

Fig. 2 : exemple : Voie de synthèse des métabolites primaires et secondaires :
Voie de synthèse des antibiotiques aromatiques (chez quelques microorganismes).

Chapitre II : Métabolisme énergétique des microorganismes :

1- Sources d'énergie et types trophiques.

L'énergie nécessaire aux micro-organismes est fournie par la lumière (organismes phototrophes) ou par l'oxydation de substances chimiques (organismes chimiotrophes). Dans les deux cas, l'énergie est stockée sous forme d'énergie de liaison chimique biologiquement utilisable (il s'agit de la liaison anhydride phosphorique de l'ATP). La formation d'ATP à partir de la source primaire d'énergie est plus ou moins complexe selon le type trophique ou métabolique. Les réactions de synthèse utilisent l'énergie libérée par la décomposition de l'ATP en ADP :



a/ Définition de types trophiques :

Le terme type trophique (du verbe grec *trophus*, « action de nourrir ») spécifie la manière dont un organisme vivant constitue sa propre matière organique.

Représentent les différentes modalités de prélèvement dans l'environnement du carbone, du pouvoir réducteur et de l'énergie. Cette variété de l'utilisation des ressources locales est en relation avec la possibilité de nombreuses espèces de se développer dans des conditions extrêmes de T, pH ou dans des milieux que les Eucaryotes ne peuvent pas exploiter (eaux interstitielles ou eaux sursalées...).

b/ Critères utilisés pour définir les types trophiques

La croissance (et donc l'anabolisme) d'une bactérie impose des besoins en sources de matière (nutriments) et d'énergie. Il existe à ces deux niveaux dans le monde bactérien une grande diversité que l'on gère habituellement, à l'aide de trois critères :

- 1. la source d'énergie utilisée et la nature du donneur d'électrons ;**
- 2. L'accepteur final d'électrons ;**
- 3. La source de carbone.**

Les deux premiers critères généralement utilisés pour déterminer le type nutritionnel d'une bactérie sont empruntés au métabolisme énergétique.

b.1. la source d'énergie utilisée et la nature du donneur d'électrons

1-b.1- Les microorganismes phototrophes

Les microorganismes phototrophes peuvent capter et utiliser l'énergie lumineuse au niveau de complexes multimoléculaires, appelés photosystèmes. Un photosystème est composé d'une "5", qui transmet l'énergie lumineuse à une bactériochlorophylle (capable d'expulser un électron après absorption d'un photon) et d'un "centre réactionnel" (ATP synthétase) permettant la formation d'ATP.

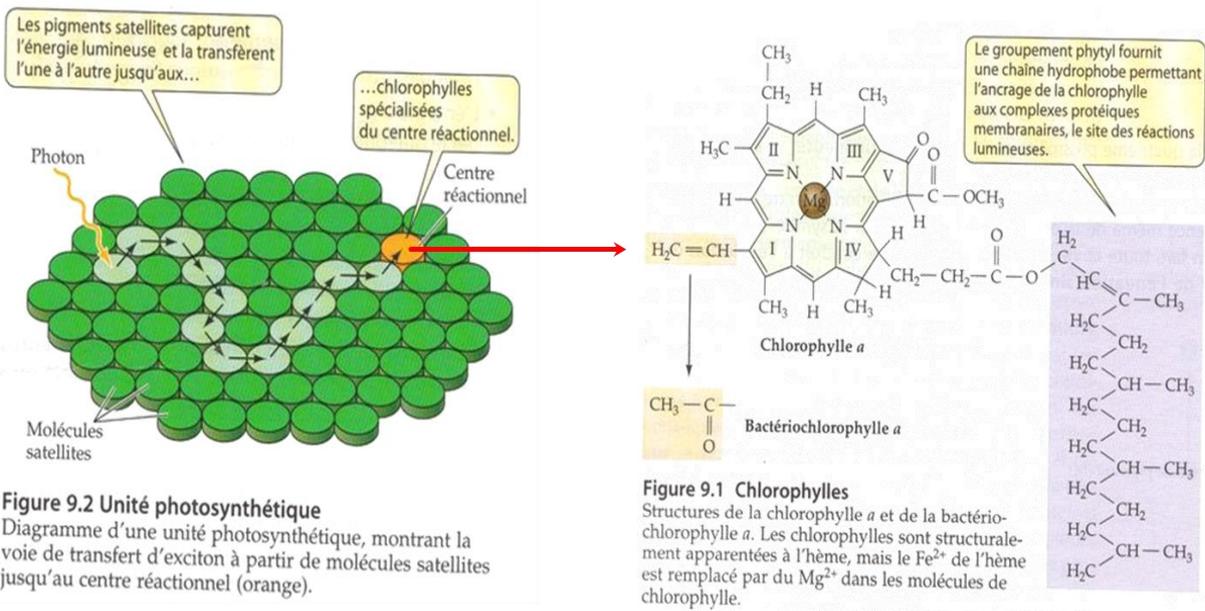


Figure 9.2 Unité photosynthétique
Diagramme d'une unité photosynthétique, montrant la voie de transfert d'exciton à partir de molécules satellites jusqu'au centre réactionnel (orange).

Figure 9.1 Chlorophylles
Structures de la chlorophylle a et de la bactériochlorophylle a. Les chlorophylles sont structurellement apparentées à l'hème, mais le Fe²⁺ de l'hème est remplacé par du Mg²⁺ dans les molécules de chlorophylle.

Fig 3. Exemple d'unité photosynthétique et la structure chimique de la chlorophylle et bactériochlorophylle

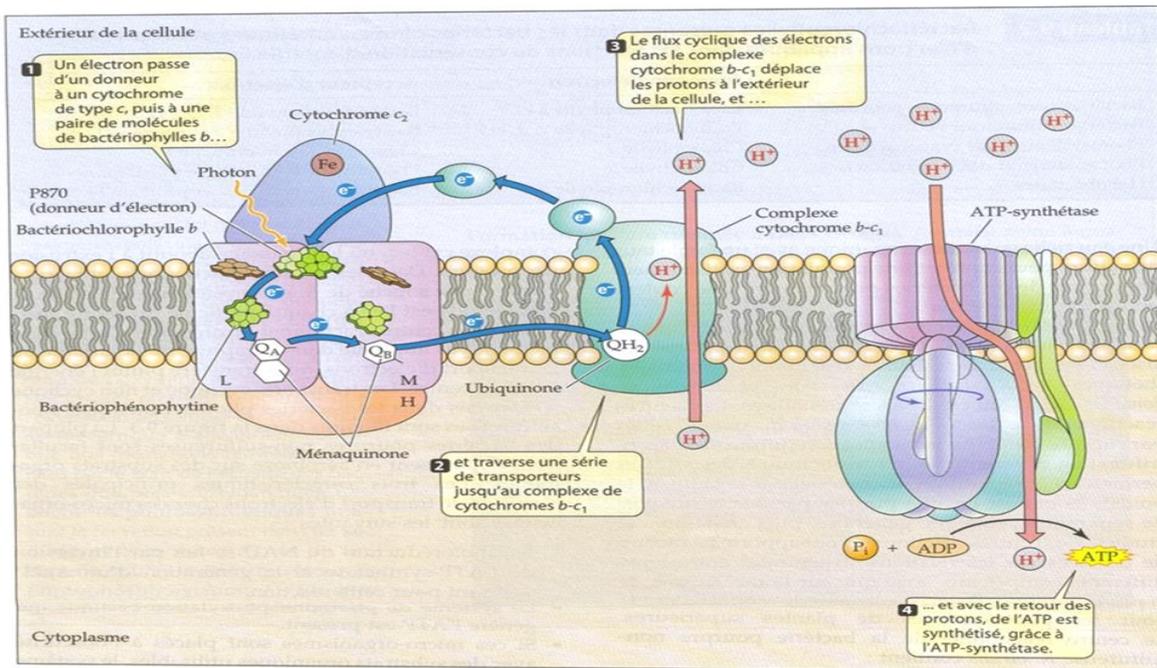


Figure 9.3 Centre réactionnel des bactéries pourpres non-sulfureuses
Arrangement des transporteurs d'électrons et flux d'électron dans le centre réactionnel de *Rhodospseudomonas viridis*. Les sous-unités (polypeptides) du centre réactionnel sont indiquées légères (L), moyennes (M), et lourdes (H), selon leurs tailles relatives.

Fig 4. Exemple. Centre réactionnel des bactéries pourpres non-sulfureuses

Le processus de photosynthèse comprend deux étapes : phase lumineuse et phase obscure.
* **La phase lumineuse** ou **photophosphorylation** aboutit à la formation d'ATP, c'est une réaction génératrice d'énergie utilisable par la cellule. Cette phase nécessite la présence de pigments de type chlorophylle, la nature des pigments varie selon la nature de l'organisme phototrophe.

Il existe deux types de photophosphorylation (figure) :

1. **photophosphorylation cyclique** ne produit que l'ATP.
2. **la photophosphorylation non cyclique** qui produit à la fois de l'ATP et du « pouvoir réducteur » et nécessite la présence d'un donneur d'électrons (et de protons).

Chez les plantes, algues et cyanophycées, la substance donatrice de protons (et d'électrons) intervenant dans la phase de synthèse est H_2O , il y a donc libération de O_2 .

Chez les **bactéries** il n'y a jamais libération d' O_2 (H_2O ne peut être donneur). Le donneur d'électrons et de protons peut être un composé minéral comme H_2S chez les *Thiorhodaceae* et les *Chlorobacteriaceae* (organismes photolithotrophes ou photoautotrophes), ou un composé organique comme l'acide succinique chez les *Athiorhodaceae* (photoorganotrophes ou photohétérotrophes).

La plupart des **bactéries photosynthétiques** peuvent aussi utiliser l'hydrogène moléculaire. L'accepteur d'électrons et de protons est le NADP^+ , qui après réduction donne la forme NADPH, H^+ .

Le Bilan de la phase lumineuse se résume par la formule suivante :

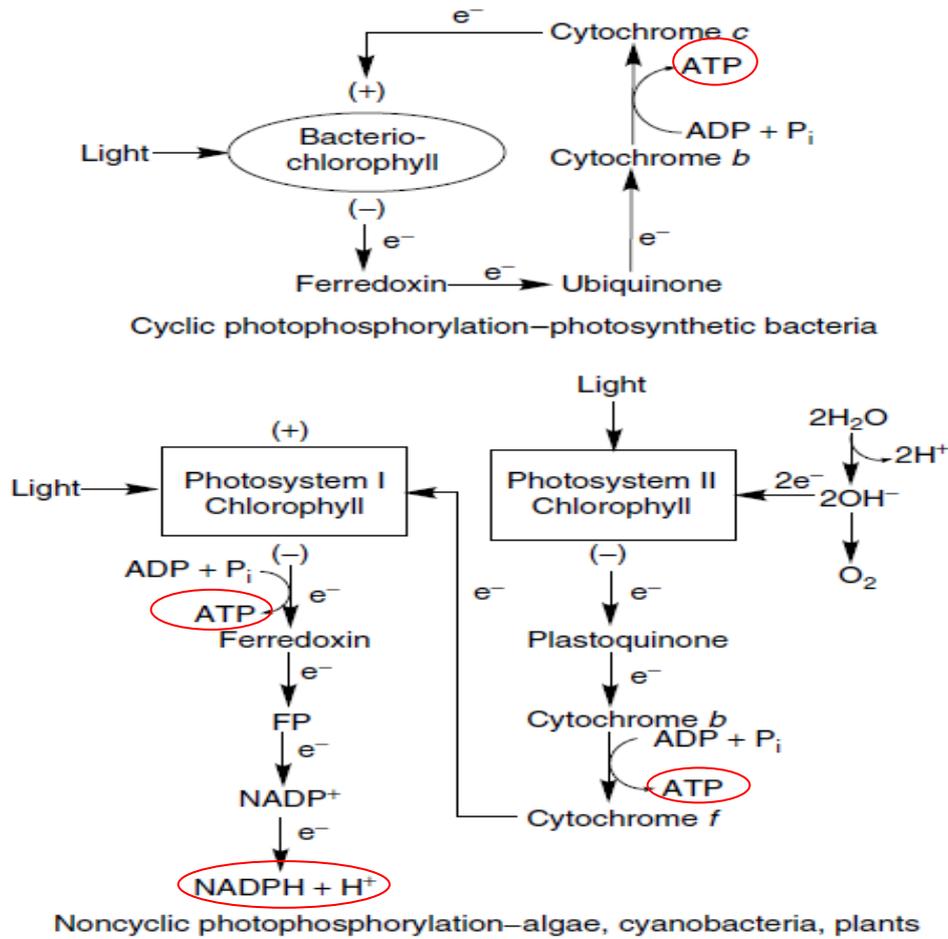
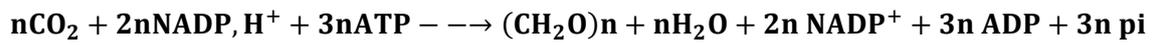


Fig 5. Comparaison entre la photosynthèse (photophosphorylation) et non-cyclique.

Dans la photophosphorylation cyclique, l'ATP est produit, mais aucun pouvoir réducteur n'est généré.

Dans la voie non cyclique, deux molécules d'ATP sont produites, une NADP réduite est générée et l'oxygène est produit par photolyse de l'eau.

* **La phase obscure** correspond à une phase de synthèse de composés organiques, elle aboutit à la formation de réserves de nature glucidique en utilisant du CO₂ ainsi que le pouvoir réducteur et l'ATP formés au cours de la phase lumineuse. Cette synthèse s'effectue par une suite de réactions ou cycle de **Calvin** dont le bilan se résume par la formule :



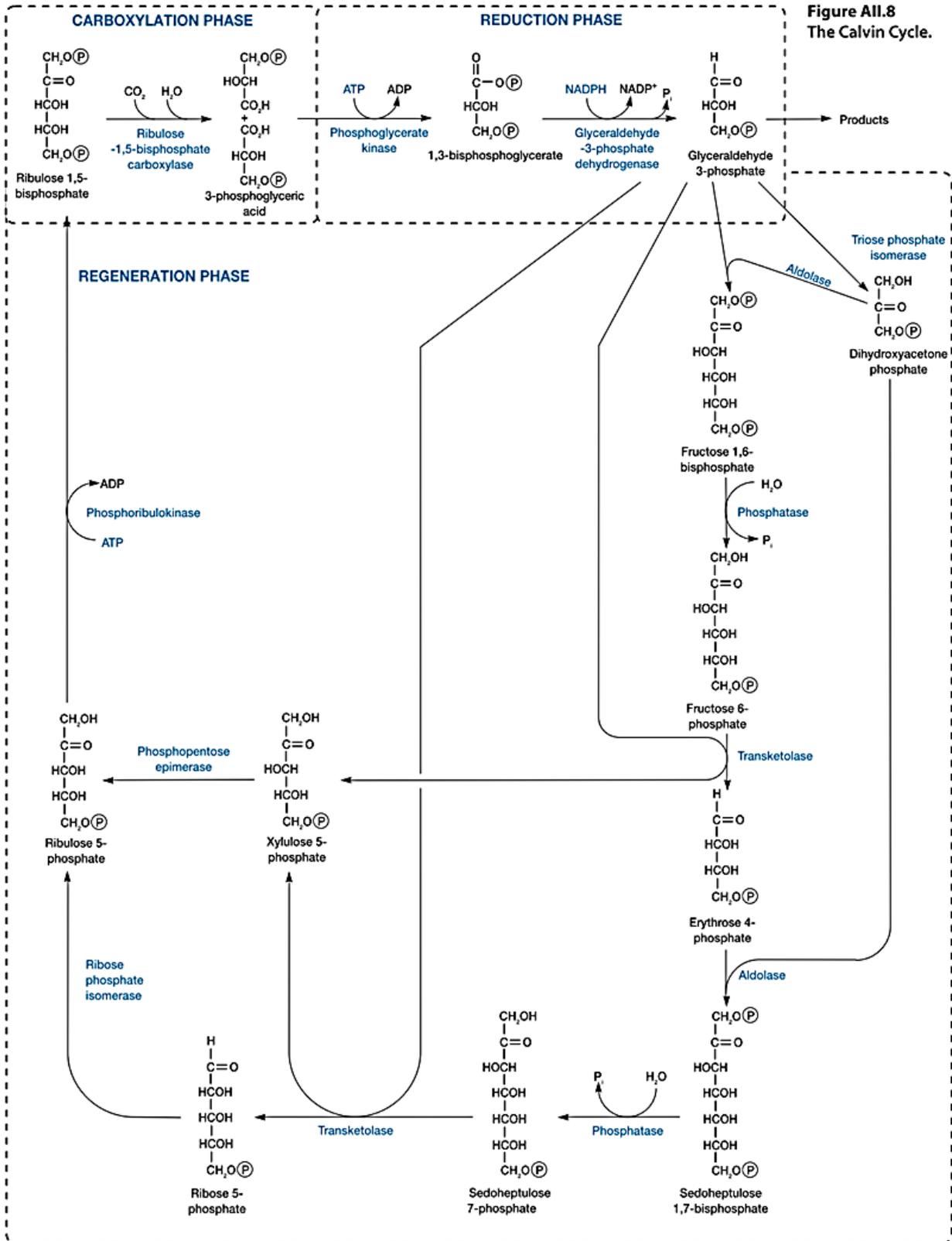


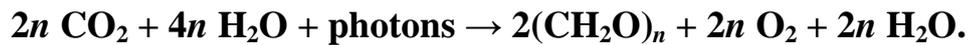
Fig 6 : cycle de Calvin

Encadré : Les types de photosynthèses chez les microorganismes.

Il y a deux principaux types de photosynthèse : **oxygénique** (*le genre qui génère O₂*) et (*le genre qui ne génère pas O₂*).

La photosynthèse **oxygénique** est utilisée par les **cyanobactéries**, les **algues** et les plantes.

Dans la **photosynthèse oxygénique**, l'eau est le donneur d'électrons, dont la dissociation libère de l'oxygène tandis que de l'eau est reformée à partir d'un atome d'oxygène du dioxyde de carbone :



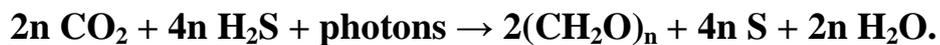
On simplifie généralement l'équation en éliminant $2n \text{ H}_2\text{O}$ dans les deux termes, ce qui donne :



La **photosynthèse anoxygénique** utilise d'autres composés que l'eau comme donneur d'électrons. **S'effectue sans production d'O₂ et est pratiquée en anaérobiose.**

est principalement utilisée par les bactéries pourpres sulfureuses, les bactéries vertes sulfureuses et non sulfureuses, les héliobactéries et les acidobactéries.

Ainsi, les bactéries pourpres sulfureuses utilisent le sulfure d'hydrogène H_2S :



Les bactéries sulfureuses vertes sont par exemple capables d'utiliser le sulfure d'hydrogène H_2S (*ex. **Chlorobium***), le thiosulfate $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ et le soufre élémentaire S^0 comme donneurs d'électrons, tandis que les bactéries vertes non sulfureuses peuvent utiliser l'hydrogène H_2 (*ex. **Chloronema***).

D'une manière générale, **chez les procaryotes**, le donneur d'électrons (RH_2) **n'est pas de l'eau**, comme c'est le cas chez les plantes.

Tableau 1. Exemples des microorganismes photosynthétiques.

		photosynthèse anoxygénique				photosynthèse oxygénique
Groupe	Bactéries Pourpres			Bactéries Vertes		cyanobactéries
Famille	Pourpres sulfureuses		Pourpres non sulfureuses	Bactéries vertes sulfureuses	Bactéries vertes filamenteuses multicellulaire (non sulfureuse)	
	Chromatiacae	Ectothiorhodospiracae				
Genre	Chromatium Thiocystis Thiospirillum Thiocaspa Lamprobacter Lamprocystis Thiodictyon Amocbobacter Thiopedia	Ectothiorhodospira	Rhodospirillum Rhodopil Rhodobacter Rhodopseudomonas Rhodomicrobium Rhodocyclus	Chlorobium Prosthecochloris Pelodictyon Ancalochloris Chloroherpeton	Chloroflexus Heliothrix Oscillochloris Chloronema	Anabaena Oscillatoria Microcystis

b.1. la source d'énergie utilisée et la nature du donneur d'électrons

1-b.1- Les microorganismes phototrophes

1.b.1.1 Microorganismes photolithotrophes

Les microorganismes **photolithotrophes** utilisent l'énergie rayonnante d'origine solaire comme source d'énergie, le CO₂ atmosphérique comme source de C et un composé minéral comme source de H⁺ et d'électrons (les sulfures, ou H₂).

Chez les Thiobactériales = **Bactéries vertes sulfureuses** : *Chlorobium*) ou **non sulfureuses** (*Chloronema*). Le donneur de H⁺ et d'électrons est le **sulfure d'hydrogène** (hydrogène sulfuré) **H₂S** dans le premier cas, le dihydrogène atmosphérique **H₂** dans le second cas. La photosynthèse s'effectue **sans production d'O₂** (photosynthèse anoxygénique).

Chez les **Bactéries photosynthétiques pourpres** vivent dans les eaux ou les boues sulfureuses (*Thiorhodobactériales* = **Bactéries pourpres sulfureuses** : *Thiospirillum*) ou **non sulfureuses** (*Rhodobacter*). Elles pratiquent une photosynthèse *anoxygénique* (ni oxydation de l'eau, ni production d'O₂). Ces cellules contiennent, en plus des **bactériochlorophylles**, des **caroténoïdes** qui masquent la couleur verte et confère une couleur pourpre aux cellules. Les pigments assimilateurs sont localisés dans un système membranaire dépendant de la membrane plasmique.

1. la source d'énergie utilisée et la nature du donneur d'électrons

1-b.1- Les microorganismes phototrophes

1.b.1.2 Microorganismes photoorganotrophie

Les microorganismes **photo-organotrophes** utilisent l'énergie rayonnante d'origine solaire comme source d'énergie, le CO₂ comme source de C et un composé organique (alcool, acide...) préexistant comme source de H⁺ et d'électrons.

Il n'y a pas d'organismes strictement photoorganotrophes ; ce métabolisme est toujours pratiqué de manière transitoire par des organismes d'un autre type trophique lors d'exigences fortes.

Ex. *Rhodospseudomonas viridis* Bactérie pourpre non sulfureuse, Rhodospirillaceae

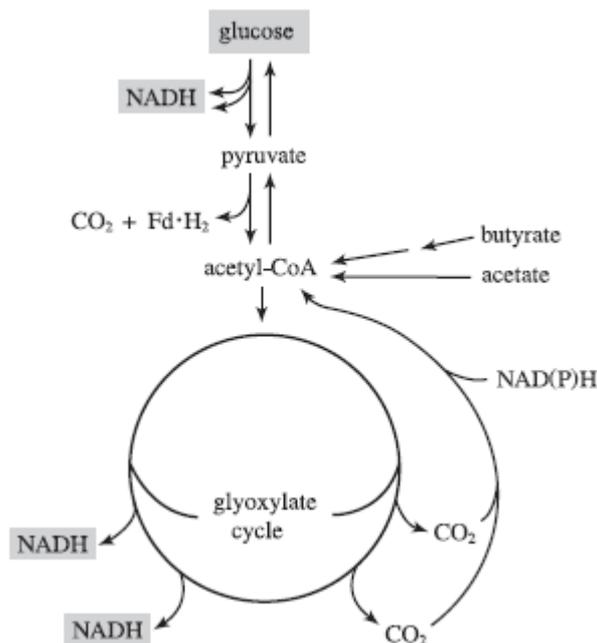


Fig 7. Métabolisme photo-organotrophe chez les bactéries pourpres.