

COURS COMPLET DE SVT

LA PHOTOSYNTHÈSE

Définition • Chloroplastes • Phase claire • Phase sombre • Cycle de Calvin
• Expériences

Objectif du cours

Comprendre comment les végétaux chlorophylliens captent l'énergie lumineuse, libèrent du dioxygène et fabriquent de la matière organique à partir du dioxyde de carbone.

Fiche de révision détaillée — niveau scolaire

Sommaire

1. Définition et importance de la photosynthèse
2. Équation générale
3. Lieu de la photosynthèse : feuilles, chloroplastes et chlorophylle
4. Les deux phases de la photosynthèse
5. La phase claire : étapes et bilan
6. La phase sombre : cycle de Calvin et bilan
7. Comparaison entre les deux phases
8. Facteurs qui influencent la photosynthèse
9. Expériences classiques
10. Schéma-bilan et notions à mémoriser
11. Quiz de révision avec corrigé

1. Définition et importance de la photosynthèse

La photosynthèse est un phénomène biologique par lequel les végétaux chlorophylliens, de nombreuses algues et certaines bactéries utilisent l'énergie lumineuse pour fabriquer de la matière organique à partir de matières minérales.

Chez les plantes vertes, elle se déroule principalement dans les feuilles, au niveau des cellules qui contiennent des organites appelés chloroplastes.

Les principaux éléments nécessaires sont :

- La lumière : elle fournit l'énergie nécessaire aux réactions.
- L'eau (H₂O) : elle est absorbée principalement par les racines.
- Le dioxyde de carbone (CO₂) : il est prélevé dans l'air, surtout par les stomates des feuilles.

La plante incorpore le carbone du CO₂ dans des molécules organiques, notamment des glucides. Du dioxygène (O₂) est libéré lors de la phase claire.

Pourquoi la photosynthèse est-elle importante ?

- Production de matière organique : les sucres servent à la croissance et au fonctionnement de la plante et permettent de fabriquer d'autres substances, comme l'amidon et la cellulose.
- Base des chaînes alimentaires : les plantes fournissent de la matière et de l'énergie aux herbivores, puis indirectement aux carnivores.
- Renouvellement du dioxygène : la photosynthèse libère du dioxygène, nécessaire à la respiration de nombreux êtres vivants.
- Cycle du carbone : les plantes prélèvent du CO₂ atmosphérique et incorporent son carbone dans leur matière organique.
- Conversion de l'énergie : l'énergie lumineuse est convertie en énergie chimique, stockée temporairement dans l'ATP et le NADPH puis utilisée pour fabriquer des composés organiques.

2. Équation générale de la photosynthèse

L'équation simplifiée couramment utilisée au lycée est :



Élément	Signification
CO ₂	Dioxyde de carbone prélevé dans l'air.
H ₂ O	Eau absorbée par la plante.
Lumière	Source d'énergie.
Chlorophylle	Pigment qui absorbe une partie de l'énergie lumineuse.
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glucose, un sucre simple représentatif du bilan global.
O ₂	Dioxygène libéré.

Cette équation est un bilan global simplifié. Le glucose n'est pas nécessairement le produit immédiat de toutes les réactions : la plante forme d'abord des molécules intermédiaires qui permettent ensuite de produire différents glucides.

À retenir : la plante utilise l'énergie lumineuse pour incorporer le carbone du CO₂ dans des molécules organiques.

3. Où se déroule la photosynthèse ?

A. Les feuilles

Les feuilles sont les principaux organes photosynthétiques de la plupart des plantes. Leur surface capte la lumière et facilite les échanges gazeux.

- Les stomates permettent les échanges de gaz avec l'atmosphère.
- Les cellules photosynthétiques contiennent des chloroplastes.
- Les nervures transportent l'eau et les substances dissoutes.

B. Les chloroplastes

Le chloroplaste est l'organite où se déroule la photosynthèse chez les plantes et les algues chlorophylliennes.

- Thylakoïdes : sacs aplatis dont les membranes contiennent la chlorophylle et les complexes photosynthétiques. Les réactions de la phase claire se déroulent sur ces membranes.
- Stroma : milieu liquide qui entoure les thylakoïdes et contient les enzymes nécessaires au cycle de Calvin.
- Grana : empilements de thylakoïdes qui augmentent la surface disponible pour les réactions photosynthétiques.

C. La chlorophylle

La chlorophylle est un pigment vert qui absorbe surtout la lumière bleue et rouge. La lumière verte est davantage réfléchiée ou transmise, ce qui contribue à la couleur verte des feuilles. La chlorophylle capte l'énergie lumineuse, mais ne fabrique pas seule le glucose : elle participe à un ensemble de réactions dans le chloroplaste.

4. Les deux grandes phases de la photosynthèse

Phase	Lieu	Rôle et principaux produits
Phase claire (photochimique)	Membranes des thylakoïdes	Utilise directement la lumière, oxyde l'eau, libère O ₂ et produit ATP et NADPH.
Phase sombre (non photochimique)	Stroma du chloroplaste	Le cycle de Calvin fixe le CO ₂ et forme des composés organiques en utilisant ATP et NADPH.

Les deux phases sont complémentaires : l'ATP et le NADPH produits par la phase claire sont utilisés par le cycle de Calvin.

Attention : « phase sombre » ne signifie pas que les réactions doivent obligatoirement se dérouler la nuit. Le cycle de Calvin ne nécessite pas directement de photons pour chacune de ses réactions, mais il dépend indirectement des produits de la phase claire et de la régulation liée à la lumière.

5. La phase claire

Définition

La phase claire, aussi appelée phase photochimique, est la partie de la photosynthèse au cours de laquelle l'énergie lumineuse est captée et convertie en énergie chimique utilisable par la cellule. Elle se déroule dans les membranes des thylakoïdes.

Elle nécessite la lumière, les pigments photosynthétiques, l'eau, des protéines membranaires et des molécules impliquées dans la production d'ATP et de NADPH.

Ses principaux produits sont l'ATP, le NADPH et le dioxygène.

Étape 1 : absorption de la lumière

Lorsque les pigments des thylakoïdes absorbent des photons, certains électrons sont excités et passent à un niveau énergétique supérieur. Cette énergie alimente une chaîne de réactions.

Deux complexes photosynthétiques jouent un rôle essentiel : le photosystème II (PSII) et le photosystème I (PSI). Dans le trajet habituel des électrons, le photosystème II intervient avant le photosystème I, malgré leur numérotation.

Étape 2 : photolyse de l'eau

La photolyse signifie décomposition sous l'action de la lumière. Au niveau du photosystème II, l'eau est oxydée : elle fournit des électrons et des protons et libère du dioxygène.



Deux molécules d'eau fournissent quatre protons, quatre électrons et une molécule de dioxygène. Les électrons remplacent ceux perdus par le photosystème II. Les protons contribuent à établir un gradient de concentration dans les thylakoïdes.

Le dioxygène libéré pendant la photosynthèse provient de l'eau, et non directement du dioxyde de carbone.

Étape 3 : transport des électrons

Les électrons passent par une chaîne de transporteurs situés dans la membrane des thylakoïdes.

L'énergie libérée sert notamment à déplacer des protons vers l'intérieur des thylakoïdes. Une différence de concentration en protons se forme entre l'intérieur des thylakoïdes et le stroma.

Étape 4 : production de l'ATP

Les protons retournent vers le stroma en passant par une enzyme appelée ATP synthase. L'énergie de ce passage permet de former de l'ATP à partir d'ADP et de phosphate inorganique.



Ce mécanisme est appelé photophosphorylation. L'ATP fournit ensuite de l'énergie à plusieurs réactions du cycle de Calvin.

Étape 5 : formation du NADPH

Après le transport des électrons, le photosystème I absorbe à son tour la lumière et permet de transférer les électrons vers des molécules qui réduisent le NADP^+ en NADPH.



Le NADPH transporte des électrons et fournit le pouvoir réducteur nécessaire à la synthèse de molécules organiques.

Bilan de la phase claire

La phase claire convertit l'énergie lumineuse en énergie chimique. Elle produit l'ATP et le NADPH, utilisés par le cycle de Calvin, et libère du dioxygène à la suite de l'oxydation de l'eau.

Entrées principales	Produits principaux
Lumière, eau, ADP + phosphate, NADP^+	ATP, NADPH et O_2

6. La phase sombre : cycle de Calvin

Définition

La phase sombre, ou phase non photochimique, comprend des réactions qui utilisent le CO_2 , l'ATP et le NADPH pour former des molécules organiques. Elle se déroule dans le stroma du chloroplaste.

Elle ne nécessite pas directement de photons à chaque étape. Toutefois, elle dépend indirectement de la lumière, car l'ATP et le NADPH sont fournis par la phase claire et plusieurs enzymes sont régulées par l'éclairement.

Étape 1 : fixation du CO_2

Le CO_2 entre dans la feuille par les stomates et atteint les cellules photosynthétiques. Dans le stroma, il se combine avec une molécule à cinq carbones appelée ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP). La réaction est catalysée par l'enzyme Rubisco.

Le composé à six carbones formé est instable et se divise rapidement en deux molécules de 3-phosphoglycérate (3-PGA), chacune à trois carbones.



Pour trois molécules de CO_2 fixées, six molécules de 3-PGA sont produites.

Étape 2 : réduction des molécules de 3-PGA

Les molécules de 3-PGA sont transformées grâce à l'ATP et au NADPH de la phase claire. L'ATP fournit l'énergie, tandis que le NADPH fournit les électrons nécessaires à la réduction. Les réactions conduisent à la formation du glycéraldéhyde-3-phosphate (G3P), une molécule organique à trois carbones.

Pour trois CO₂ fixés, six molécules de G3P sont formées au cours de la réduction. Une seule molécule nette quitte le cycle ; les cinq autres servent à régénérer l'accepteur du CO₂.

Étape 3 : régénération du RuBP

Le cycle doit reconstituer le RuBP afin de pouvoir fixer d'autres molécules de CO₂. Cinq molécules de G3P sont réorganisées pour régénérer trois molécules de RuBP. Cette étape consomme également de l'ATP.

- Une molécule de G3P représente le gain net du cycle pour trois CO₂ fixés.
- Cinq molécules de G3P servent à régénérer trois molécules de RuBP.
- Une fois le RuBP régénéré, le cycle peut recommencer si les conditions nécessaires sont réunies.

Bilan simplifié du cycle de Calvin

Pour fixer trois molécules de CO₂ et obtenir une molécule nette de G3P, le cycle consomme environ 9 ATP et 6 NADPH. Deux molécules nettes de G3P peuvent fournir les six atomes de carbone nécessaires à la synthèse d'un hexose, comme le glucose, après les transformations appropriées.

Pour deux G3P nets : 6 CO₂ + 18 ATP + 12 NADPH (consommés)

Cette écriture indique les principales entrées du cycle pour obtenir deux G3P nets ; ce n'est pas l'équation chimique globale complète de la photosynthèse.

Pourquoi la phase sombre ne fabrique-t-elle pas directement tout le glucose ?

Le cycle de Calvin produit principalement du G3P, une molécule à trois carbones. À partir de cette molécule, la plante peut fabriquer :

- Du glucose et d'autres sucres.
- Du saccharose, utilisé pour transporter les sucres dans la plante.
- De l'amidon, une substance de réserve.
- De la cellulose, qui participe à la construction des parois cellulaires.
- D'autres molécules organiques, directement ou après d'autres transformations métaboliques.

Le glucose est donc un bon représentant du bilan global, mais il n'est pas le produit immédiat unique de toutes les réactions.

7. Comparaison entre phase claire et phase sombre

Critère	Phase claire	Phase sombre
Autre nom	Phase photochimique	Phase non photochimique
Lieu	Membranes des thylakoïdes	Stroma
Lumière directement nécessaire	Oui	Non pour chaque réaction
Rôle	Convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique	Fixer le CO ₂ et former des composés organiques
Entrées	Lumière, eau, ADP, phosphate, NADP ⁺	CO ₂ , ATP et NADPH
Produits principaux	ATP, NADPH, O ₂	G3P et RuBP régénéré ; ADP, phosphate et NADP ⁺ retournent aux réactions de la phase claire
Dioxygène libéré	Oui	Non comme produit du cycle de Calvin

Les deux phases sont complémentaires. La phase claire fournit l'ATP et le NADPH. La phase sombre les consomme pour fixer le CO₂ et former du G3P. Des formes réutilisables, comme l'ADP et le NADP⁺, retournent aux réactions de la phase claire.

8. Facteurs qui influencent la photosynthèse

A. Intensité lumineuse

La lumière fournit l'énergie de la phase claire. À faible intensité, la photosynthèse est limitée. Une augmentation de la lumière augmente généralement la vitesse de photosynthèse jusqu'à un plateau, lorsqu'un autre facteur devient limitant. Une lumière excessivement intense peut aussi endommager les systèmes photosynthétiques.

B. Concentration en CO₂

Le CO₂ fournit le carbone incorporé dans la matière organique. Une faible concentration limite la fixation du carbone. Une augmentation peut accroître la photosynthèse jusqu'à ce qu'un autre facteur devienne limitant.

C. Disponibilité en eau

L'eau intervient directement dans la phase claire. En cas de manque d'eau, les stomates tendent à se fermer pour réduire les pertes d'eau. L'entrée du CO₂ diminue alors, ce qui peut ralentir la photosynthèse.

D. Température

Les réactions du cycle de Calvin dépendent d'enzymes. Une température adaptée favorise leur fonctionnement. Le froid ralentit généralement les réactions, tandis qu'une température excessive peut perturber les enzymes et favoriser la fermeture des stomates.

E. Quantité de chlorophylle et état de la feuille

Une feuille saine, bien alimentée en éléments minéraux et possédant des chloroplastes fonctionnels peut généralement assurer une photosynthèse plus efficace qu'une feuille endommagée ou fortement carencée.

F. Sels minéraux

L'azote, le magnésium et le fer jouent des rôles importants dans le fonctionnement de la plante et des systèmes photosynthétiques. Une carence importante peut limiter la photosynthèse.

Principe du facteur limitant : la photosynthèse dépend de plusieurs facteurs à la fois. Une lumière abondante ne garantit pas une vitesse maximale si l'eau, le CO₂, la température ou les éléments minéraux sont limitants.

9. Expériences qui mettent en évidence la photosynthèse

Expérience 1 : mise en évidence de l'amidon

On expose une feuille à la lumière, puis on la décolore selon un protocole de laboratoire et on ajoute une solution iodée. Les zones contenant de l'amidon prennent une coloration bleu-noir. Cette expérience montre que des réserves glucidiques ont été produites et accumulées dans les zones photosynthétiques éclairées.

Expérience 2 : mise en évidence du dioxygène

Une plante aquatique éclairée peut dégager des bulles de gaz. Avec un dispositif approprié, le gaz recueilli peut être identifié comme du dioxygène. Cela met en évidence la production de dioxygène lors de la photosynthèse.

Expérience 3 : rôle de la lumière

On cache une partie d'une feuille avec un matériau opaque et on laisse le reste exposé à la lumière. Après un test à l'iode, les zones éclairées peuvent révéler la présence d'amidon, contrairement aux zones privées de lumière dans les mêmes conditions.

Précautions d'interprétation

Pour obtenir des résultats fiables, il faut contrôler les conditions expérimentales, notamment l'état initial de la feuille, la disponibilité du CO₂ et la durée d'exposition à la lumière. Le test à l'iode met en évidence l'amidon, et non directement le glucose. Des bulles de gaz ne suffisent pas, à elles seules, à identifier chimiquement le gaz : un test adapté est nécessaire.

10. Schéma-bilan et notions à mémoriser

Ensemble	Résumé
Énergie lumineuse	Captée par les pigments photosynthétiques.
Phase claire — thylakoïdes	L'eau est oxydée ; du O ₂ est libéré ; l'ATP et le NADPH sont produits.
Phase sombre — stroma	Le cycle de Calvin fixe le CO ₂ et utilise l'ATP et le NADPH pour former du G3P.
Matière organique	Le G3P sert à fabriquer des sucres, de l'amidon, de la cellulose et d'autres molécules.

Les dix notions les plus importantes

1. Définition : la photosynthèse utilise l'énergie lumineuse pour fabriquer de la matière organique à partir de CO₂ et d'autres matières premières.
2. Lieu : chez les végétaux chlorophylliens, elle se déroule principalement dans les chloroplastes.

3. Phase claire : membranes des thylakoïdes ; utilise directement la lumière, oxyde l'eau, libère O_2 et produit ATP et NADPH.
4. Phase sombre : stroma ; le cycle de Calvin fixe le CO_2 et produit des composés organiques, notamment le G3P.
5. Chlorophylle : absorbe l'énergie lumineuse.
6. Eau : fournit les électrons des réactions photochimiques et contribue à la formation du dioxygène libéré.
7. CO_2 : fournit le carbone des molécules organiques.
8. ATP : fournit de l'énergie chimique.
9. NADPH : fournit des électrons et un pouvoir réducteur.
10. Lien entre les phases : la phase claire fournit l'ATP et le NADPH utilisés par le cycle de Calvin.

Moyen mnémotechnique : Claire = lumière, eau, O_2 , ATP et NADPH. Sombre = CO_2 , cycle de Calvin et fabrication de matière organique.

11. Quiz de révision

1. Où se déroule la phase claire ?

- A. Dans le stroma
- B. Dans les membranes des thylakoïdes
- C. Dans le noyau

Réponse : B. Dans les membranes des thylakoïdes. Les photosystèmes et la chaîne de transport des électrons se trouvent dans les membranes des thylakoïdes.

2. D'où provient le dioxygène libéré pendant la photosynthèse ?

- A. Du CO_2
- B. Du glucose
- C. De l'eau

Réponse : C. De l'eau. La photolyse de l'eau fournit les électrons et libère le dioxygène.

3. Quel est le rôle principal du cycle de Calvin ?

- A. Fixer le CO_2 pour former des composés organiques
- B. Absorber directement les photons
- C. Libérer le dioxygène par photolyse

Réponse : A. Fixer le CO_2 pour former des composés organiques. Le cycle de Calvin incorpore le carbone du CO_2 dans des molécules organiques.

4. Quelles molécules la phase claire fournit-elle au cycle de Calvin ?

- A. Glucose et oxygène
- B. ATP et NADPH
- C. CO_2 et eau

Réponse : B. ATP et NADPH. L'ATP fournit l'énergie et le NADPH fournit le pouvoir réducteur.

5. Pourquoi parle-t-on de phase sombre ?

- A. Elle se déroule uniquement la nuit
- B. Elle ne nécessite pas directement de photons pour chaque réaction
- C. Elle se déroule sans enzymes

Réponse : B. Elle ne nécessite pas directement de photons pour chaque réaction. Le cycle de Calvin n'utilise pas directement les photons, mais dépend indirectement des produits de la phase claire.

Conclusion générale

La photosynthèse permet de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique et d'incorporer le carbone du CO_2 dans la matière organique. La phase claire fournit l'énergie et le pouvoir réducteur ; la phase sombre, grâce au cycle de Calvin, utilise ces ressources pour former les premières molécules organiques. Les deux phases fonctionnent ensemble pour assurer la croissance et le développement des plantes.