

# M2 – LES FONDEMENTS

## MÉTABOLIQUES DE L'AUTOTROPHIE

L'autotrophie correspond à la capacité d'un organisme à synthétiser sa propre matière organique à partir de matière minérale. Chez les végétaux chlorophylliens, ce processus repose principalement sur la photosynthèse, qui permet la réduction du dioxyde de carbone en composés organiques grâce à l'énergie lumineuse. Cette réaction globale se déroule dans les chloroplastes et peut être décomposée en **deux phases complémentaires**.

La **phase photochimique** se déroule au niveau de la membrane des thylakoïdes. Les pigments photosynthétiques regroupés en photosystèmes captent l'énergie lumineuse et participent à la libération d'électrons. Ceux-ci circulent dans une chaîne de transport d'électrons reliant les deux photosystèmes (PSII puis PSI). L'eau constitue le donneur initial d'électrons et est oxydée en dioxygène. Les transferts d'électrons permettent la réduction du NADP<sup>+</sup> en NADPH, H<sup>+</sup> et s'accompagnent d'une translocation de protons dans la lumière des thylakoïdes, générant une force proton-motrice. Cette dernière alimente l'ATP-synthase et permet la synthèse d'ATP selon la théorie chimio-osmotique.

La **phase chimique**, ou cycle de Calvin, se déroule dans le stroma du chloroplaste. Le dioxyde de carbone est fixé sur le ribulose-1,5-bisphosphate (RuBP) par l'enzyme Rubisco, formant deux molécules de 3-phosphoglycérate. Ces composés sont ensuite réduits en trioses-phosphate grâce à l'ATP et au NADPH, H<sup>+</sup> issus de la phase photochimique. Une partie des trioses permet la synthèse de glucides (*amidon ou saccharose*), tandis que le reste sert à régénérer le RuBP afin de maintenir le cycle.

La Rubisco possède toutefois une double activité carboxylase et oxygénase, pouvant conduire à la photorespiration, processus consommateur d'oxygène et diminuant l'efficacité photosynthétique. Certaines plantes ont développé des mécanismes d'adaptation, comme le métabolisme en C<sub>4</sub>, permettant de concentrer le CO<sub>2</sub> autour de l'enzyme et de limiter cette réaction annexe.

Ainsi, la photosynthèse assure **l'autotrophie au carbone** des végétaux en convertissant l'énergie lumineuse en énergie chimique et en biomasse organique, constituant la base énergétique et matérielle des écosystèmes.

### PLAN

#### Introduction

- A. Rappels sur les principes de l'autotrophie
- B. Les chloroplastes, sièges de la photosynthèse
- C. Mise en évidence d'une séparation temporelle entre oxydation de l'eau et réduction du carbone lors de la photosynthèse

#### I. L'autotrophie au carbone : exemple de la photosynthèse des végétaux Chlorophylliens

##### A. La phase photochimique de la photosynthèse permet la production de potentiel réducteur et d'ATP

1. La membrane du thylakoïde contient 2 types de photosystèmes captant l'énergie lumineuse
2. Les photosystèmes appartiennent à une chaîne de transferts d'électrons membranaires : la chaîne photosynthétique, permettant un couplage chimio-osmotique
3. La force proton-motrice permet un couplage osmo-chimique à l'origine de la production d'ATP par l'ATP synthase de la membrane du thylakoïde

##### B. Le carbone minéral est réduit au cours de la phase chimique de la photosynthèse : le cycle de Calvin

1. MEE d'une réduction du carbone minéral : expériences de Calvin-Benson
2. Déroulement du cycle de Calvin
3. Bilan sur le cycle de Calvin
4. Devenir des trioses phosphate formés

##### C. Bilan de la photosynthèse

##### D. La RubisCO possède une activité carboxylase et une activité oxygénase à l'origine de la photorespiration

1. Mise en évidence de la photorespiration
2. La dualité de la Rubisco : carboxylase et oxygénase
3. Une stratégie assurant l'activité carboxylasique de la Rubisco : les cycles de carboxylation C<sub>3</sub>-C<sub>4</sub> des plantes en C<sub>4</sub>

#### II. L'autotrophie à l'azote des végétaux : exemple de la conversion de la matière minérale azotée en matière organique : voie GS-GOGAT

## ILLUSTRATIONS

Fig. 1 : Mise en évidence de la nécessité des pigments et des chloroplastes dans la réalisation de la photosynthèse ©Planet-vie, Prat .....	3
Fig. 3 : Mise en évidence de l'amidon dans une cellule végétale grâce au lugol ©Belin, 2020 .....	3
Fig. 2 : Structure des chloroplastes © Campbell .....	3
Fig. 4 : Résultat de l'expérience de Hill .....	3
Fig. 5 : Spectre d'absorbance relative de différents pigments photosynthétiques et spectre d'action de la photosynthèse ©Lodish .....	3
Fig. 6 : Protocole de la chromatographie et résultats ©Académie de Normandie .....	3
Fig. 7 : Structure de la bêta-carotène et d'un xanthophylle ©Planet-vie.....	4
Fig. 8 : Structure de la chlorophylle a ©Lodish.....	4
Fig. 9 : Schéma d'un photosystème ©Lodish .....	4
Fig. 10 : Transfert d'électrons dans un photosystème ©Dunod .....	4
Fig. 11 : Schéma de la chaîne photosynthétique ©Lodish .....	4
Fig. 23 : Modèle de l'ATP-synthase ©Lodish.....	4
Fig. 12 : Expérience démontrant la théorie chimio-osmotique ©Lodish et Garrett .....	5
Fig. 13 : Modèle de fonctionnement de l'ATP-synthase ©Nelson .....	5
Fig. 24 : Dispositif expérimental utilisé dans l'expérience de Calvin-Benson ©encyclopedie-environnement.org .....	5
Fig. 25 : Auto-radiogrammes des composés photosynthétiques marqués par le <sup>14</sup> C après séparation par chromatographie bidimensionnelle ©encyclopedie-environnement.org [Source : Schéma R Prat, in Morot-Gaudry, Dunod, 2009] .....	5
Fig. 26 : Evolution des teneurs en PGA et RuBP au cours des expériences de Calvin ©Dunod .....	5
Fig. 28 : Structure de la RubisCO ©encyclopedie-environnement.org .....	6
Fig. 32 : Composition du saccharose.....	6
Fig. 33 : Composition de l'amidon .....	6
Fig. 35 : % ouverture stomates au cours de la journée .....	6
Fig. 38 : Mise en évidence de la photorespiration chez les plantes en C3 et C4 ©Dunod.....	6
Fig. 36 : Devenir des trioses phosphate produit au cours de la photosynthèse ©Dunod.....	6
Fig. 39 : Réactions se produisant au cours de la respiration ©Wikimedia.....	7
Fig. 43 : Mécanisme d'assimilation du CO <sub>2</sub> par les plantes en C4 ©Lodish et Dunod.....	7
Fig. 41 : Comparaison anatomie plante C3 et C4 ©planet-terre.ens-lyon.fr.....	7
Fig. 44 : Assimilation de l'azote dans une cellule foliaire .....	7

## LEXIQUE

Accepteur final d'électrons	Phase photochimique de la	Photosystème
Autotrophie	photosynthèse	Phototrophie
Bactérie nitratante	Phosphoglycérate	Pigment
Chimolithotrophie	Photolithotrophie	Pouvoir réducteur
Chimiotrophie	Photophosphorylation	Réduction
Chlorophytes	Photophosphorylation acyclique = en	Ribulose-1,5-biphosphate
Couplage photochimique	Z	RubisCO
Cycle de Calvin	Photorespiration	Stroma
Glycéraldéhyde-3-phosphate	Photosynthèse	Thylakoïde
Phase chimique de la photosynthèse		



Fig. 1 : Mise en évidence de la nécessité des pigments et des chloroplastes dans la réalisation de la photosynthèse ©Planet-vie, Prat

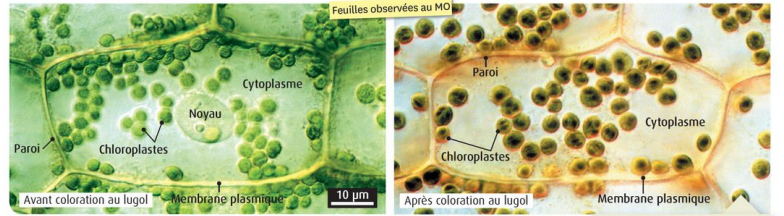
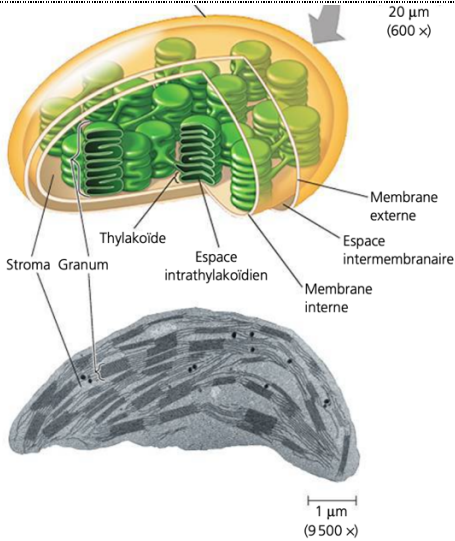


Fig. 2 : Mise en évidence de l'amidon dans une cellule végétale grâce au lugol ©Belin, 2020

© Belin Education/Humensis, 2020 Manuel SVT Terminale spécialité © ISM / Jean-Claude Révy



▲ Figure 10.4 Le site de la photosynthèse dans une plante.

Fig. 3 : Structure des chloroplastes © Campbell

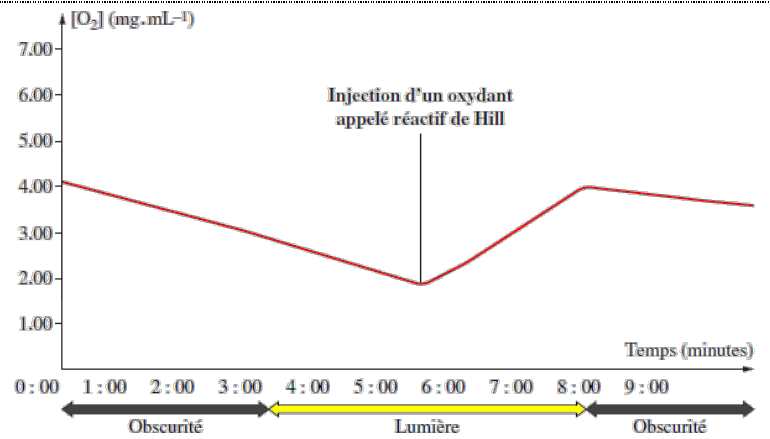


Fig. 4 : Résultat de l'expérience de Hill

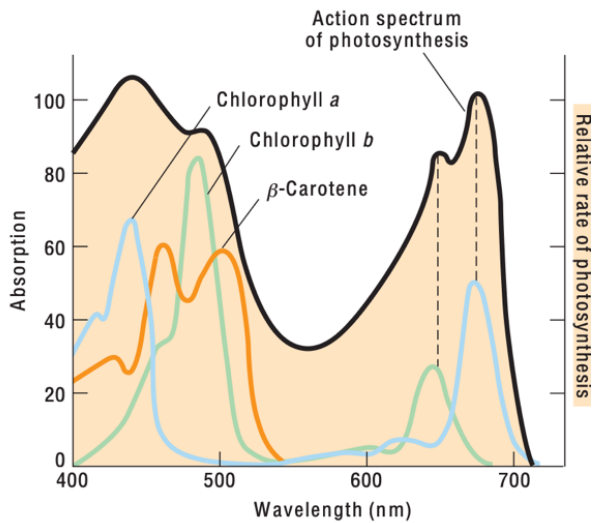


Fig. 5 : Spectre d'absorbance relative de différents pigments photosynthétiques et spectre d'action de la photosynthèse ©Lodish

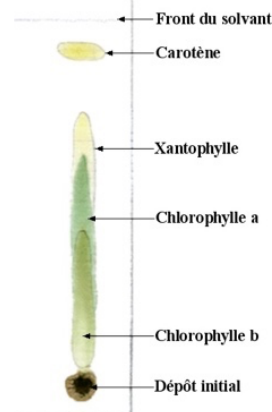
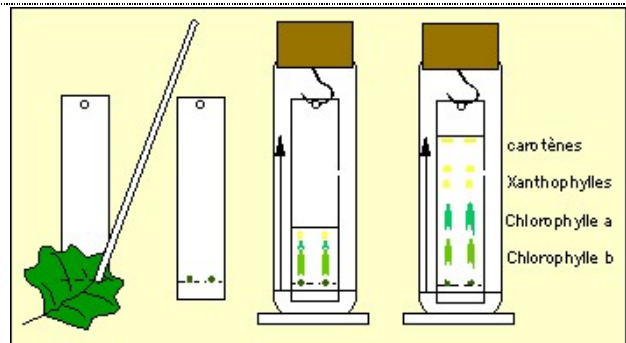


Fig. 6 : Protocole de la chromatographie et résultats ©Académie de Normandie

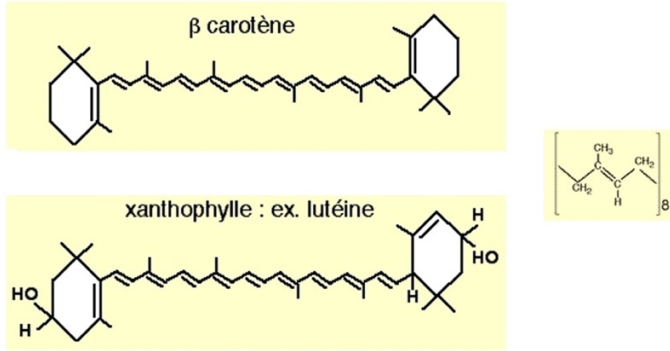


Fig. 7 : Structure de la bêta-carotène et d'un xanthophylle ©Planet-vie

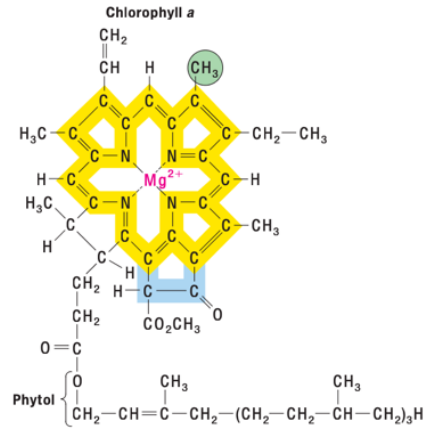


Fig. 8 : Structure de la chlorophylle a ©Lodish

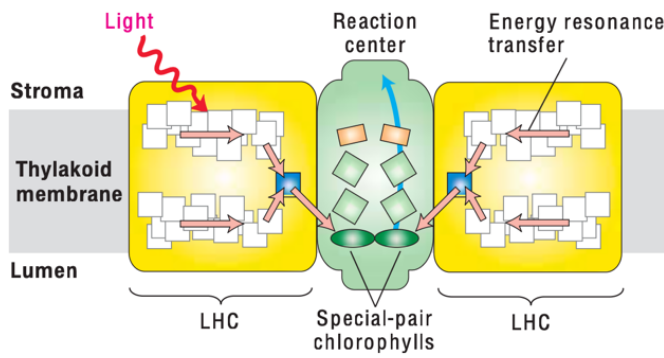


Fig. 9 : Schéma d'un photosystème ©Lodish

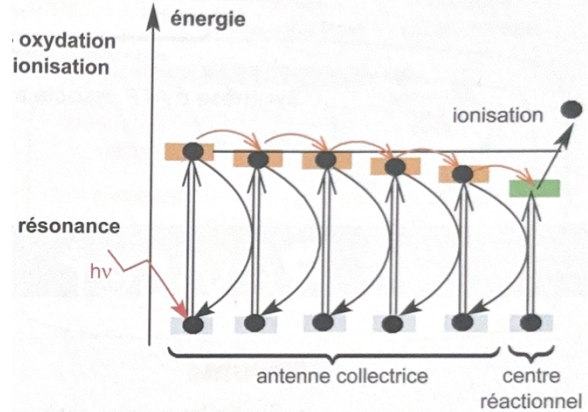


Fig. 10 : Transfert d'électrons dans un photosystème ©Dunod

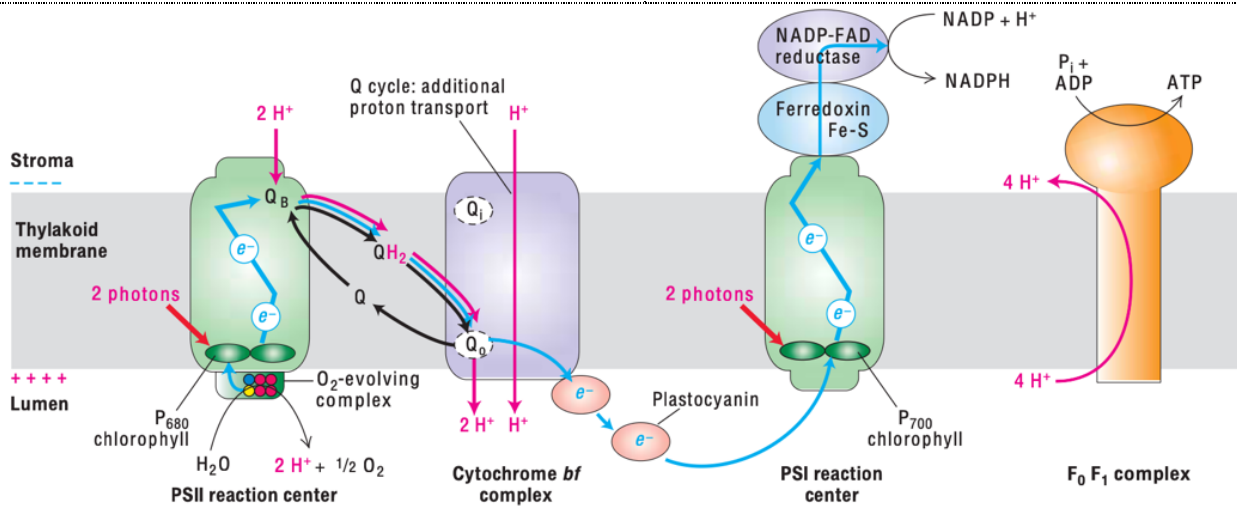


Fig. 11 : Schéma de la chaîne photosynthétique ©Lodish

► **FIGURE 8-24 Model of the structure and function of ATP synthase (the F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> complex) in the bacterial plasma membrane.** The F<sub>0</sub> portion is built of three integral membrane proteins: one copy of a, two copies of b, and on average 10 copies of c arranged in a ring in the plane of the membrane. Two proton half-channels lie at the interface between the a subunit and the c ring. Half-channel I allows protons to move one at a time from the exoplasmic medium and bind to aspartate-61 in the center of a c subunit near the middle of the membrane. Half-channel II (after rotation of the c ring) permits protons to dissociate from the aspartate and move into the cytosolic medium. The F<sub>1</sub> portion contains three copies each of subunits α and β that form a hexamer resting atop the single rod-shaped γ subunit, which is inserted into the c ring of F<sub>0</sub>. The ε subunit is rigidly attached to the γ subunit and also to several of the c subunits. The δ subunit permanently links one of the α subunits in the F<sub>1</sub> complex to the b subunit of F<sub>0</sub>. Thus the F<sub>0</sub> a and b subunits and the F<sub>1</sub> δ subunit and (αβ)<sub>3</sub> hexamer form a rigid structure anchored in the membrane (orange). During proton flow, the c ring and the attached F<sub>1</sub> ε and γ subunits rotate as a unit (green), causing conformational changes in the F<sub>1</sub> β subunits leading to ATP synthesis. [Adapted from M. J. Schlichter, 2001, *Nature* 410:878, and P. D. Boyer, 1999, *Nature* 402:247.]

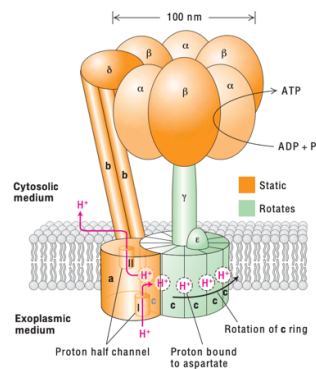
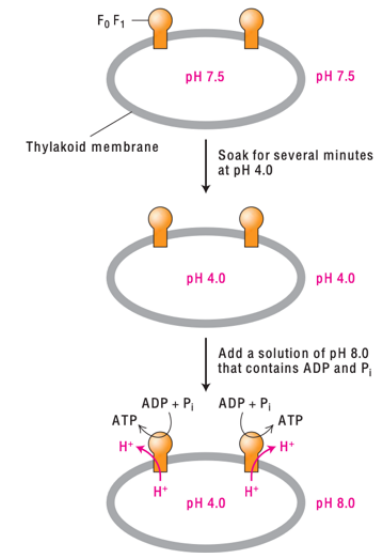
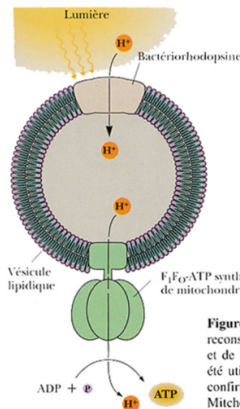


Fig. 12 : Modèle de l'ATP-synthase ©Lodish



**▲ EXPERIMENTAL FIGURE 8-23** Synthesis of ATP by  $F_0F_1$  depends on a pH gradient across the membrane. Isolated

Fig. 13 : Expérience démontrant la théorie chimio-osmotique ©Lodish et Garrett



Garrett, p697

**Figure 45bis** Vésicule hybride reconstituée, contenant de l'ATP synthase et de la bactériorhodopsine. Ce système a été utilisé par Stoecknius et Racker pour confirmer la théorie chimiosmotique de Mitchell.

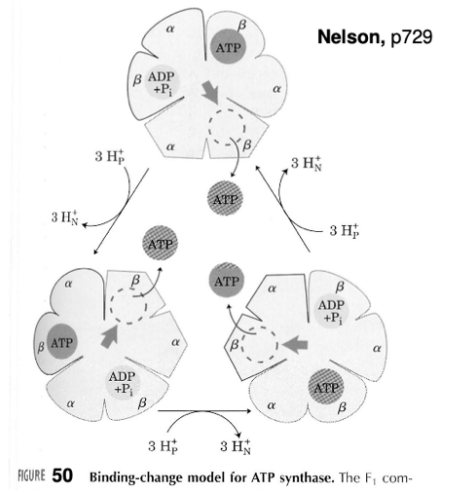


FIGURE 50 Binding-change model for ATP synthase. The  $F_1$  com-

Fig. 14 : Modèle de fonctionnement de l'ATP-synthase ©Nelson

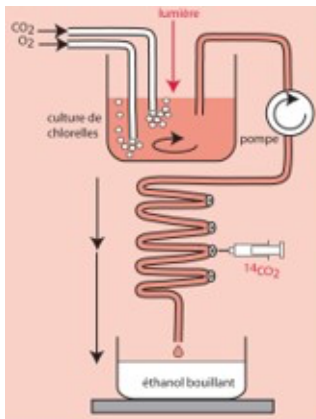


Fig. 15 : Dispositif expérimental utilisé dans l'expérience de Calvin-Benson ©encyclopedie-environnement.org

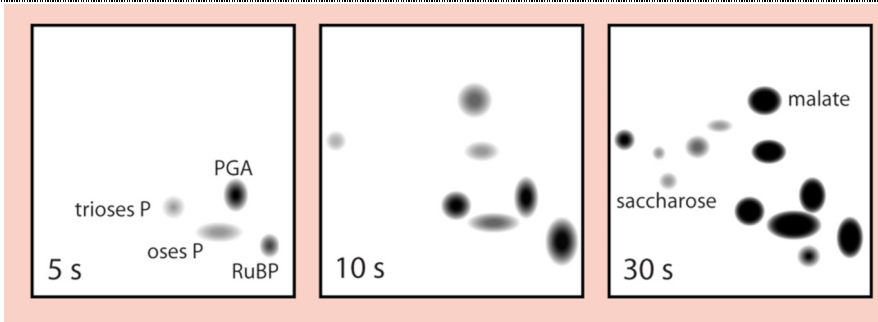


Fig. 16 : Auto-radiogrammes des composés photosynthétiques marqués par le  $^{14}C$  après séparation par chromatographie bidimensionnelle ©encyclopedie-environnement.org [Source : Schéma R Prat, in Morot-Gaudry, Dunod, 2009]

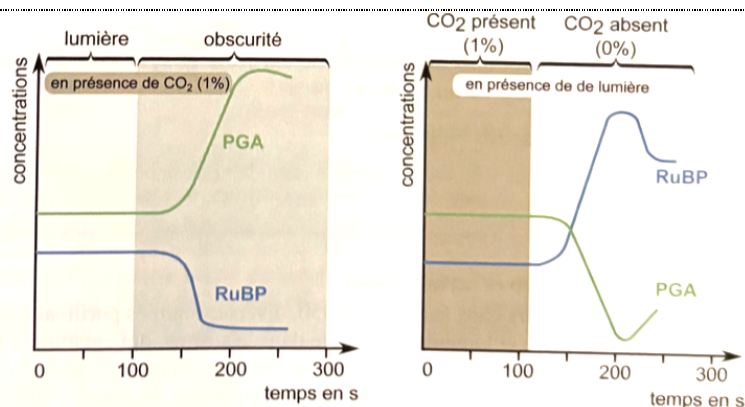


Fig. 17 : Evolution des teneurs en PGA et RuBP au cours des expériences de Calvin ©Dunod

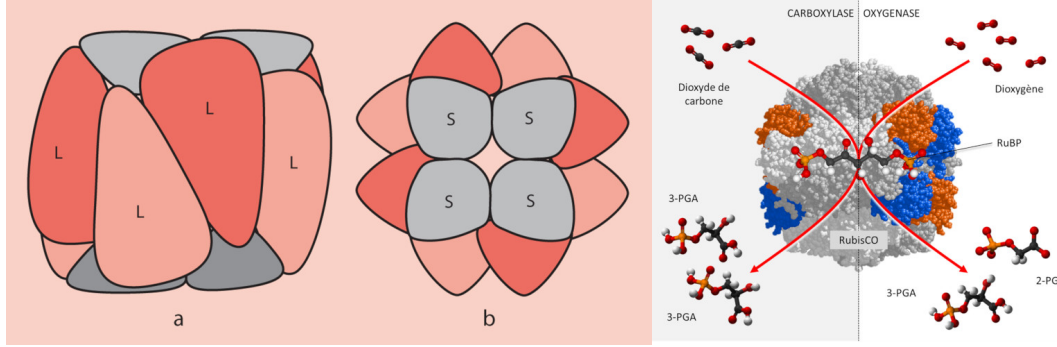


Fig. 18 : Structure de la RubisCO @encyclopedie-environnement.org

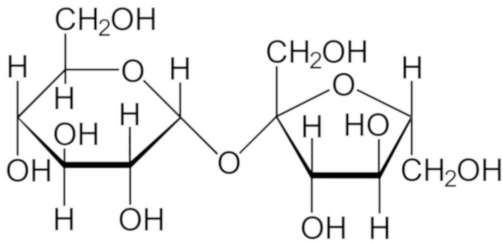


Fig. 19 : Composition du saccharose

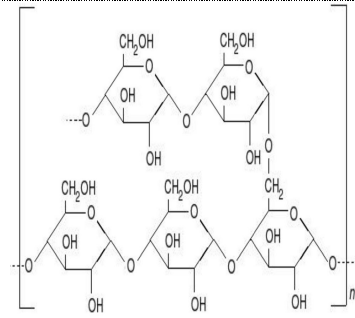


Fig. 20 : Composition de l'amidon

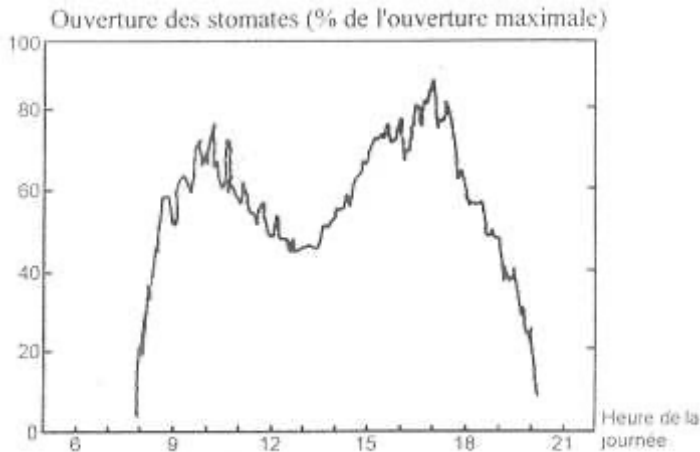


Fig. 21 : % ouverture stomates au cours de la journée

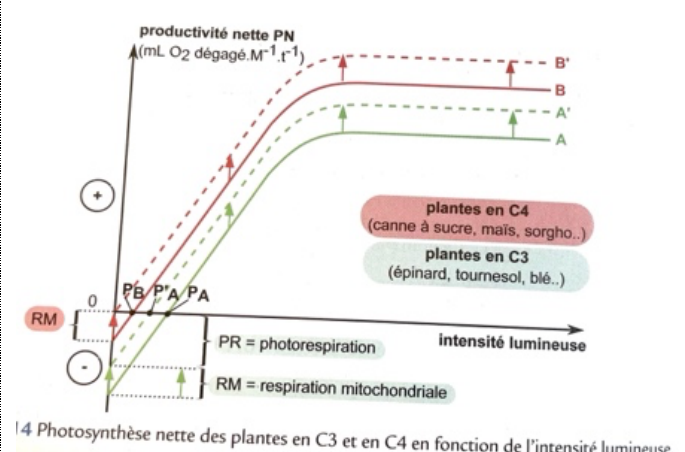


Fig. 22 : Mise en évidence de la photorespiration chez les plantes en C3 et C4 ©Dunod

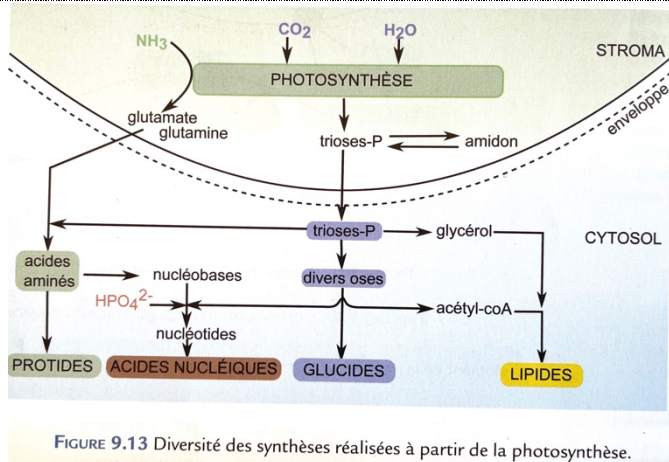


Fig. 23 : Devenir des trioses phosphate produit au cours de la photosynthèse ©Dunod

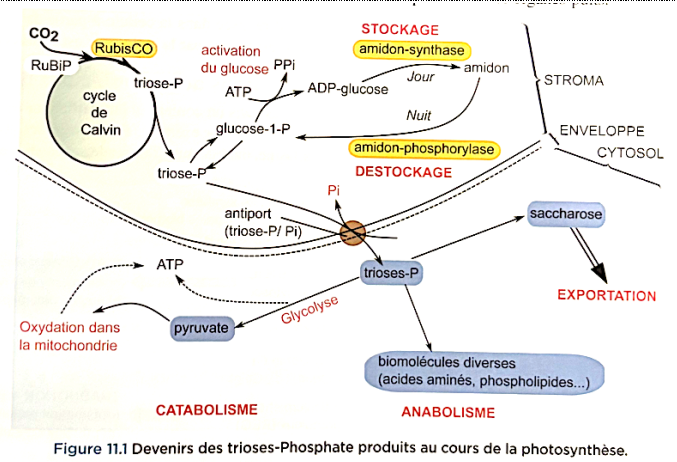


Figure 11.1 Devenir des trioses-Phosphate produits au cours de la photosynthèse.

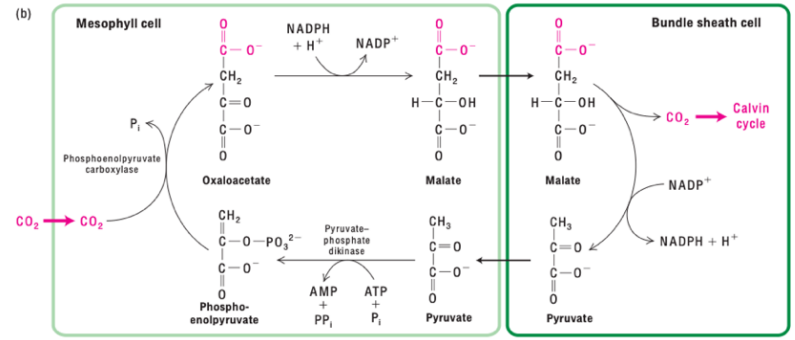
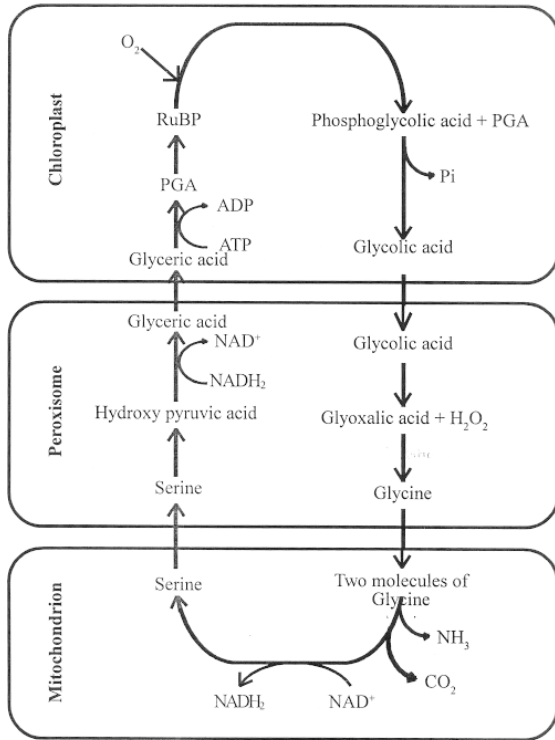


Fig. 25 : Mécanisme d'assimilation du CO<sub>2</sub> par les plantes en C4 ©Lodish et Dunod

Fig. 24 : Réactions se produisant au cours de la respiration ©Wikimedia

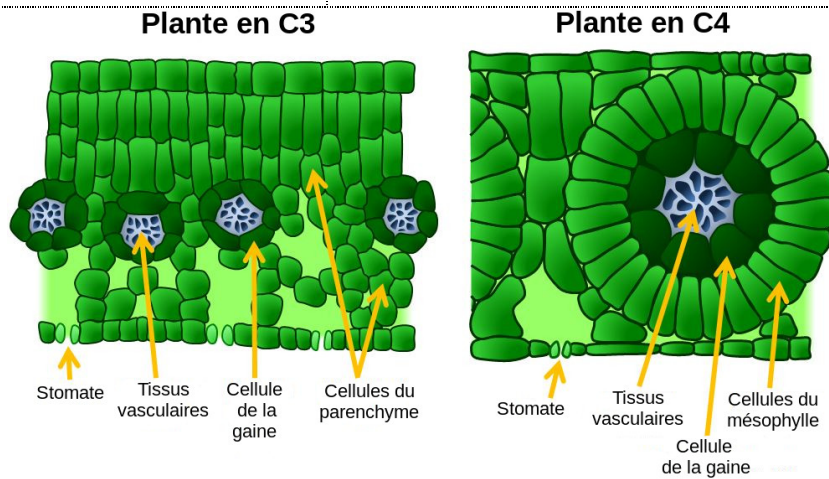


Fig. 26 : Comparaison anatomie plante C3 et C4 ©planet-terre.ens-lyon.fr

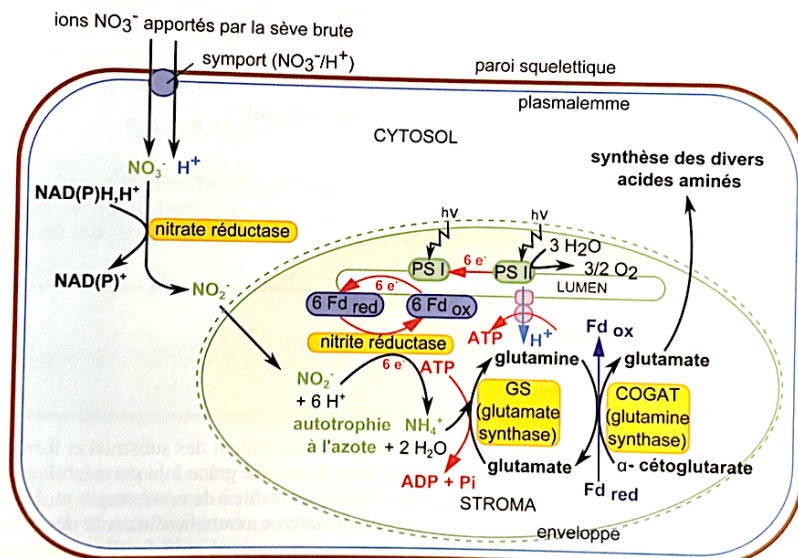


Fig. 27 : Assimilation de l'azote dans une cellule foliaire