

Introduction à la biologie

Introduction

Introduction

La cellule : unité de base du vivant.

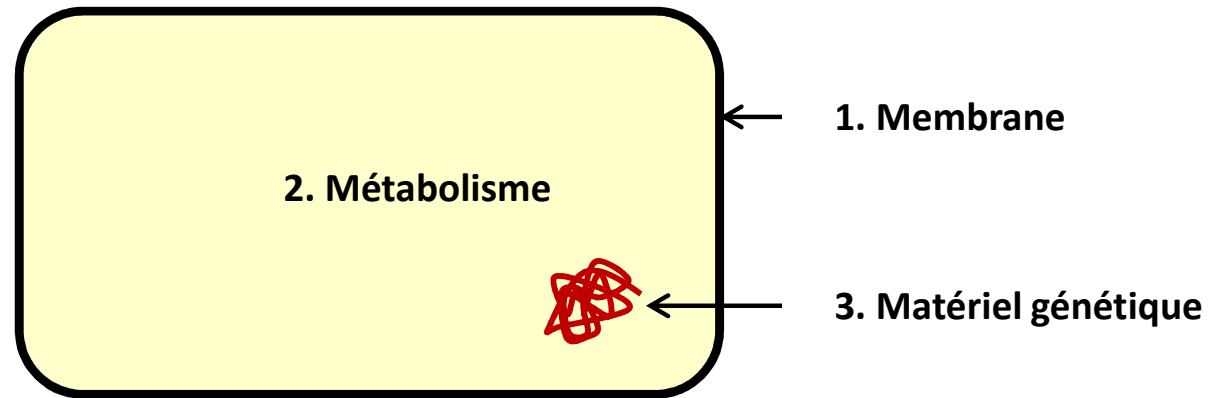


Schéma théorique d'une cellule

1. Membrane pour le confinement des éléments cellulaires
2. Métabolisme à l'origine de l'énergie et des composants cellulaires
3. Matériel génétique portant une information répliquable et capable d'évoluer

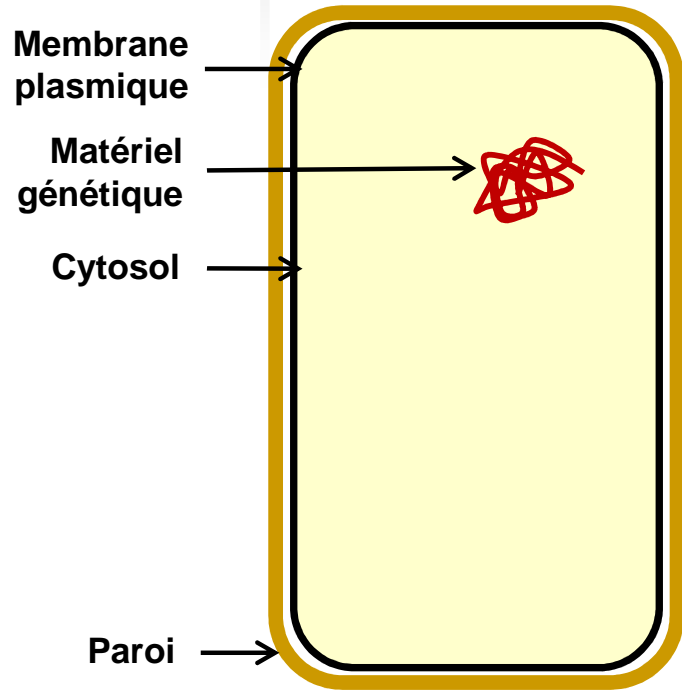
Introduction

Introduction

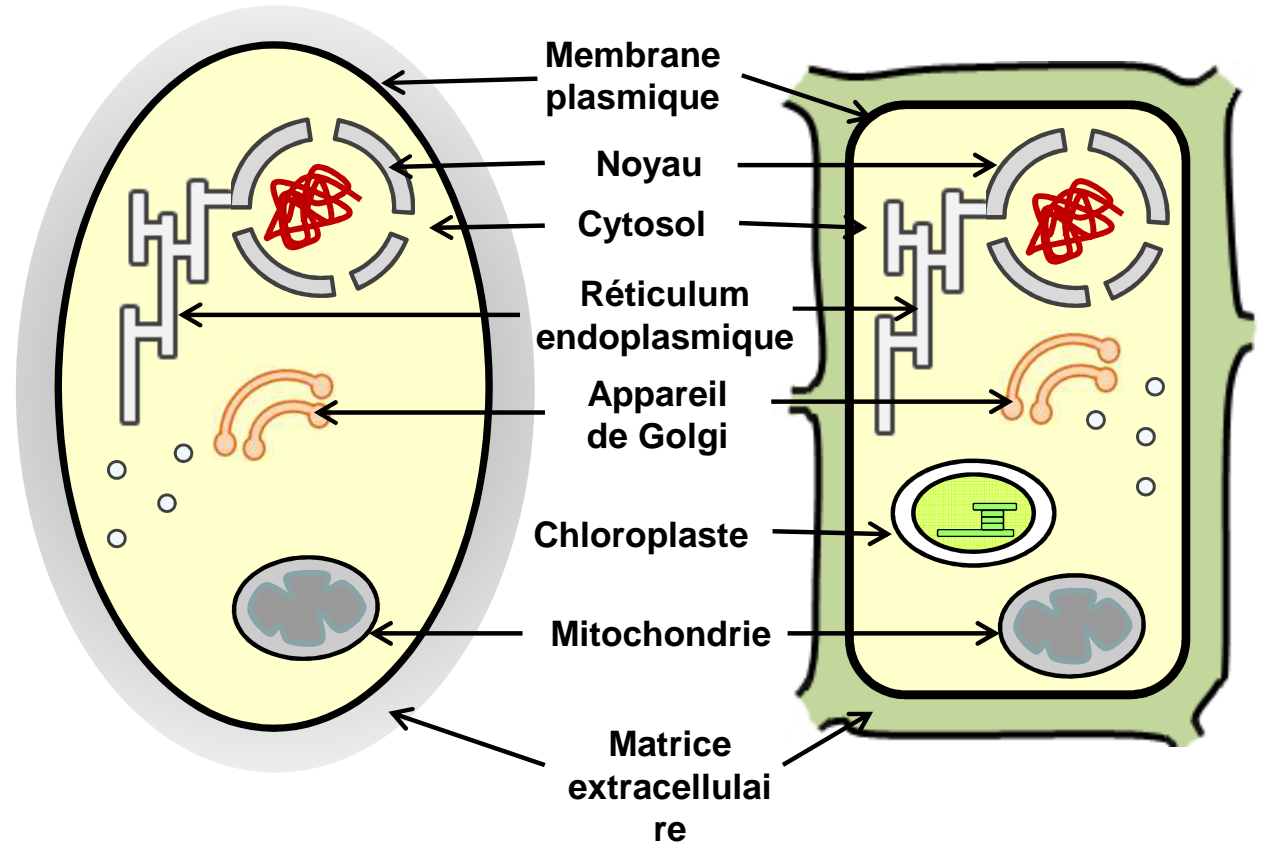
Diversité des « organisations cellulaires »

Cellules procaryotes

Cellules eucaryotes



*Schéma théorique
d'une cellule
procaryote*



*Schéma théorique
d'une cellule eucaryote
« animale »*

*Schéma théorique
d'une cellule eucaryote
« végétale »*

Introduction

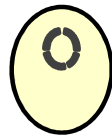
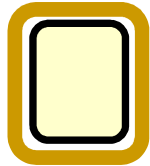
Des êtres vivants uni ou pluricellulaires

Introduction

Unicellulaires

Pluricellulaires

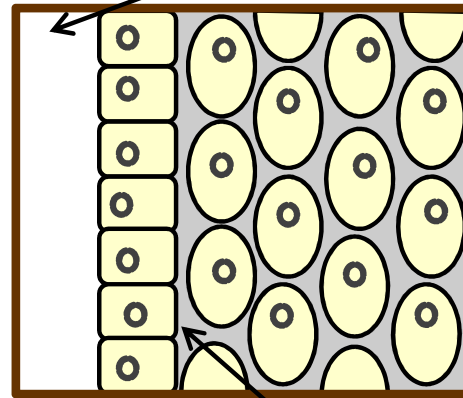
Environnement cellulaire
=
Environnement de
l'organisme



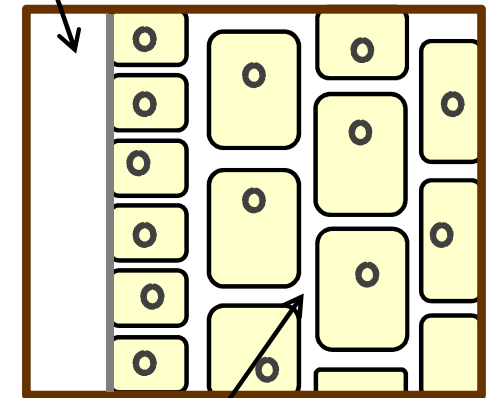
*Procaryotes :
bactéries et archées*

Eucaryotes

Environnement de
l'organisme



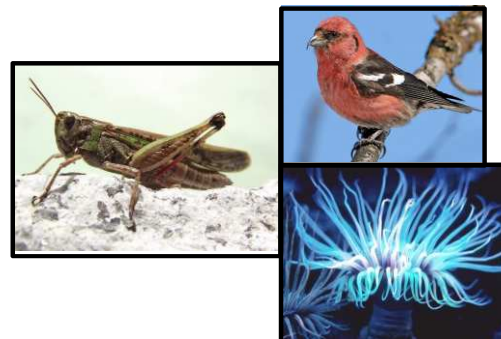
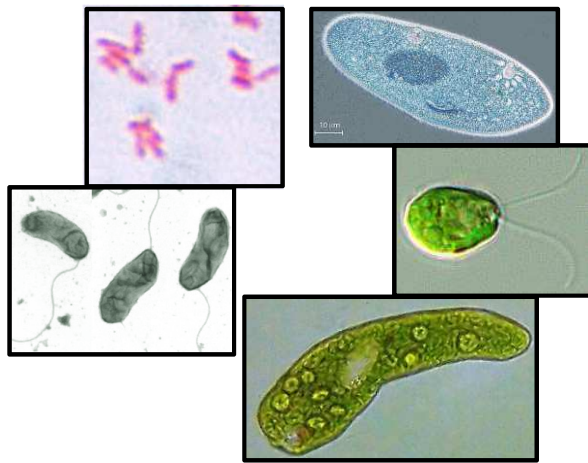
≠



*Métazoaires
« animaux »*

Environnement
cellulaire

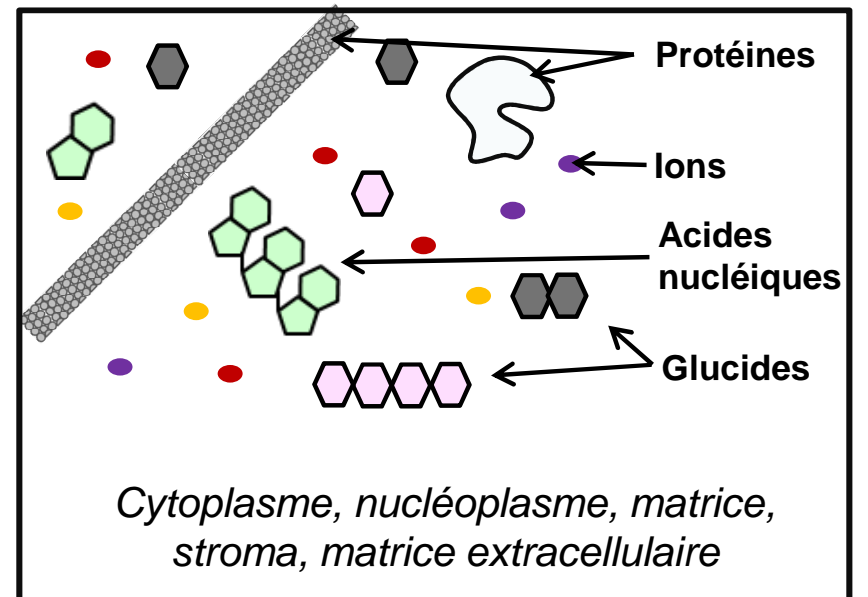
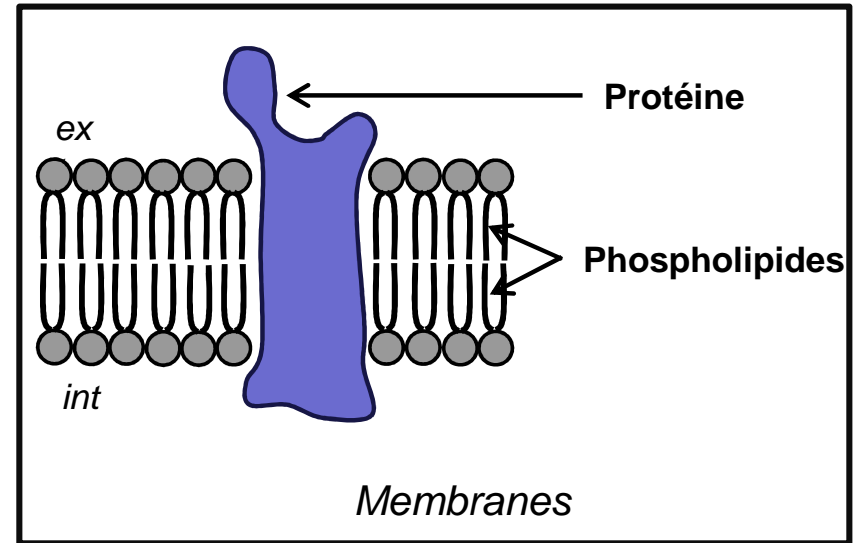
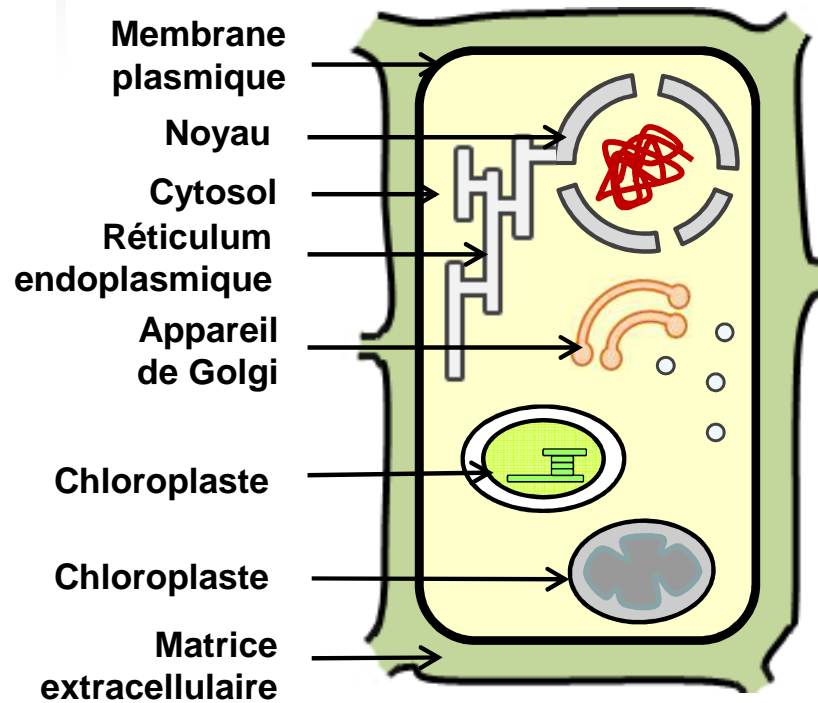
« Végétaux »



Introduction

Introduction

Les molécules de la cellule



Introduction

Introduction

La cellule : unité de base du vivant.

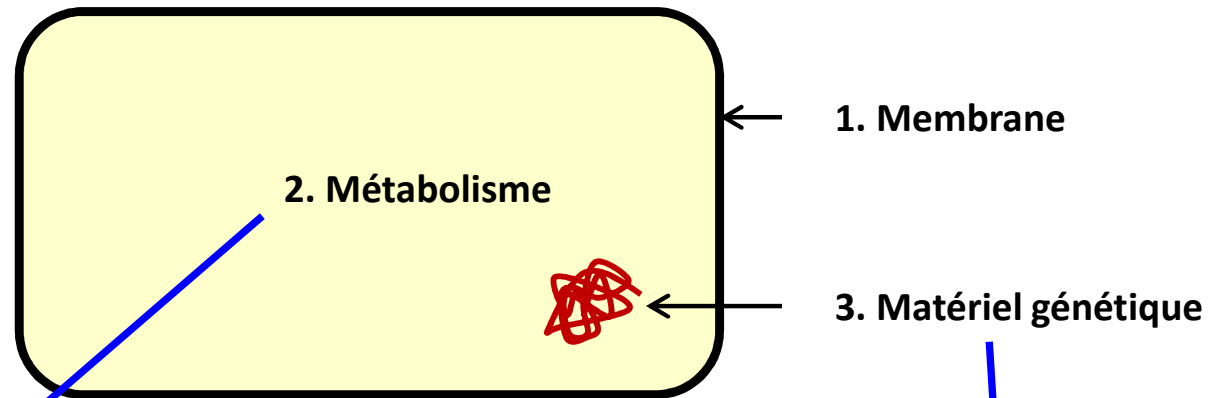
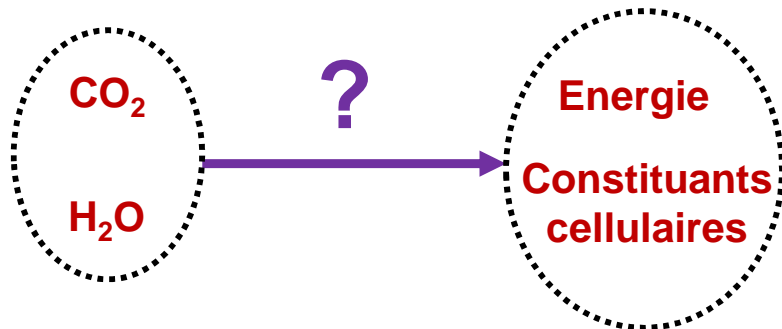
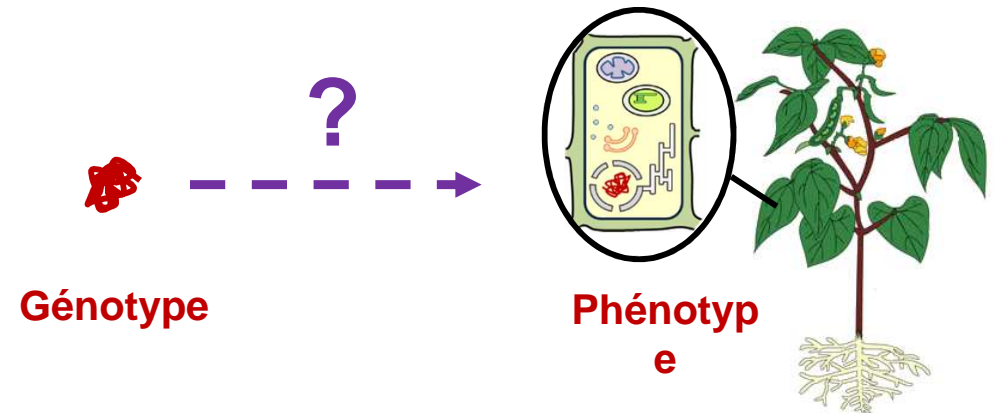


Schéma théorique d'une cellule

Cours 1 : Un exemple de processus métabolique : la photosynthèse

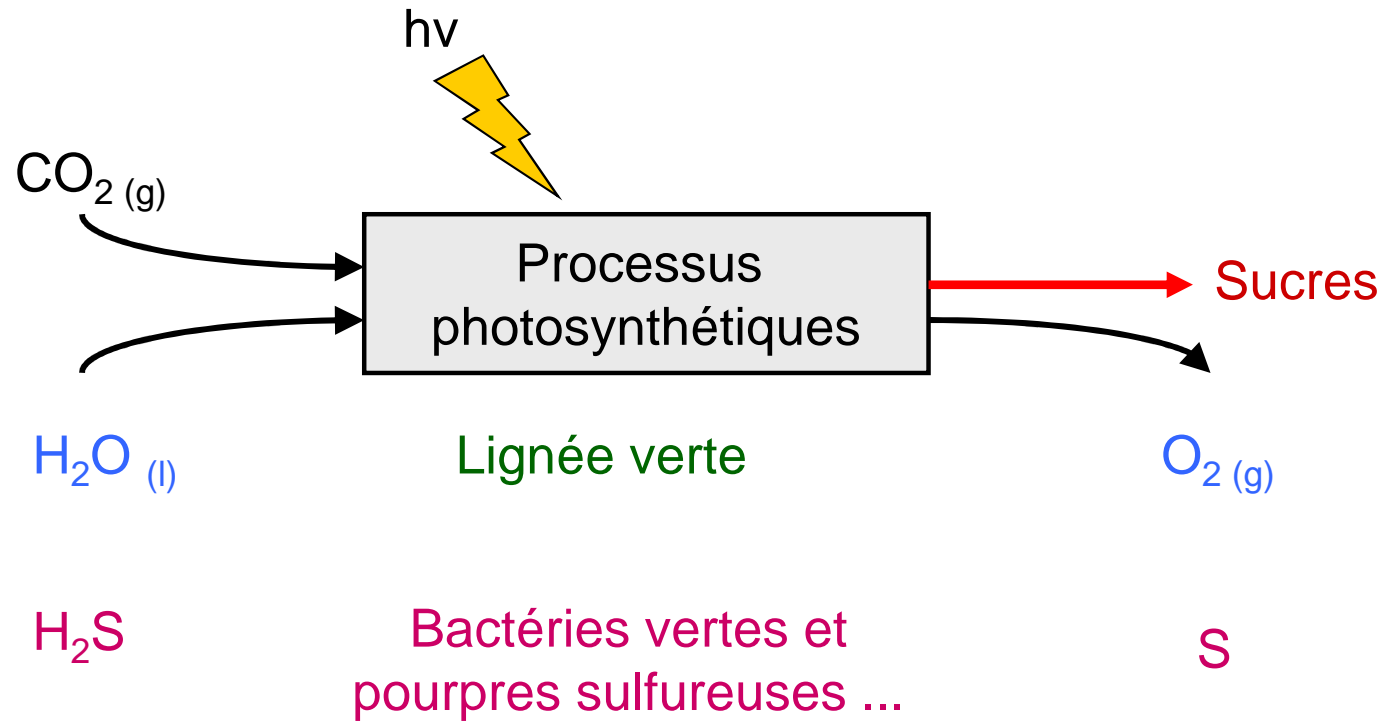


Cours 2 : Du génotype au phénotype : l'expression de l'information génétique

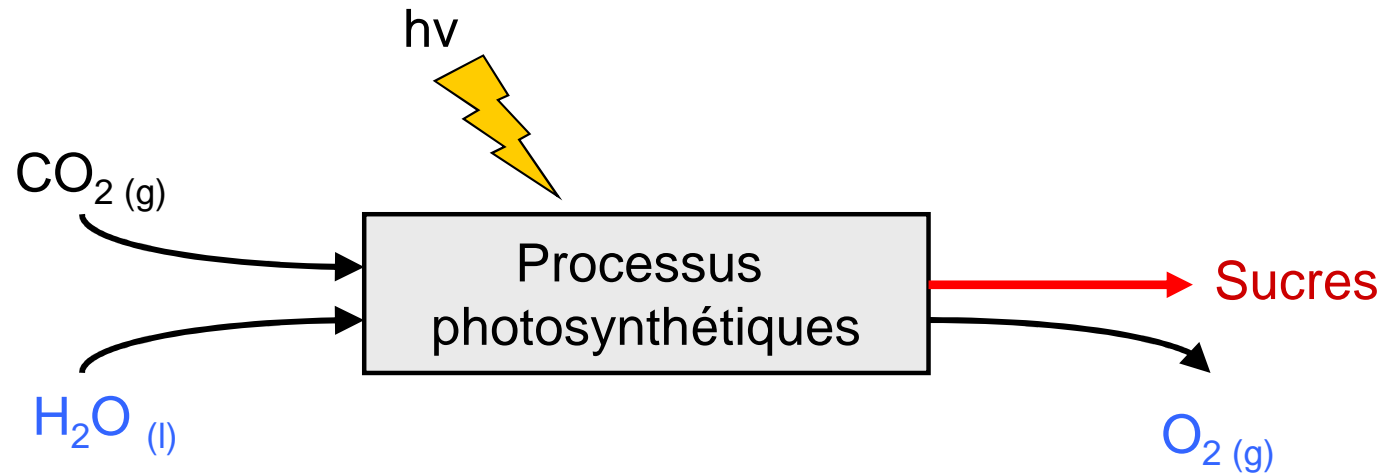


La photosynthèse

Processus photosynthétique

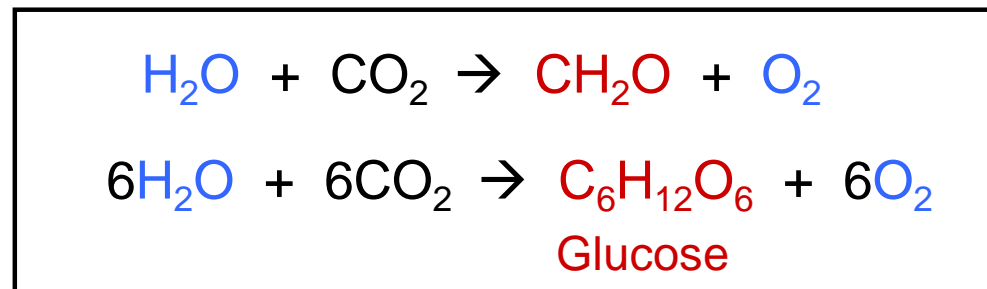


Processus photosynthétique



Lignée verte

Rhodophytes,
chlorophytes, ...



$\Delta_r G^{\circ} = 2840 \text{ kJ/mol}$
d'hexose formé

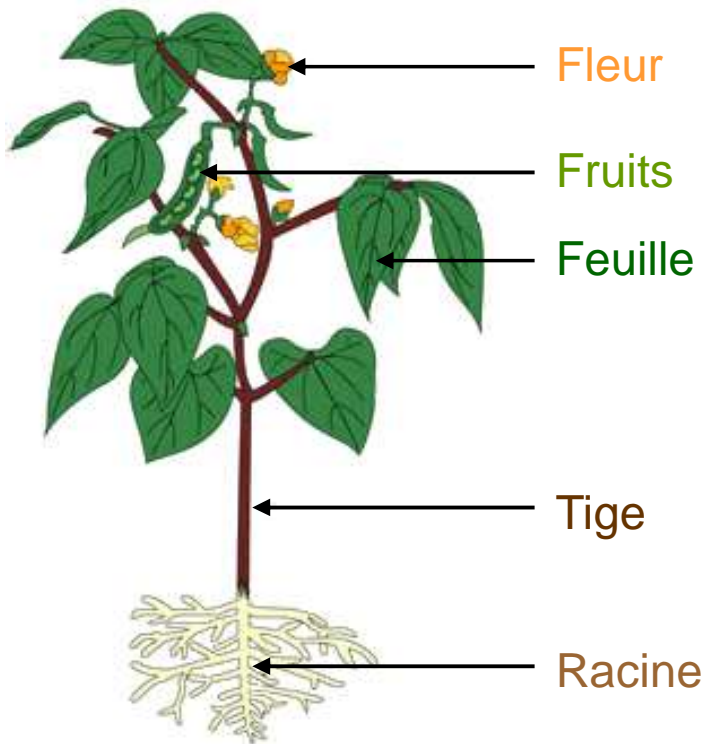
Introduction

Introduction

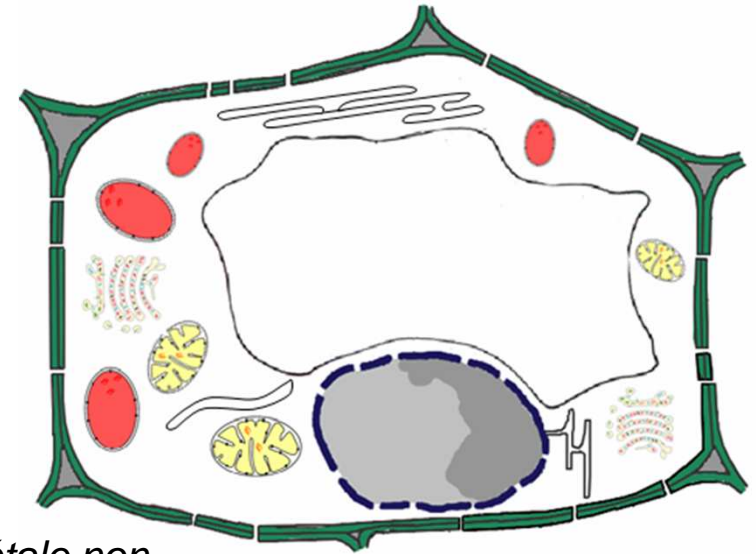
Qui réalise la photosynthèse ?



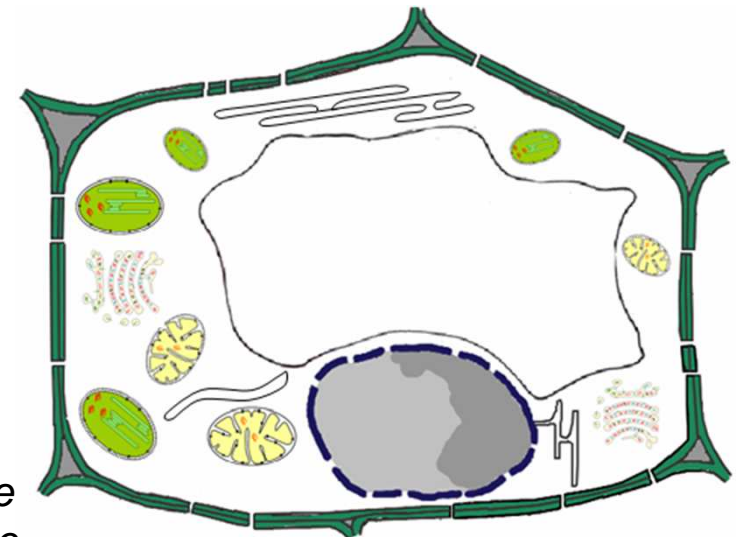
Où se réalise la photosynthèse ?



Représentation schématique
d'une Angiosperme

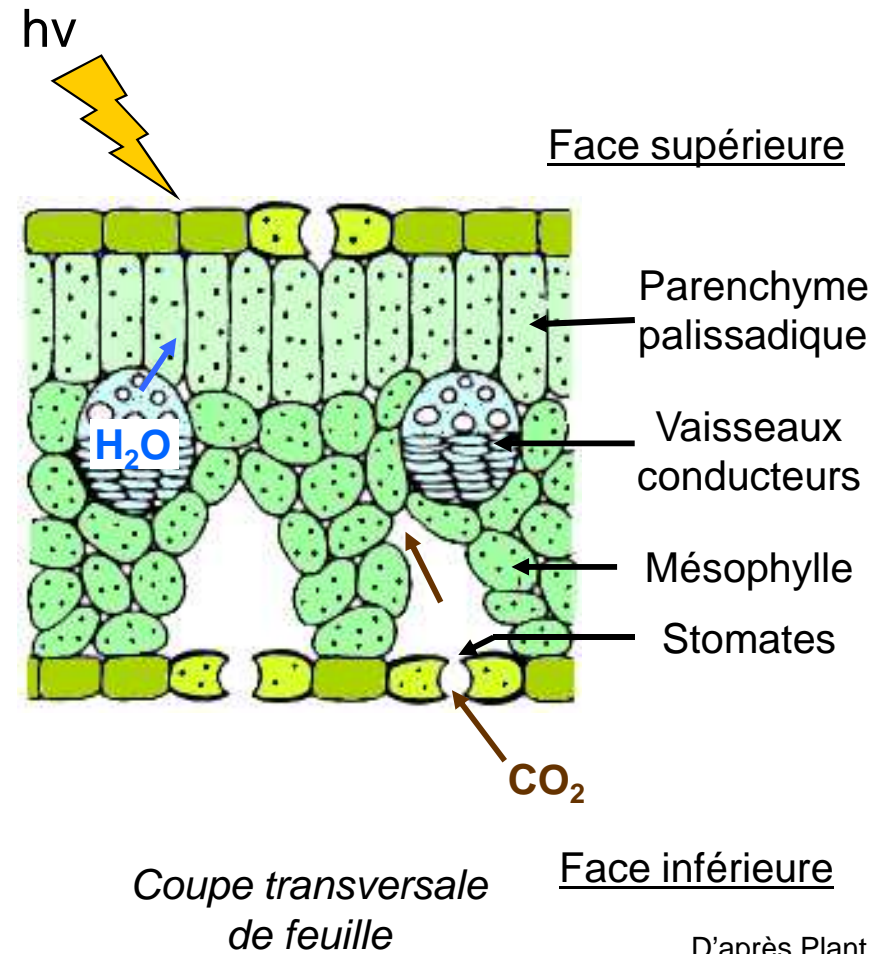
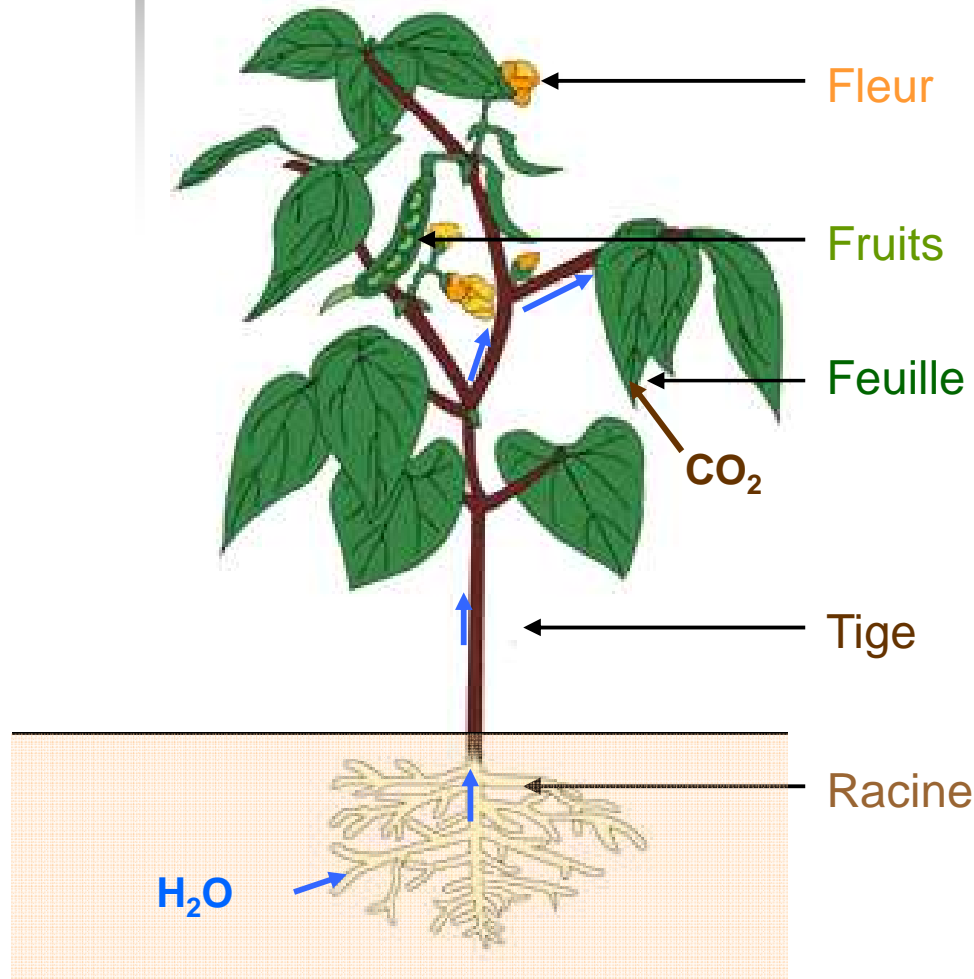


Cellule végétale non-chlorophyllienne



Cellule végétale chlorophyllienne

Approvisionnement en H₂O et CO₂

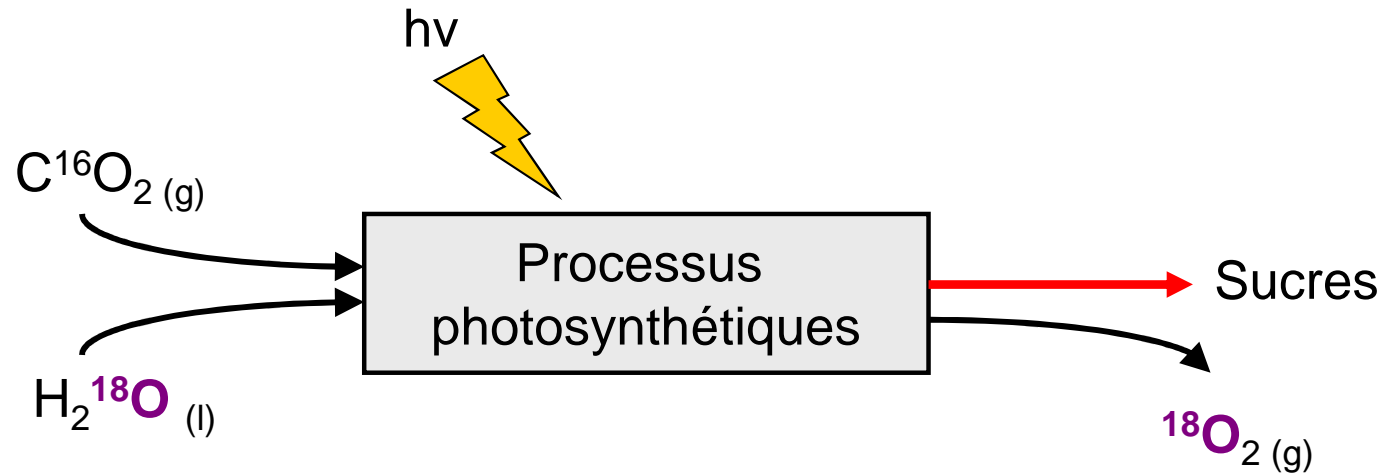


D'après Turck
et al, 2008

Représentation schématique
d'une Angiosperme

D'après Plant
Physiology

Expériences historiques

Exp de Ruben et Kamen (1941)Marquage de l'eau à l' ^{18}O 

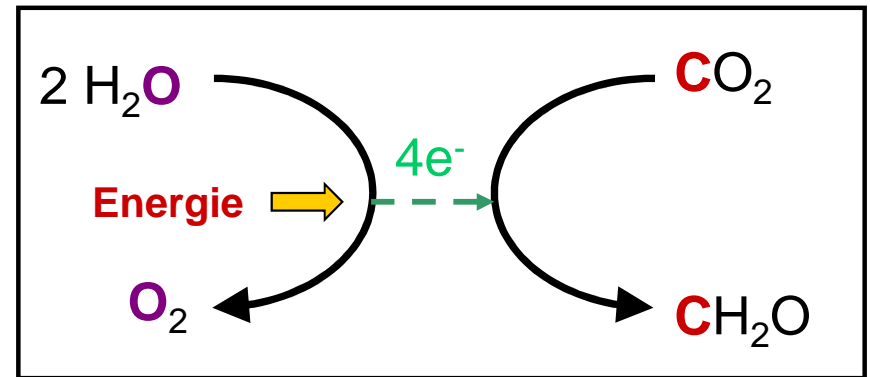
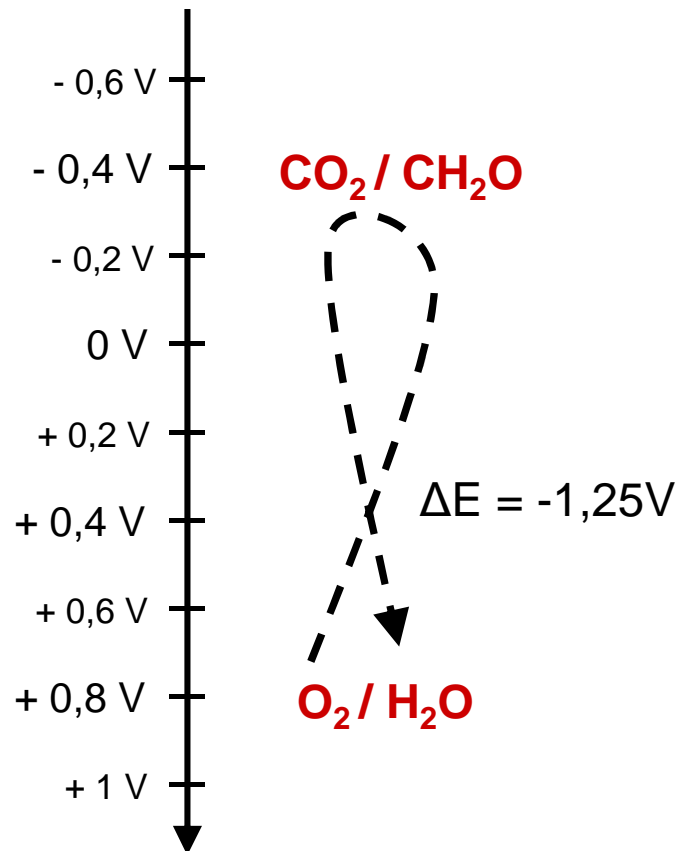
Oxydation de l'eau

Réduction du CO_2 

Équation bilan


Les deux phases de la photosynthèse

Exp de Ruben et Kamen (1941)



$$\Delta_r G^{0'} = - n.F.\Delta E = 480 \text{ kJ/mol de } \text{CO}_2$$

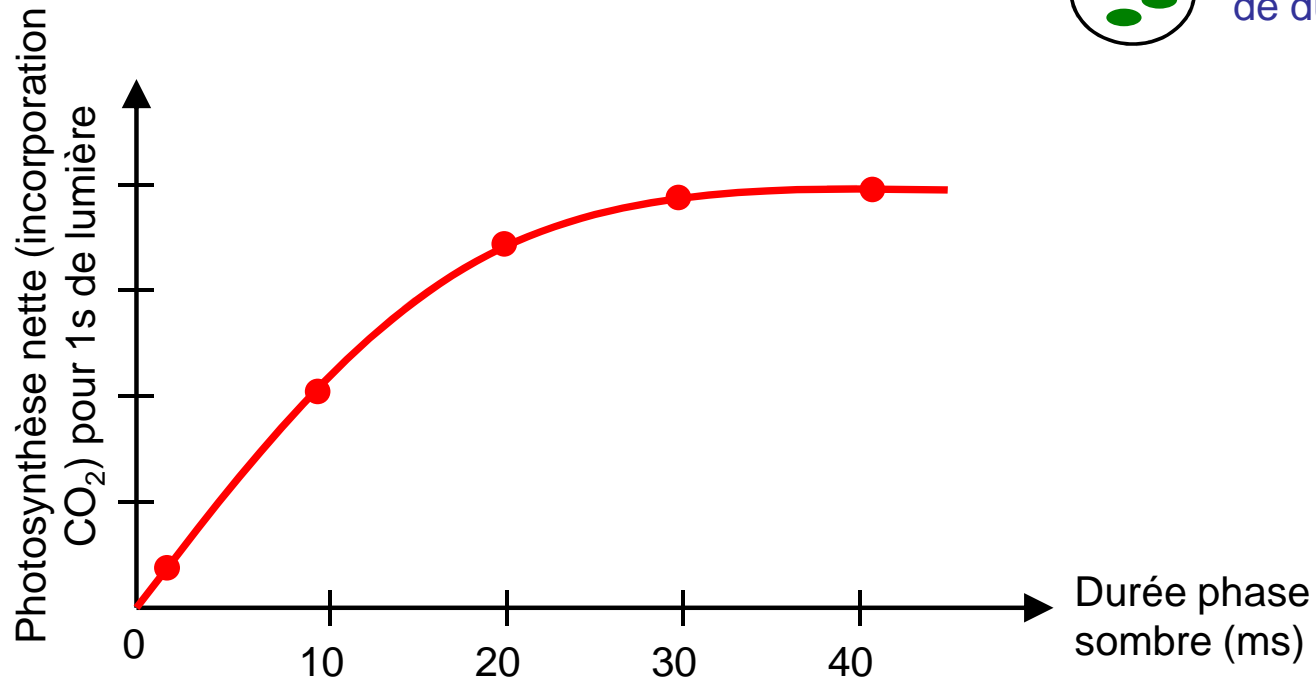
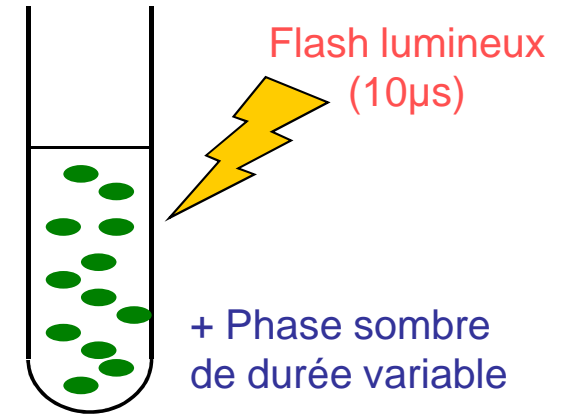
$$\Delta_r G^{0'} = 2880 \text{ kJ/mol d'hexose}$$

 Réaction non spontanée

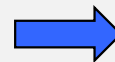
Les deux phases de la photosynthèse

Exp d'Emerson et Arnold (1932)

Suspension de chlorelles



Intermédiaires produits à la lumière rapidement

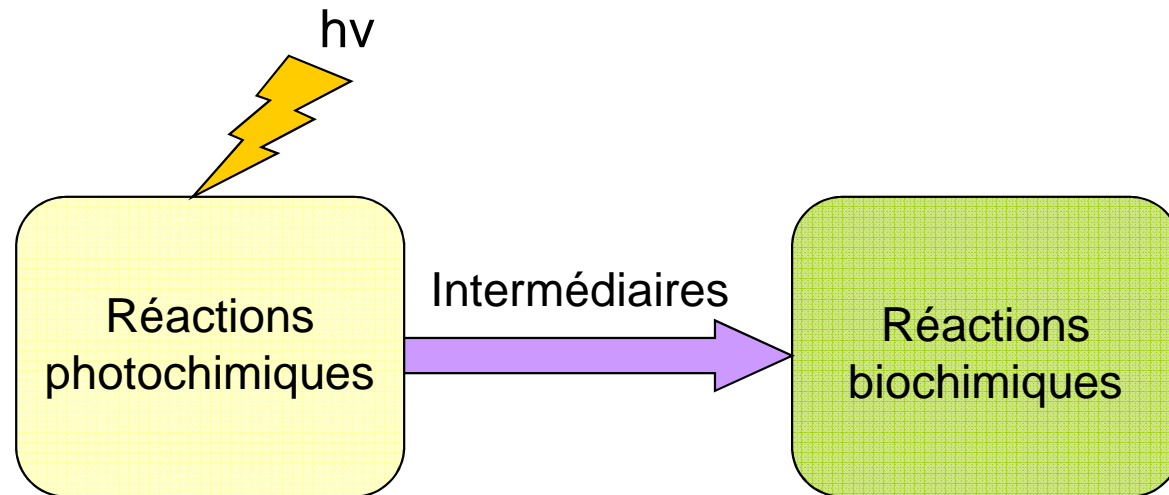


Utilisation lente (Même à l'obscurité)

Les deux phases de la photosynthèse

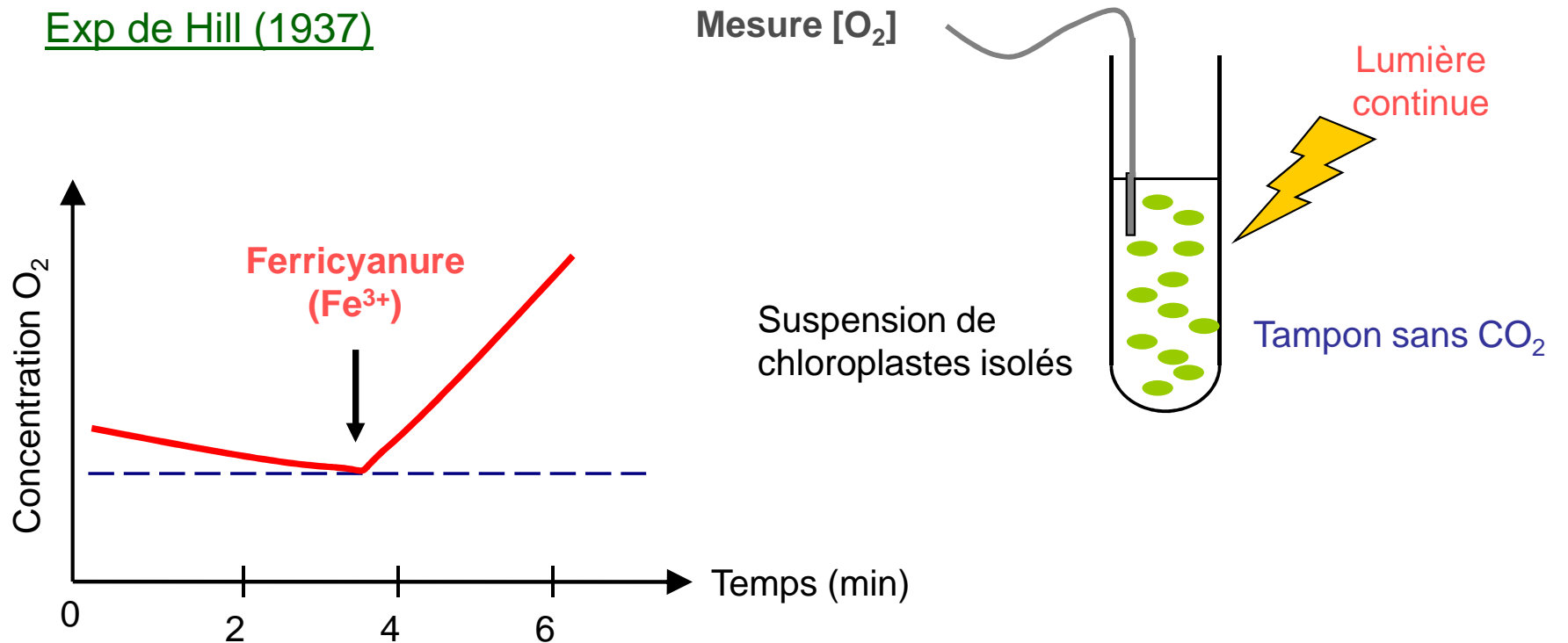
Exp d'Emerson et Arnold (1932)

Bilan :



Les deux phases de la photosynthèse

Exp de Hill (1937)

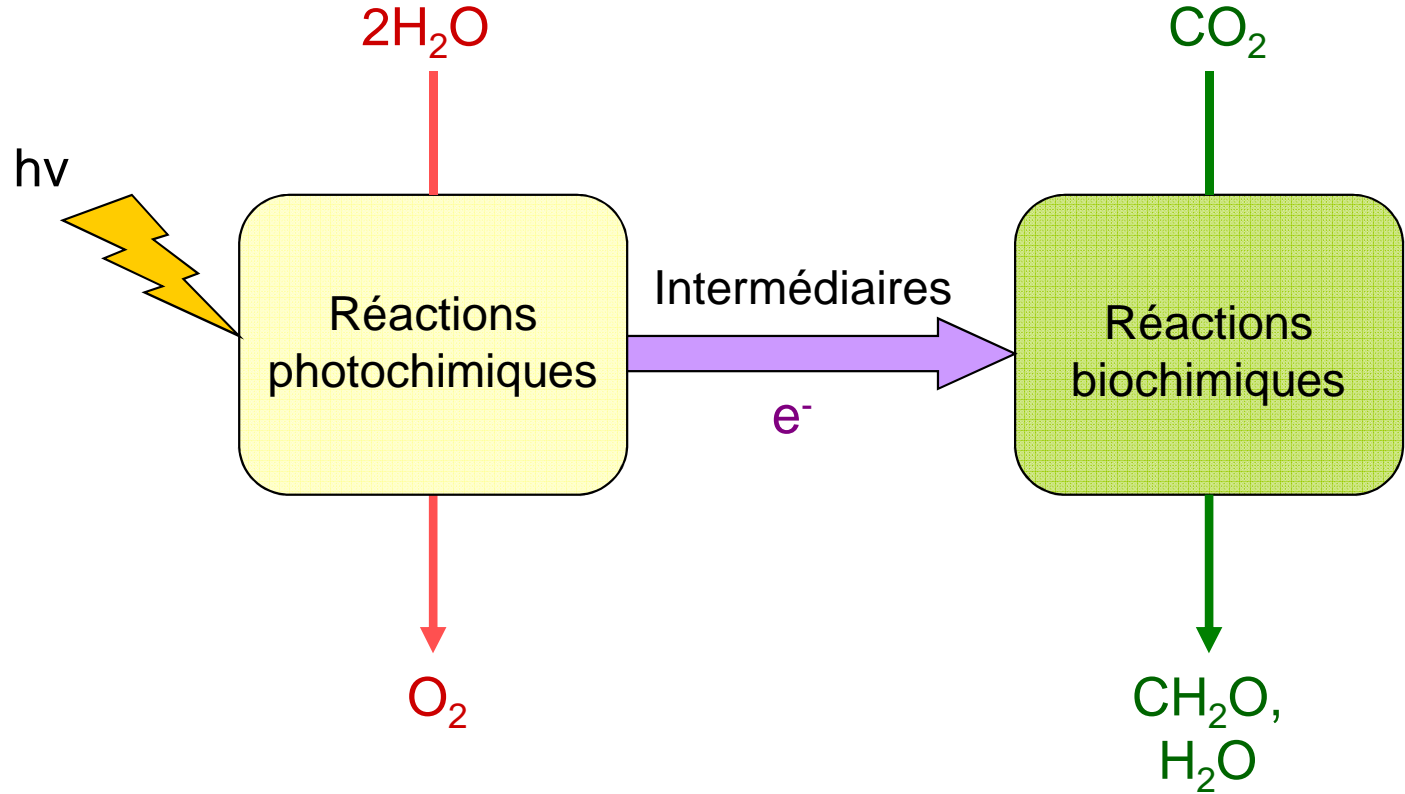


Production d' O_2 nécessite un accepteur d'électron



Les deux phases de la photosynthèse

Bilan :

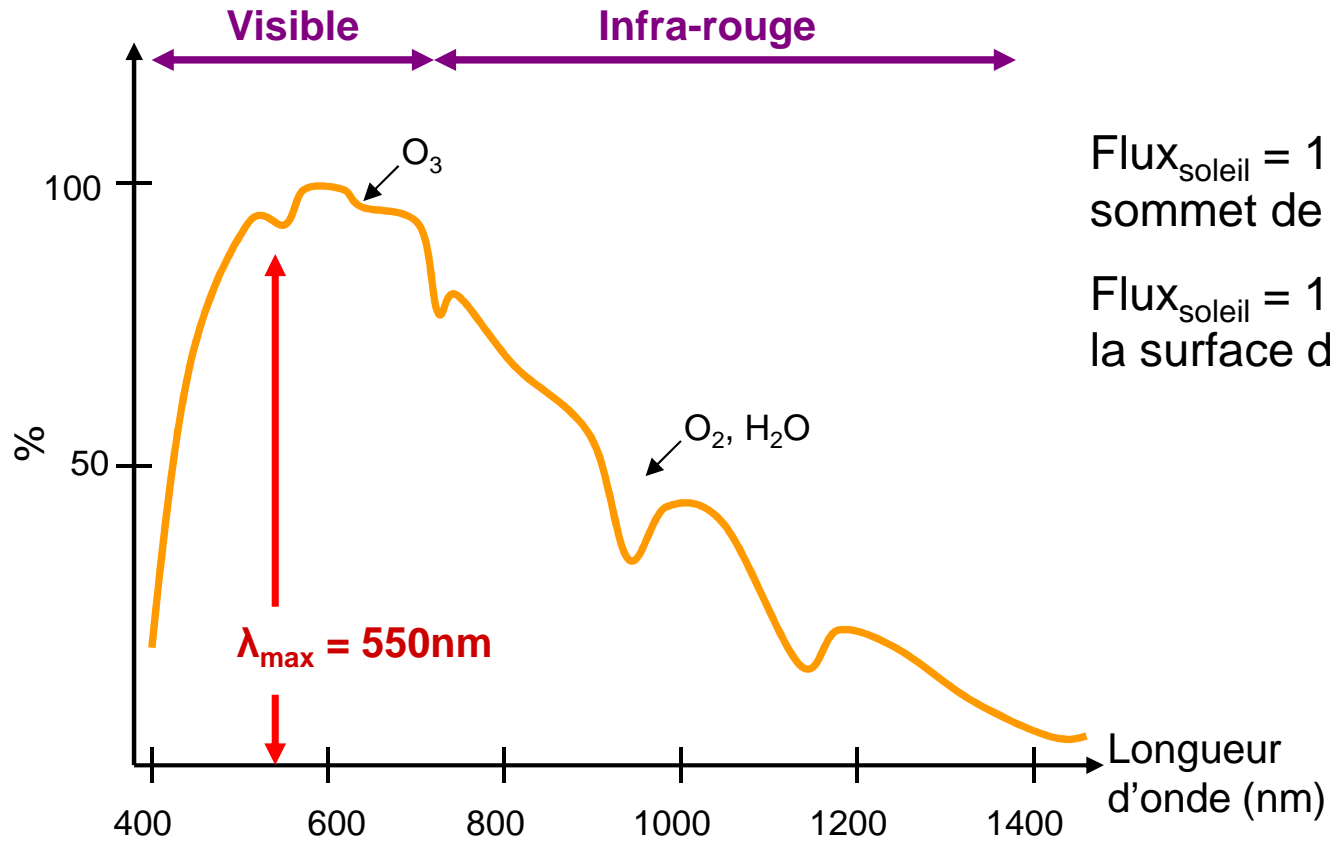


1.1 La lumière

Introduction

I- Phase
photochimique

Absorption de la lumière



$\text{Flux}_{\text{soleil}} = 1400 \text{ W/m}^2$ au
sommet de l'Atm

$\text{Flux}_{\text{soleil}} = 1000 \text{ W/m}^2$ à
la surface de la Terre

PAR : Photosynthetic active radiation

~ 50 % spectre = 500 W/m²

*Spectre du
rayonnement solaire*

$$T_{\text{soleil}} = 5800 \text{ K}$$

$$\lambda_{\max} = 3000/T = 550 \text{ nm}$$

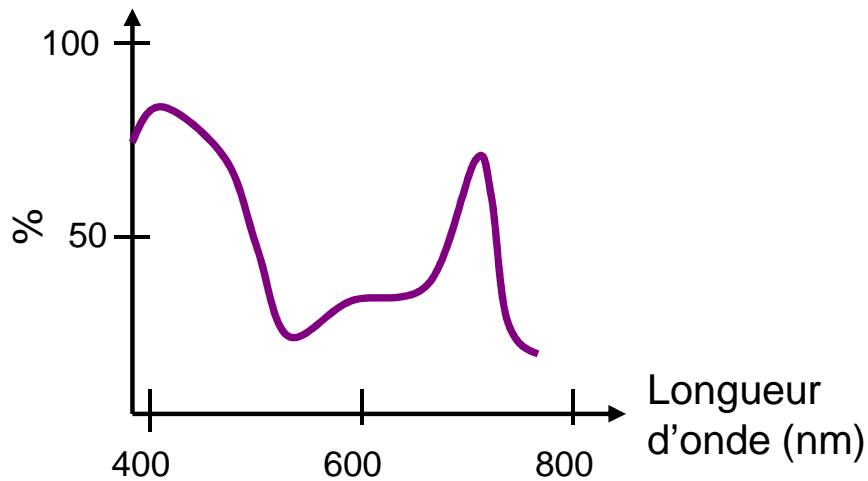
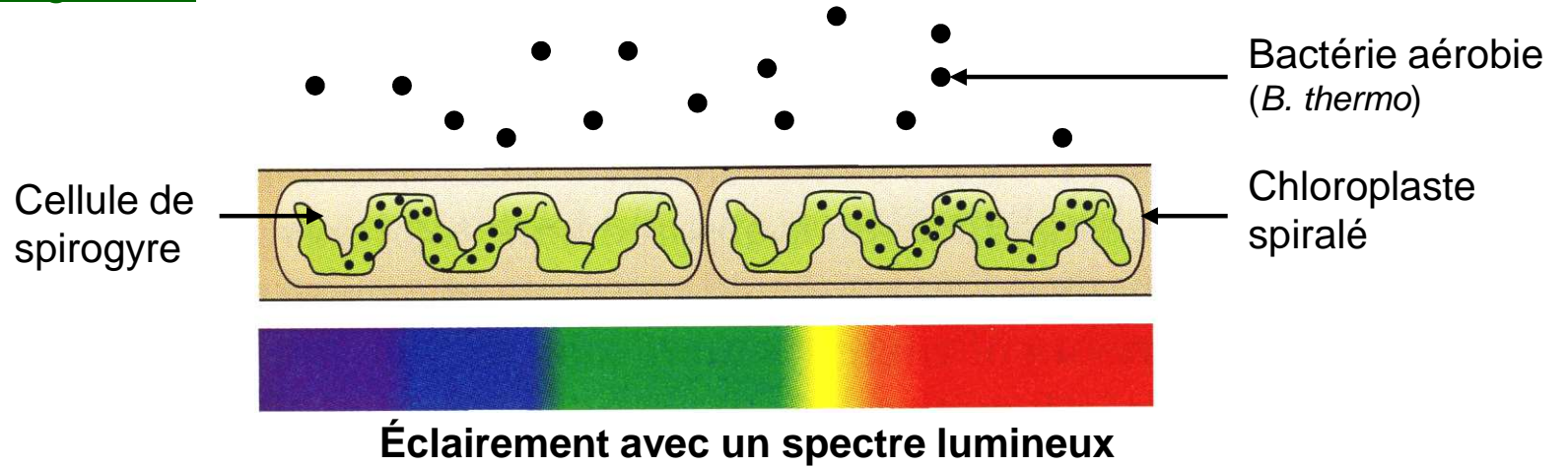
1.1 La lumière

Introduction

I- Phase photochimique

Spectre d'action de la photosynthèse

Exp d'Engelman



Les bactéries présentant un chimiotactisme positif pour l'O₂ se concentrent dans les **zones « rouges et bleue » du spectre**

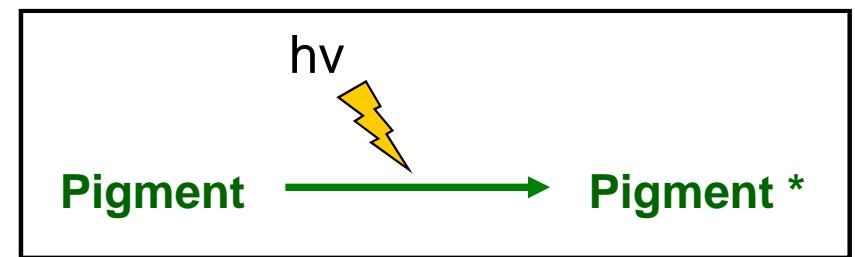
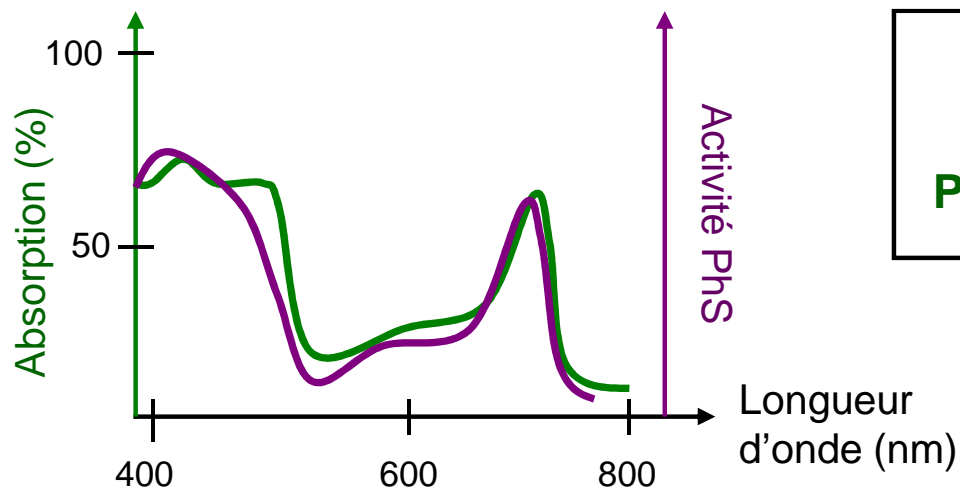
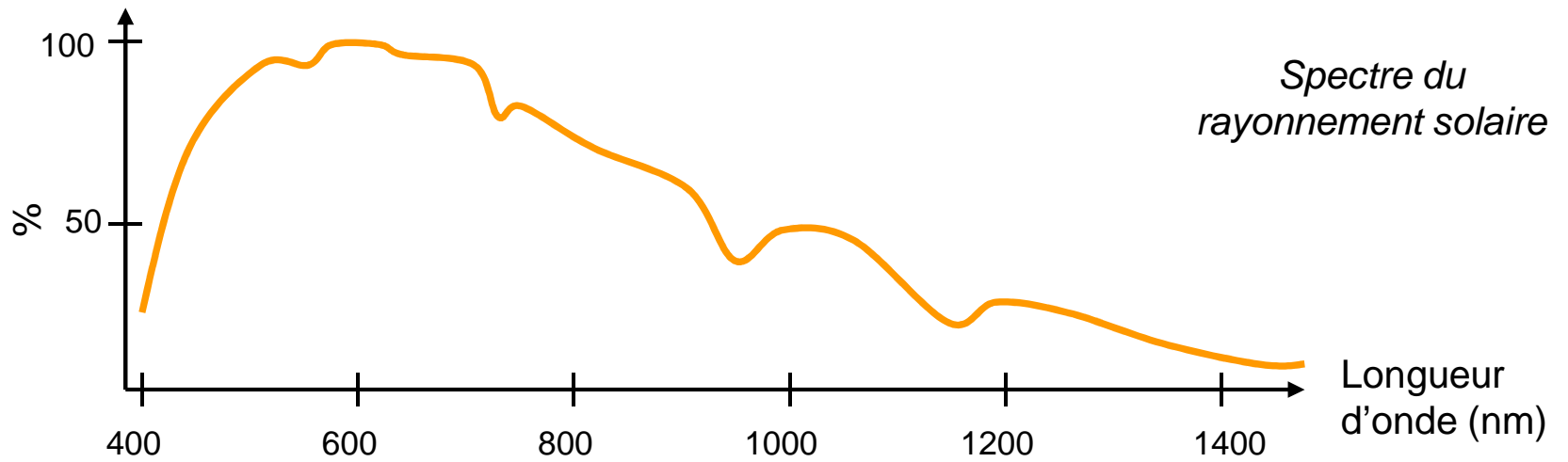
Spectre d'action de la photosynthèse

1.1 La lumière

Introduction

I- Phase
photochimique

Spectre d'absorption



Spectre d'absorption des pigments photosynthétiques

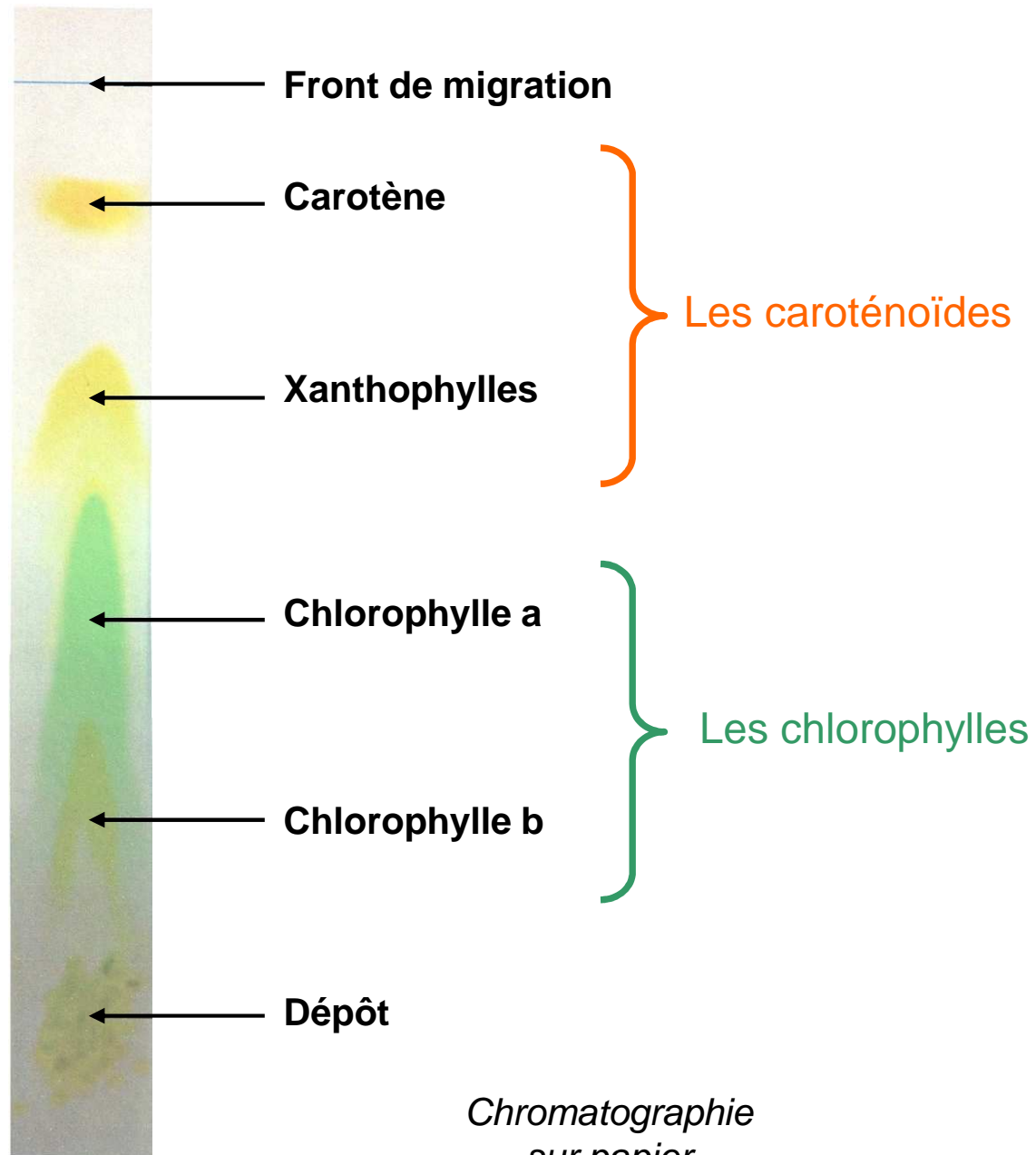
Superposition des spectres d'action et d'absorption.

1.2 Les pigments

Introduction

I- Phase
photochimique

Les pigments photosynthétiques



*Chromatographie
sur papier*

1.2 Les pigments

Introduction

I- Phase
photochimique

Les chlorophylles

Noyau tétrapyrrole de type porphyrine hydrophile

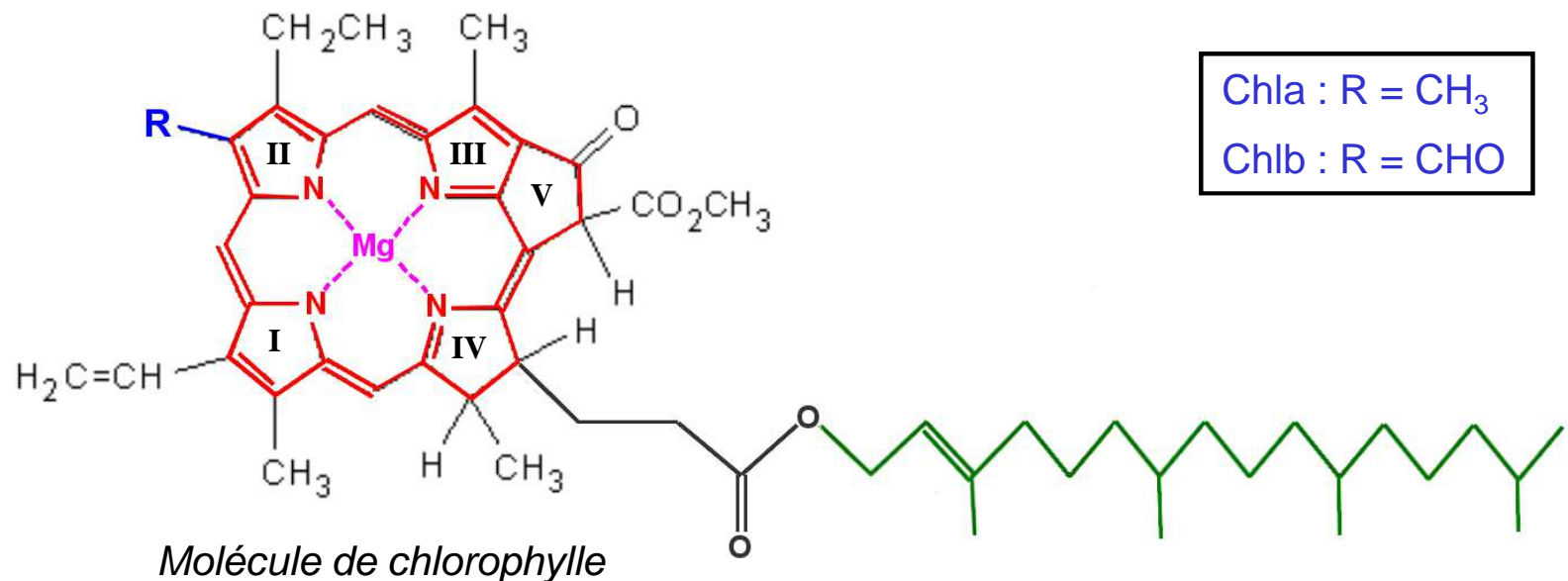
Atome Mg central

Une queue phytol sur le cycle IV hydrophobe

Cycle sup. en V

Doubles liaisons conjuguées
des cycles pyrroliques
impliquées dans la réception
de l'E lumineuse

Molécule amphiphile associée à des protéines

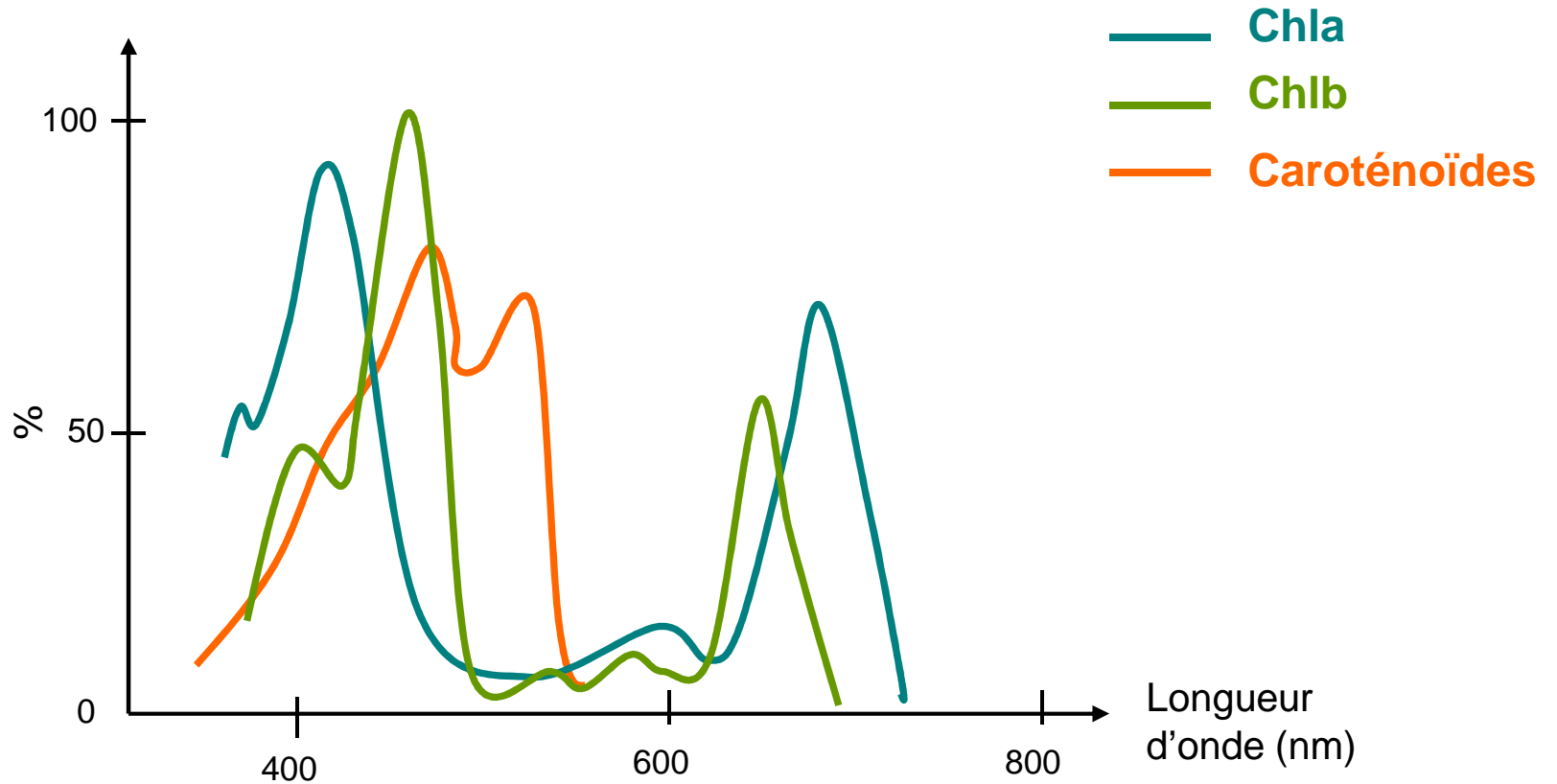


1.2 Les pigments

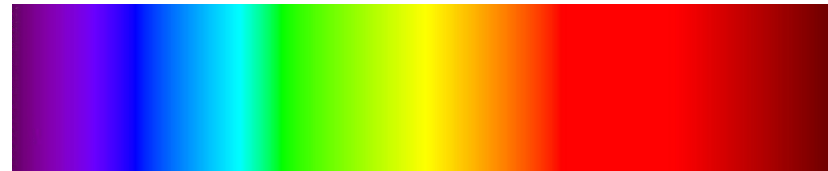
Introduction

I- Phase
photochimique

Spectre d'absorption des pigments



*D'après Botanique. Biologie
et physiologie végétale*



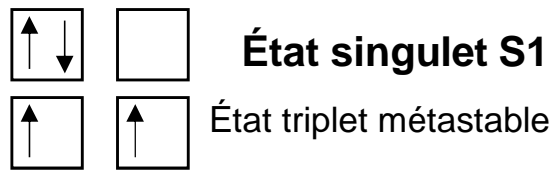
*Spectre d'absorption des différents
pigments photosynthétiques*

1.2 Les pigments

Introduction

I- Phase photochimique

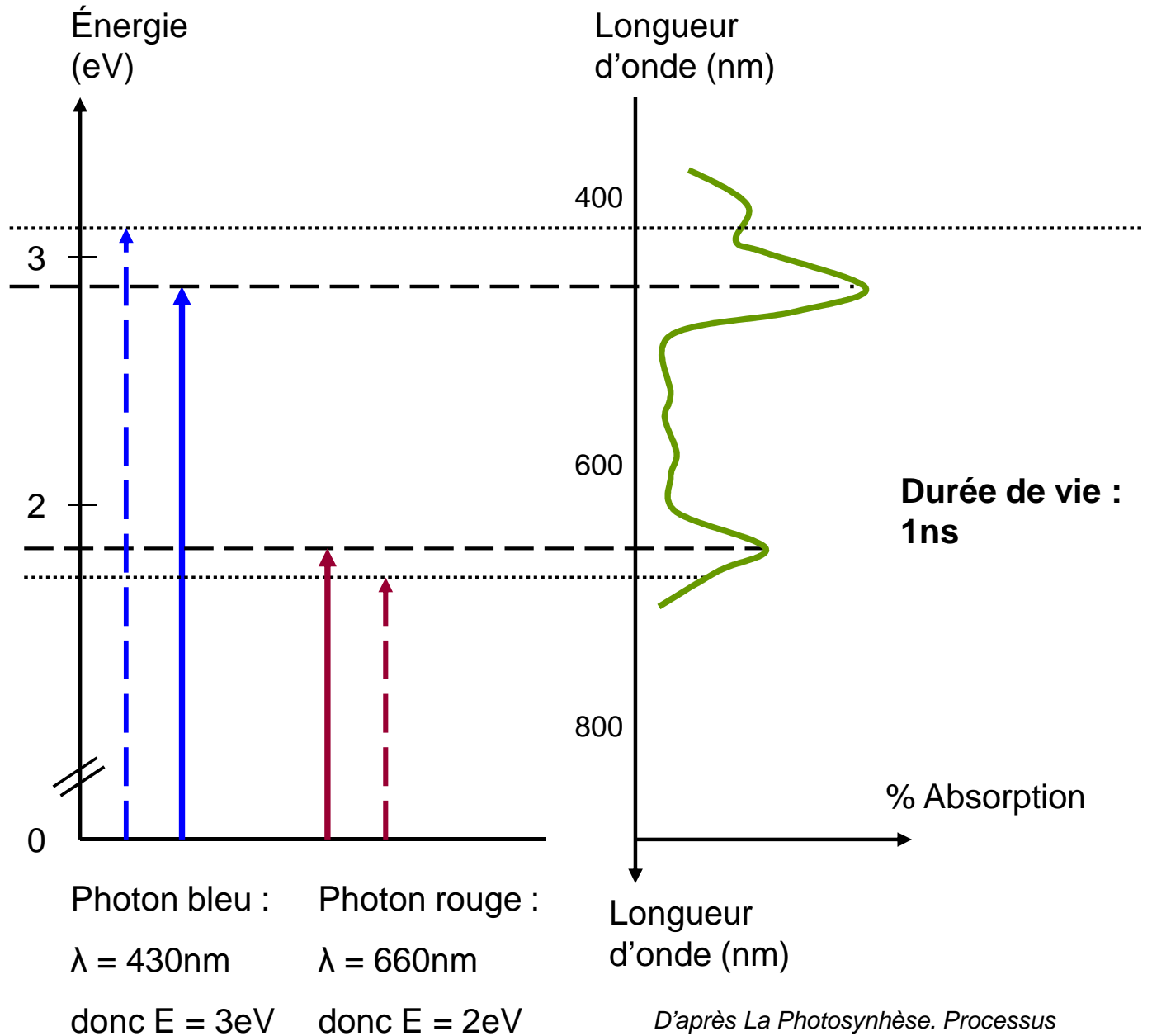
Excitation des pigments



Cas de la chlorophylle a

État fondamental

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$



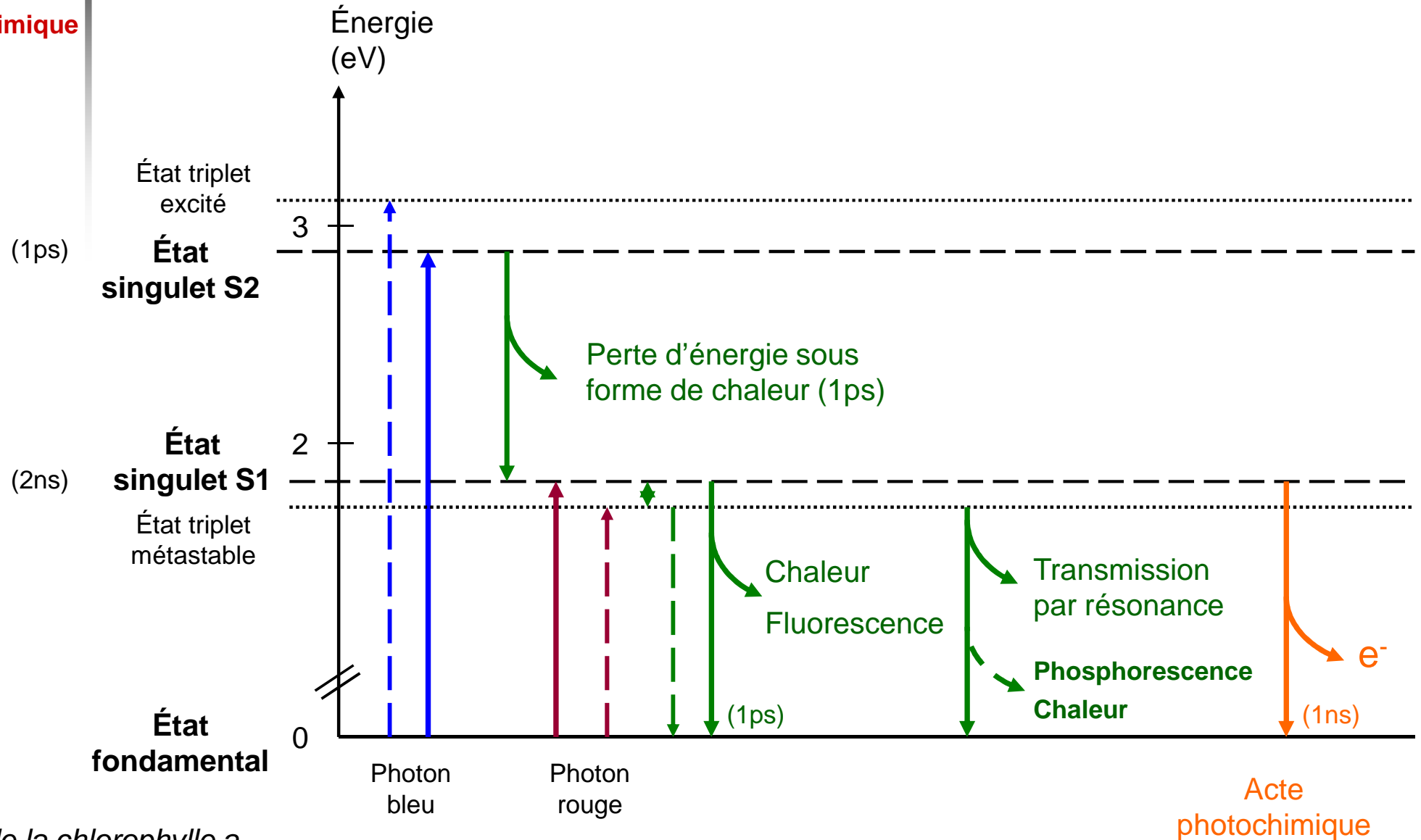
D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

1.2 Les pigments

Introduction

I- Phase photochimique

Désexcitation des pigments



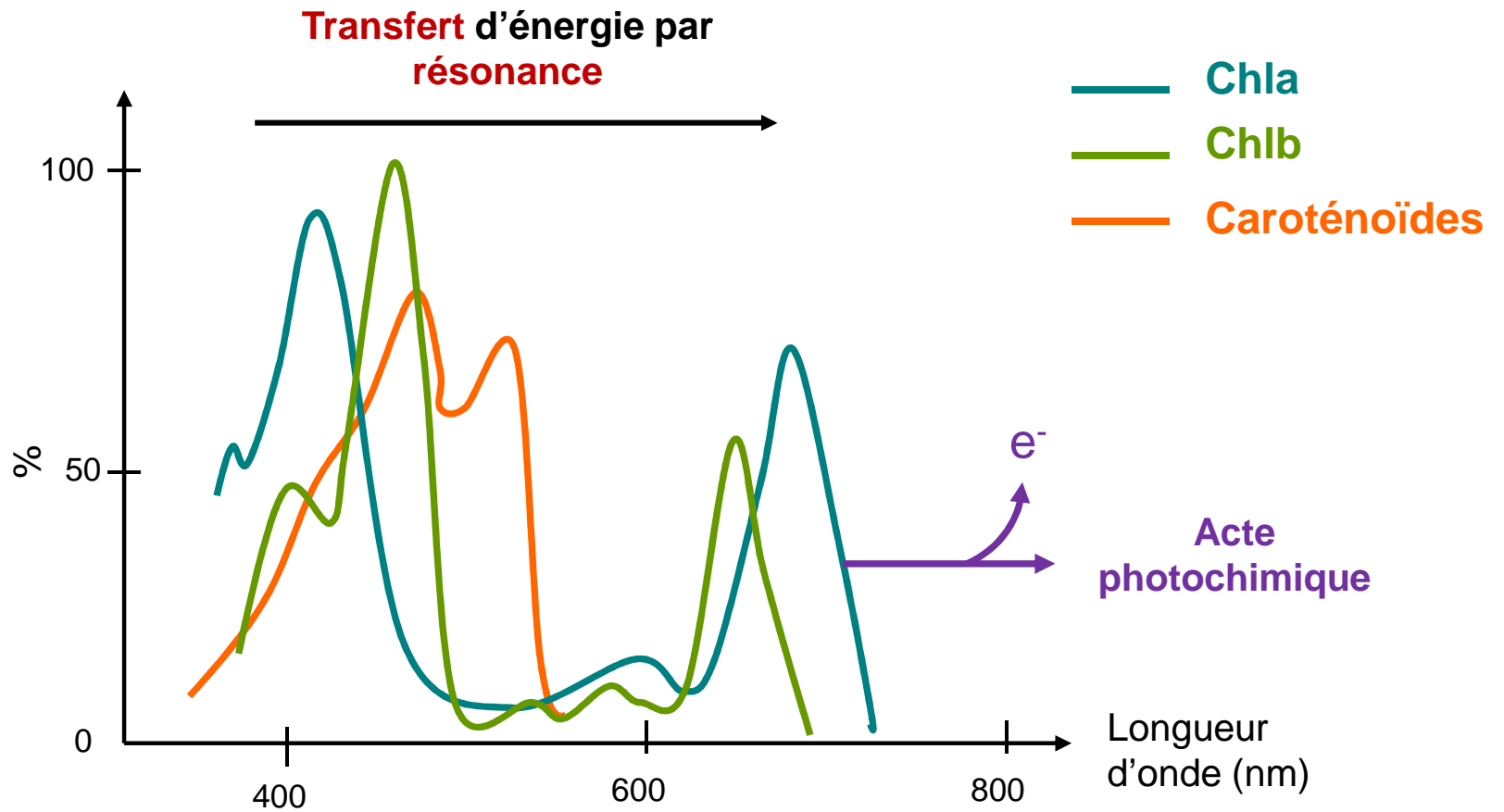
Cas de la chlorophylle a

1.2 Les pigments

Introduction

I- Phase
photochimique

Transfert d'énergie par résonance



*D'après Botanique. Biologie
et physiologie végétale*

*Spectre d'absorption des différents
pigments photosynthétiques*

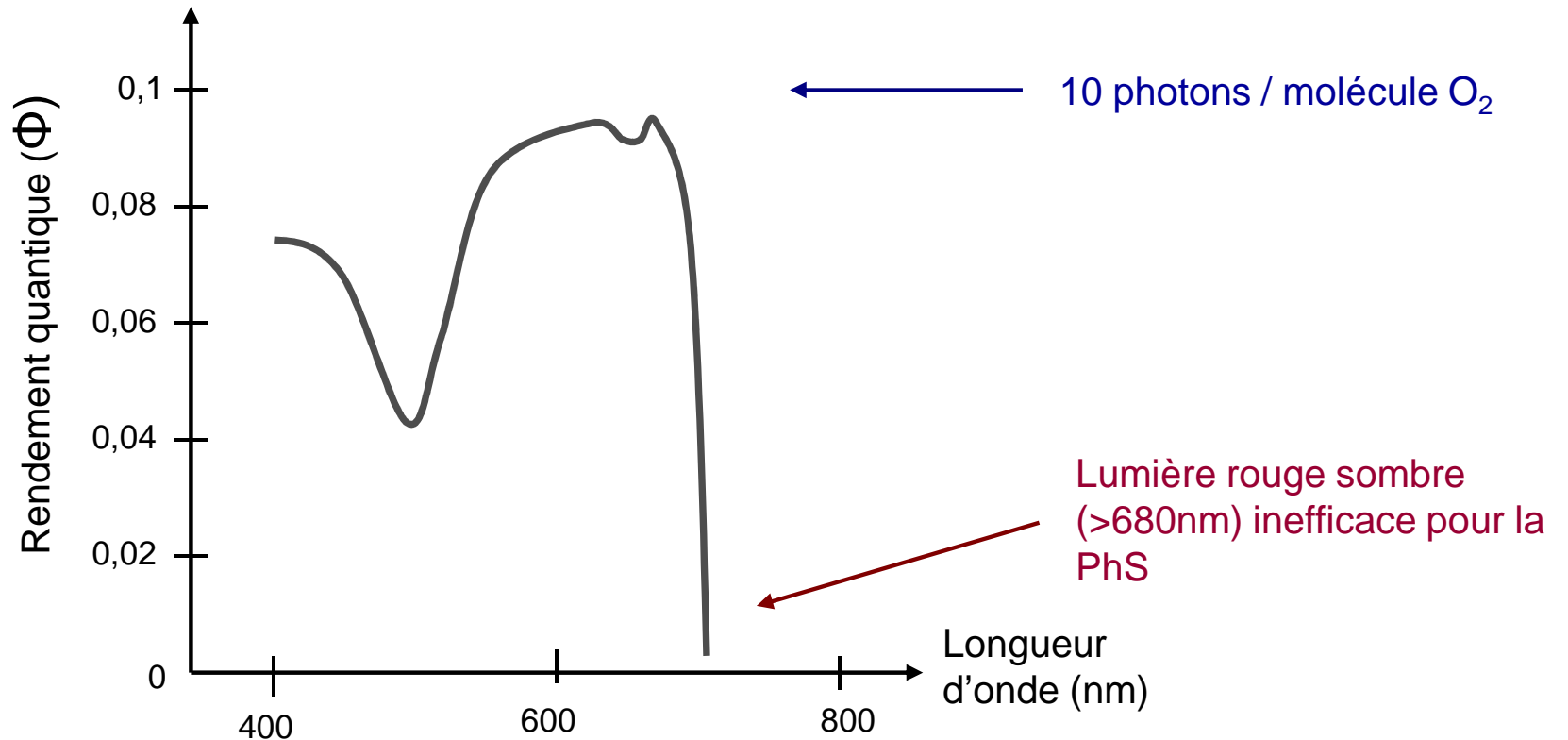
1.2 Les pigments

Introduction

I- Phase
photochimique

Rendement quantique de la photosynthèse

$$\Phi = \frac{\text{Intensité PhS} \quad (\mu\text{mol O}_2/\text{s})}{\text{Q. Photons absorbée} \quad (\mu\text{mol photon/s})}$$



Rendement quantique de la photosynthèse

Les photosystèmes

Exp d'Emerson

Deux systèmes pigmentaires (photosystèmes) :

1- Absorption jusqu'à 680nm et permettant le dégagement d'O₂ (**PSII**)

1- Absorption au-delà de 700nm et ne permettant pas le dégagement d'O₂ (**PSI**)



Effet de synergie !!

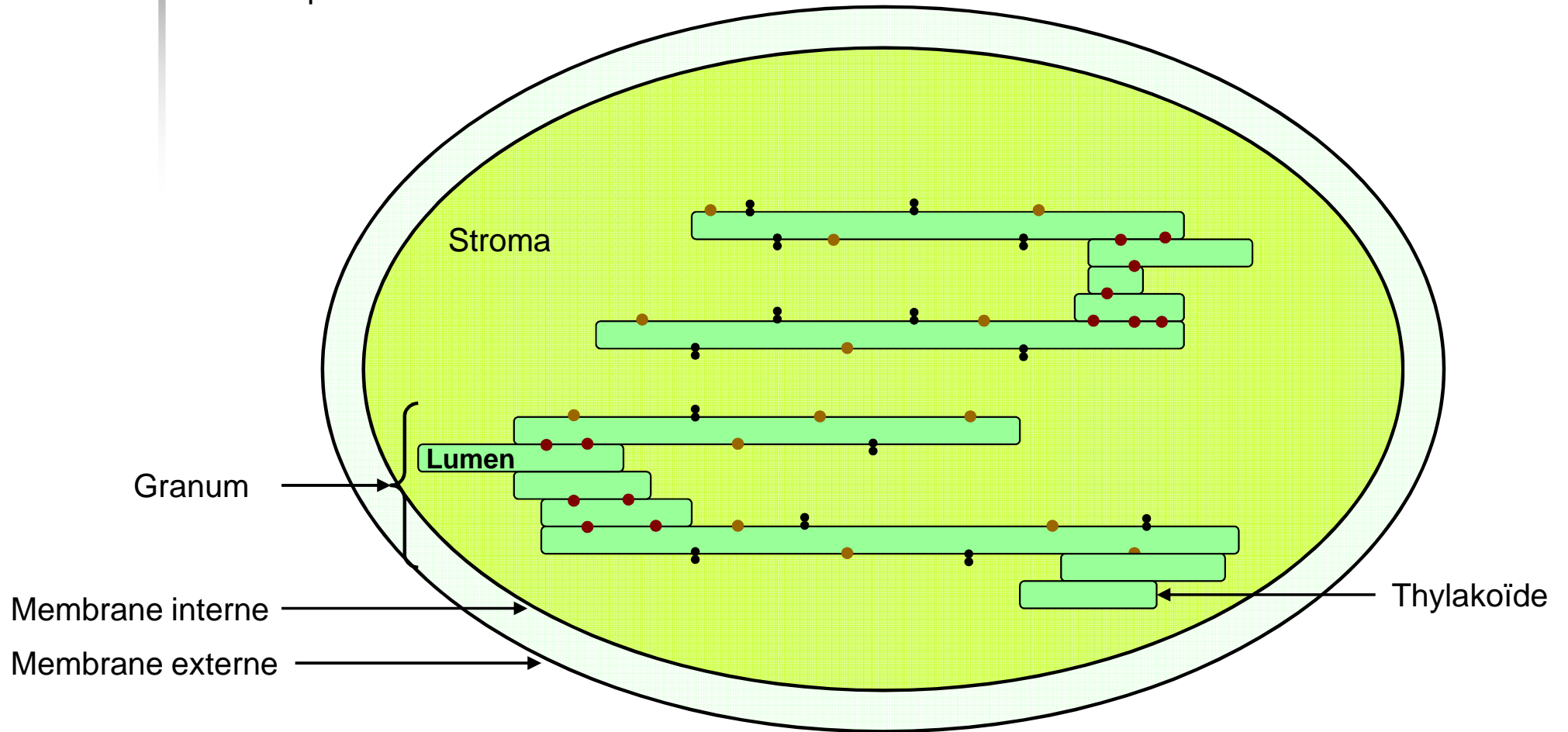
1.3 Les photosystèmes

Introduction

I- Phase photochimique

Le chloroplaste

1 à 2 μm



 Photosystèmes

Les photosystèmes au sein du chloroplaste

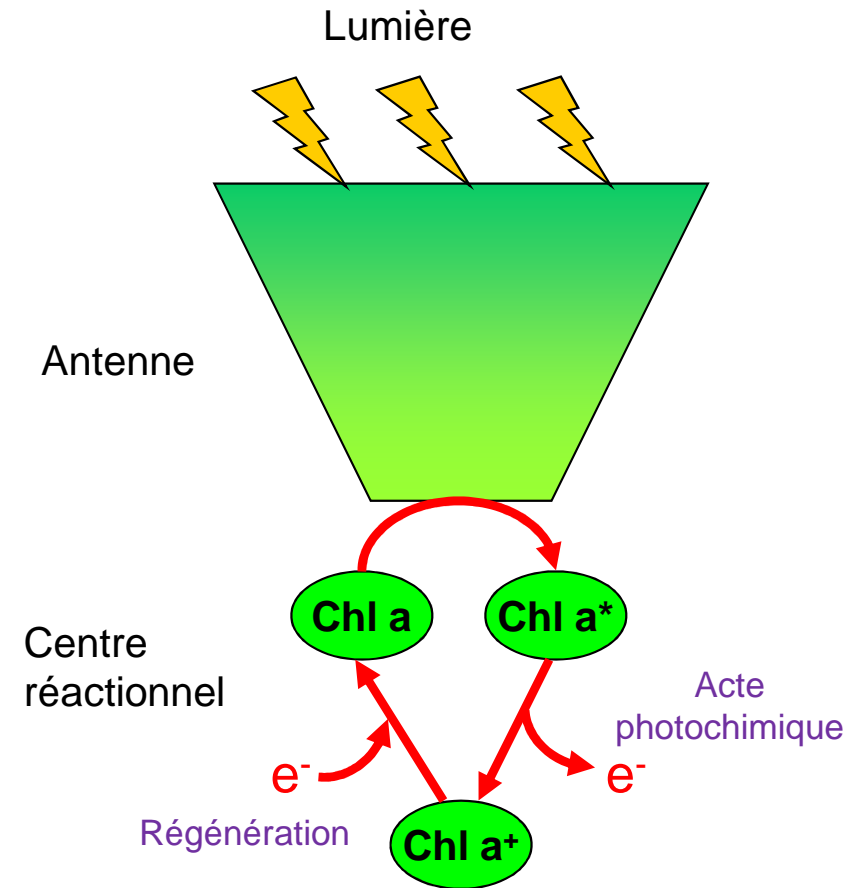
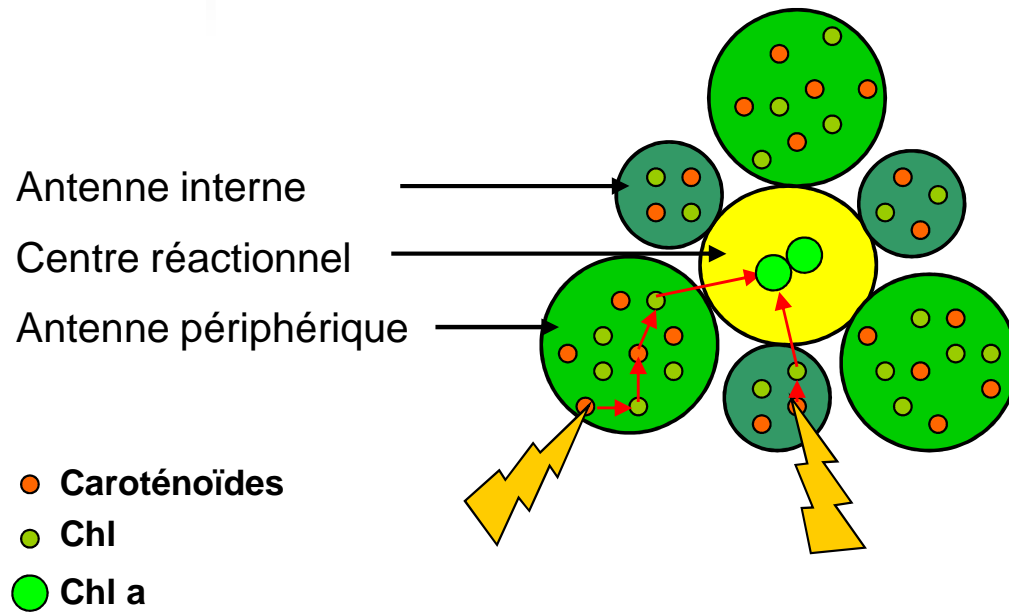
1.3 Les photosystèmes

Introduction

I- Phase photochimique

Les photosystèmes

Photosystème : Complexe de **pigments** et de **protéines**



Photosystème et captation de l'énergie lumineuse

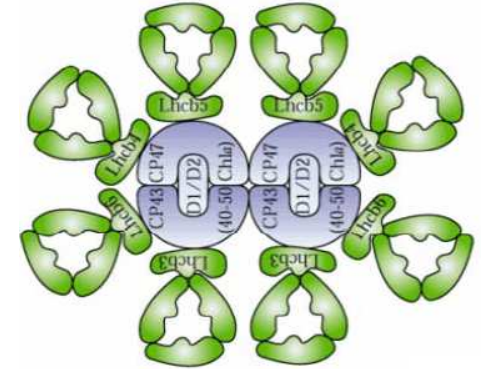
1.3 Les photosystèmes

Introduction

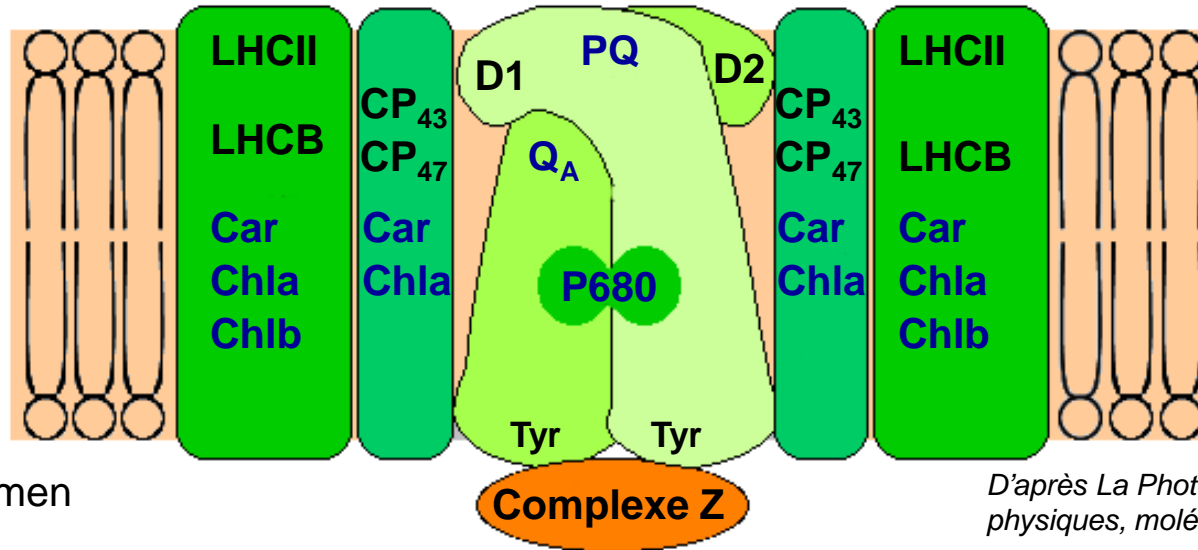
I- Phase photochimique

Le photosystème II (PSII)

Association en dimère

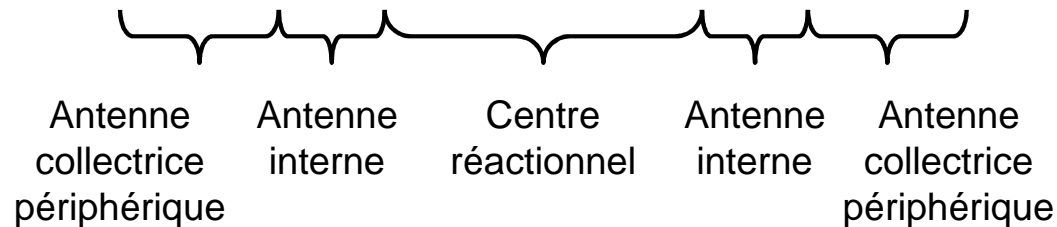


Stroma



D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

Structure du photosystème II



Pigments

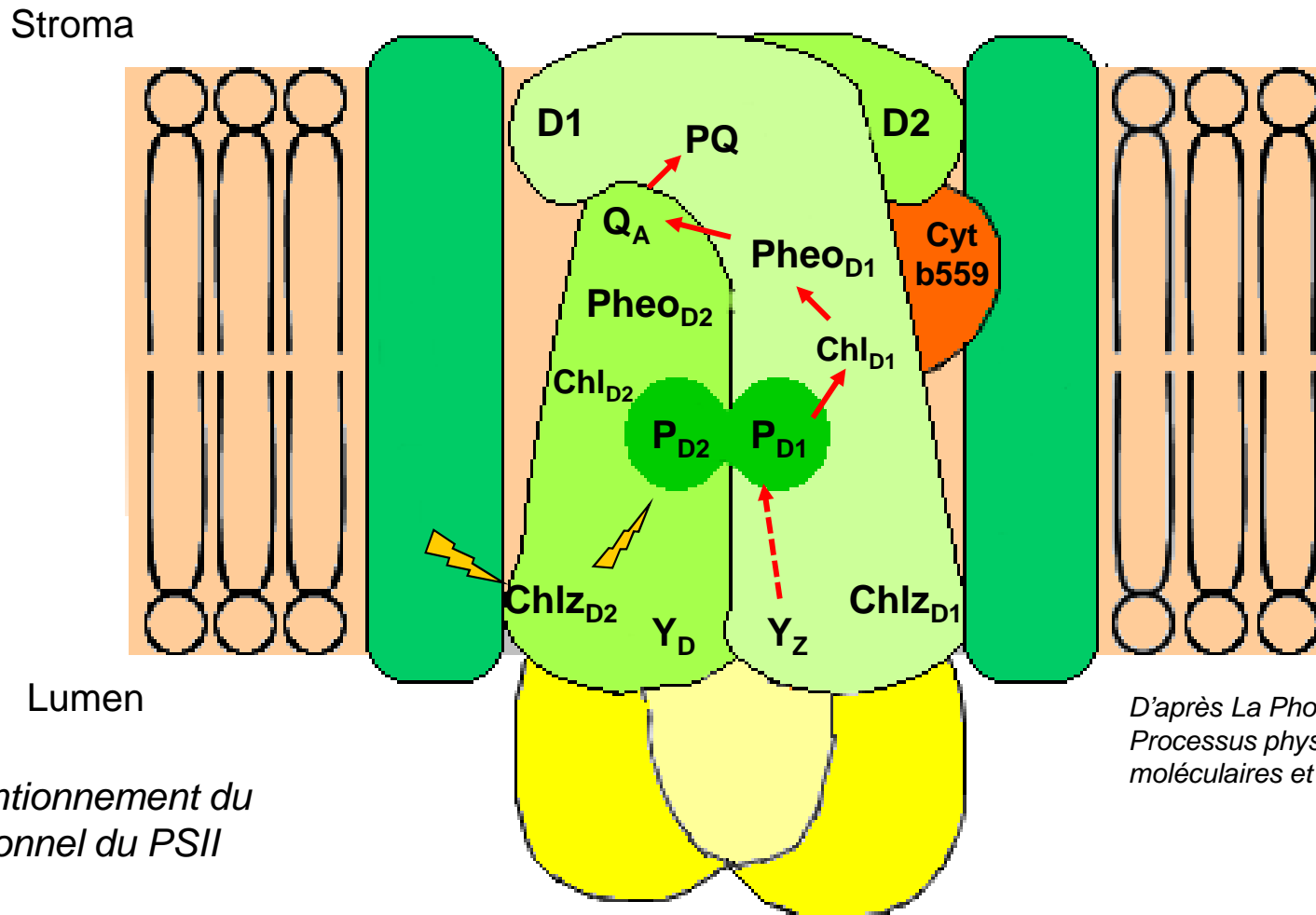
Protéine

1.3 Les photosystèmes

Introduction

I- Phase photochimique

Le centre réactionnel du PSII



D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

Structure et fonctionnement du centre réactionnel du PSII

→ Trajet des e⁻
⚡ Transfert d'excitation

Tous les intermédiaires transportent 1 e⁻ sauf Q_B

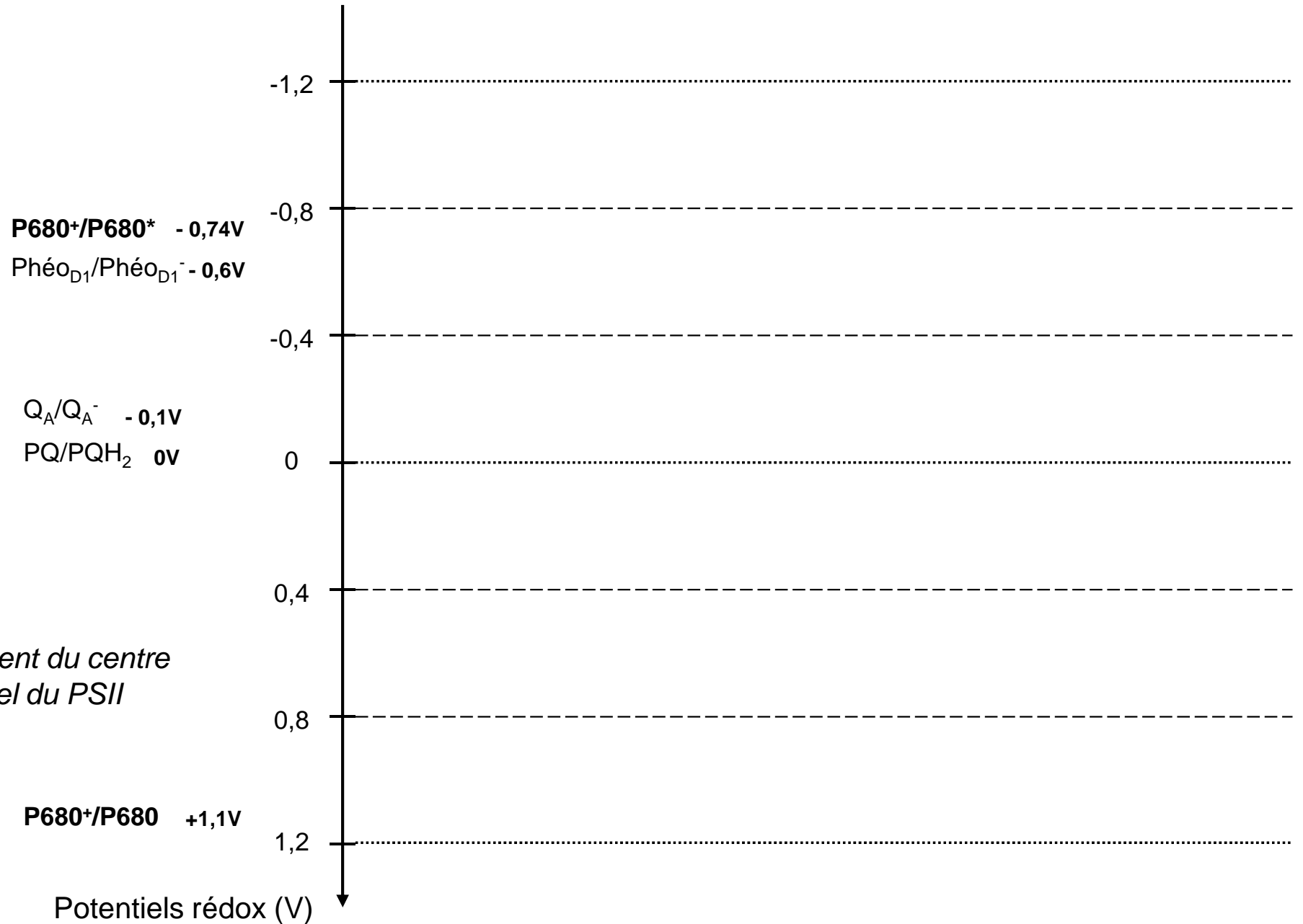
Phéophytine = chlorophylle sans Mg

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase
photochimique

Le centre réactionnel du PSII



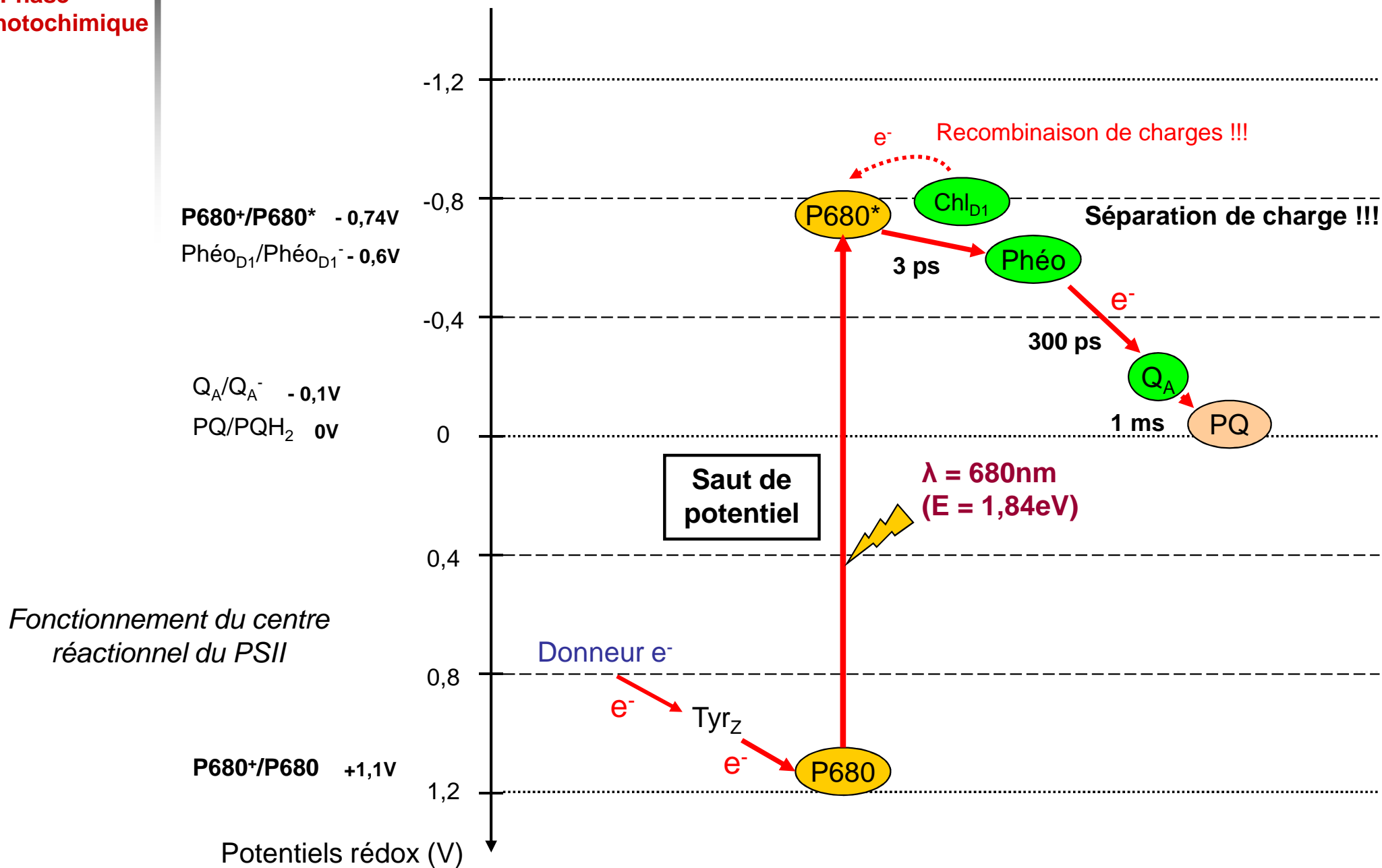
*Fonctionnement du centre
réactionnel du PSII*

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase photochimique

Le centre réactionnel du PSII

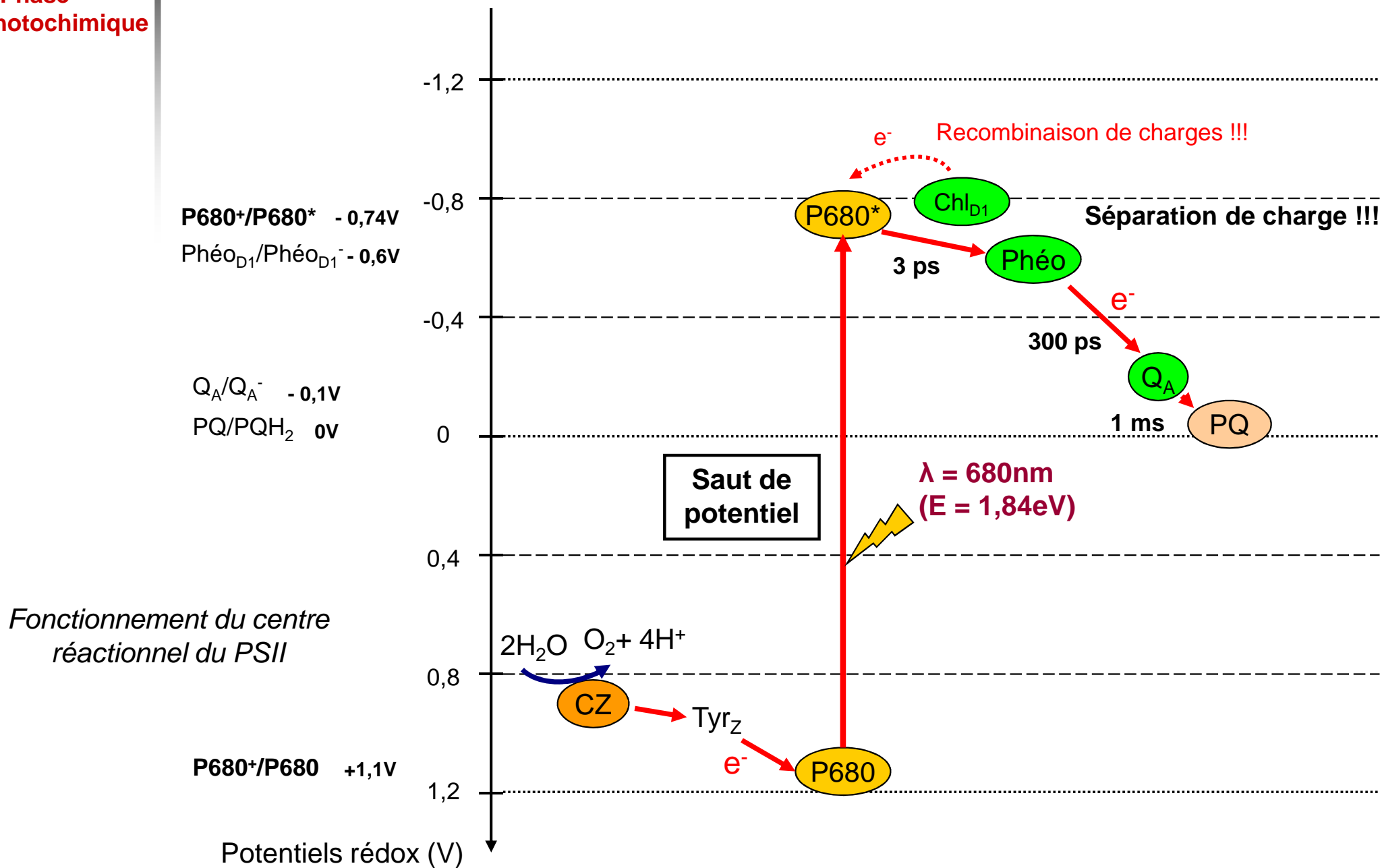


1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase photochimique

Le centre réactionnel du PSII



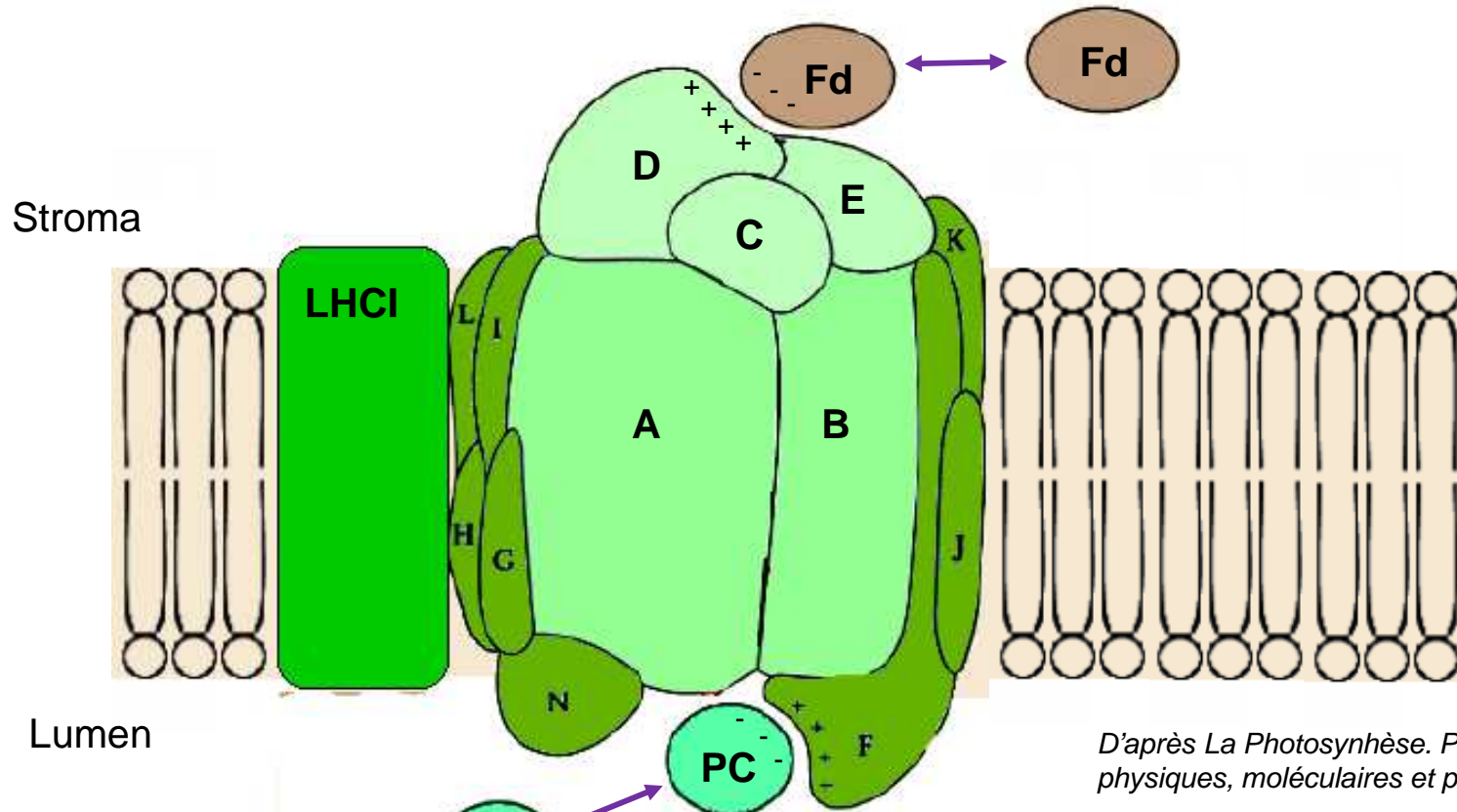
1.3. Les photosystèmes

Introduction

I- Phase photochimique

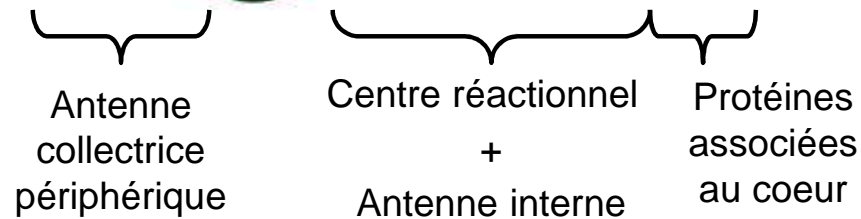
Le photosystème I

Association en trimère (grâce à L)



D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

Structure du photosystème I

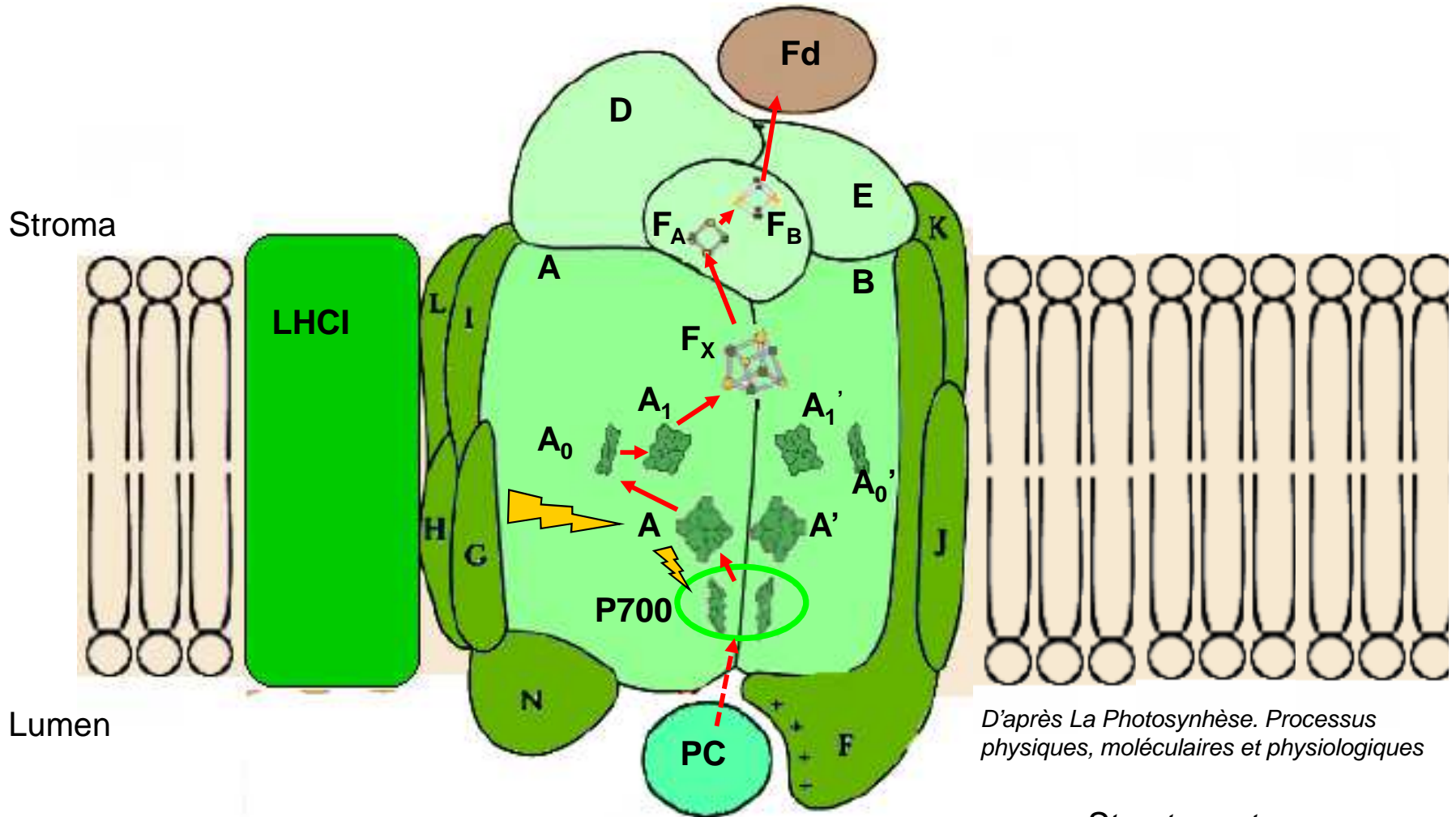


1.3. Les photosystèmes

Introduction

I- Phase photochimique

Le centre réactionnel du PSI



D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

Structure et fonctionnement du PSI

→ Trajet des e⁻

⚡ Transfert d'excitation

A₁ et A₁' : Phylloquinone

A₀ et A₀' : Chla accepteurs primaires

A et A' : Chla accessoires

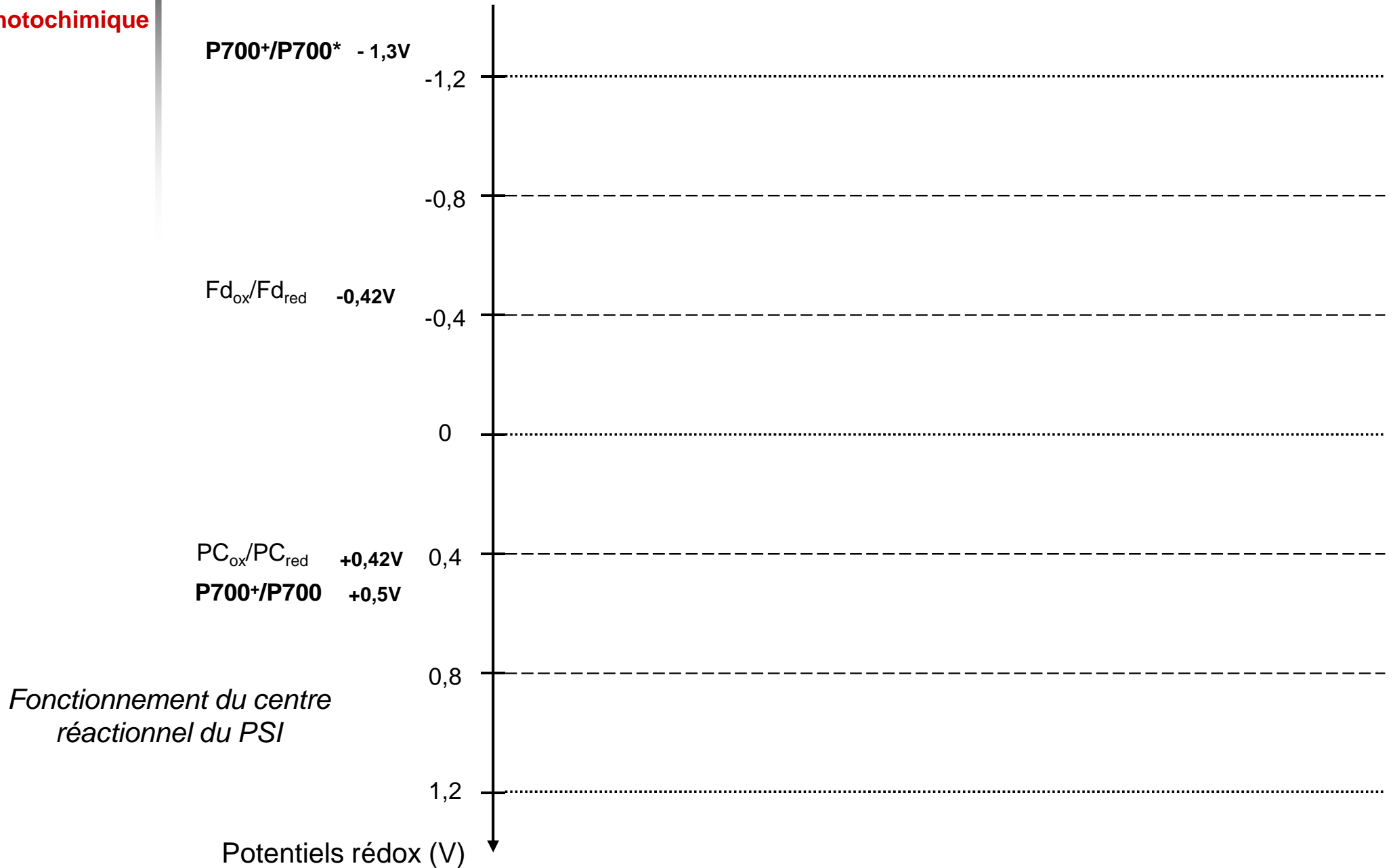
P700 : Chla de la paire spéciale

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase
photochimique

Le centre réactionnel du PSI

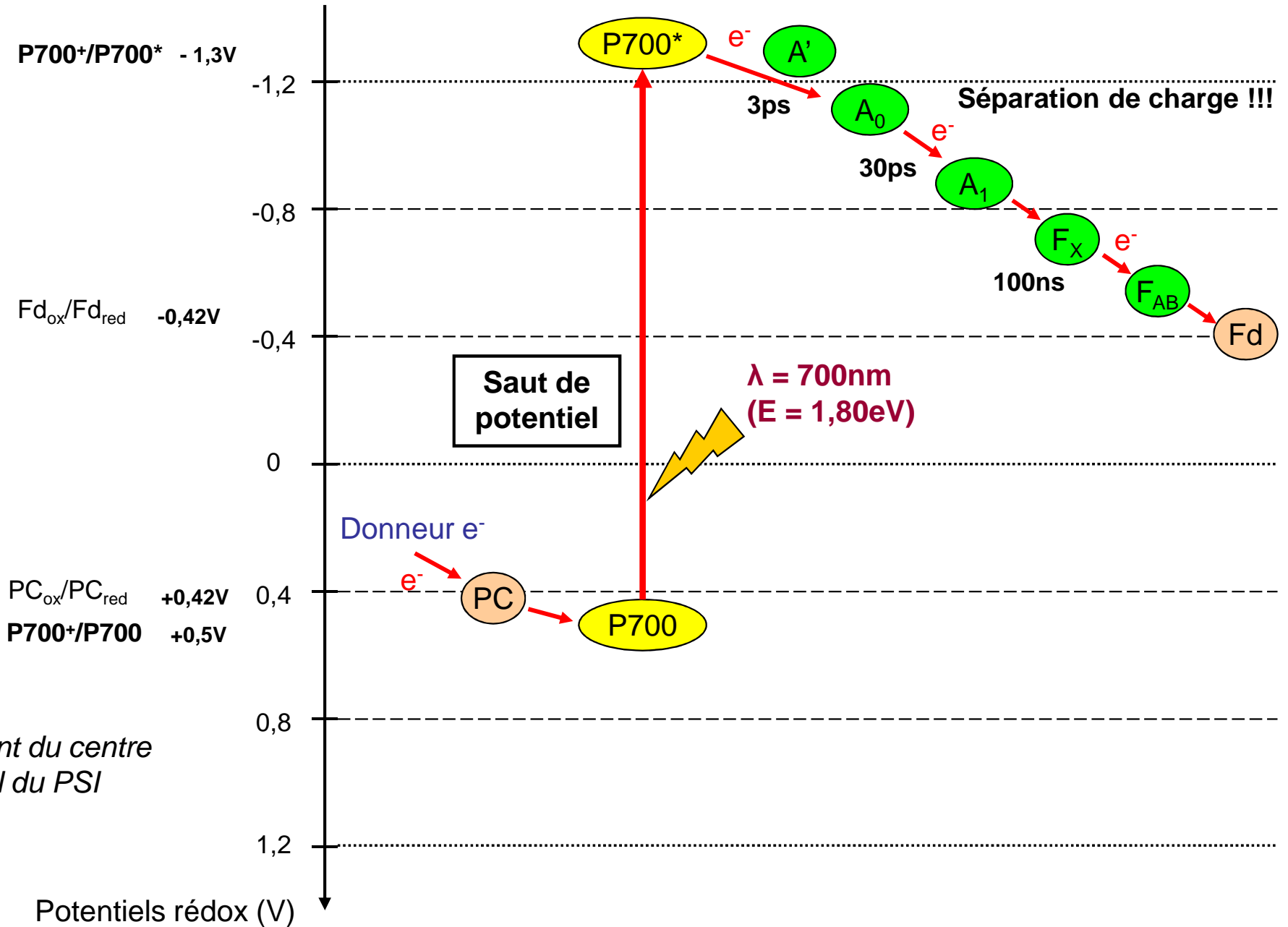


1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase
photochimique

Le centre réactionnel du PSI



1.4 La chaîne de transfert d'électrons

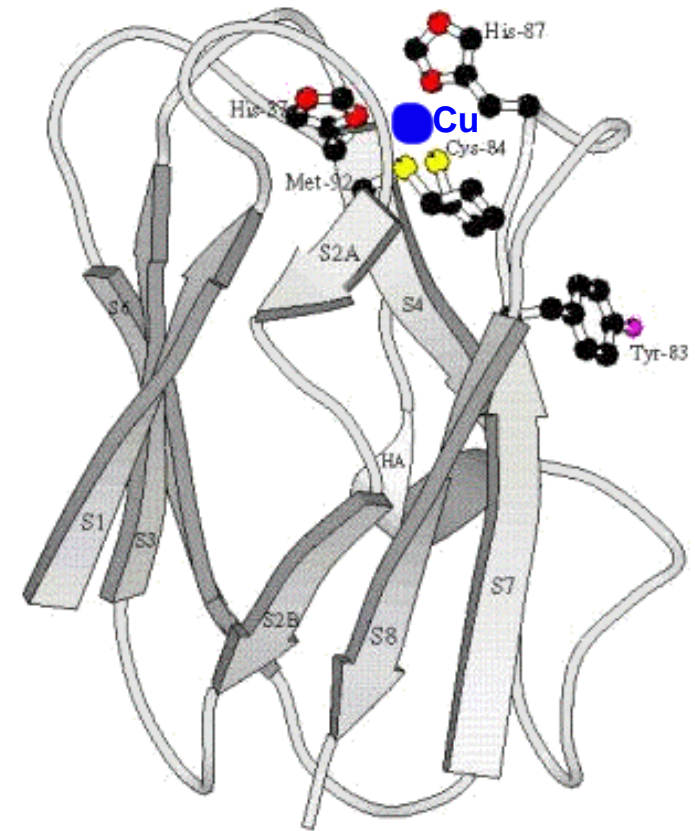
Introduction

I- Phase
photochimique

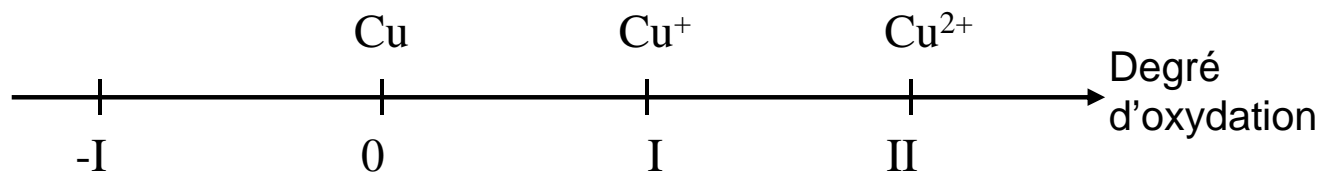
La Plastocyanine

Petite protéine 10kDa

Atome de cuivre (métal de transition)



Structure de la
plastocyanine

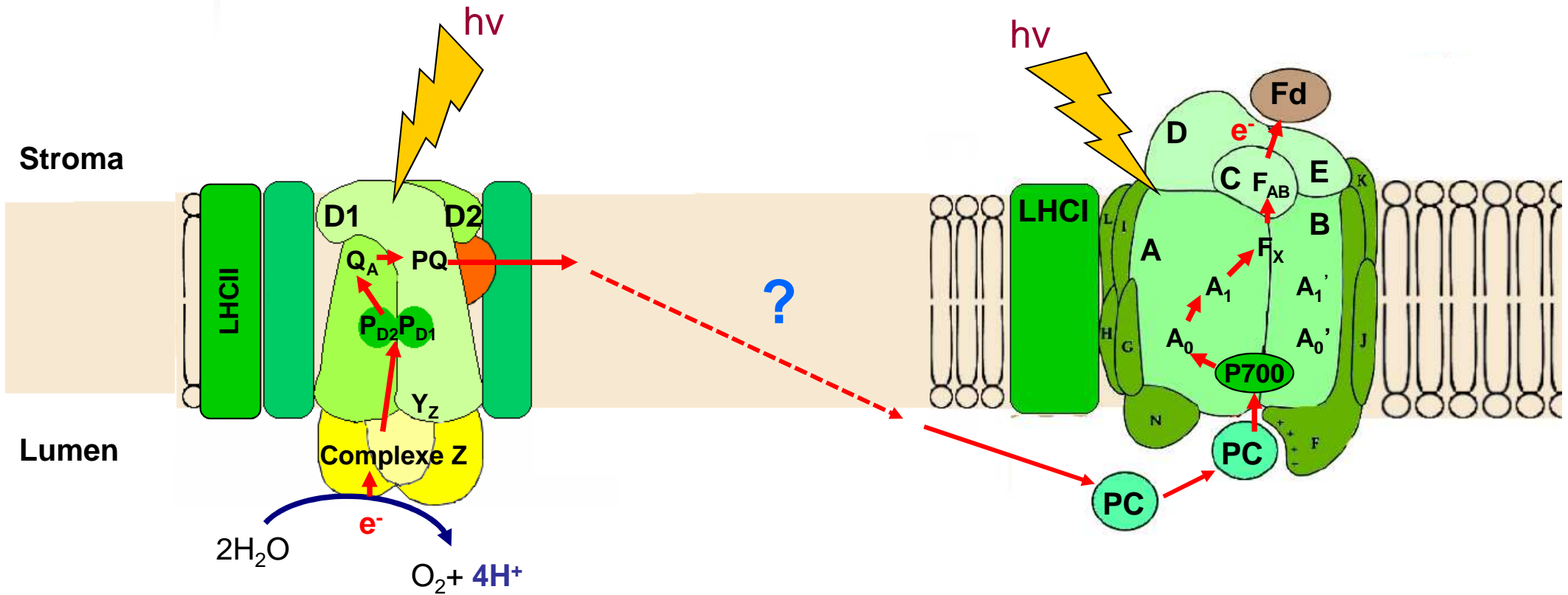


1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Des intermédiaires entre le PSII et le PSI ?

Introduction

I- Phase photochimique



→ Trajet des e^-

D'après La Photosynthèse.
Processus physiques,
moléculaires et physiologiques

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

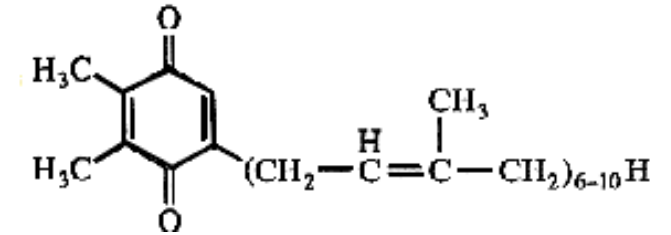
Introduction

I- Phase photochimique

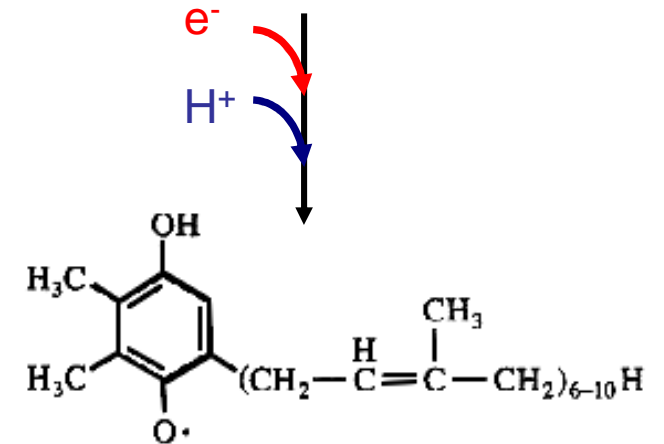
Une queue polymère d'isoprène

Les quinones

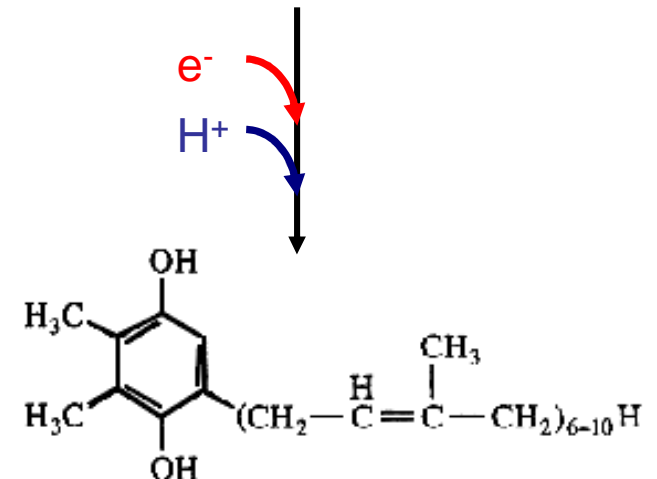
Plastoquinone (oxydée)



Semiquinone



Plastoquinol (Réduite)



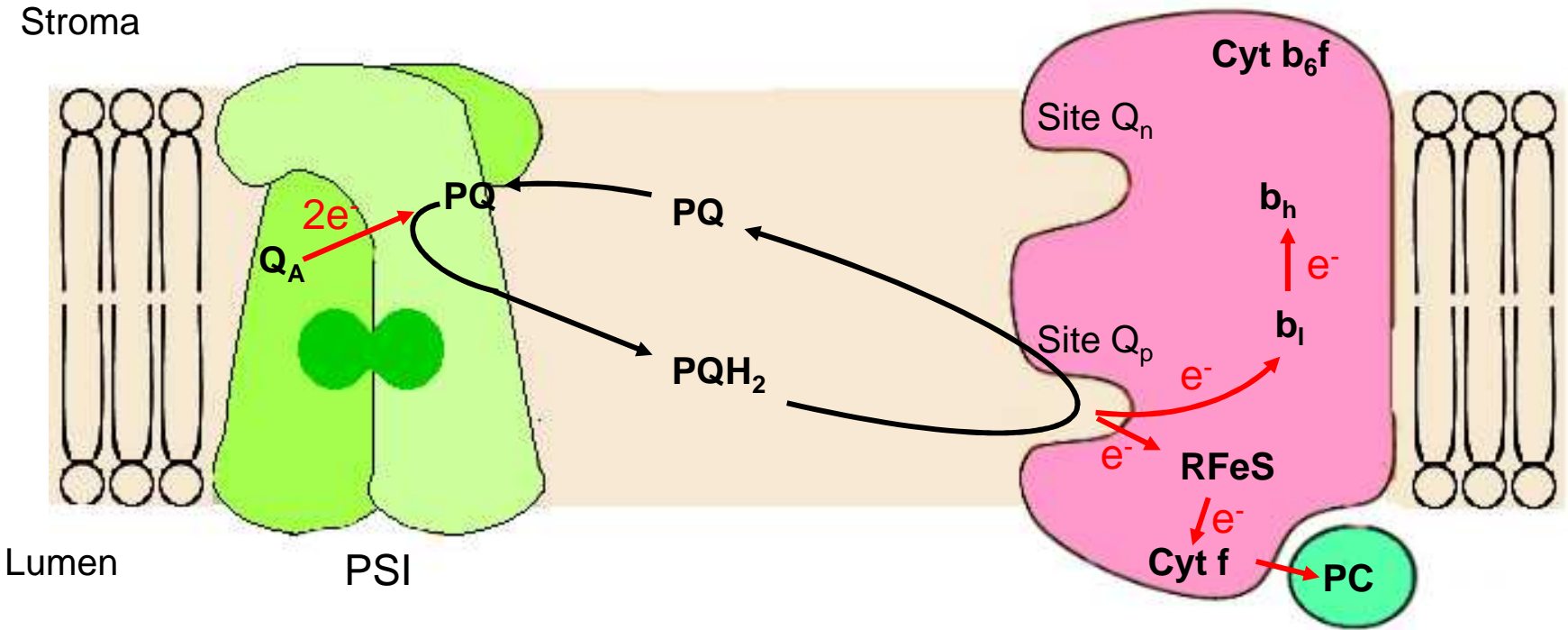
États d'oxydation des quinones

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase photochimique

Le cycle des quinones



Cycle des quinones

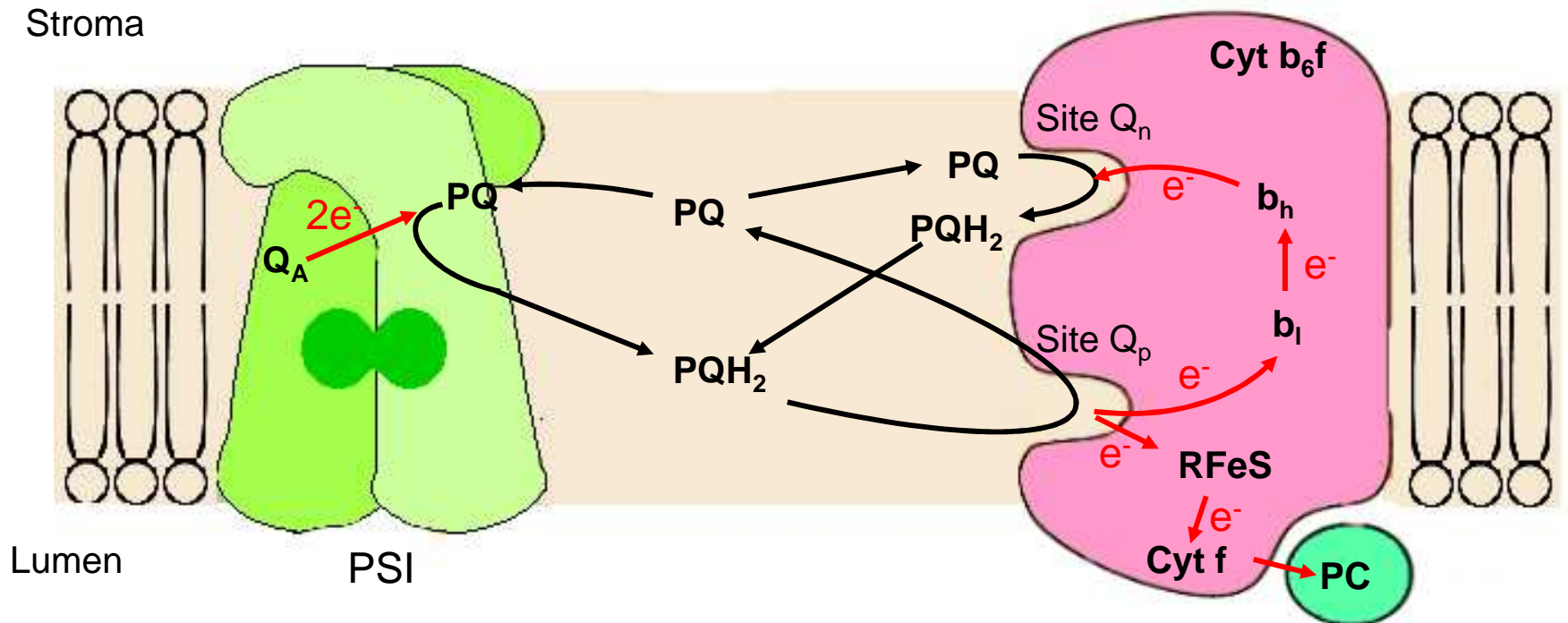
PQ se situe dans une poche dans D2

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase photochimique

Le cycle des quinones



Cycle des quinones

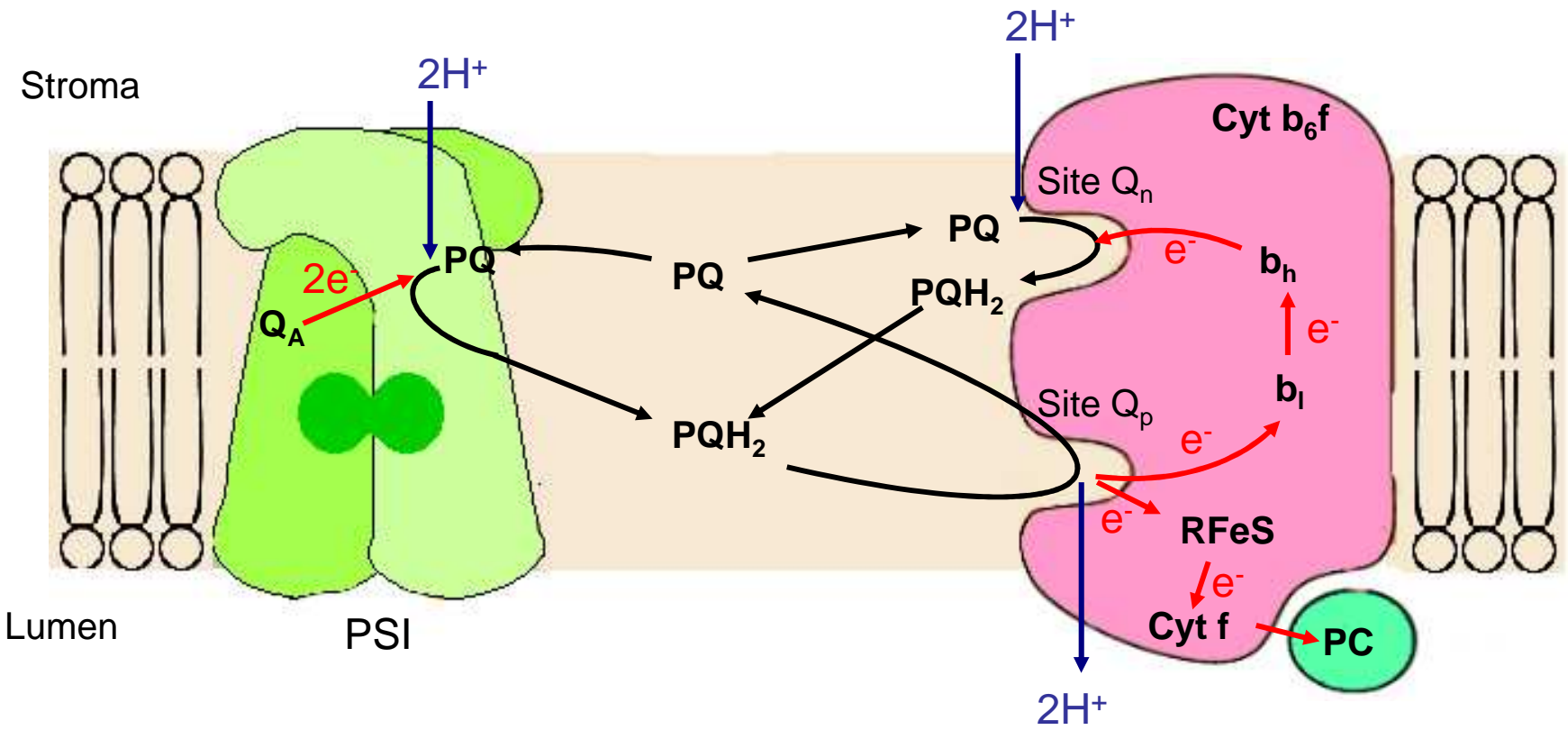
PQ se situe dans une poche dans D2

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase photochimique

Le cycle des quinones



Cycle des quinones

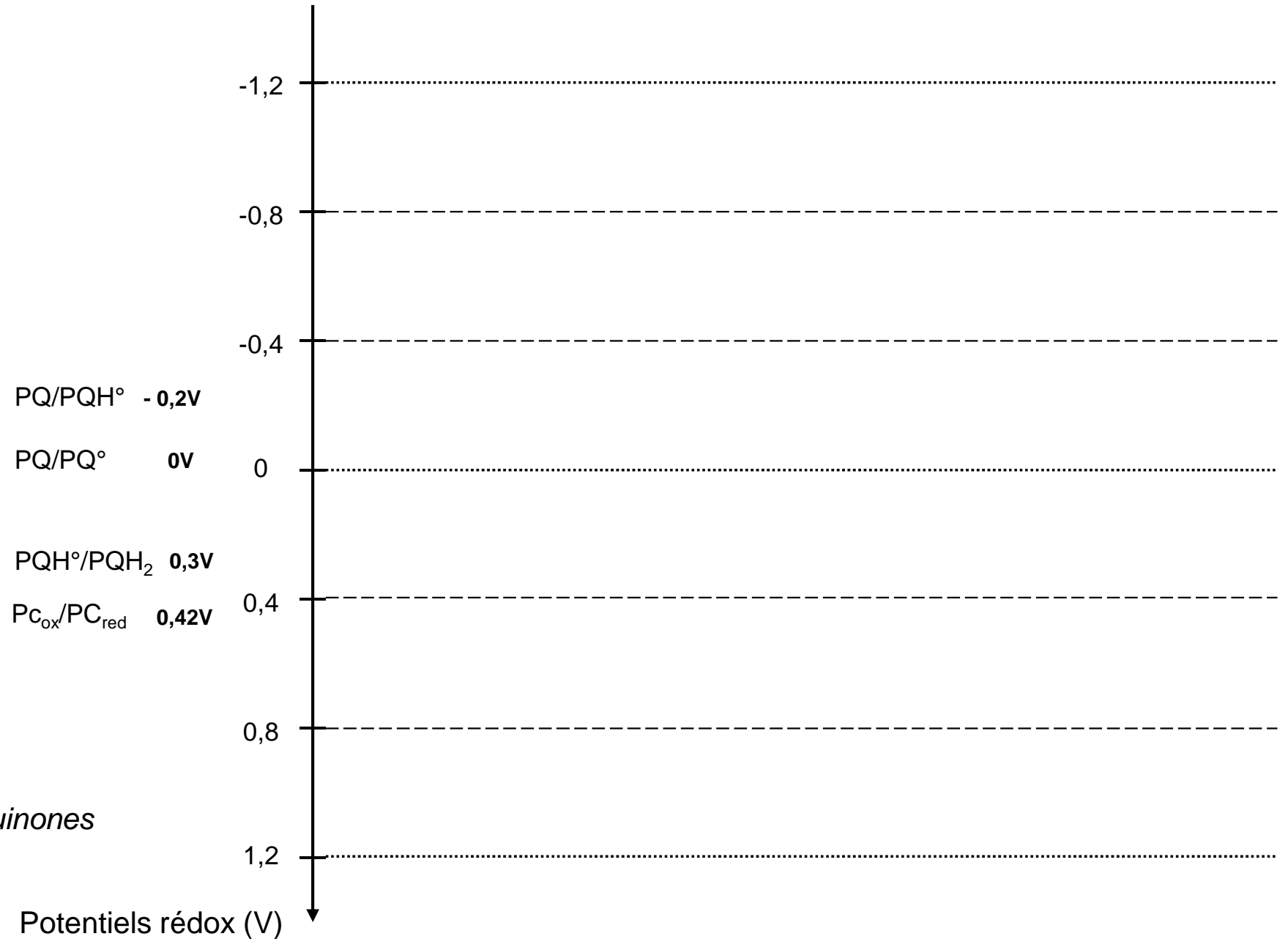
PQ se situe dans une poche dans D2

1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase
photochimique

Le cycle des quinones

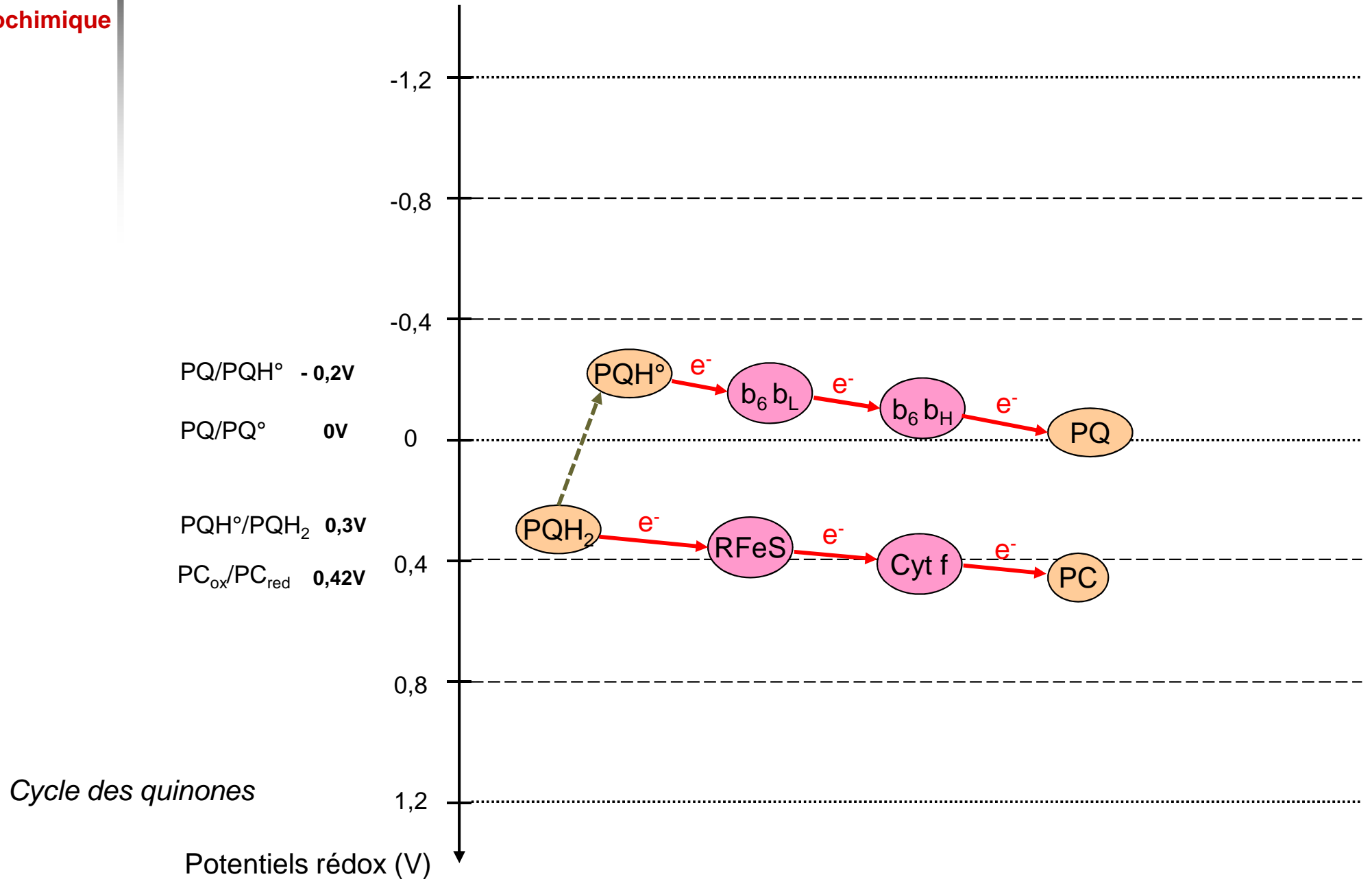


1.4 La chaîne de transfert d'électrons

Introduction

I- Phase
photochimique

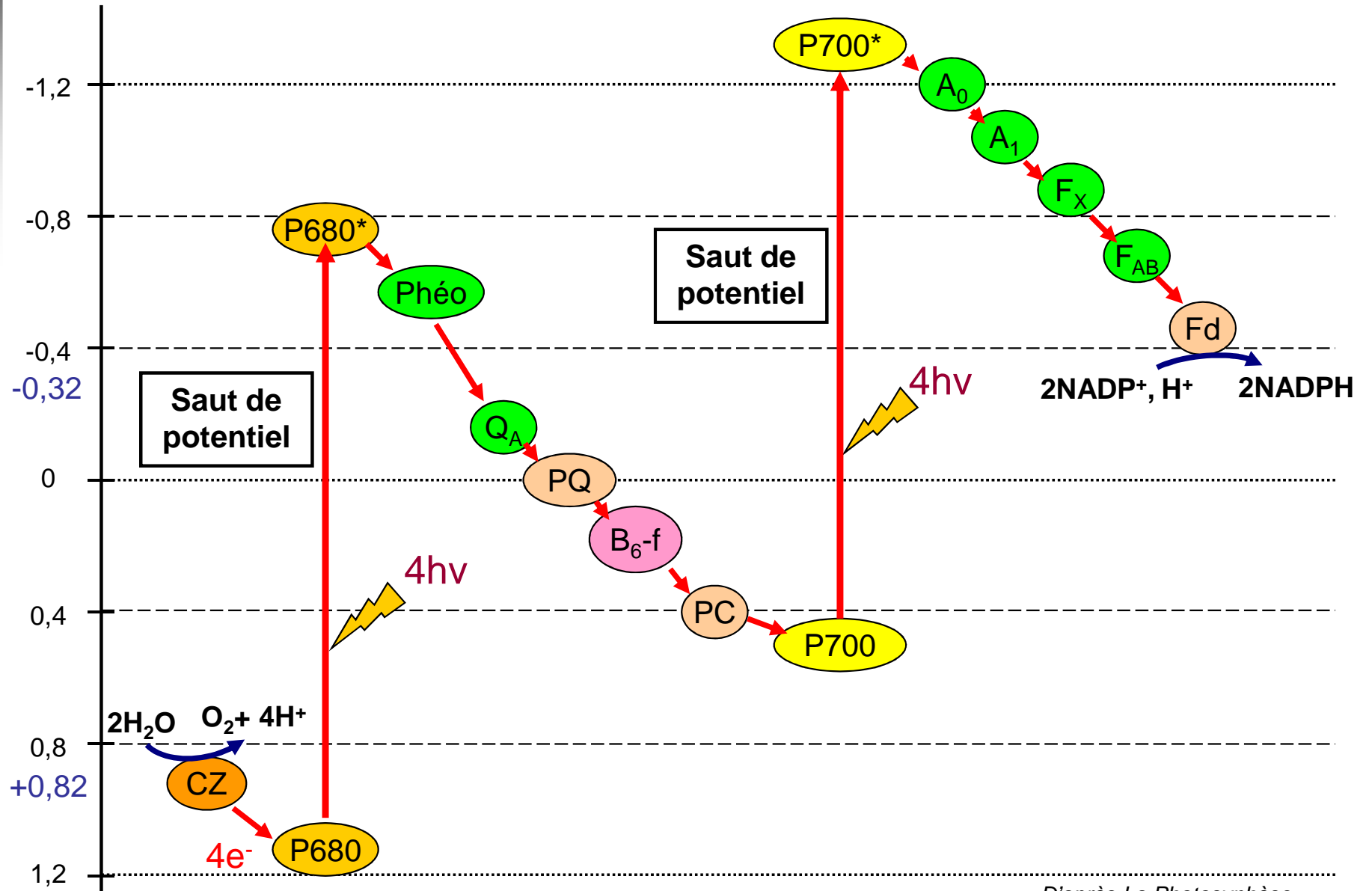
Le cycle des quinones



Introduction

I- Phase photochimique

La synthèse de pouvoir réducteur



Potentiels rédox (V)

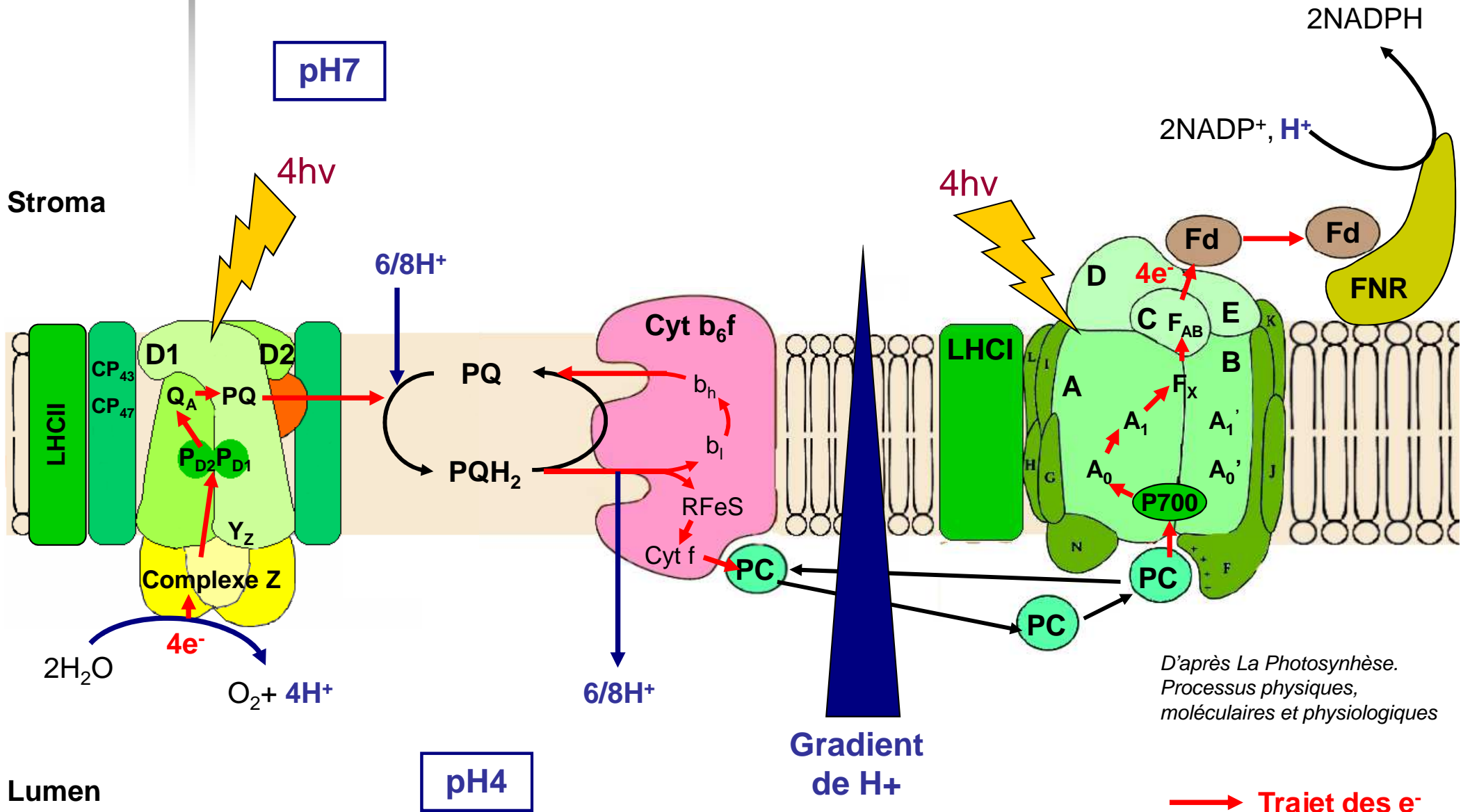
D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

1.5 Bilan

La synthèse de pouvoir réducteur

Introduction

I- Phase photochimique



1.5 Bilan

Le transport cyclique des électrons

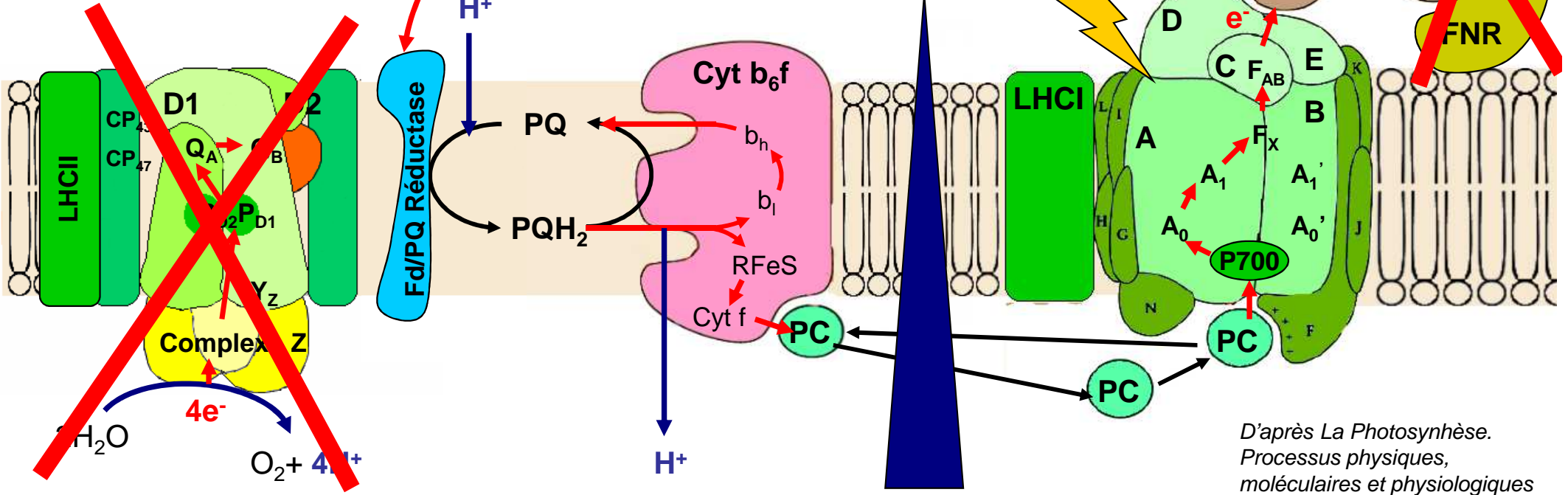
Introduction

I- Phase photochimique

pH7

Transport cyclique

Stroma



D'après La Photosynthèse. Processus physiques, moléculaires et physiologiques

Lumen

pH4

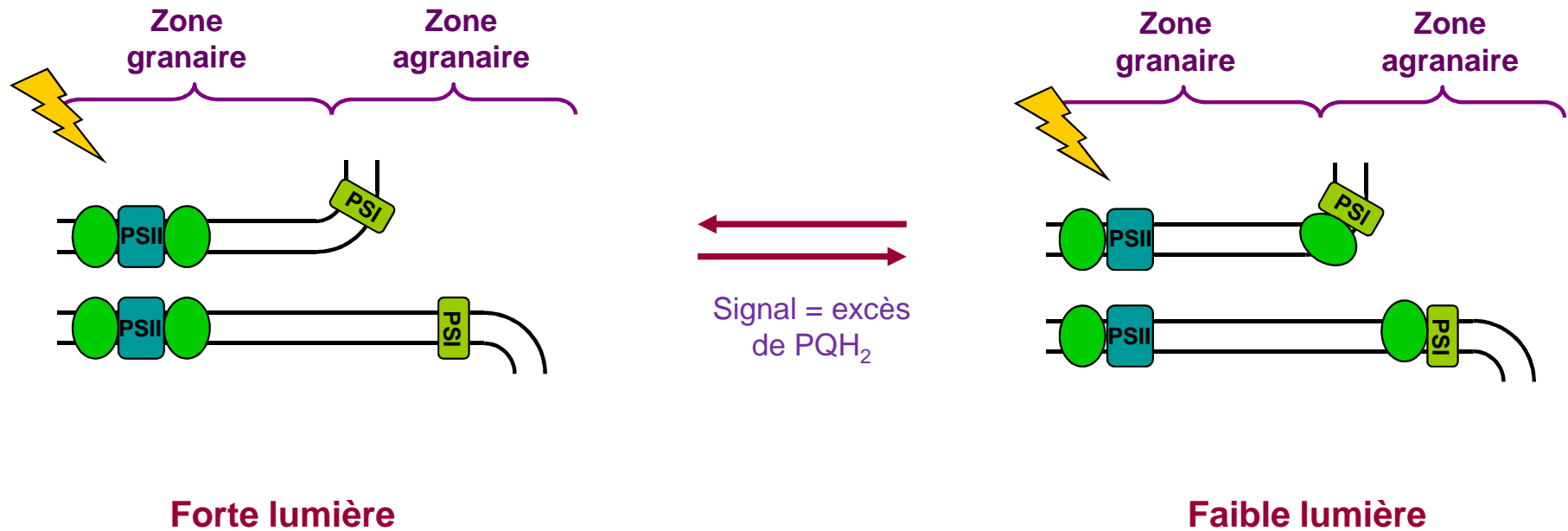
Gradient de H+

→ Trajet des e⁻

Introduction

I- Phase
photochimique

Régulation de la capture de l'énergie lumineuse



Rendement

Énergie utilisée pour transférer 1 électron du P680 au NADP⁺ :

- 1 photon pour exciter le P680 (1,84eV)
 - 1 photon pour exciter le P700 (1,79eV)
- } 3,63 V

Énergie nécessaire pour transférer 1 électron du P680 au NADP⁺ :

- $1,1 - (-0,32) = 1,42V$

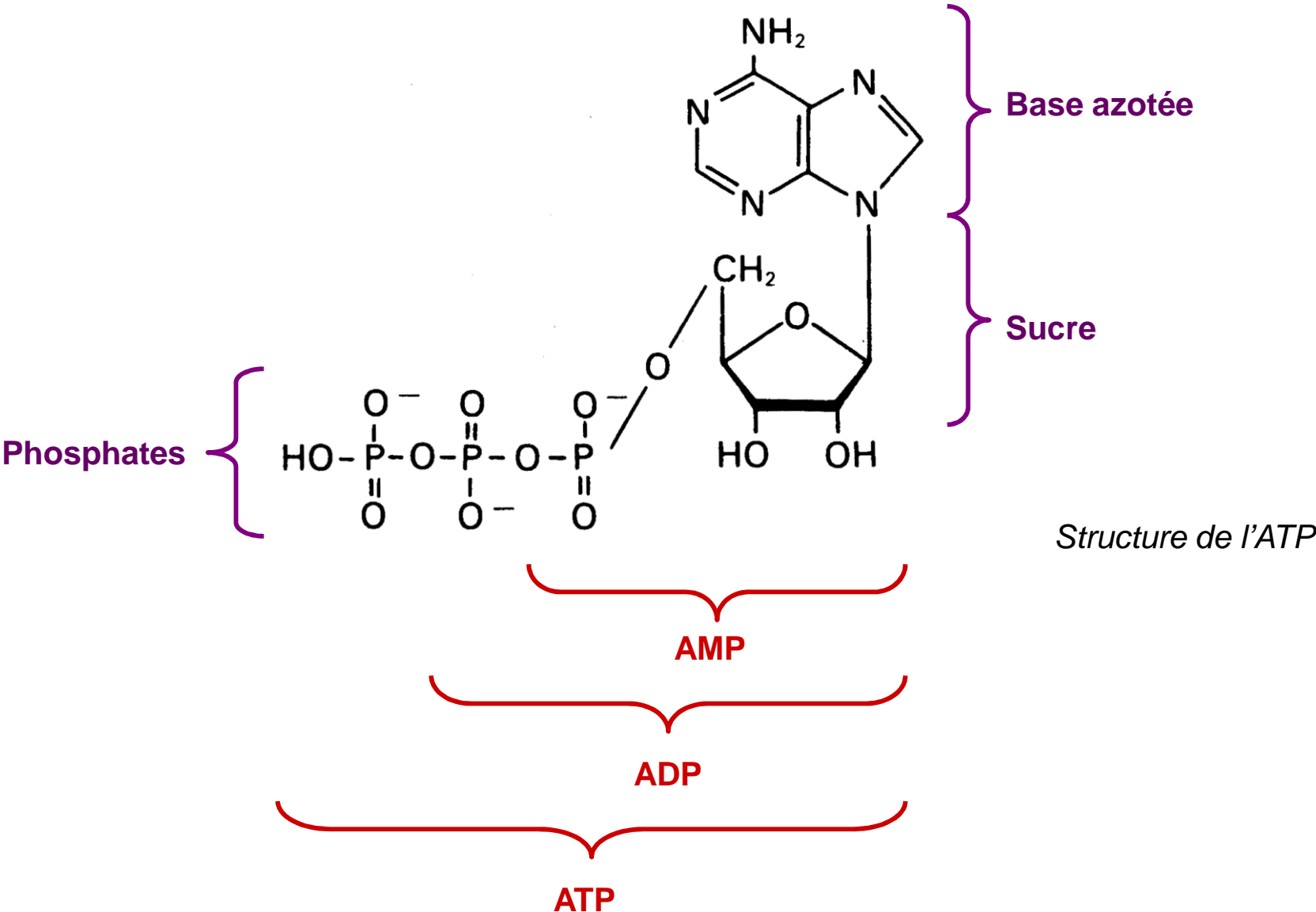
➡ Rendement : $1,42/3,63 = 39\%$

1.6 La synthèse d'ATP

Introduction

I- Phase photochimique

L'ATP



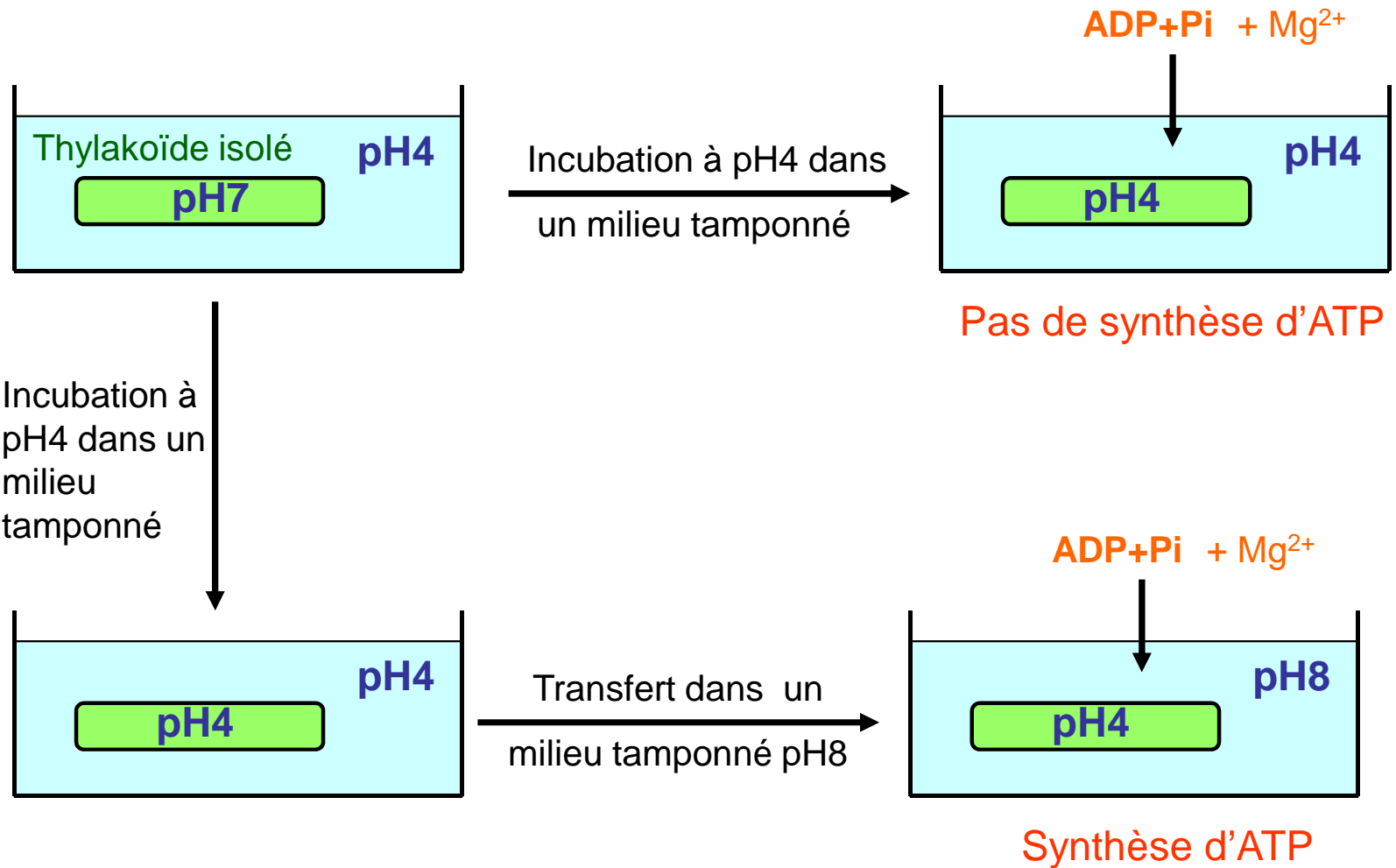
1.6 La synthèse d'ATP

Introduction

I- Phase photochimique

Synthèse d'ATP

Exp de Jagendorf et Uribe (1966)



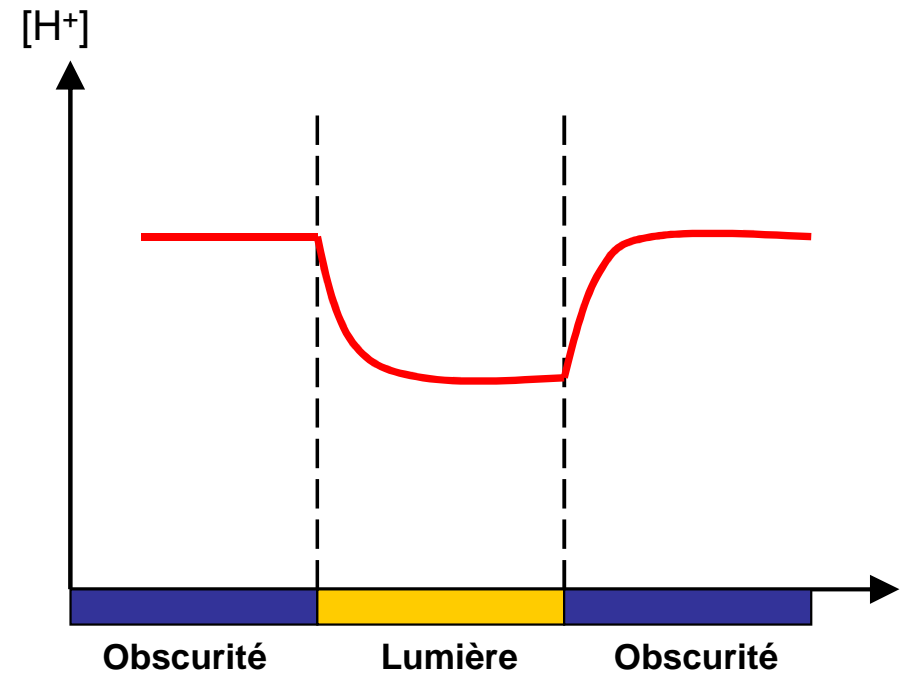
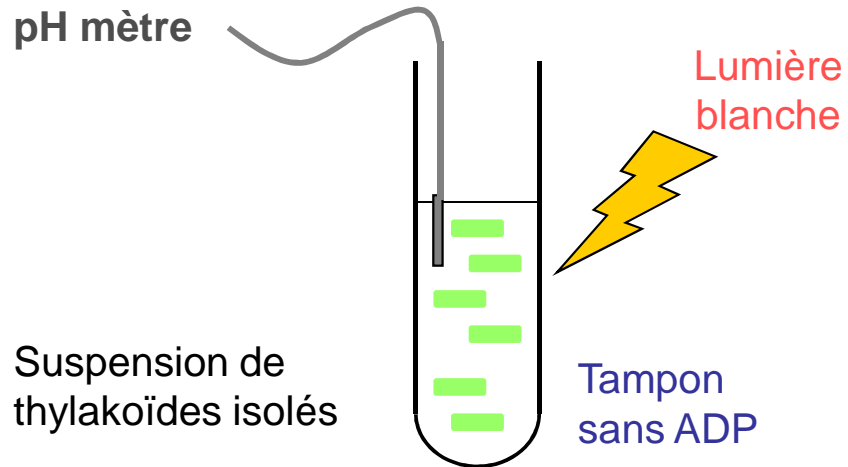
1.6 La synthèse d'ATP

Introduction

I- Phase
photochimique

Synthèse d'ATP

Exp :



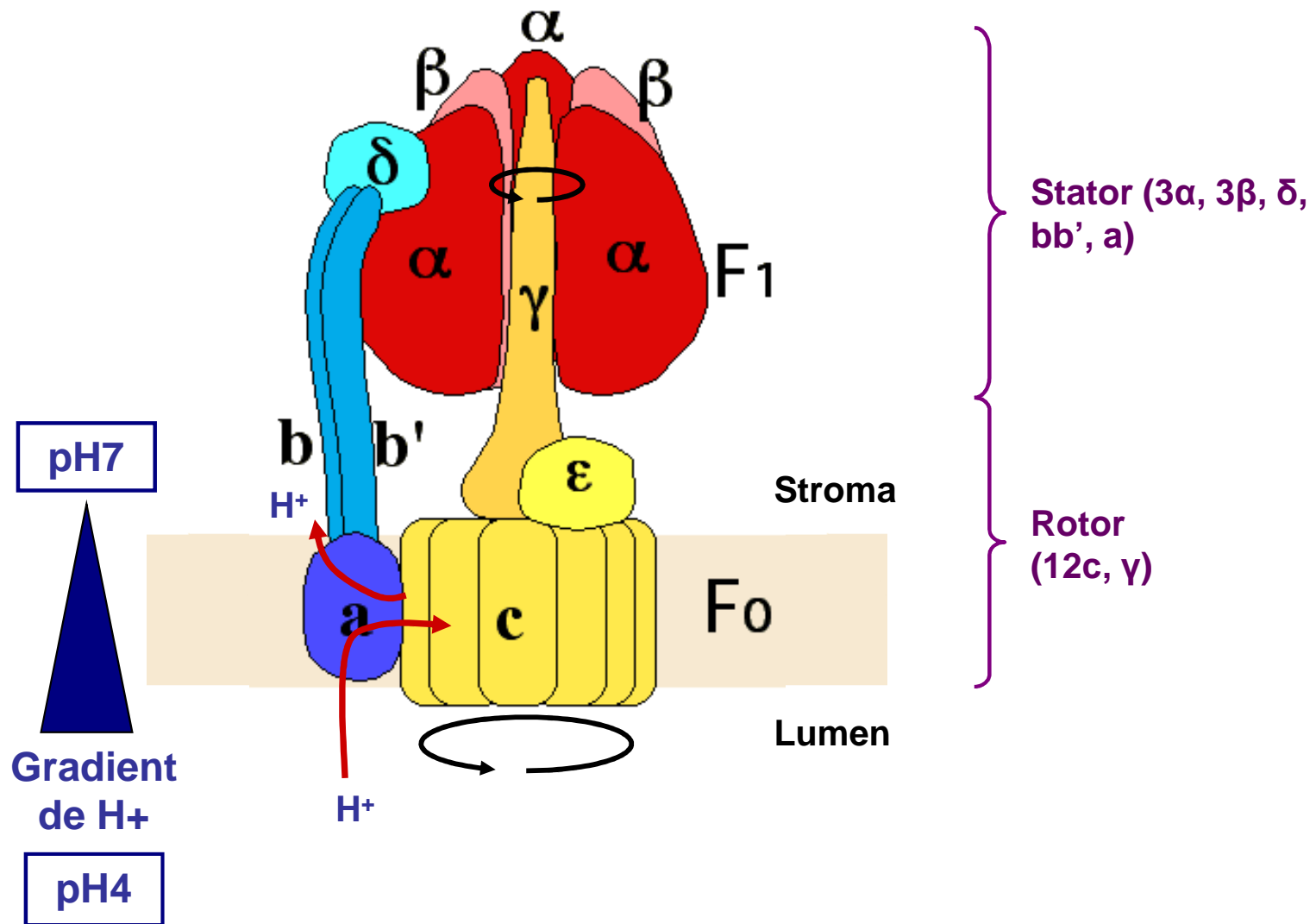
La $[H^+]$ chute à la lumière

1.6 La synthèse d'ATP

Introduction

I- Phase
photochimique

L'ATP synthase



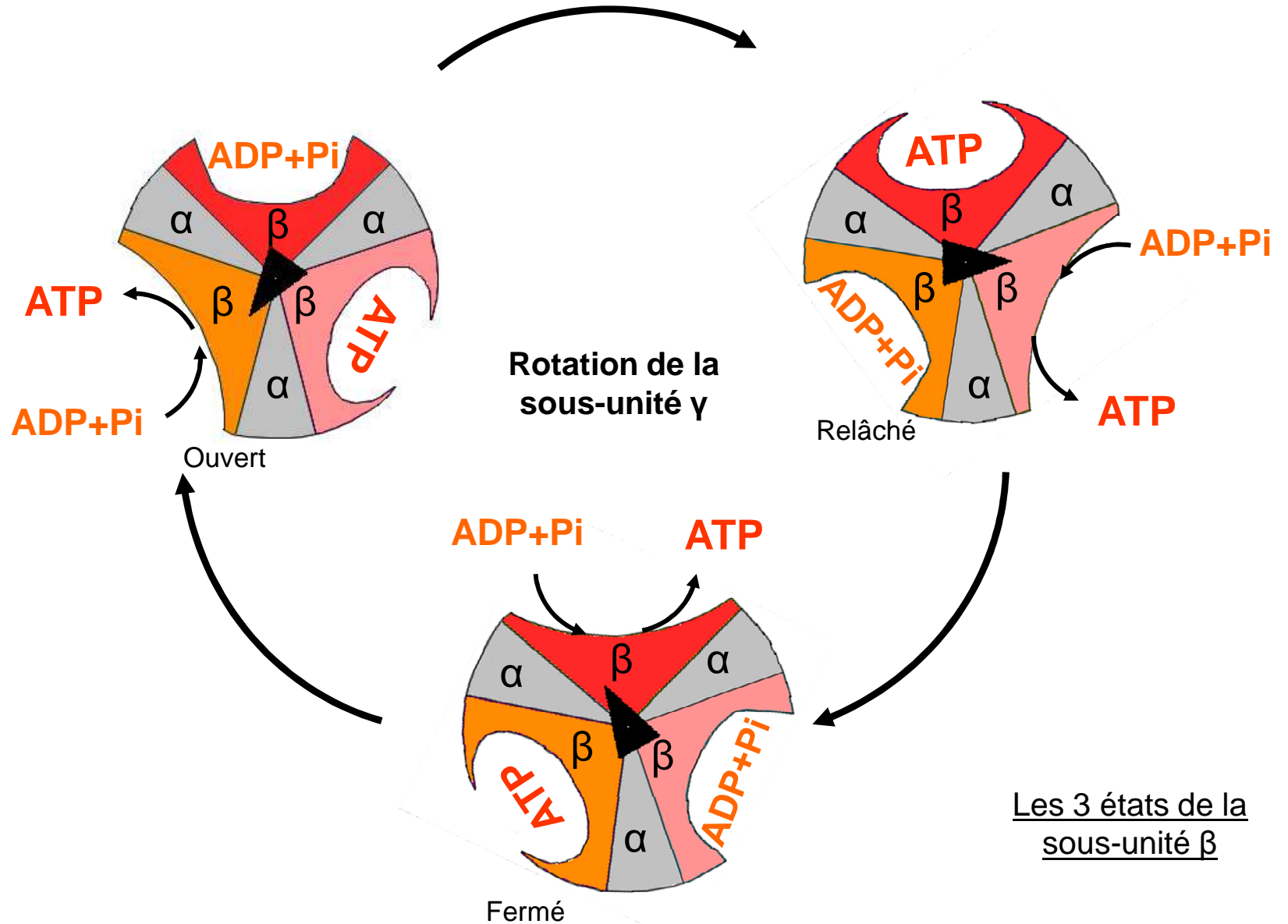
Flux de H⁺ à travers l'ATP synthase

1.6 La synthèse d'ATP

Introduction

I- Phase photochimique

Synthèse d'ATP



D'après La Photosynthèse.
Processus physiques,
moléculaires et physiologiques

1.6 La synthèse d'ATP

Introduction

I- Phase
photochimique

Synthèse d'ATP

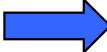
Rendement

1 ATP nécessite 3 à 4H⁺

Transfert d'e⁻ acyclique :
(pour 1H₂O soit 4e⁻ transférés)

4 H⁺ venant de H₂O

6/8 H⁺ venant des plastoquinones (par H₂O)

 2,5 à 3 ATP

I- Phase photochimique

Introduction

I- Phase
photochimique

Rendement

Énergie utilisée pour transférer 1 électron du P680 au NADP⁺ :

$$\begin{array}{l} - 1 \text{ photon pour exciter le P680 (1,84eV)} \\ - 1 \text{ photon pour exciter le P700 (1,79eV)} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} - 1 \text{ photon pour exciter le P680 (1,84eV)} \\ - 1 \text{ photon pour exciter le P700 (1,79eV)} \end{array}} \right\} 3,63V \quad \Delta_r G^{0'} = -350\text{kJ/mol}$$

Énergie nécessaire pour transférer 1 électron du P680 au NADP⁺ :

$$- 1,1 - (-0,32) = 1,42V \quad \Delta_r G^{0'} = 140\text{kJ/mol}$$

➡ Rendement : $1,42/3,63 = 39\%$

Énergie générée par la synthèse d'ATP lors du transfert d'1 électron du P680 au NADP⁺ :

$$- \text{Soit } 2,5 \text{ H}^+ \text{ transféré vers le lumen} = 2/3 \text{ ATP} \quad \Delta_r G^{0'} = 22\text{kJ/mol}$$

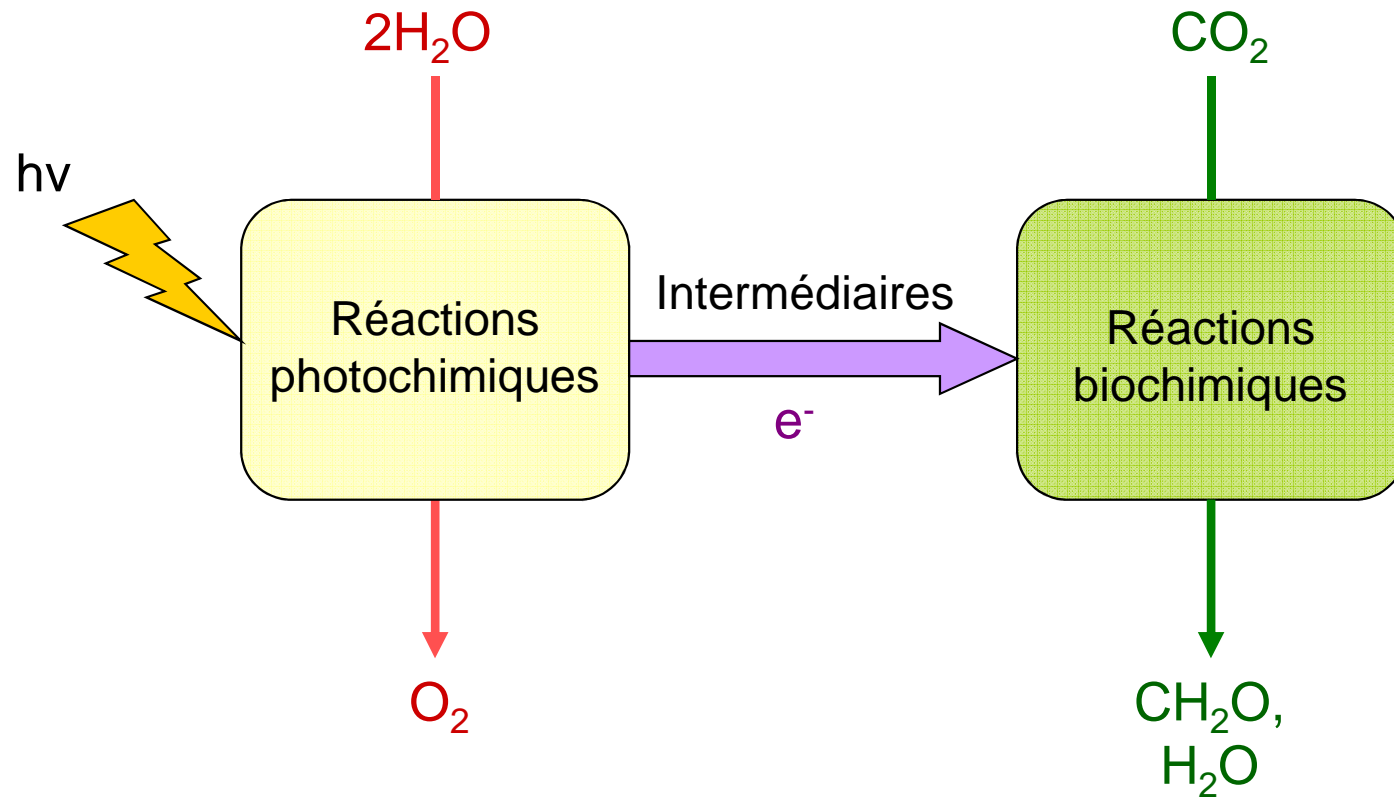
➡ Rendement total : **48%**

Les deux phases de la photosynthèse

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique



2.1 Expériences historiques

Introduction

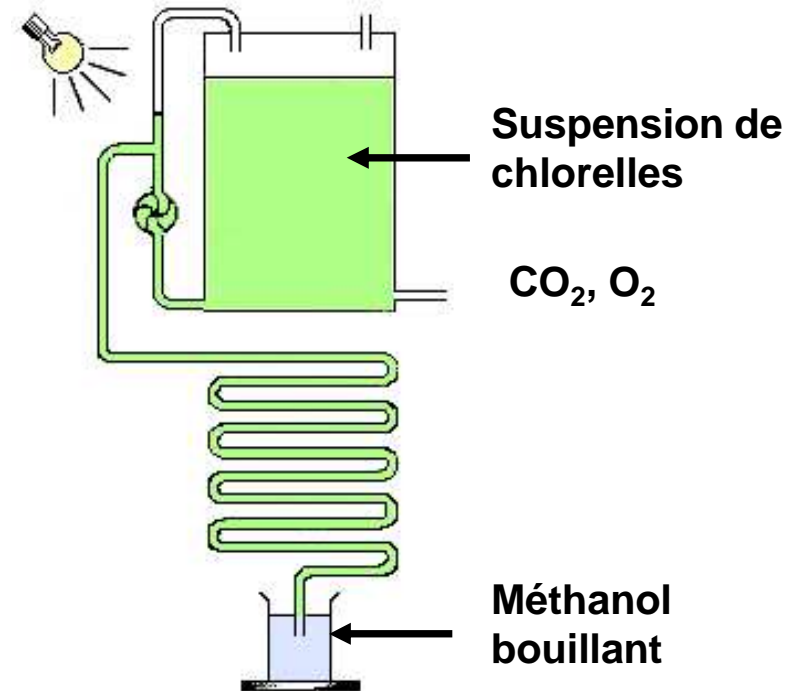
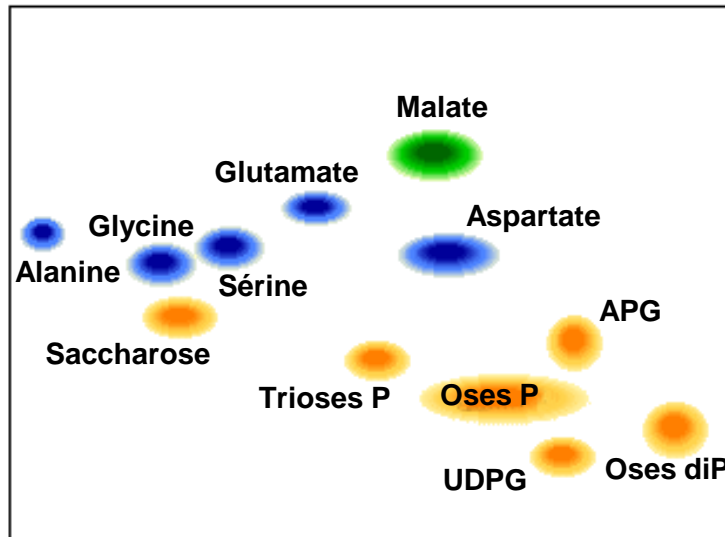
I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Cycle de Calvin

Exp de Calvin (1952)

- Fixation au méthanol bouillant
- Analyse par chromatographie bidimensionnelle



Chromatographie bidimensionnelle
(schéma récapitulatif théorique)

2.1 Expériences historiques

Introduction

I- Phase photochimique

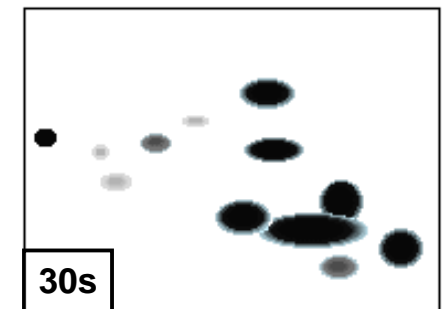
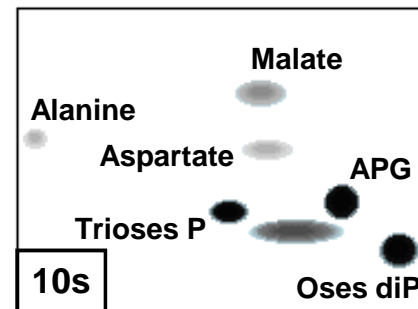
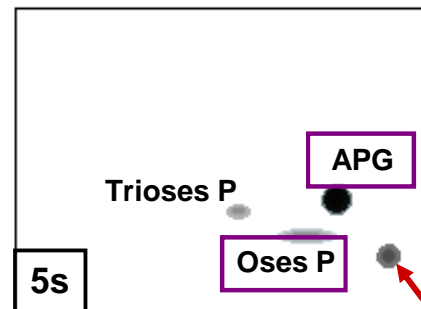
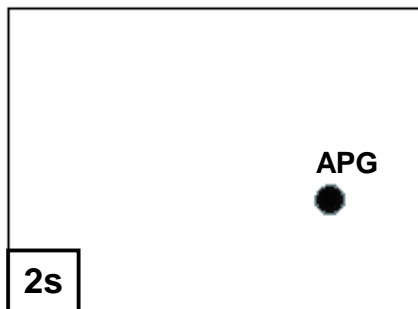
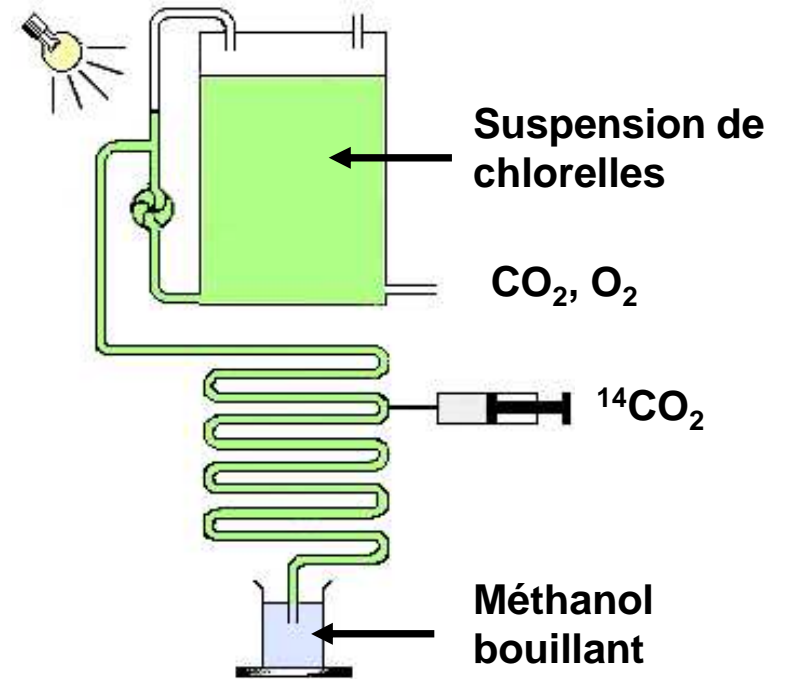
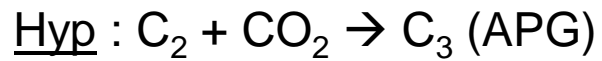
II- Phase biochimique

Cycle de Calvin

Exp de Calvin (1952)

- Chromatogramme 2D placé contre un film photographique et révélé

1^{er} composé formé : APG



2.1 Expériences historiques

Introduction

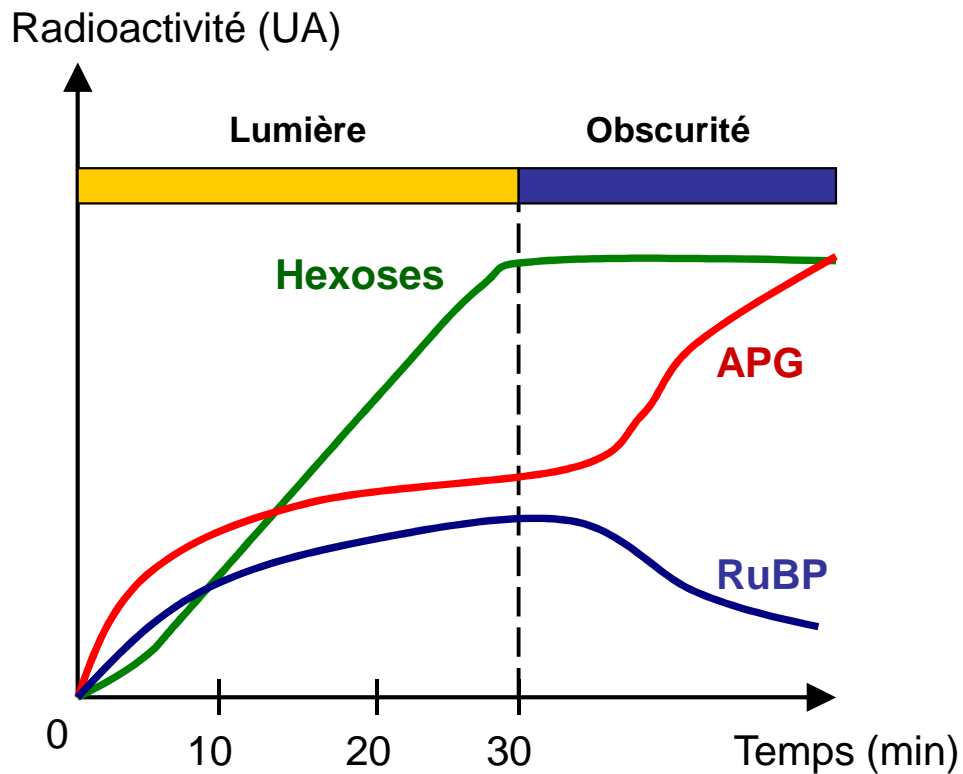
I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

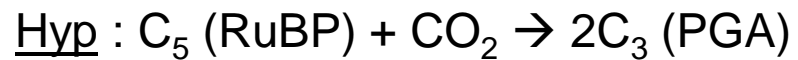
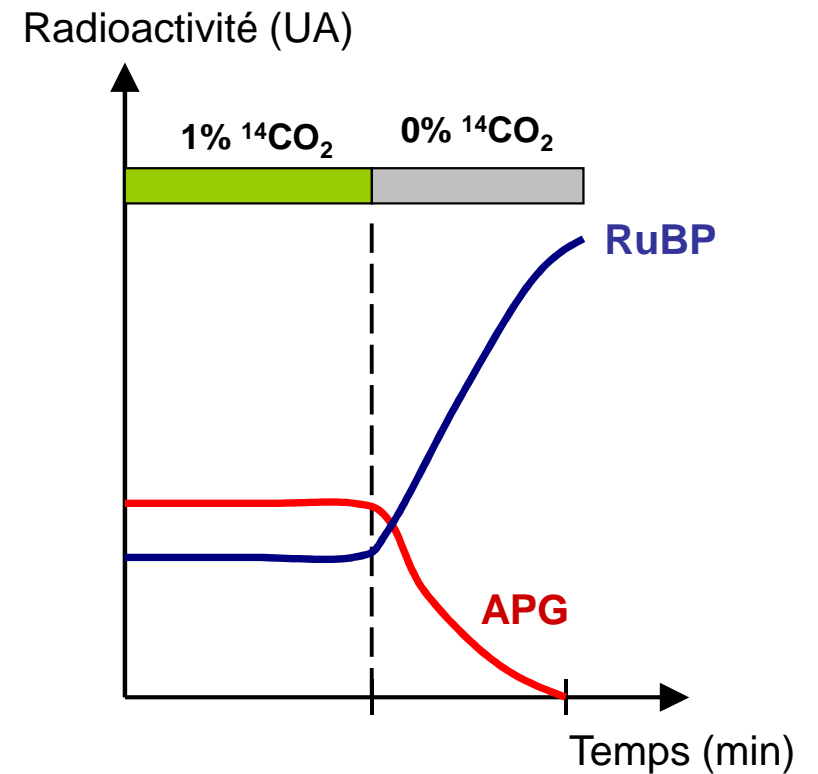
Cycle de Calvin

Exp de Calvin (1952)

1- Taux de CO₂ constant



2- Eclairement constant



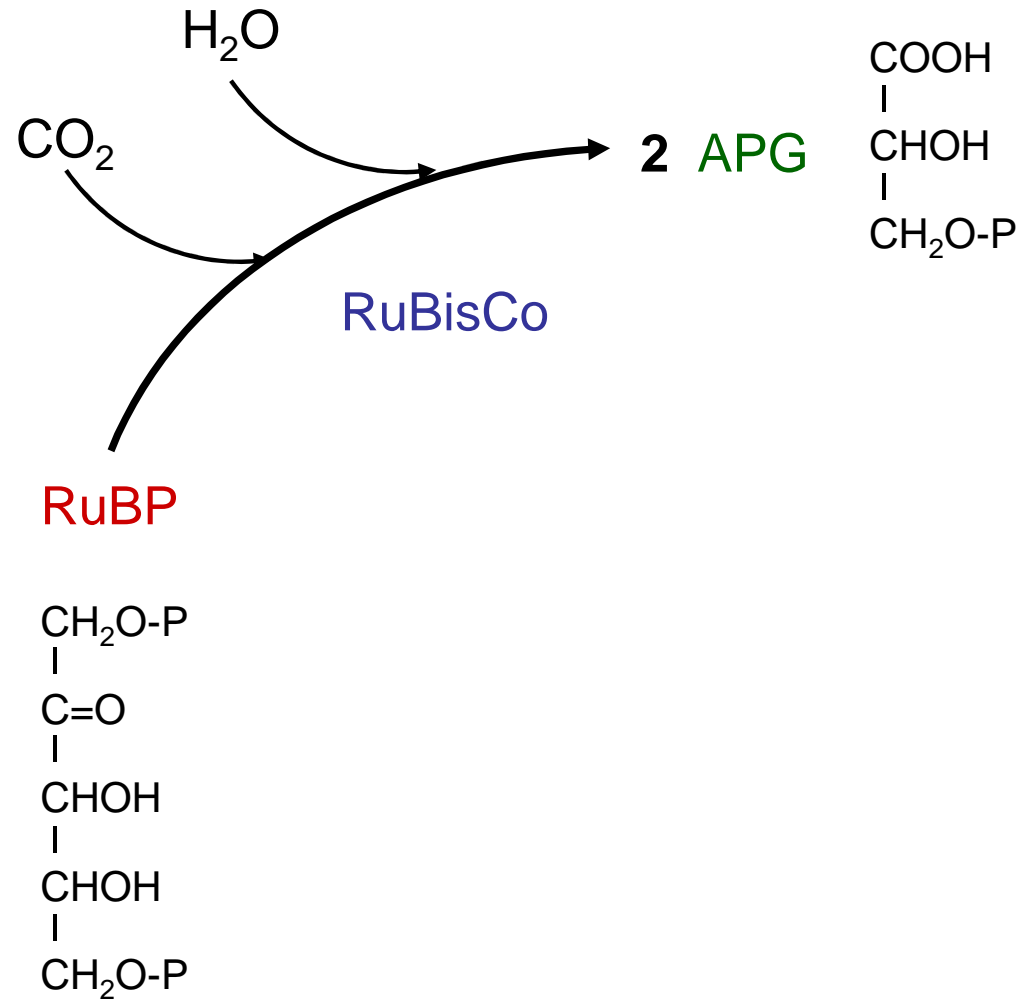
2.2 Fixation du CO₂ et cycle de Calvin

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Fixation du CO₂



*Fixation du CO₂
par la Rubisco*

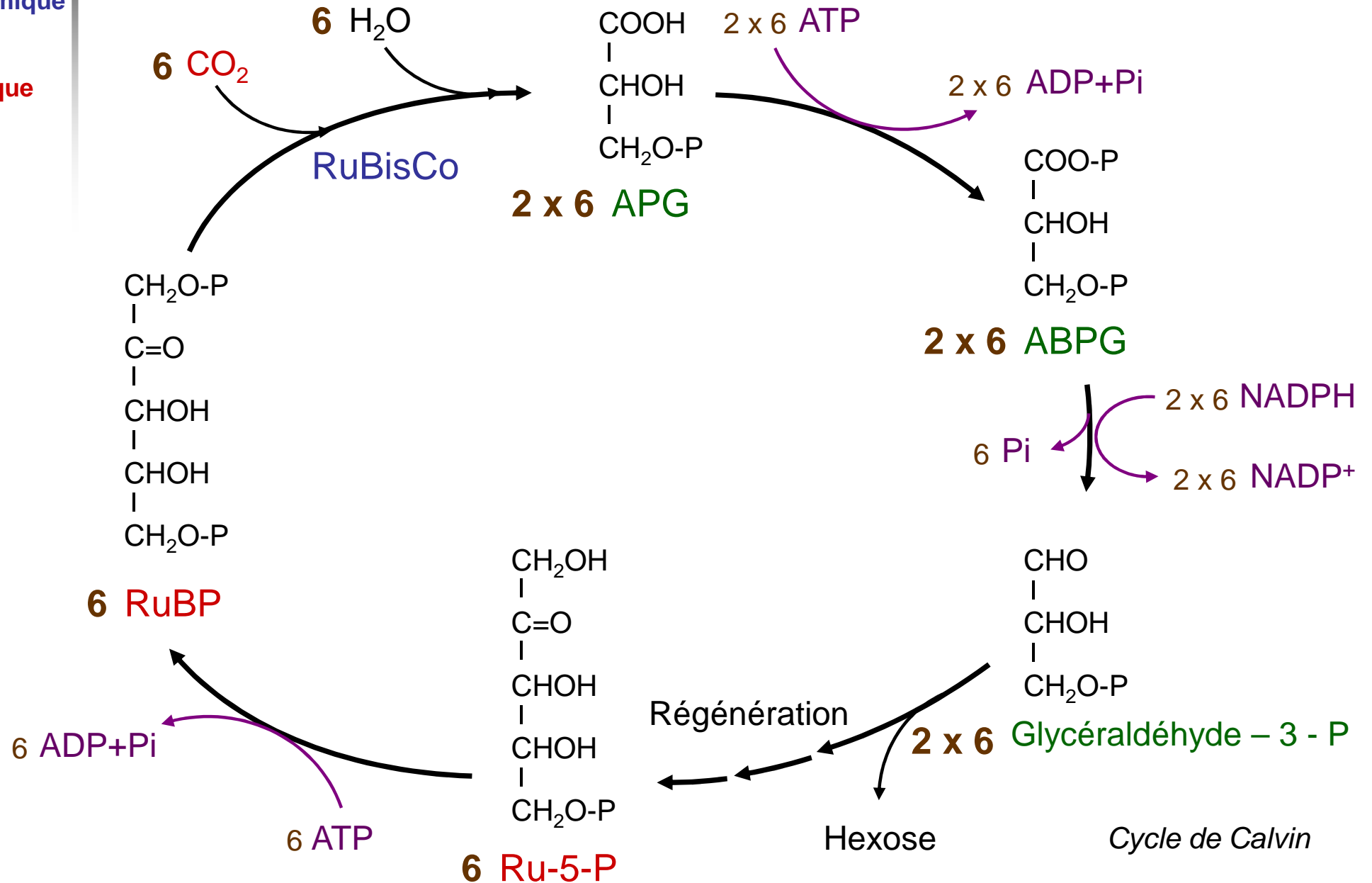
2.2 Fixation du CO₂ et cycle de Calvin

Introduction

I- Phase photochimique

II- Phase biochimique

Cycle de Calvin



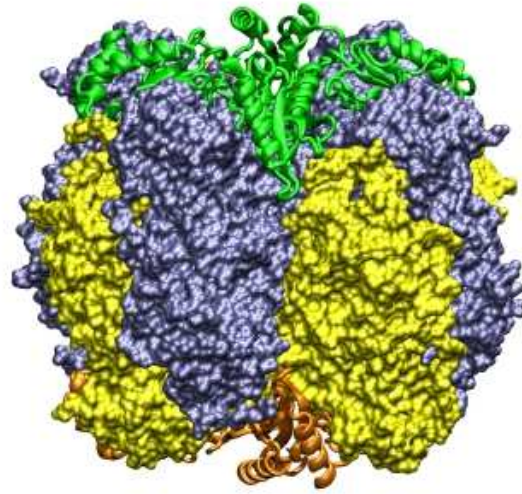
2.3 La Rubisco

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

La RuBisCO



4 petites sous-unités

8 grosses sous-unités

4 petites sous-unités

SITES CATALYTIQUES

*Structure de la
Rubisco*

~ 10 μ M CO₂

~ 10mM Mg²⁺

pH 8⁺

Bonne illumination

K_M (CO₂) = 20 μ M (K_M ↗ avec ↗ température)

K_M (O₂) = 200 μ M

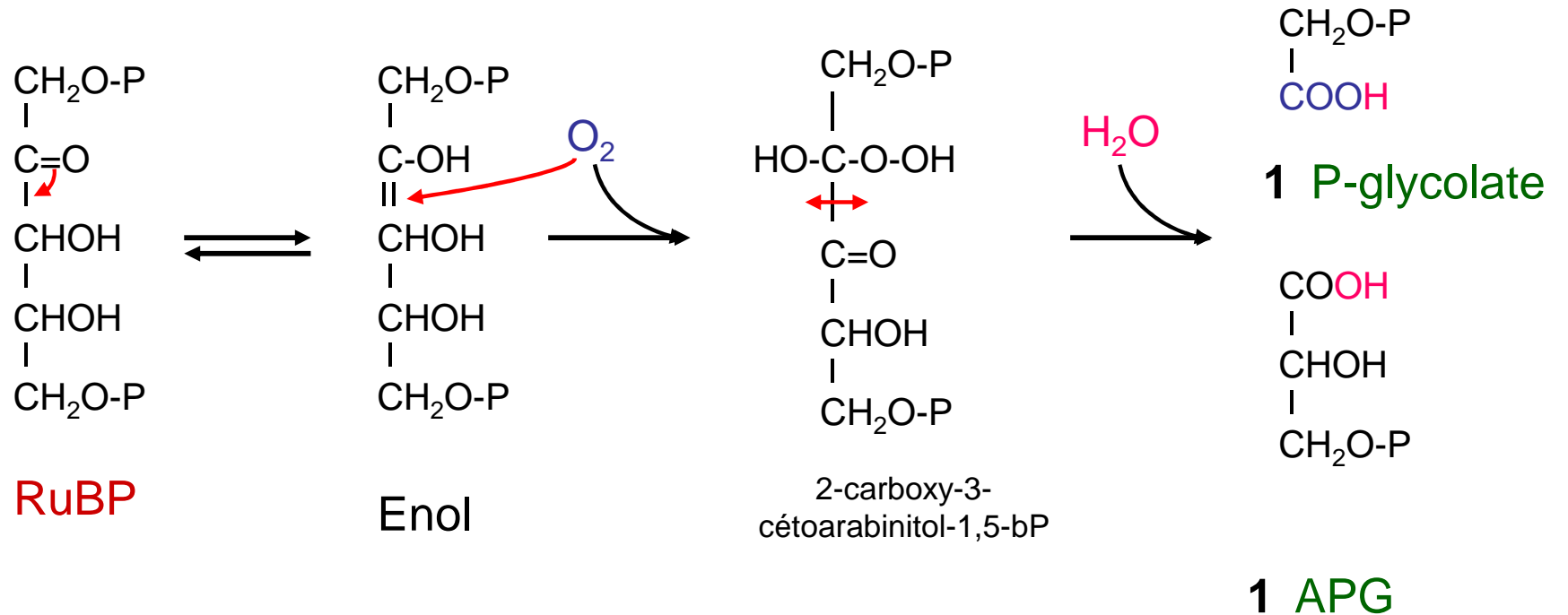
2.3 La Rubisco

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

La Rubisco comme oxygénase



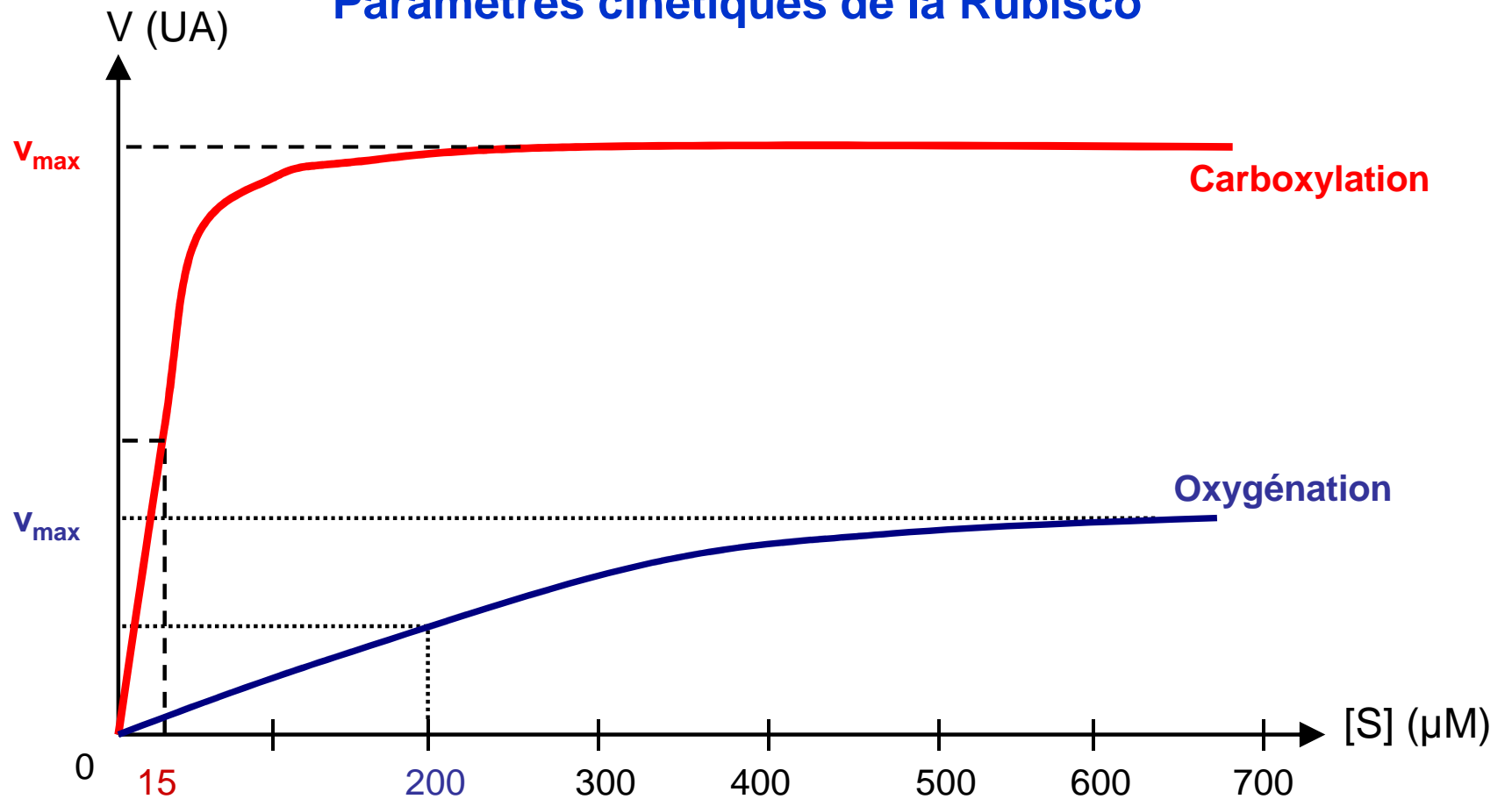
2.3 La Rubisco

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Paramètres cinétiques de la Rubisco



1Atm, 25°C dans l'eau

13 μM [CO_2]

250 μM [O_2]

Dans le chloroplaste

7 μM [CO_2]

Variable [O_2]

Dans le chloroplaste
(stomates fermés)

1,8 μM [CO_2]

D'après Cousins A.B. Plant Cell environnement 2010

2.3 La Rubisco

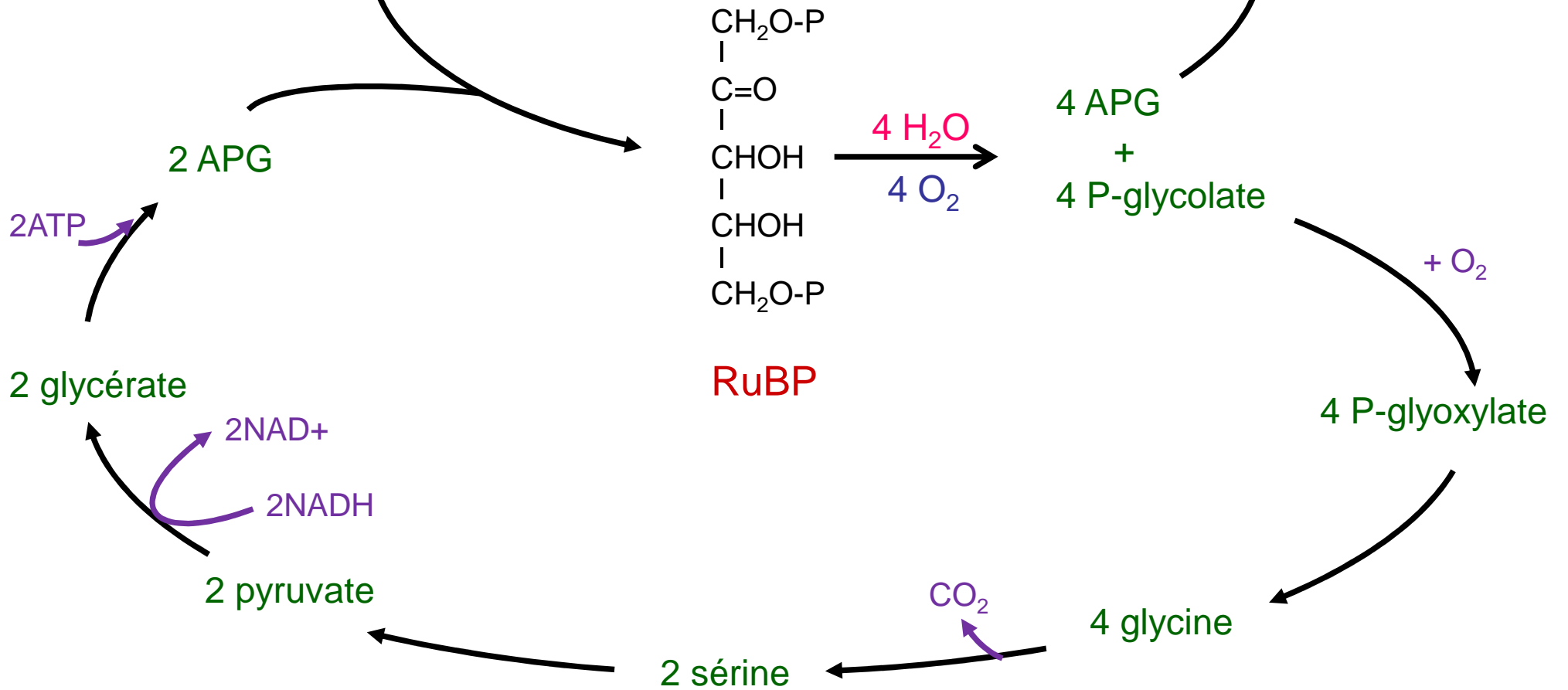
Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

La Photorespiration

1,5 ATP + 1 NADPH /APG



2.4 La photorespiration

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Les rôles possibles de la photorespiration

- Dérivation du cycle de Calvin
- Consommateur d'énergie (diminue le rendement photosynthétique)
- Favorise la synthèse d'acides aminés
- Rôle de détoxification ? Évacuation du trop plein d'énergie lumineuse

Harley et Sharkey (1991).

2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

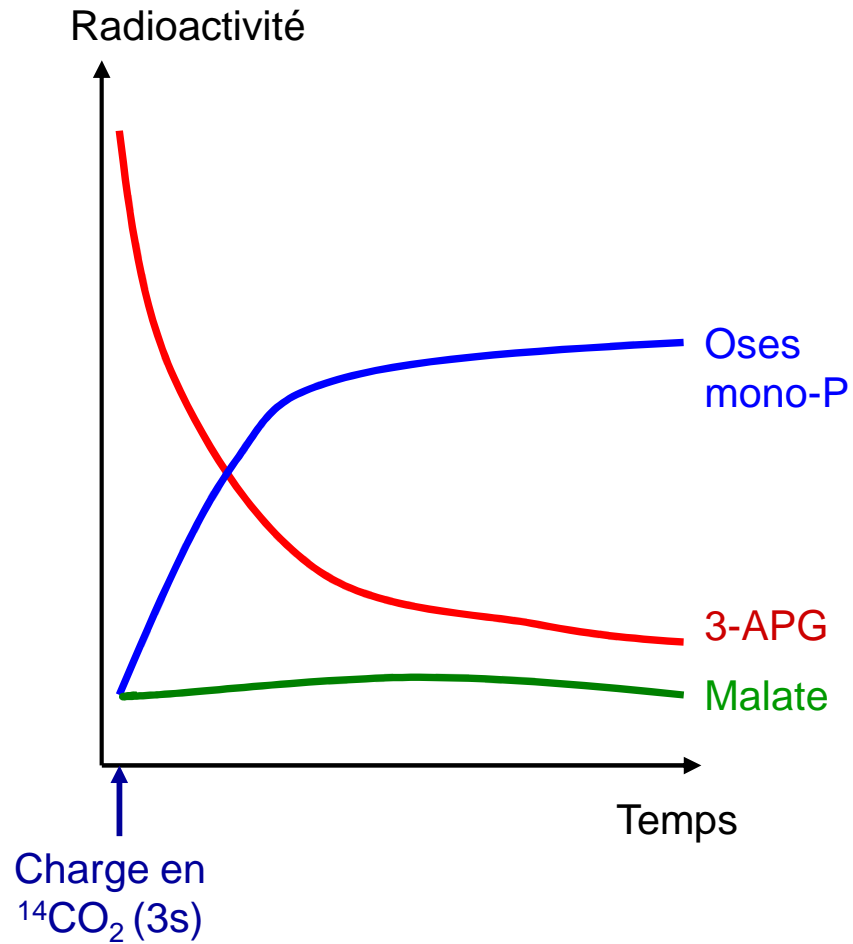
Introduction

I- Phase
photochimique

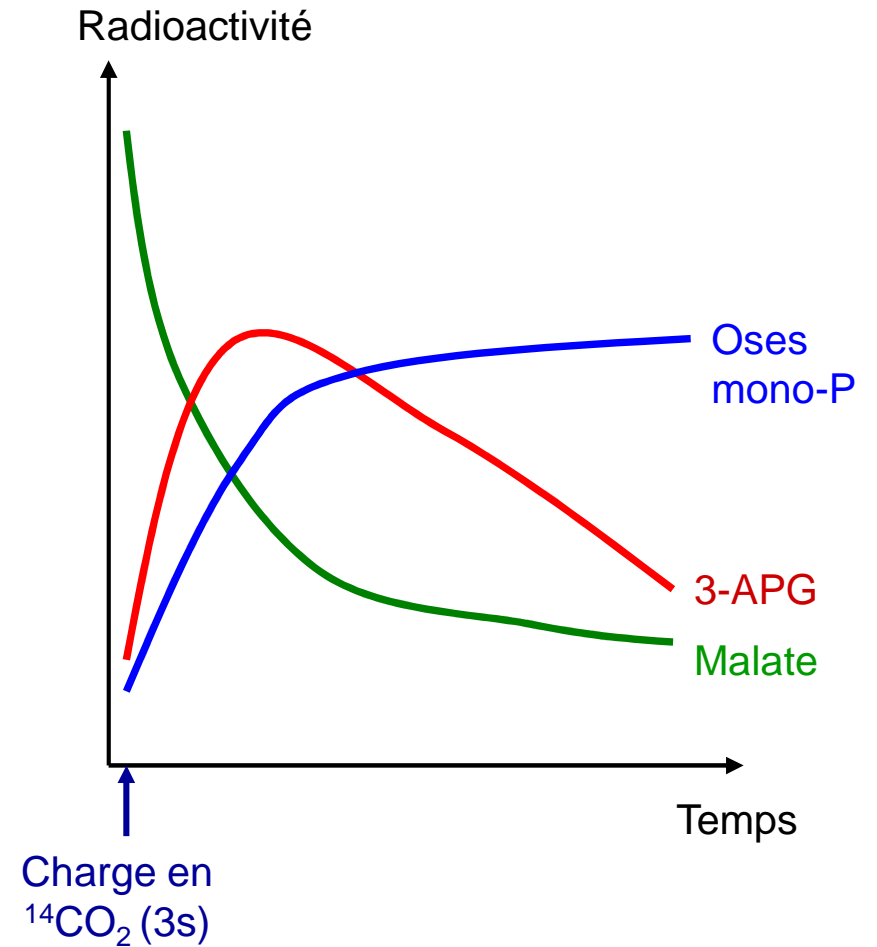
II- Phase
biochimique

Le métabolisme C4

Plantes en C3 (Tomate)



Plantes en C4 (Maïs)



Le premier composé issu de la fixation du CO_2 est du malate (C4)

2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

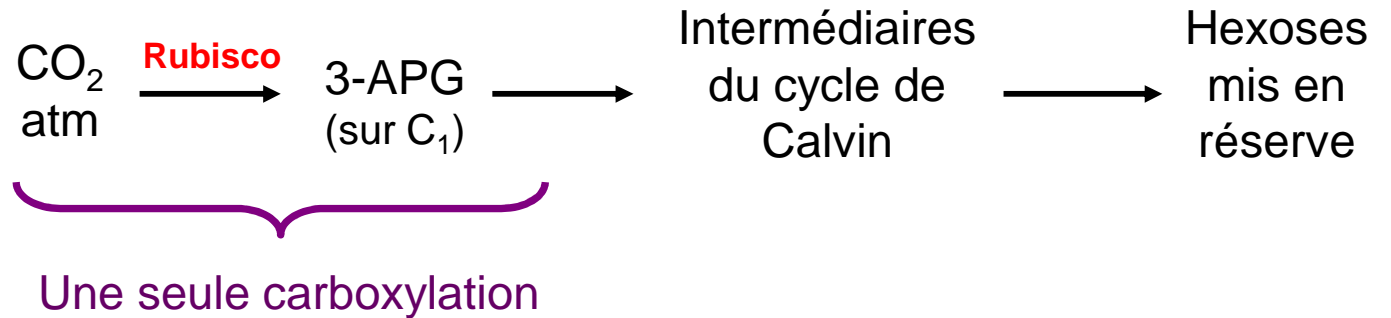
Introduction

I- Phase
photochimique

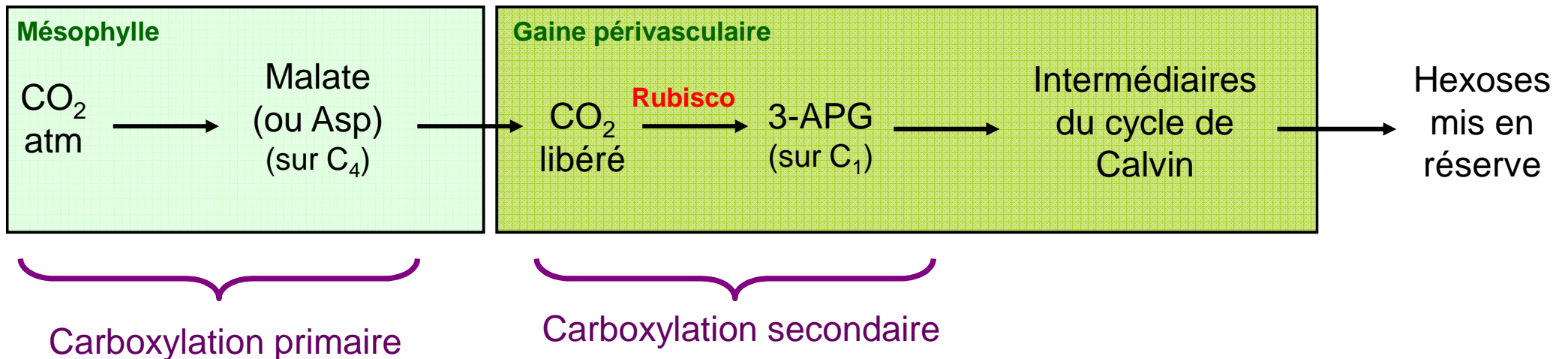
II- Phase
biochimique

Le métabolisme C4

Plantes en C3 (Tomate)



Plantes en C4 (Maïs)



2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

Introduction

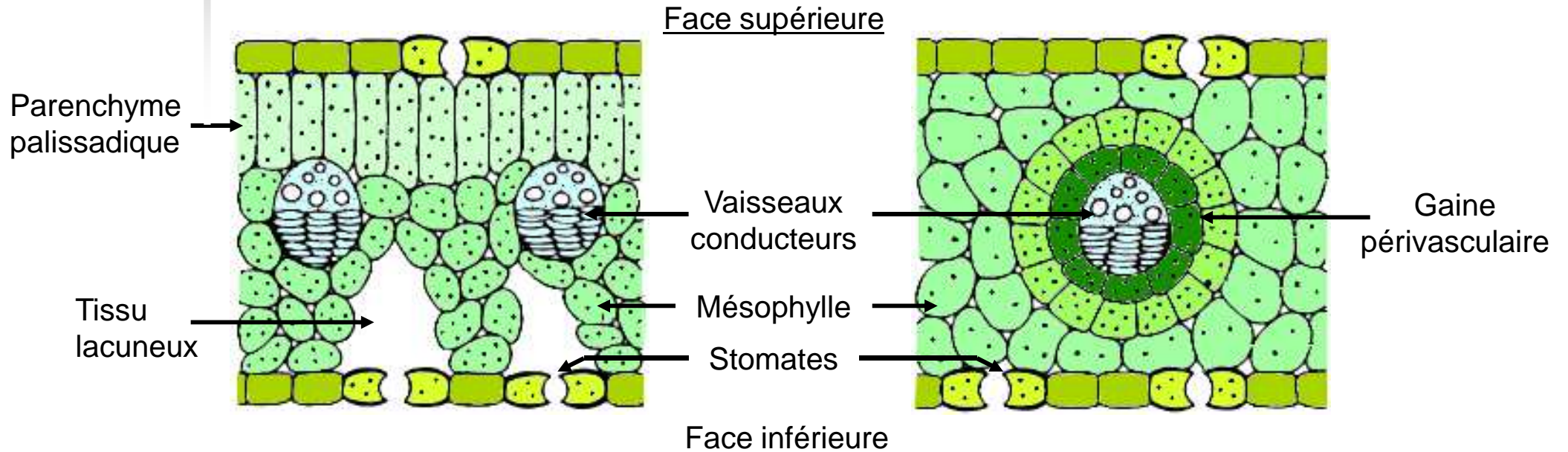
I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

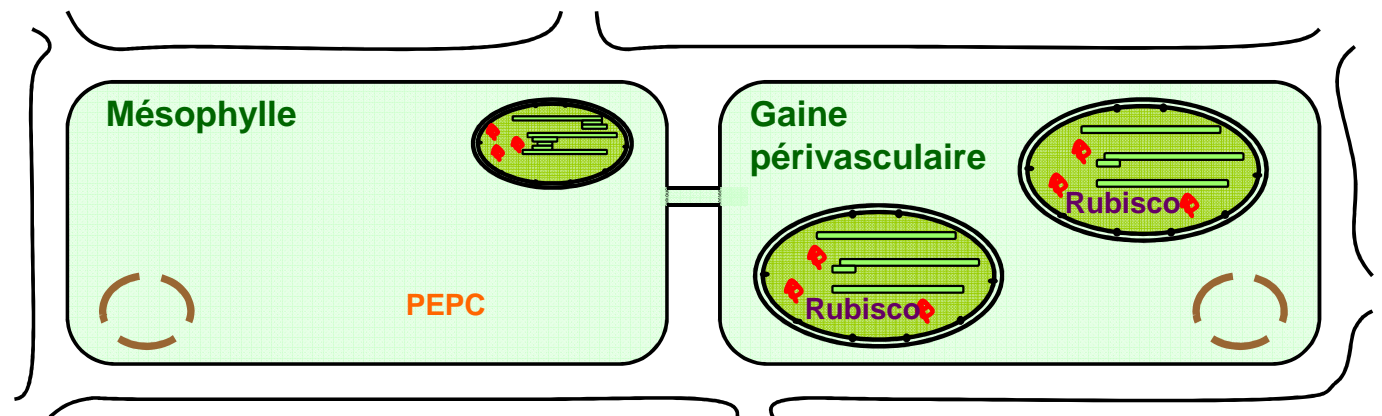
Le métabolisme C4

Plantes en C3 (Tomate)

Plantes en C4 (Maïs)



*Cellules foliaires
des plantes en C4*



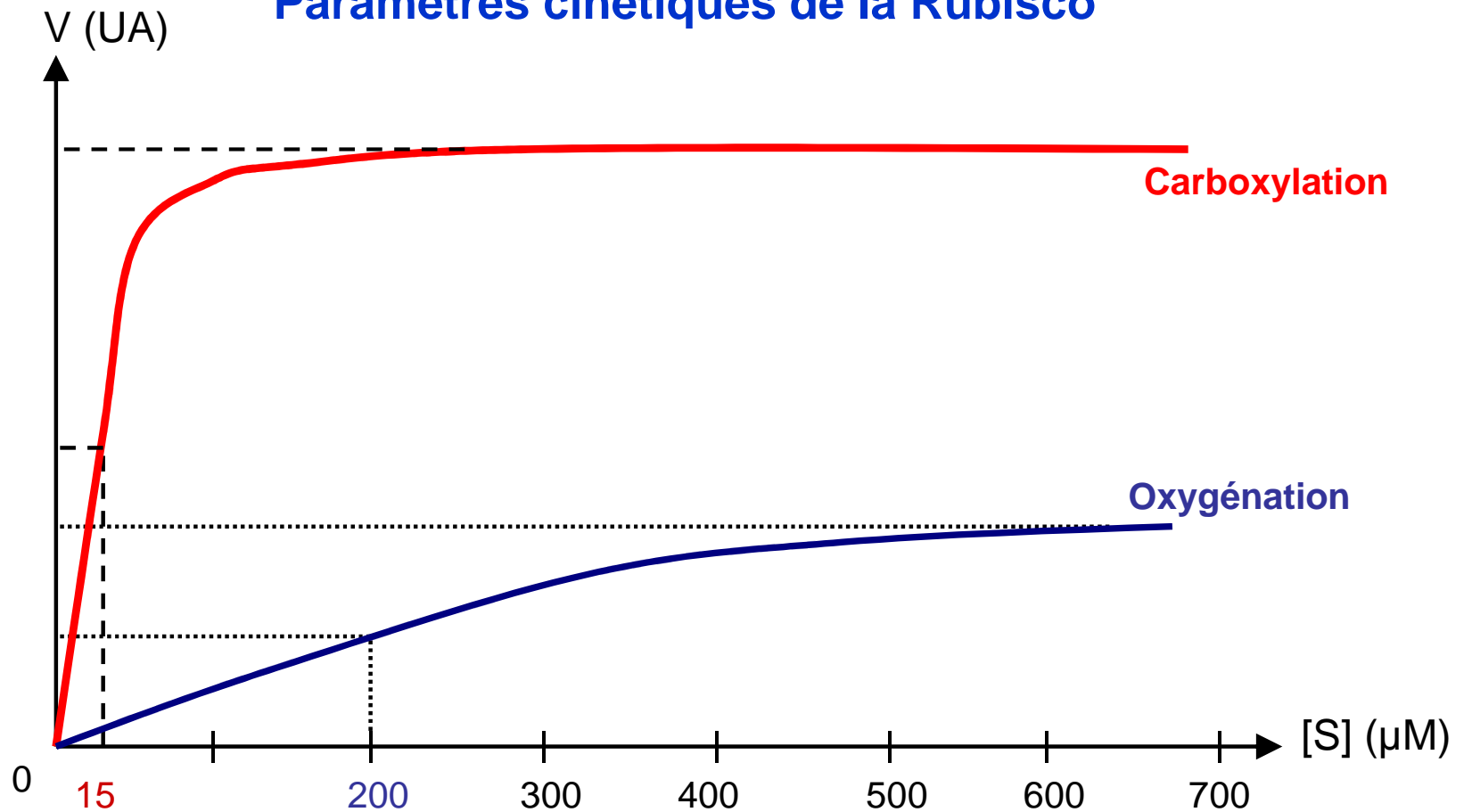
2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

Introduction

I- Phase photochimique

II- Phase biochimique

Paramètres cinétiques de la Rubisco



1Atm, 25°C dans l'eau

13 μM [CO_2]

250 μM [O_2]

D'après Cousins A.B. Plant Cell environnement 2010

Dans le chloroplaste (plante C3)

7 μM [CO_2]

Variable [O_2]

Dans le chloroplaste (plante C4)

250-300 μM [O_2]

2000 μM [CO_2]

2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

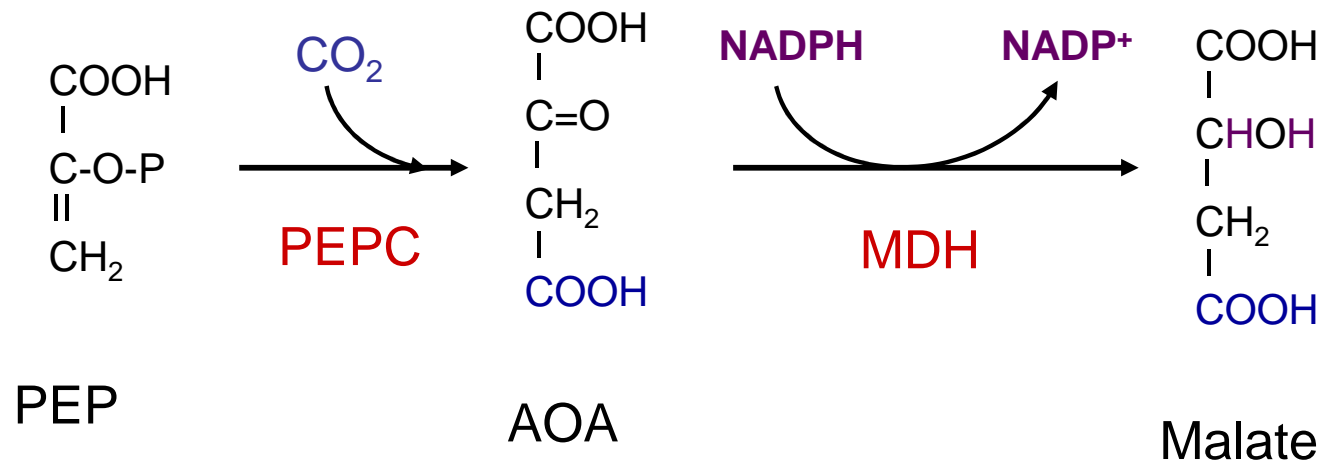
Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Le métabolisme C4

Carboxylation primaire par la PEPC dans les cellules du mésophylle



2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

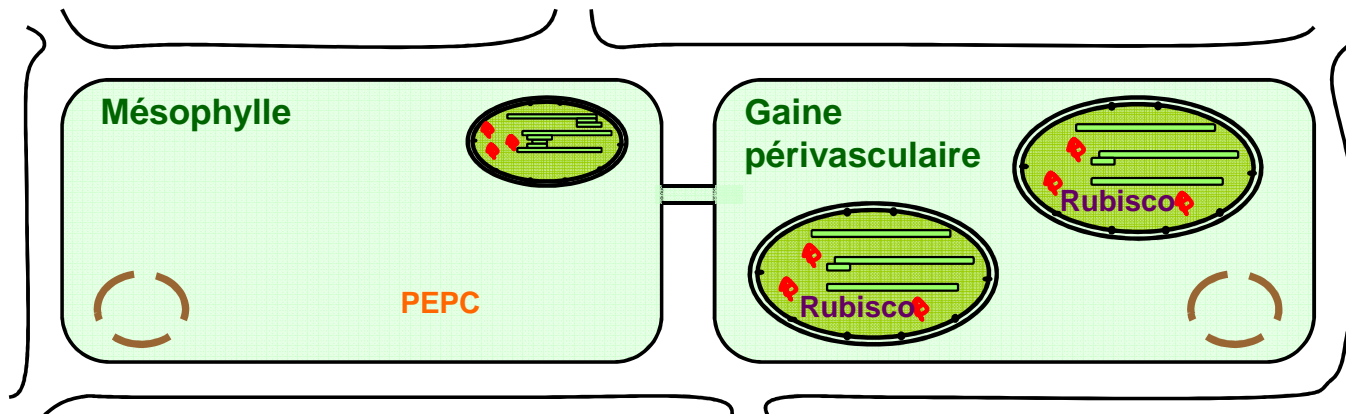
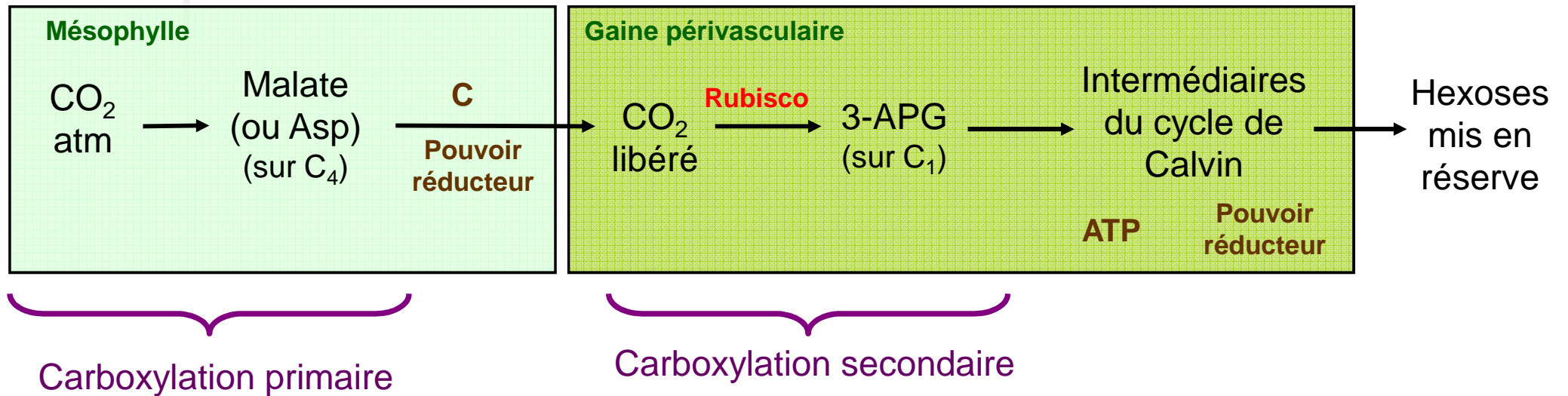
Introduction

I- Phase photochimique

II- Phase biochimique

Le métabolisme C4

Plantes en C4 (Maïs)



2.5 Photosynthèse des plantes de type C4

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Le métabolisme C4

Bilan énergétique : Pour 1 CO₂ fixé

- 2 NADPH Pour réduire l'ABPG
- 3 ATP
- 2 ATP pour former le ABPG
- 1 ATP pour régénérer le RuBP

Dépendant du cycle de Calvin – identique aux plantes en C3

- **2 ATP en plus** (régénération du PEP)

Si T > 28°C : | Efficacité de carboxylation Rubisco ↘
| PhR ↗

Surcoût énergétique des C4 avantageux !!

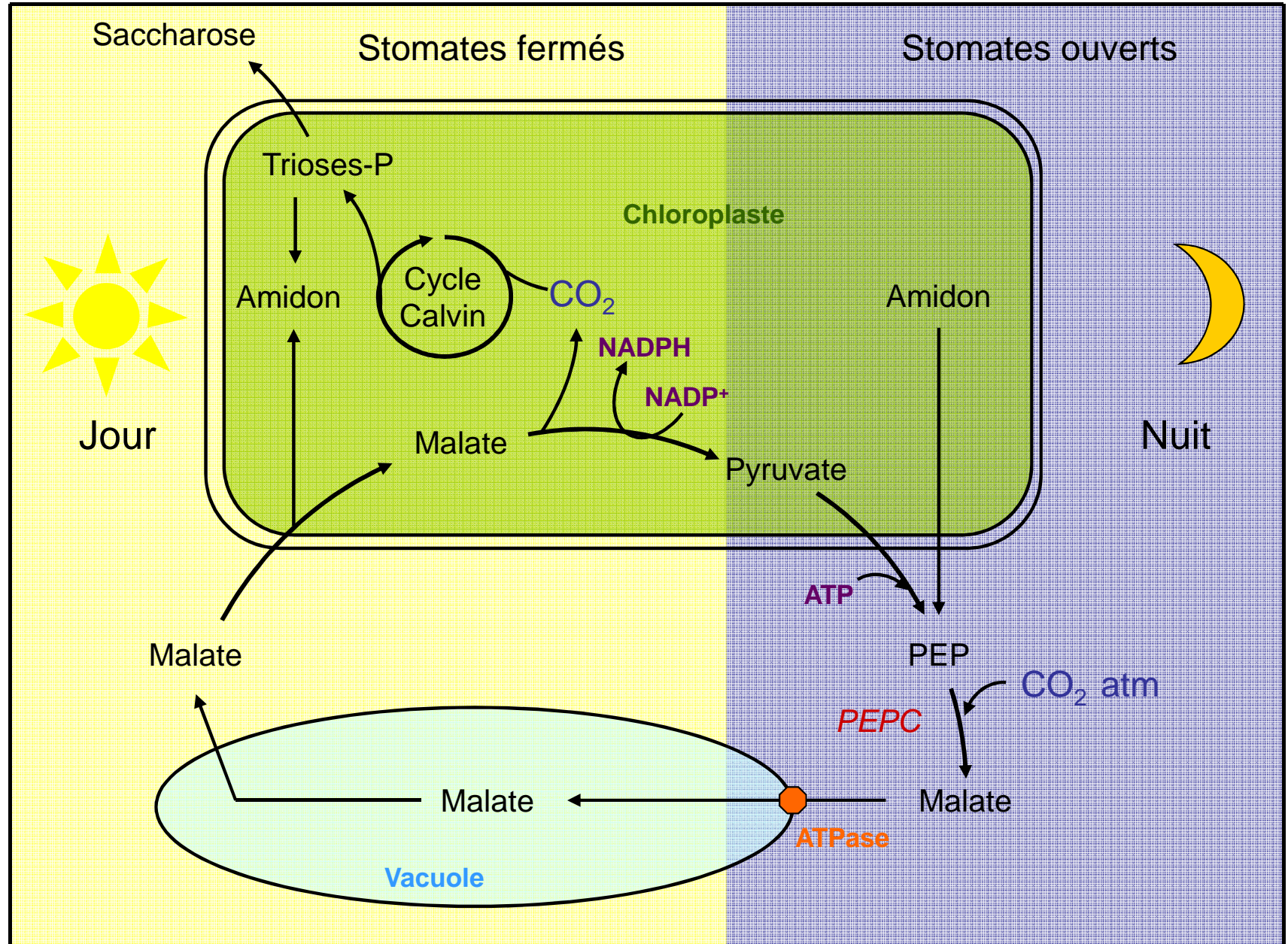
2.6 Photosynthèse des plantes de type CAM

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

Le métabolisme CAM



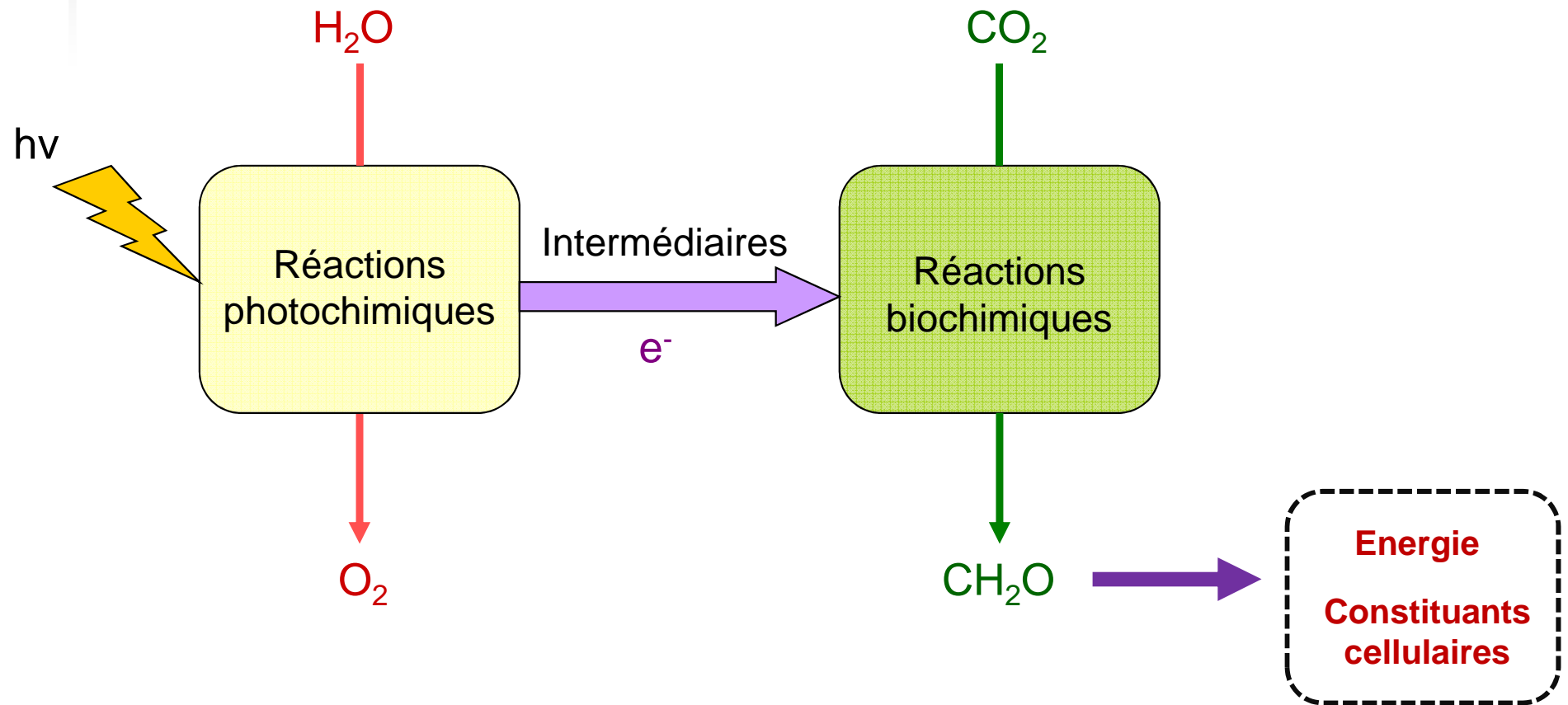
Plantes
succulentes :
cactées,
euphorbes,
épiphytes
(broméliacées)
(Ananas,
Vanille, Agave)

Conclusion

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique

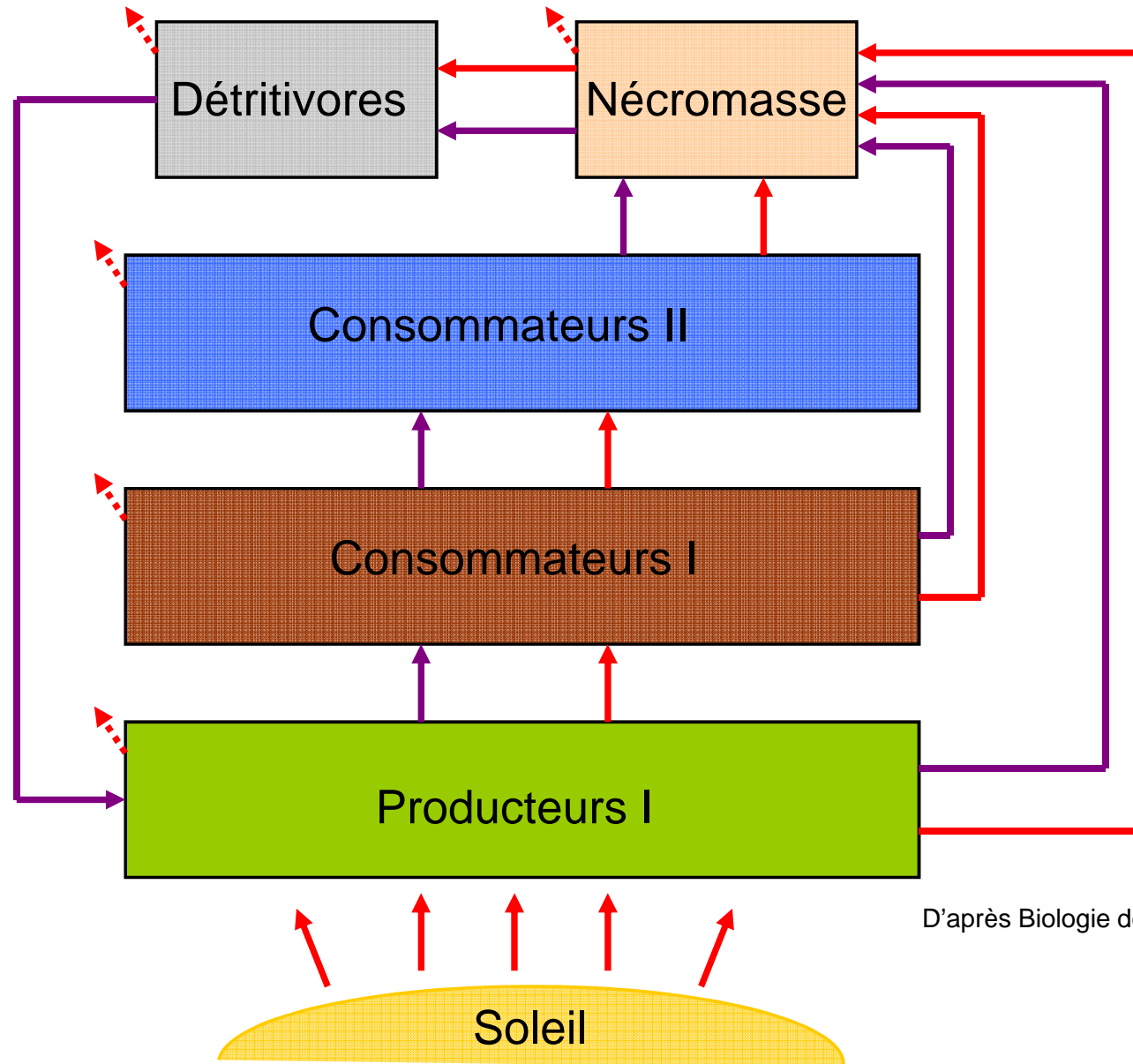


Conclusion

Introduction

I- Phase
photochimique

II- Phase
biochimique



D'après Biologie de Campbell