulbes, rhizomes, fragments de tige qui s'enracinent. Les descendants sont des **clones**, génétiquement identiques au parent (aux mutations près). L'humain exploite cette capacité par le **bouturage**, le **marcottage** ou le **greffage**. Cette reproduction est rapide et colonise bien un milieu favorable, mais elle ne crée pas de diversité génétique.

6. La fleur, organe de la reproduction sexuée

6.1. Organisation de la fleur

Une fleur complète comporte quatre **verticilles** (cercles de pièces florales), de l'extérieur vers l'intérieur :

1. les **sépales** (ensemble : le calice), souvent verts, qui protègent le bouton floral ;
2. les **pétales** (ensemble : la corolle), souvent colorés, qui attirent les pollinisateurs ;
3. les **étamines**, pièces mâles : chacune est formée d'un filet et d'une **anthère** qui produit les **grains de pollen** ;
4. les **carpelles**, pièces femelles, souvent soudés en un **pistil** : l'**ovaire** à la base contient les **ovules**, surmonté d'un **style** et d'un **stigmate** qui reçoit le pollen.

On résume l'organisation par un **diagramme floral** (vue en coupe transversale schématique) ou une **formule florale**, par exemple 5S + 5P + 10E + 2C pour cinq sépales, cinq pétales, dix étamines et deux carpelles.

Le **grain de pollen** contient deux cellules : une cellule végétative, qui formera le tube pollinique, et une cellule reproductrice, qui donnera **deux gamètes mâles** (noyaux spermatiques). Dans chaque ovule, le **sac embryonnaire** contient notamment le gamète femelle, l'**oosphère**, et une grande **cellule centrale** à deux noyaux (les noyaux polaires).

6.2. Des gènes de développement contrôlent l'organisation florale

L'identité de chaque verticille est déterminée par la combinaison de quelques **gènes de développement**, étudiés chez une petite plante modèle, l'arabette (*Arabidopsis*). C'est le **modèle ABC** : trois classes de gènes, A, B et C, s'expriment chacune dans deux verticilles voisins.

Verticille	Gènes exprimés	Pièce formée
1	A	sépales
2	A + B	pétales
3	B + C	étamines
4	C	carpelles

De plus, A et C s'**inhibent mutuellement** : là où A est absent, C s'exprime, et inversement. Cela permet de prévoir les mutants :

- sans A : C partout, on obtient carpelles, étamines, étamines, carpelles ;
- sans B : sépales, sépales, carpelles, carpelles ;
- sans C : A partout, on obtient sépales, pétales, pétales, sépales (et la fleur produit de nouveaux verticilles en son centre).

Ces gènes codent des **facteurs de transcription** : la mutation d'un seul d'entre eux modifie des pièces florales entières.

7. La pollinisation

La **pollinisation** est le transport du pollen de l'anthere jusqu'au stigmate. On distingue :

- l'**autopollinisation** : le pollen atteint le stigmate de la même fleur ou d'une fleur du même individu ;
- la **pollinisation croisée** : le pollen vient d'un autre individu de la même espèce. Elle brasse les génomes et augmente la diversité génétique des descendants.

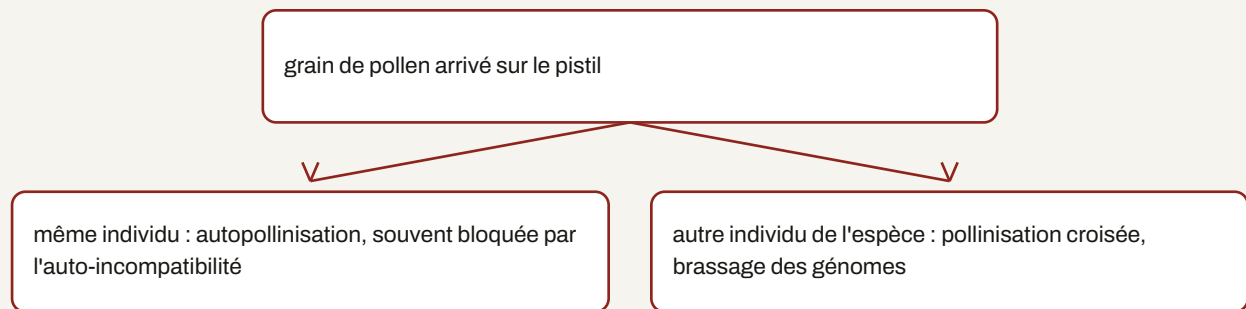
De nombreux mécanismes **favorisent la pollinisation croisée** : maturation décalée des étamines et du pistil d'une même fleur, fleurs mâles et femelles séparées, voire sur des individus différents, et surtout **auto-incompatibilité** : le pistil reconnaît et rejette le pollen qui porte le même allèle d'un gène d'incompatibilité (gène S) que lui.

Les agents de la pollinisation :

- le **vent** : fleurs peu voyantes, sans nectar, pollen très abondant, léger et sec, stigmates plumeux (graminées, noisetier) ;
- les **animaux** (insectes surtout, oiseaux, chauves-souris) : fleurs colorées, odorantes, à **nectar**, pollen collant. L'animal, attiré par la nourriture (nectar, pollen), transporte le pollen sur son corps de fleur en fleur.

La relation entre la plante et son pollinisateur est un **mutualisme** : chacun en tire bénéfice. Elle résulte souvent d'une **coévolution** : les caractères de la fleur et ceux de l'animal ont évolué ensemble. Une orchidée de Madagascar dont le nectar se trouve au fond d'un éperon de 30 cm environ est pollinisée par un papillon de nuit dont la trompe atteint une longueur comparable.

Origine du pollen déposé sur un stigmate



Deux branches distinctes • ce schéma ne relie pas les deux issues entre elles

8. Fécondation, graine et fruit

8.1. La double fécondation

Sur un stigmate compatible, le grain de pollen **germe** : la cellule végétative forme un **tube pollinique** qui s'allonge dans le style et conduit les deux gamètes mâles jusqu'à un ovule. Il se produit alors une **double fécondation**, propre aux plantes à fleurs :

- un gamète mâle (n) fusionne avec l'**oosphère** (n) : il se forme le **zygote** (2n), qui donnera l'**embryon** ;
- l'autre gamète mâle (n) fusionne avec la **cellule centrale** et ses deux noyaux polaires (n + n) : il se forme une cellule triploïde (3n), à l'origine de l'**albumen**, tissu de réserve.

8.2. La graine et le fruit

Après la fécondation :

- l'**ovule devient la graine**. Elle contient l'**embryon** (avec une petite racine, une petite tige et un ou deux **cotylédons**), des **réserves** (dans l'albumen, comme chez le blé ou le maïs, ou dans les cotylédons qui ont absorbé l'albumen, comme chez le haricot ou le pois) et des **téguments** protecteurs issus des enveloppes de l'ovule ;
- l'**ovaire devient le fruit**, qui enveloppe les graines. Sa paroi peut devenir charnue (cerise, tomate) ou sèche (gousse du pois, akène du pissenlit).

La graine est une forme de **vie ralentie** : déshydratée, à métabolisme très faible, souvent en **dormance**, elle résiste au froid et à la sécheresse et peut survivre des mois ou des années. Quand les conditions redeviennent favorables (eau, température, oxygène, parfois lumière ou froid préalable), elle **germe** : elle s'imbibe d'eau, son métabolisme reprend, ses réserves sont hydrolysées et l'embryon se développe en plantule.

Du pistil à la graine

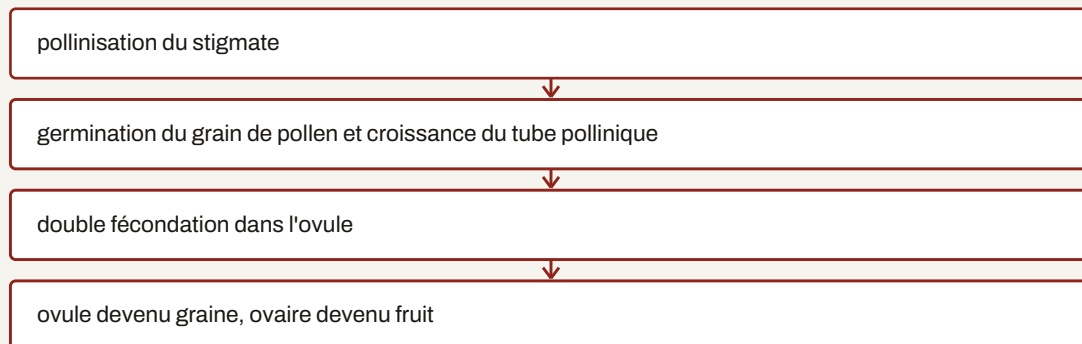


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

8.3. La dissémination

La plante fixée confie la dispersion de ses graines à des agents extérieurs, ce qui lui permet de coloniser de nouveaux milieux et d'éviter la concurrence entre parent et descendants :

- le **vent** : fruits ou graines légers, munis d'ailes (érable) ou d'aigrettes (pissenlit) ;
- les **animaux** : fruits charnus mangés, dont les graines traversent le tube digestif et sont rejetées plus loin ; fruits à crochets accrochés au pelage ; graines enterrées par des rongeurs puis oubliées ;
- l'**eau** (noix de coco) ou la plante elle-même (gousses qui éclatent).

9. La domestication des plantes

La **domestication** est la transformation d'une espèce sauvage par la **sélection**, exercée par l'humain, de caractères qui lui sont utiles. Elle a commencé il y a environ 10 000 ans, indépendamment dans plusieurs régions : blé au Proche-Orient, maïs au Mexique (à partir de la téosinte), riz en Asie.

Les caractères sélectionnés forment un ensemble récurrent :

- **graines qui restent sur la plante** à maturité (épi du blé qui ne se désarticule pas), ce qui permet la récolte ;
- organes consommés plus gros, graines plus nombreuses (épi de maïs de plusieurs centaines de grains contre une dizaine chez la téosinte) ;
- **germination rapide et homogène** (perte de dormance) ;
- **diminution des molécules toxiques ou amères** (métabolites secondaires de défense) ;
- port plus compact, maturation simultanée.

Les méthodes ont évolué : choix des meilleurs individus pour le semis suivant, **croisements** contrôlés, **hybrides**, puis biotechnologies (marqueurs moléculaires, transgénèse, édition du génome).

Conséquence majeure : chaque sélection ne garde qu'une petite partie des allèles de l'espèce. La **diversité génétique** des plantes cultivées est donc bien plus faible que celle de leurs ancêtres sauvages, ce qui rend les cultures plus sensibles aux maladies nouvelles et aux changements de climat. D'où l'intérêt de conserver les variétés anciennes et les espèces sauvages apparentées, par exemple dans des **banques de graines**.

Exemples résolus

Exemple 1 : exploiter une expérience à l'oxygène 18

Document. Des algues unicellulaires chlorophylliennes sont éclairées dans deux suspensions. L'oxygène naturel contient environ 0,20 % d'isotope ^{18}O . On mesure la proportion de ^{18}O dans le dioxygène dégagé.

Lot	^{18}O dans l'eau	^{18}O dans le CO_2	^{18}O dans l' O_2 dégagé
A	0,85 %	0,20 %	0,85 %
B	0,20 %	0,68 %	0,20 %

Question. Déterminer l'origine du dioxygène produit par la photosynthèse.

Résolution.

- Lot A : l' O_2 dégagé contient 0,85 % de ^{18}O , la proportion de l'eau, et non celle du CO_2 (0,20 %).
- Lot B : le CO_2 est enrichi (0,68 %) mais l' O_2 garde la proportion de l'eau (0,20 %).
- J'en déduis que les atomes d'oxygène du dioxygène dégagé proviennent de l'eau et non du CO_2 .
- Je relie au cours : l' O_2 est produit lors de l'oxydation de l'eau pendant la phase photochimique ($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$).

Conclusion : le dioxygène dégagé par la photosynthèse provient de la photolyse de l'eau.

Exemple 2 : exploiter une expérience d'ensachage de fleurs

Document. Dans un champ de colza, on compare trois lots de 200 fleurs. Lot 1 : fleurs laissées libres. Lot 2 : fleurs enfermées dans un sachet de tulle à mailles fines (les insectes ne passent pas, le pollen transporté par le vent très peu). Lot 3 : fleurs ensachées puis pollinisées à la main avec du pollen d'une autre plante.

Lot	Fleurs donnant un fruit	Graines par fruit (moyenne)
1 libre	168	22
2 ensaché	104	14
3 ensaché + pollen apporté	170	23

Questions. a) Calculer le pourcentage de fleurs donnant un fruit dans chaque lot. b) Interpréter les résultats. c) Estimer la part de la production de graines due aux pollinisateurs.

Résolution. a) Lot 1 : $168 / 200 = 84 \%$; lot 2 : $104 / 200 = 52 \%$; lot 3 : $170 / 200 = 85 \%$. b) Sans visite d'insectes (lot 2), la formation des fruits baisse fortement et les fruits contiennent moins de graines : une partie des ovules n'est pas fécondée faute de pollen. Le colza peut donc s'autopolliniser en partie (52 % de fruits malgré le sachet), mais pas complètement. Le lot 3 montre que le sachet lui-même n'empêche pas la fructification : apporter le pollen suffit à retrouver les valeurs du lot libre. Le facteur limitant du lot 2 est donc bien l'**apport de pollen**, assuré normalement par les insectes. c) Production

de graines pour 200 fleurs : lot 1 : $168 \times 22 = 3\,696$ graines ; lot 2 : $104 \times 14 = 1\,456$ graines. Différence : $3\,696 - 1\,456 = 2\,240$ graines, soit $2\,240 / 3\,696 \approx 0,61$.

Environ 61 % de la production de graines dépend ici de la pollinisation par les insectes.

Exemple 3 : exploiter des mutants floraux et le modèle ABC

Document. Chez l'arabette, on observe trois plantes mutantes, chacune touchée dans un seul gène. Fleur sauvage : sépales, pétales, étamines, carpelles (de l'extérieur vers l'intérieur).

- Mutant 1 : sépales, sépales, carpelles, carpelles.
- Mutant 2 : carpelles, étamines, étamines, carpelles.
- Mutant 3 : sépales, pétales, pétales, sépales.

Question. Identifier le gène muté chez chaque mutant, en justifiant à l'aide du modèle ABC.

Résolution.

1. Rappel : verticille 1 = A, verticille 2 = A + B, verticille 3 = B + C, verticille 4 = C ; A et C s'inhibent mutuellement.
2. Mutant 1 : les verticilles 2 et 3, qui sont ceux où B s'exprime, sont transformés (pétales remplacés par des sépales, étamines remplacées par des carpelles). Sans B, le verticille 2 n'a plus que A (sépales) et le verticille 3 n'a plus que C (carpelles). **Le gène muté est de classe B.**
3. Mutant 2 : les verticilles 1 et 2 sont modifiés. Sans A, l'inhibition de C disparaît : C s'exprime partout. Verticille 1 : C seul, carpelles ; verticille 2 : B + C, étamines. **Le gène muté est de classe A.**
4. Mutant 3 : les verticilles 3 et 4 sont modifiés. Sans C, A s'exprime partout : verticille 3 : A + B, pétales ; verticille 4 : A seul, sépales. **Le gène muté est de classe C.**

Conclusion : mutant 1 = gène B, mutant 2 = gène A, mutant 3 = gène C ; un seul gène de développement modifie l'identité de deux verticilles.

Méthodes et pièges

- Pour exploiter un document expérimental, fais toujours : je vois (valeurs précises), je compare (au témoin), j'en déduis, puis je relie au cours. Une conclusion sans chiffre du document ne rapporte rien.
- Repère le **témoin** et la **seule variable** qui change entre deux lots : dans une expérience d'ensachage, compare le lot ensaché au lot ensaché pollinisé à la main, pas seulement au lot libre.
- Ne confonds pas **sève brute** (xylème, eau et ions, montante, cellules mortes) et **sève élaborée** (phloème, saccharose, des sources vers les puits, cellules vivantes).
- Le dioxygène de la photosynthèse vient de l'**eau**, pas du CO_2 . C'est une erreur très fréquente.
- La phase chimique est souvent appelée « phase obscure » : c'est trompeur. Elle a lieu le jour, car elle dépend de l'ATP et du RH_2 produits à la lumière.
- **Pollinisation** et **fécondation** sont deux étapes différentes : la pollinisation est un transport de pollen, la fécondation est la fusion des gamètes, qui a lieu dans l'ovule.
- Dans la double fécondation, l'**albumen est triploïde** ($3n$) et l'embryon diploïde ($2n$). Ne dis pas que l'albumen vient de l'oosphère.

- Retiens : ovule → graine, ovaire → fruit (la gousse de pois est un fruit, les petits pois sont des graines).
- Pour le modèle ABC, raisonne verticille par verticille en écrivant les gènes présents, sans oublier l'inhibition mutuelle de A et C.

Vers le PASS

En PASS, la biologie végétale n'est pas un chapitre en soi, mais ses notions réapparaissent. La photosynthèse est le miroir de la respiration cellulaire : chaînes de transport d'électrons, gradients de protons et ATP synthase existent dans les thylakoïdes comme dans les mitochondries. Le modèle ABC est un excellent exemple de contrôle du développement par des facteurs de transcription, logique que tu retrouveras avec les gènes homéotiques de l'embryon humain. Enfin, les métabolites secondaires des plantes (morphine, digitaline, atropine, caféine) sont à l'origine de nombreux médicaments : la pharmacologie en étudie les cibles et les effets.

Exercices

Niveau 1 : s'entraîner

1. Définis : méristème, stomate, poil absorbant, mycorhize, sève élaborée.
2. Écris l'équation bilan simplifiée de la photosynthèse. Indique l'organite où elle se déroule, et la localisation précise de chacune de ses deux phases.
3. Une feuille de 40 cm^2 porte, sur sa face inférieure seulement, 250 stomates par mm^2 . Calcule le nombre de stomates de cette feuille.
4. Associe chaque molécule à son rôle principal : saccharose, amidon, cellulose, lignine, alcaloïde.
Rôles : rigidité du bois ; réserve ; défense contre les herbivores ; transport dans la sève ; constituant de la paroi.
5. Une fleur de giroflée (famille du chou) possède 4 sépales, 4 pétales, 6 étamines et un pistil formé de 2 carpelles soudés. Écris sa formule florale et indique, pour chaque verticille, les gènes du modèle ABC qui s'y expriment.

Niveau 2 : type bac

6. On place une branche feuillée dans une solution colorée, puis on réalise des coupes de la tige. a) Indique quel tissu sera coloré et justifie. b) On enlève sur un arbre un anneau d'écorce (qui contient le phloème) à la base d'une branche portant des fruits. Les fruits situés au-dessus de l'anneau deviennent plus gros que ceux des branches témoins. Explique ce résultat. c) Indique dans quel sens circule la sève élaborée entre une feuille et une racine, puis entre un tubercule de réserve et un bourgeon au printemps.
7. Un arbre fixe 22 kg de CO_2 en une année. On donne $M(\text{CO}_2) = 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}_2) = 32 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. a) Calcule la quantité de matière de CO_2 fixée. b) Calcule la masse de glucose correspondante, d'après l'équation bilan. c) Calcule la masse de dioxygène dégagée. d) Explique pourquoi la masse de bois réellement formée en un an est inférieure à la masse de glucose calculée.
8. On mesure le dégagement de dioxygène de chloroplastes isolés, en présence d'un accepteur d'électrons. Lumière, sans CO_2 : dégagement d' O_2 pendant toute la durée de l'éclairement. Obscurité : aucun dégagement. Lumière, sans accepteur d'électrons et sans CO_2 : dégagement bref,

- qui s'arrête au bout de quelques secondes. a) Interprète chaque condition. b) Explique le rôle de l'accepteur d'électrons dans cette expérience. c) Indique ce qui joue ce rôle dans la cellule vivante.
9. On mesure la teneur en tanins des feuilles d'un acacia avant et après un broutage simulé (feuilles arrachées à la main). Avant : 3 % de la masse sèche ; 30 min après : 7 %. Sur un acacia voisin, non touché, situé à 3 m sous le vent : 2,9 % puis 5,5 % ; sur un acacia situé à 30 m contre le vent : 3 % puis 3,1 %. a) Calcule l'augmentation relative de la teneur en tanins pour chaque arbre. b) Propose une explication à la réponse de l'arbre voisin sous le vent. c) Explique l'intérêt de ces réactions pour une plante fixée.

Niveau 3 : vers le PASS

10. Chez une espèce dont les cellules somatiques ont $2n = 20$ chromosomes, indique le nombre de chromosomes dans : a) une cellule du grain de pollen ; b) l'oosphère ; c) le zygote ; d) une cellule de l'albumen ; e) une cellule du tégument de la graine ; f) une cellule de la paroi du fruit. Justifie chaque réponse en précisant l'origine de la cellule.
11. Chez une plante auto-incompatible, le pollen est rejeté s'il porte un allèle S identique à l'un des deux allèles du pistil (incompatibilité dite gamétophytique). a) Une plante S_1S_2 peut-elle s'autoféconder ? b) On pollinise une plante S_1S_2 (femelle) avec du pollen d'une plante S_2S_3 . Indique les grains de pollen qui germent et les génotypes des descendants, avec leurs proportions. c) Explique en quoi ce système favorise la diversité génétique.
12. QCM (une ou plusieurs réponses exactes). A. La rubisco fixe le CO_2 sur une molécule à 5 carbones dans le stroma. B. L'albumen résulte de la fusion d'un gamète mâle et de l'oosphère. C. Une plante mutée pour un gène de classe C forme des étamines au verticille 3. D. Le saccharose est la principale forme de transport des glucides dans le phloème. E. La sève brute circule dans des cellules mortes lignifiées.
13. Lors de la domestication du blé, l'allèle « épi non fragile » (les grains restent sur l'épi) est apparu par mutation. On estime que dans une population sauvage, sa fréquence initiale était de 1 sur 1 000. a) Explique pourquoi cet allèle était désavantageux dans la nature. b) Les premiers cultivateurs récoltaient les épis à la faucille, puis ressemaient une partie des grains récoltés. Explique pourquoi la fréquence de l'allèle a augmenté. c) Dans une population où les plantes sont toutes homozygotes, on récolte 100 % des grains des plantes « non fragiles » et 20 % de ceux des plantes « fragiles » (les autres sont tombés). Si 10 % des plantes sont « non fragiles » à une génération, calcule leur proportion dans les grains ressemés (on suppose que chaque plante produit le même nombre de grains). d) Discute une conséquence de cette sélection sur la diversité génétique.

Corrigés

1. **Méristème** : massif de cellules indifférenciées qui se divisent toute la vie et assurent la croissance indéfinie de la plante (extrémités des tiges et des racines, bourgeons). **Stomate** : orifice de l'épiderme (ostiole) bordé de deux cellules stomatiques, qui permet les échanges gazeux et la transpiration. **Poil absorbant** : prolongement fin d'une cellule de l'épiderme de la racine, qui augmente la surface d'absorption de l'eau et des ions. **Mycorhize** : association symbiotique entre une racine et un champignon du sol, qui échangent ions minéraux et eau contre des glucides. **Sève élaborée** : solution riche en saccharose qui circule dans le phloème des organes sources vers les organes puits.
2. $6 CO_2 + 6 H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$, en présence de lumière et de chlorophylle. Elle se déroule dans le chloroplaste. La phase photochimique a lieu dans la membrane des thylakoïdes (où sont les

pigments) ; la **phase chimique** (cycle de Calvin) a lieu dans le **stroma**.

3. Conversion : $40 \text{ cm}^2 = 40 \times 100 \text{ mm}^2 = 4\,000 \text{ mm}^2$. Nombre de stomates : $4\,000 \times 250 = 1\,000\,000$ stomates, soit 10^6 .

4. **Saccharose : transport dans la sève. Amidon : réserve. Cellulose : constituant de la paroi. Lignine : rigidité du bois. Alcaloïde : défense contre les herbivores.**

5. Formule florale : **4S + 4P + 6E + 2C**. Verticille 1 (sépalés) : **A** ; verticille 2 (pétales) : **A + B** ; verticille 3 (étamines) : **B + C** ; verticille 4 (carpelles) : **C**.

6. a) Le colorant monte avec l'eau aspirée par la transpiration : il colore le **xylème** (vaisseaux du bois), qui conduit la sève brute vers les feuilles.

b) L'anneau supprime le phloème à la base de la branche. Le saccharose produit par les feuilles de la branche ne peut plus descendre vers le tronc et les racines : il s'accumule au-dessus de l'anneau et est utilisé par les fruits de la branche, qui sont des organes puits. **Les fruits reçoivent plus de sève élaborée, d'où leur taille plus grande.** Cela montre que le phloème est dans l'écorce et transporte les produits de la photosynthèse. c) Feuille vers racine : la feuille est un organe source, la racine un puits ; la sève élaborée **descend**. Tubercule vers bourgeon au printemps : le tubercule, qui se vide de ses réserves, est une source, le bourgeon en croissance un puits ; la sève élaborée **monte**. **Le sens dépend de la position des sources et des puits, pas d'une règle fixe.**

7. a) $n(\text{CO}_2) = m / M = 22\,000 \text{ g} / 44 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 500 \text{ mol}$.

b) D'après l'équation, 6 mol de CO_2 donnent 1 mol de glucose : $n(\text{glucose}) = 500 / 6 \approx 83,3 \text{ mol}$; $m = 83,3 \times 180 \approx 15\,000 \text{ g}$, soit **$m(\text{glucose}) \approx 15 \text{ kg}$** . c) 6 mol de CO_2 donnent 6 mol d' O_2 : $n(\text{O}_2) = 500 \text{ mol}$; $m = 500 \times 32 = 16\,000 \text{ g}$, soit **$m(\text{O}_2) = 16 \text{ kg}$** . d) Une partie du glucose est oxydée par la **respiration** de l'arbre pour fournir l'ATP (et redonne du CO_2), une autre sert à fabriquer les feuilles, les racines fines et les fruits, qui tombent ou se renouvellent. **Seule une fraction du glucose produit est convertie en bois (cellulose, lignine) durable.**

8. a) Lumière, sans CO_2 : l' O_2 est dégagé, donc l'oxydation de l'eau ne nécessite pas de CO_2 ; elle dépend de la lumière. Obscurité : pas de dégagement, la **lumière est indispensable** à l'oxydation de l'eau. Sans accepteur : le dégagement s'arrête vite, car les électrons arrachés à l'eau n'ont plus de molécule à réduire.

b) L'accepteur capte les électrons issus de l'oxydation de l'eau : il est réduit, ce qui permet à la réaction de continuer. **Sans accepteur disponible, l'oxydation de l'eau s'arrête.** c) Dans la cellule, ce rôle est tenu par le **transporteur R, réduit en RH_2 (NADPH)**, qui est ensuite réoxydé par le cycle de Calvin lors de la réduction de l'APG. C'est ce qui couple les deux phases.

9. a) Arbre brouté : $(7 - 3) / 3 \approx +133 \%$. Voisin sous le vent : $(5,5 - 2,9) / 2,9 \approx +90 \%$. Arbre contre le vent : $(3,1 - 3) / 3 \approx +3 \%$, variation négligeable.

b) L'arbre voisin n'a pas été touché, mais il réagit, et seulement s'il est sous le vent. **Un signal transporté par l'air, une molécule volatile émise par l'arbre blessé (comme l'éthylène), induit la synthèse de tanins chez les voisins.** L'arbre situé contre le vent ne reçoit pas ce signal. c) Une plante ne peut pas fuir. Augmenter rapidement la teneur en tanins rend les feuilles moins digestibles et pousse l'herbivore à aller brouter plus loin. **Ces défenses induites et ces signaux d'alerte sont une réponse sur place, adaptée à la vie fixée ; produire des défenses seulement en cas d'attaque économise de la matière et de l'énergie.**

10. a) Cellule du grain de pollen : issue de la méiose puis de mitoses, elle est haploïde : **10 chromosomes**. b) Oosphère : gamète haploïde : **10**. c) Zygote : fusion de deux gamètes $n + n$: **20**. d)

Albumen : fusion d'un gamète mâle (n) et de la cellule centrale à deux noyaux polaires ($n + n$) : **30** ($3n$). e) Tégument de la graine : issu des enveloppes de l'ovule, tissu de la plante mère : **20**. f) Paroi du fruit : issue de la paroi de l'ovaire, tissu de la plante mère : **20**.

11. a) Le pollen d'une plante S_1S_2 porte S_1 ou S_2 ; les deux allèles sont présents dans son pistil, donc **tout son propre pollen est rejeté : pas d'autofécondation possible**.

b) La plante S_2S_3 produit des grains de pollen S_2 et S_3 en proportions égales. Le pollen S_2 est rejeté par le pistil S_1S_2 ; **seul le pollen S_3 germe**. Les ovules portent S_1 ou S_2 (moitié chacun). Descendants : **50 % S_1S_3 et 50 % S_2S_3** . c) Ce système empêche l'autofécondation et les croisements entre individus porteurs des mêmes allèles S : il impose la **pollinisation croisée**, donc le brassage de génomes différents, ce qui **maintient l'hétérozygotie et la diversité génétique** de la population.

12. **Réponses exactes : A, D, E.** A : vrai, la rubisco fixe le CO_2 sur le RuBP (5 carbones). B : faux, l'albumen résulte de la fusion d'un gamète mâle avec la cellule centrale ($3n$) ; c'est le zygote qui provient de l'oosphère. C : faux, sans C, A s'exprime partout et le verticille 3 (A + B) forme des pétales. D : vrai. E : vrai, les vaisseaux du xylème sont des cellules mortes à paroi lignifiée.

13. a) Dans la nature, un épi qui ne libère pas ses grains **ne dissémine pas ses graines** : elles restent sur la plante, souvent groupées, et germent mal ou pas du tout. L'allèle est donc éliminé par la sélection naturelle et reste très rare.

b) Les grains des épis fragiles tombent avant ou pendant la récolte et sont perdus pour le semis suivant, tandis que les épis non fragiles conservent tous leurs grains. **Les grains ressemés proviennent donc surtout de plantes non fragiles : l'humain exerce une sélection involontaire en faveur de l'allèle**, dont la fréquence augmente de génération en génération. c) Sur 100 plantes : 10 non fragiles, 90 fragiles, chacune produisant N grains. Grains récoltés : non fragiles : $10 \times N \times 1 = 10 N$; fragiles : $90 \times N \times 0,20 = 18 N$. Total : $28 N$. Proportion de grains « non fragiles » : $10 / 28 \approx 0,357$. **Environ 36 % des grains ressemés portent le caractère non fragile, contre 10 % des plantes à la génération précédente**. d) Seuls les descendants de quelques plantes porteuses sont conservés : les autres allèles de leurs génomes, présents dans la population sauvage, sont en grande partie perdus. **La domestication réduit la diversité génétique**, ce qui rend la culture plus vulnérable à un pathogène ou à un changement de climat ; conserver les variétés anciennes et les espèces sauvages apparentées préserve ces allèles.