

# **CHAP.3 – LA PHOTOSYNTHESE**

## **LES EVENEMENTS THERMOCHIMIQUES**

---

### **INTRODUCTION**

- 1. LES PLANTES EN C3**
- 2. LES PLANTES EN C4**
- 3. LES PLANTES CAM**
- 4. LA PHOTORESPIRATION**
- 5. EFFETS DE L'AUGMENTATION DES GES**

# INTRODUCTION

## 1. LES PLANTES EN C3

1.1. La fixation du CO<sub>2</sub>

1.2. L'incorporation du CO<sub>2</sub>

1.3. Le cycle de Calvin

1.3.1. Régénération du ribulose 1,5-diphosphate

1.3.2. Voie des hexoses

1.4. Bilan chimique et énergétique

# INTRODUCTION

## 1. LES PLANTES EN C3

### 1.1. La fixation du CO<sub>2</sub>

### 1.2. L'incorporation du CO<sub>2</sub>

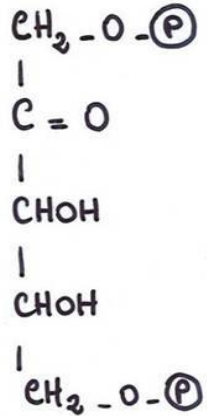
### 1.3. Le cycle de Calvin

#### 1.3.1. Régénération du ribulose 1,5-diphosphate

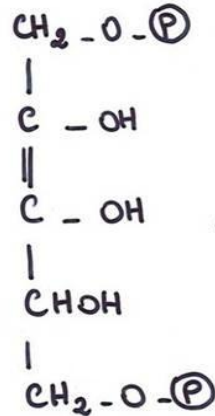
#### 1.3.2. Voie des hexoses

### 1.4. Bilan chimique et énergétique

# La fixation du CO<sub>2</sub>

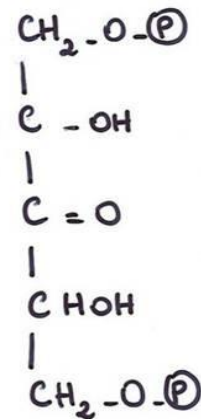
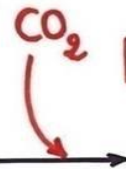


Ribulose 1,5-biphosphate

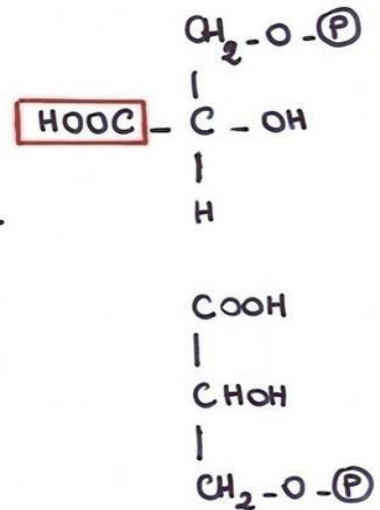


Ribulose 1,5-biP  
énediol

isomérisation du  
ribulose sous une  
forme énol hydraté



Ac. β cétonique  
composé intermédiaire  
très instable



Ac. 3-phospho  
glycérique  
2 molécules  
synthétisées

# La fixation du CO<sub>2</sub>



# INTRODUCTION

## 1. LES PLANTES EN C3

### 1.1. La fixation du CO<sub>2</sub>

### 1.2. L'incorporation du CO<sub>2</sub>

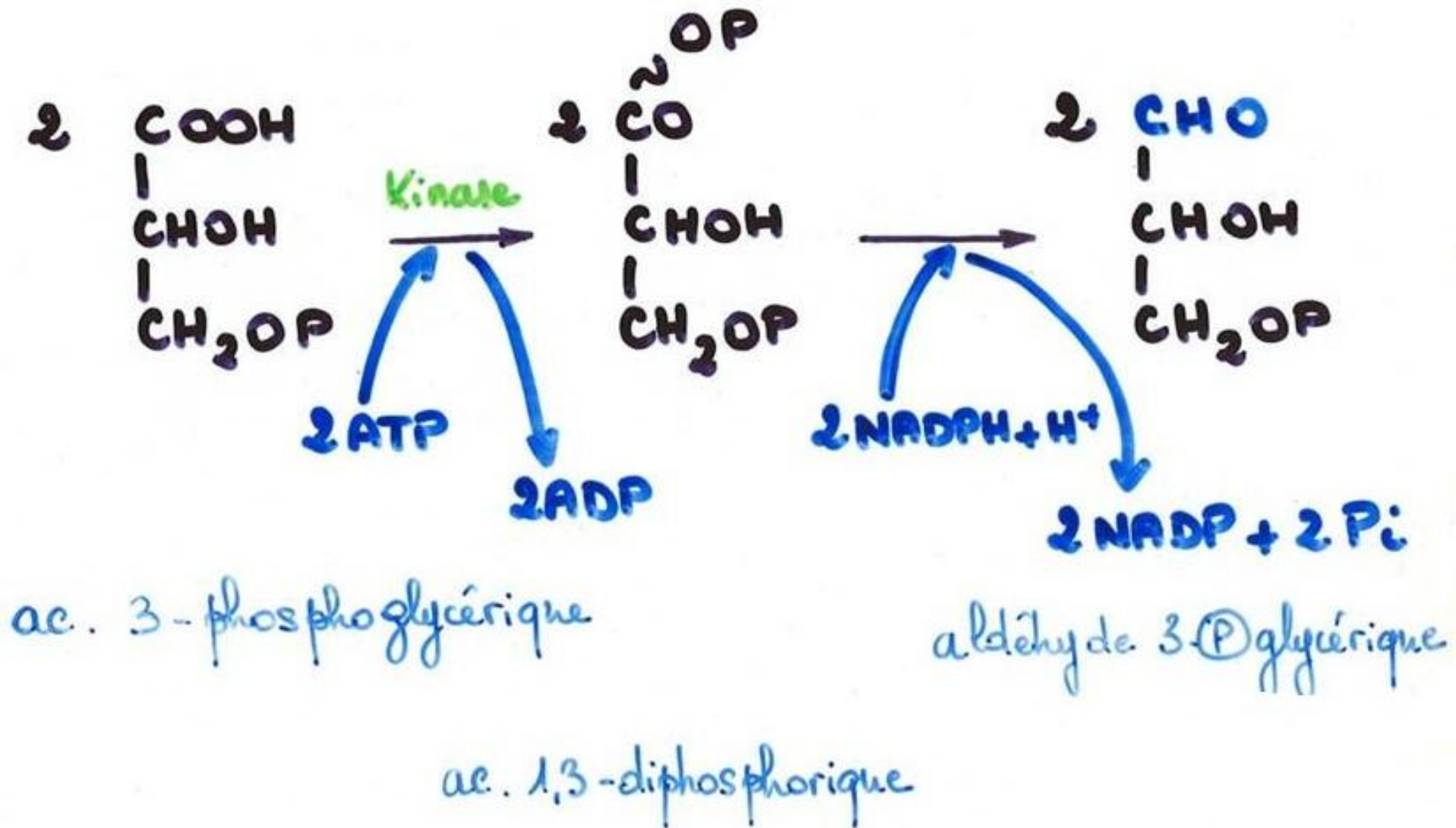
### 1.3. Le cycle de Calvin

#### 1.3.1. Régénération du ribulose 1,5-diphosphate

#### 1.3.2. Voie des hexoses

### 1.4. Bilan chimique et énergétique

# L'incorporation du CO<sub>2</sub>



# INTRODUCTION

## 1. LES PLANTES EN C3

1.1. La fixation du CO<sub>2</sub>

1.2. L'incorporation du CO<sub>2</sub>

### **1.3. Le cycle de Calvin**

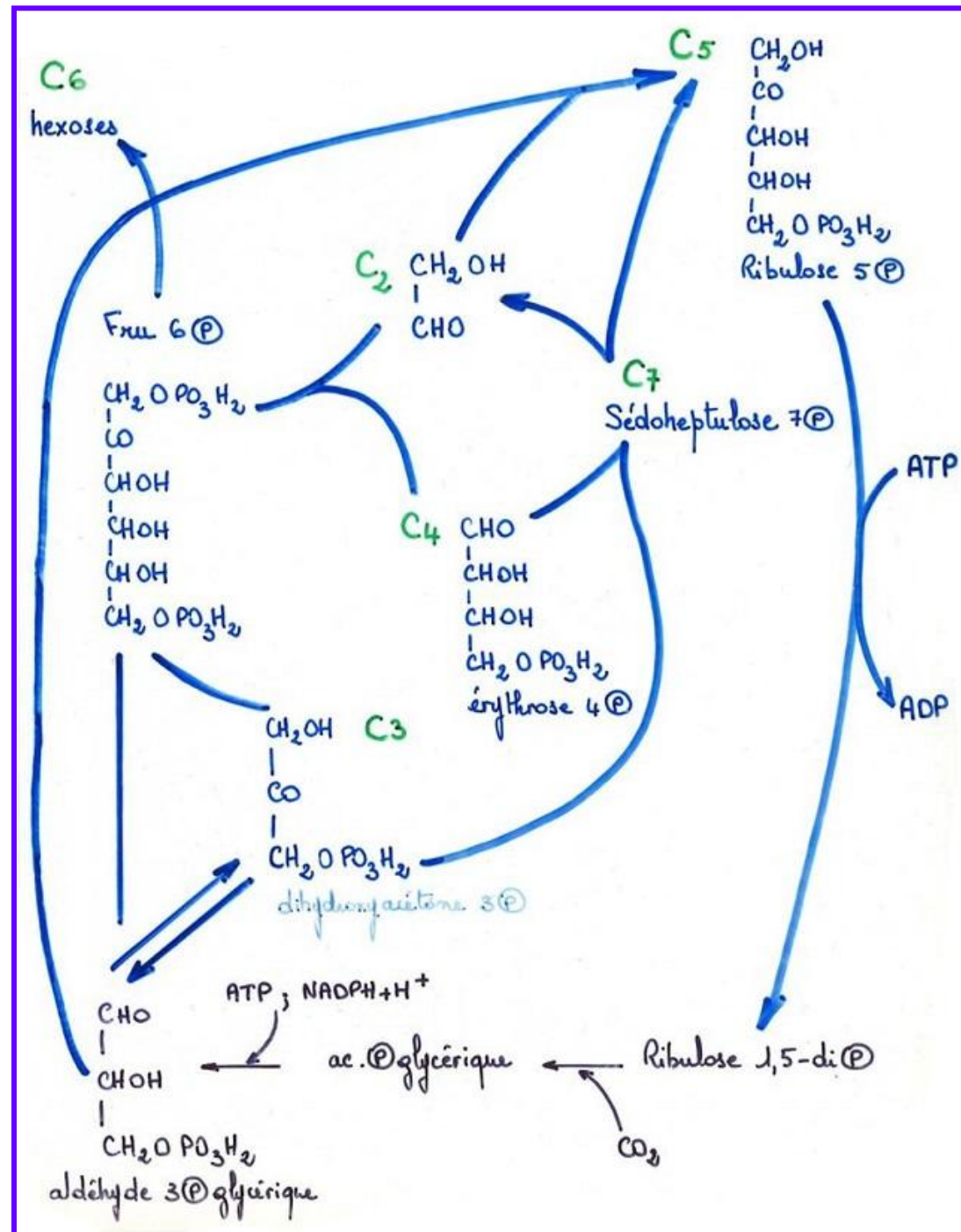
#### **1.3.1. Régénération du ribulose 1,5-diP**

1.3.2. Voie des hexoses

1.4. Bilan chimique et énergétique



# Le cycle de Calvin



# INTRODUCTION

## 1. LES PLANTES EN C3

1.1. La fixation du CO<sub>2</sub>

1.2. L'incorporation du CO<sub>2</sub>

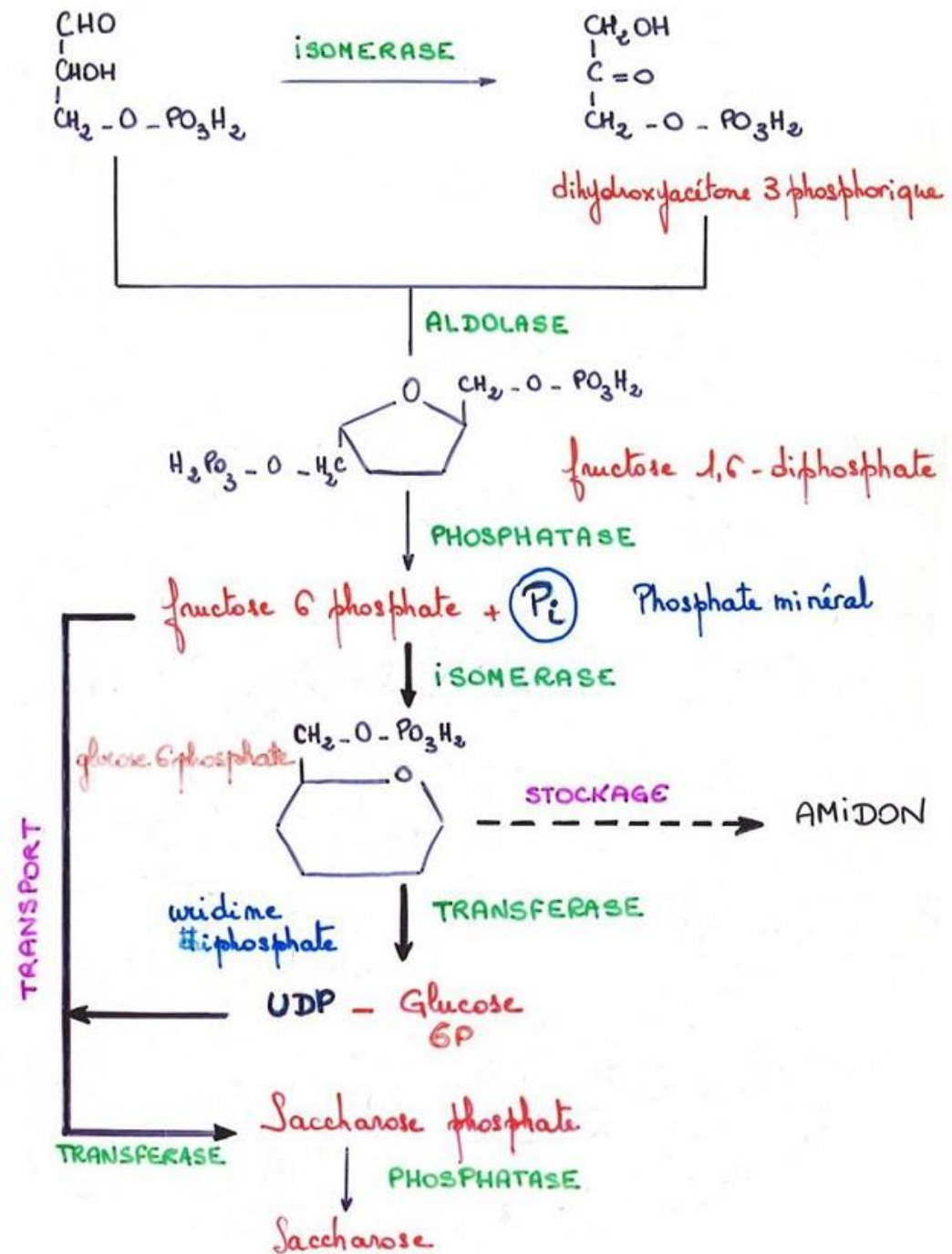
1.3. Le cycle de Calvin

1.3.1. Régénération du ribulose 1,5-diphosphate

**1.3.2. Voie des hexoses**

1.4. Bilan chimique et énergétique

# La voie des hexoses



# INTRODUCTION

## 1. LES PLANTES EN C3

1.1. La fixation du CO<sub>2</sub>

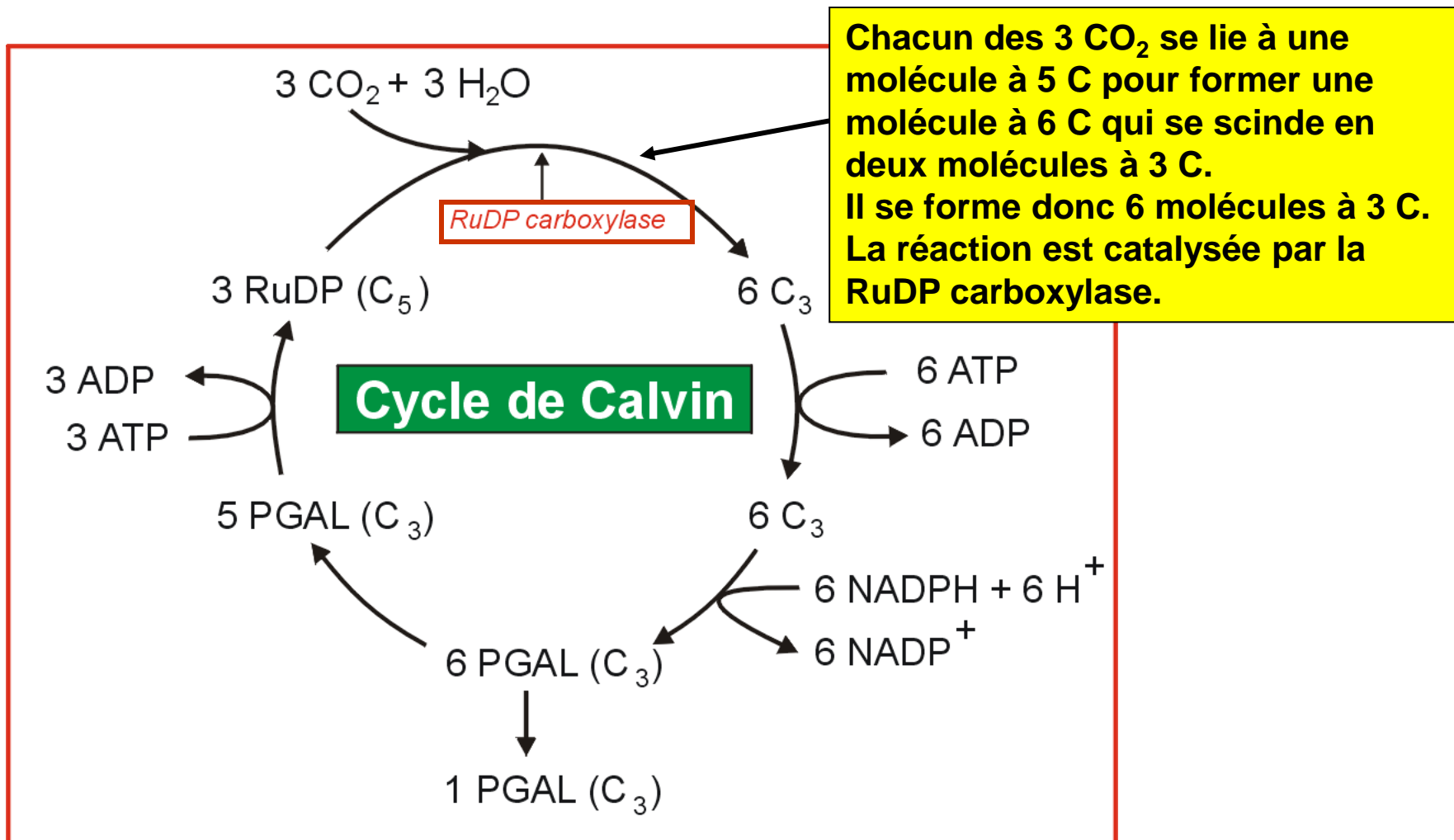
1.2. L'incorporation du CO<sub>2</sub>

1.3. Le cycle de Calvin

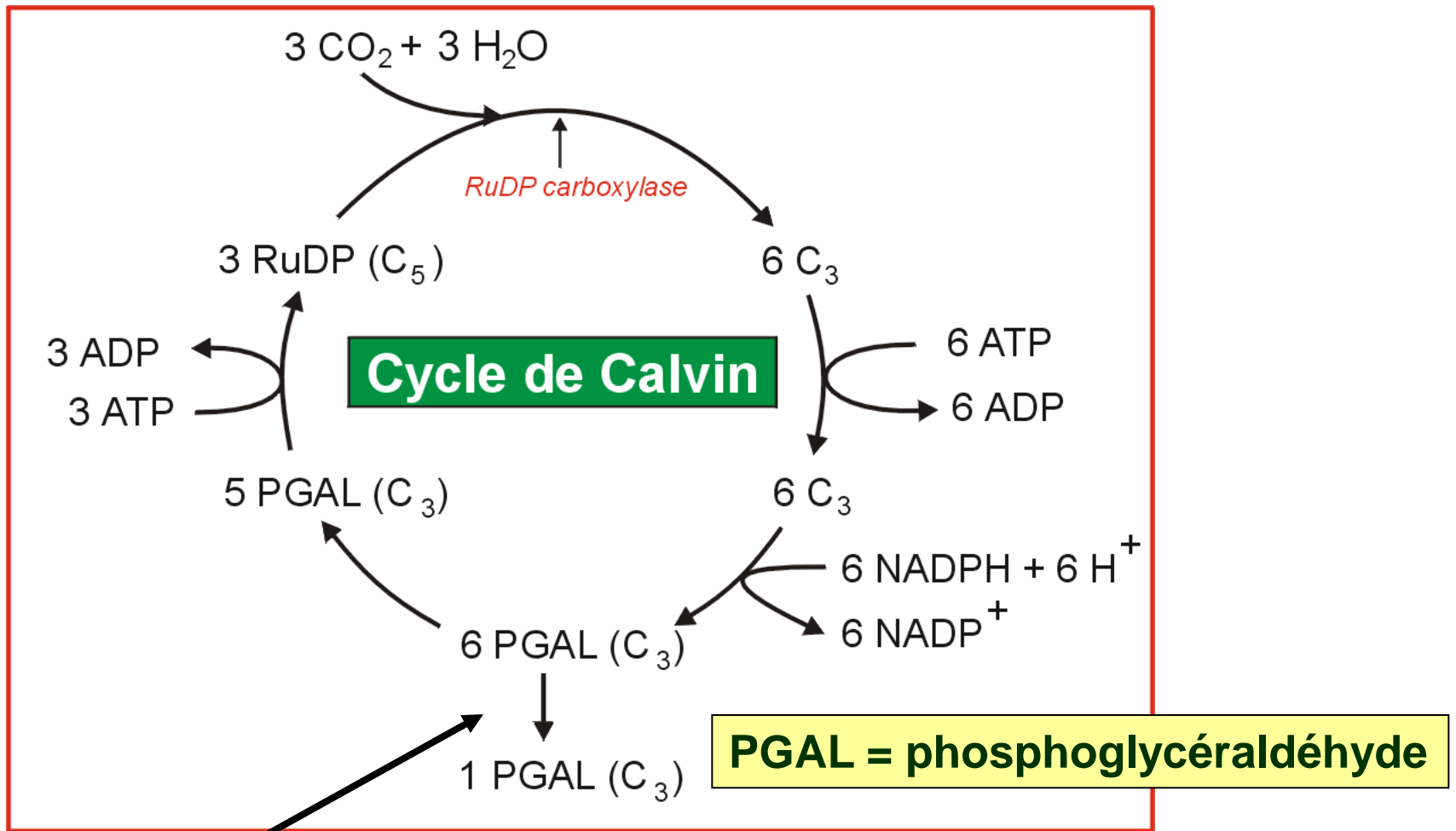
1.3.1. Régénération du ribulose 1,5-diphosphate

1.3.2. Voie des hexoses

**1.4. Bilan chimique et énergétique**

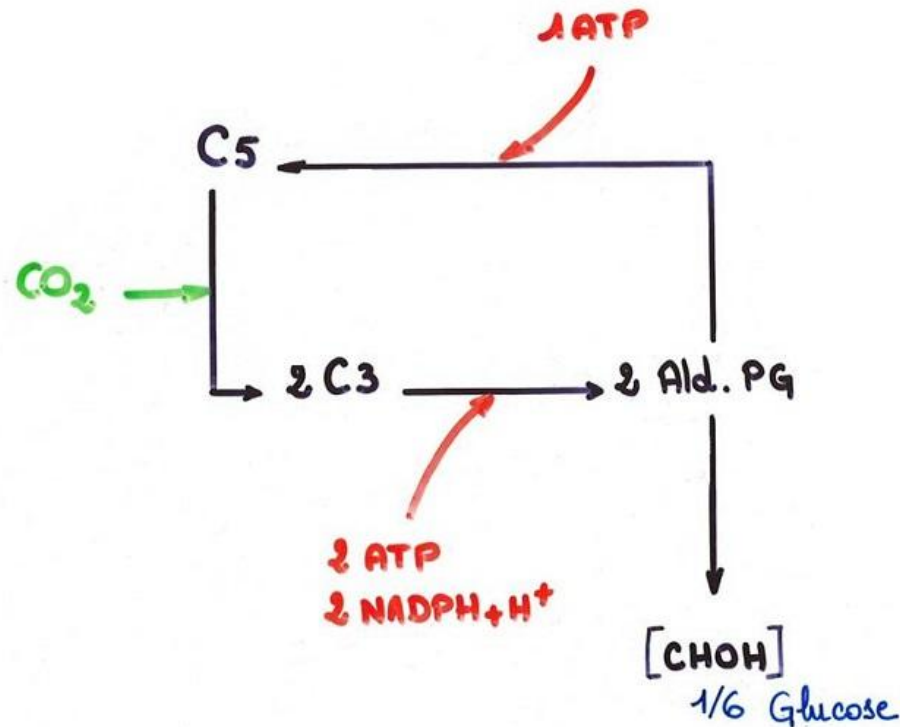


RuDP carboxylase = RuBP carboxylase = RubisCO



**Les 6 molécules à 3 C se transforment en PGAL. Un sort du cycle et les 5 autres continuent dans le cycle. Ils serviront à former 3 molécules de RuDP à 5 C**

# Bilan chimique et énergétique des C3



$$3 \times 7 = 21 \text{ Kcal}$$

$$2 \times 50 = 100 \text{ Kcal}$$

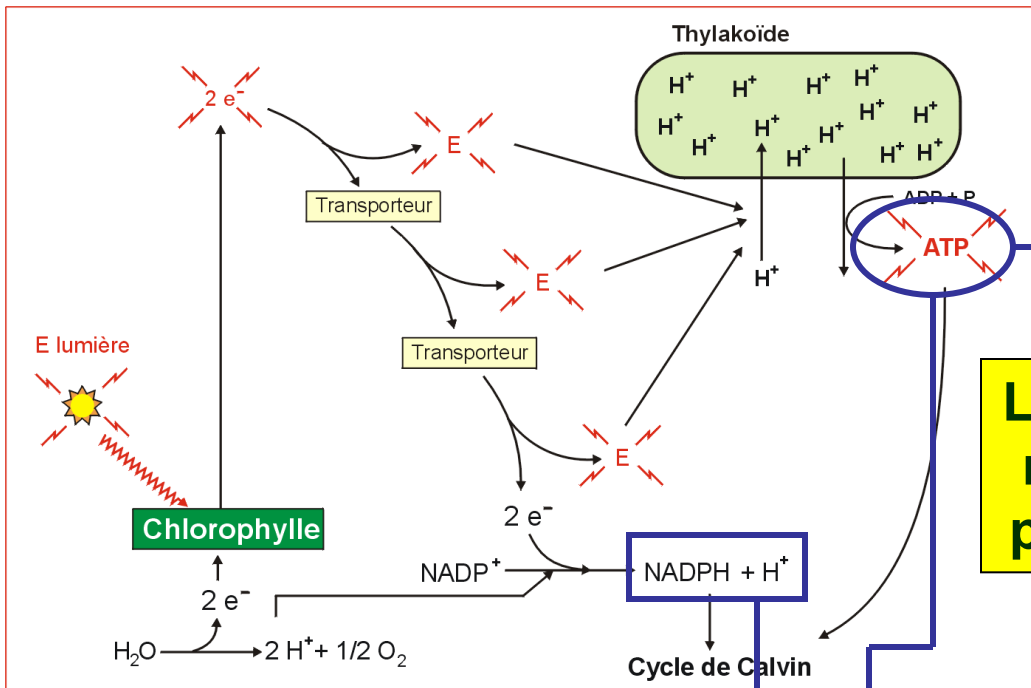
---


$$121 \text{ Kcal} \text{ utilisés pour stocker :}$$

$$114 \text{ Kcal}$$

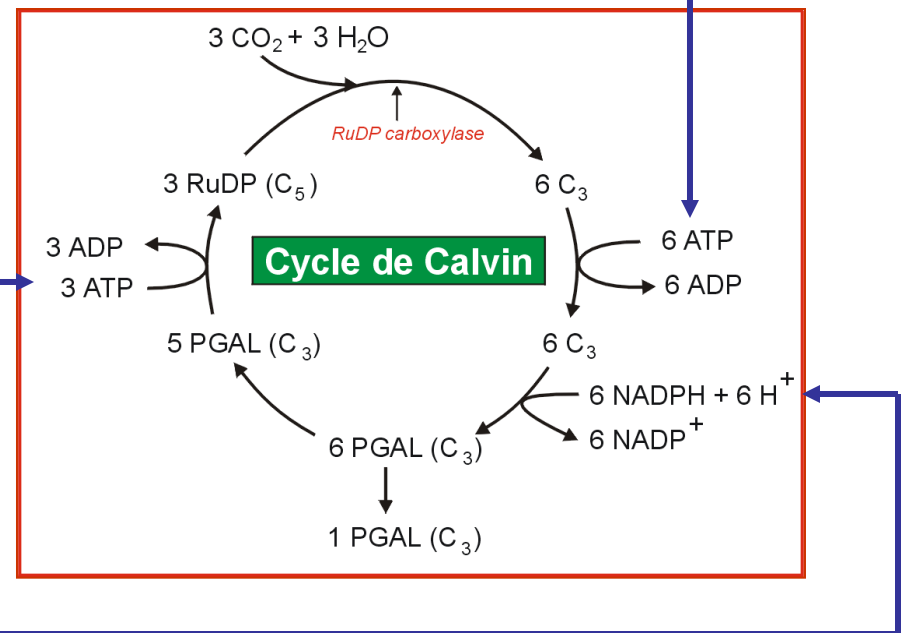
soit un rendement de conversion :

$$R = 94 \%$$

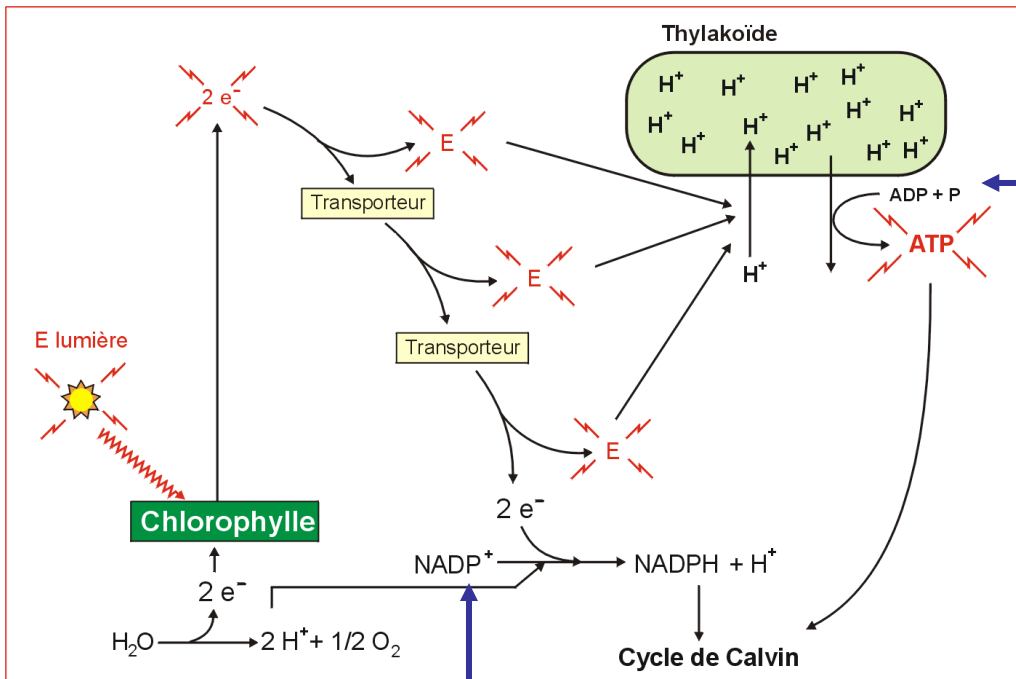


**La RuDP carboxylase ne fonctionne qu'en présence de lumière.**

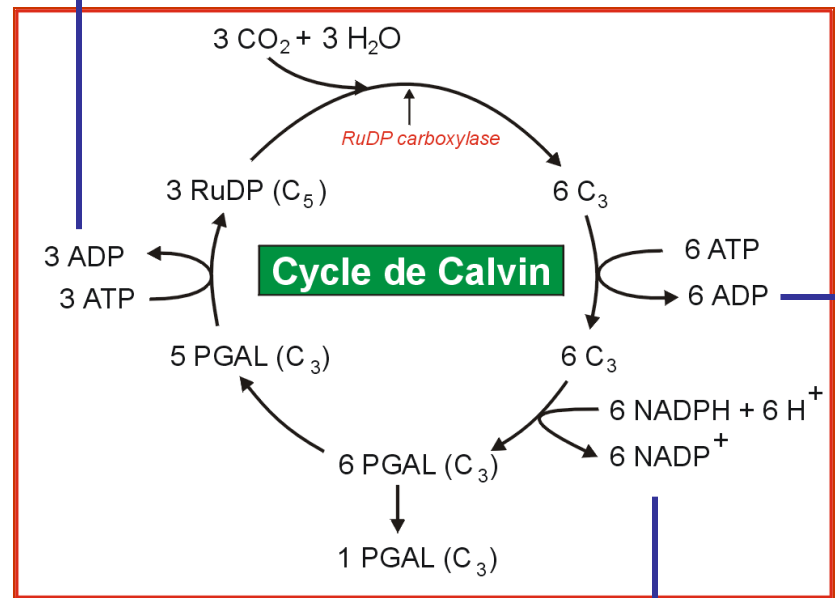
**La réaction photochimique est essentielle au cycle de Calvin.**







**Le cycle de Calvin  
est essentiel  
à la phase  
photochimique.**



## **2. LES PLANTES EN C4**

### **2.1. Particularités morpho-anatomiques**

2.2. La fixation du CO<sub>2</sub>

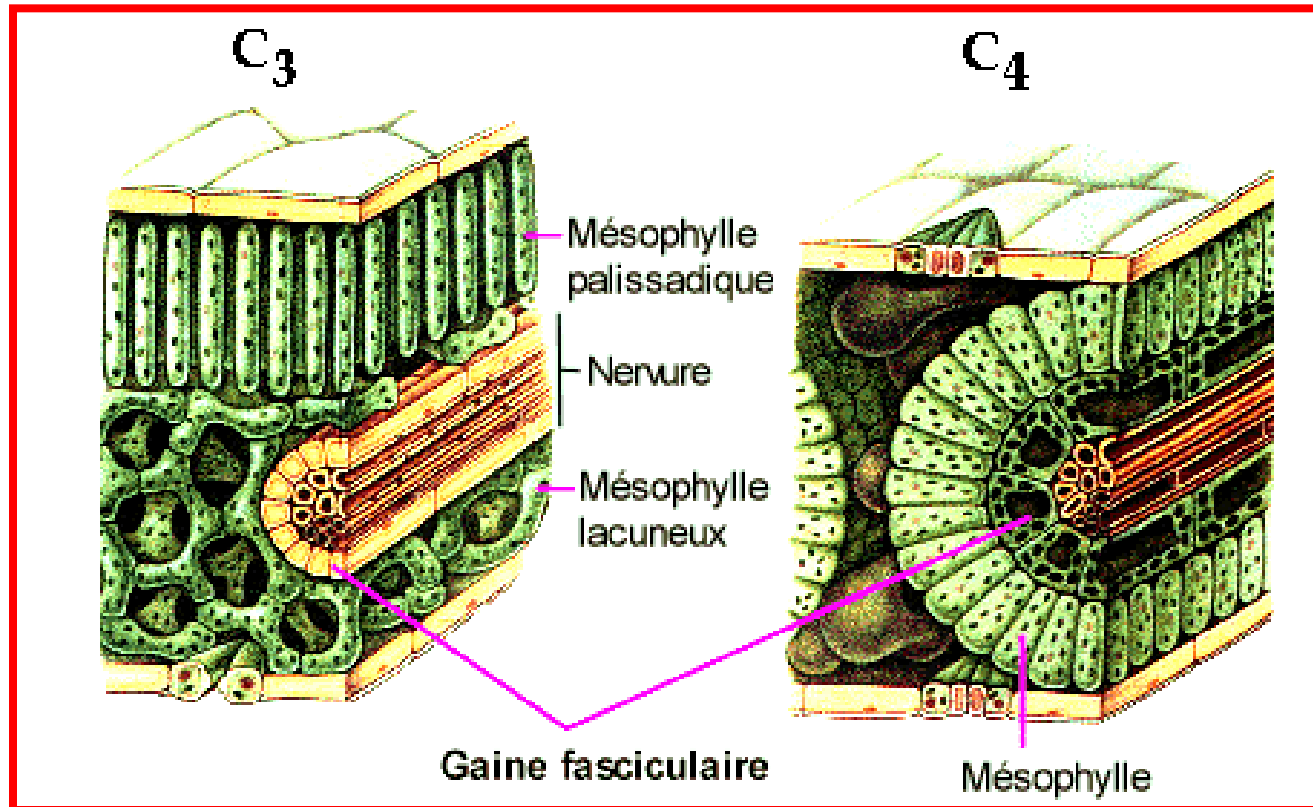
2.3. Transport et incorporation du CO<sub>2</sub>

2.3.1. Transport

2.3.2. Incorporation

2.4. Bilan chimique et énergétique

# Coupes de feuilles chez les plantes en $C_3$ et en $C_4$



- Les cellules du mésophylle n'ont pas les enzymes du cycle de Calvin (pas de RubisCO).
- Ces enzymes sont dans les cellules de la gaine fasciculaire.

## 2. LES PLANTES EN C4

### 2.1. Particularités morpho-anatomiques

### **2.2. La fixation du CO<sub>2</sub>**

### 2.3. Transport et incorporation du CO<sub>2</sub>

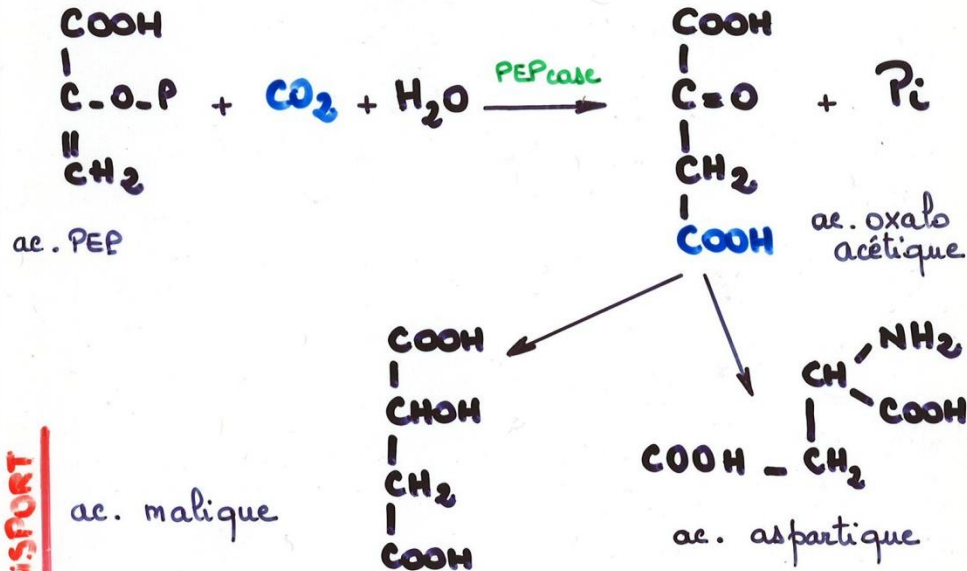
#### 2.3.1. Transport

#### 2.3.2. Incorporation

### 2.4. Bilan chimique et énergétique



FIXATION      piégeage



TRANSPORT

INCORPORATION



## 2. LES PLANTES EN C4

2.1. Particularités morpho-anatomiques

2.2. La fixation du CO<sub>2</sub>

**2.3. Transport et incorporation du CO<sub>2</sub>**

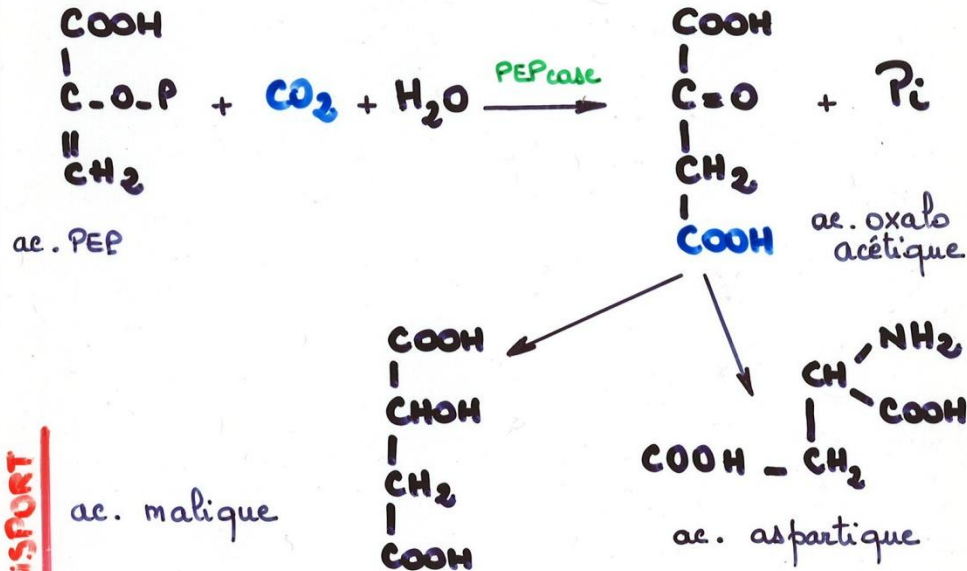
**2.3.1. Transport**

2.3.2. Incorporation

2.4. Bilan chimique et énergétique



FIXATION      piégeage



TRANSPORT

INCORPORATION



## 2. LES PLANTES EN C4

2.1. Particularités morpho-anatomiques

2.2. La fixation du CO<sub>2</sub>

2.3. Transport et incorporation du CO<sub>2</sub>

2.3.1. Transport

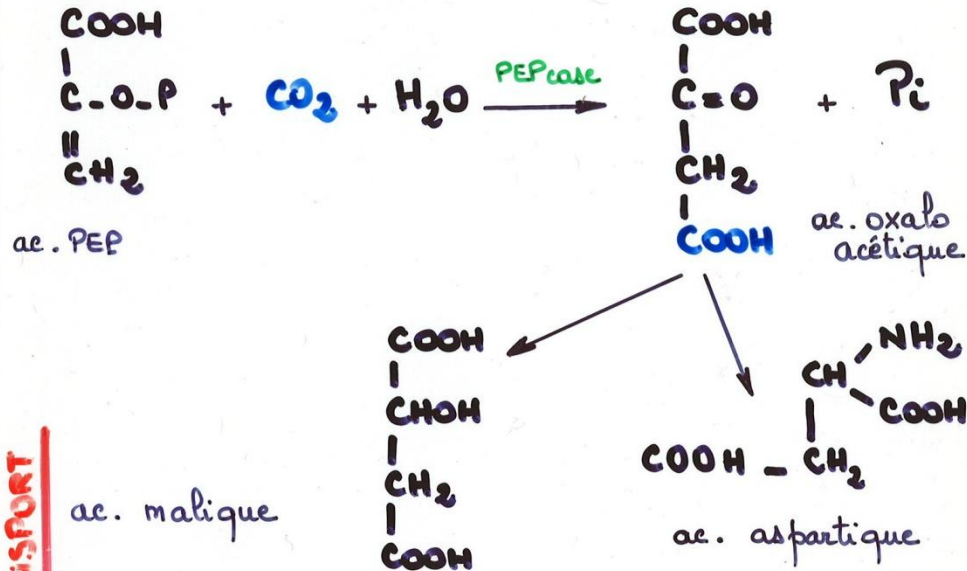
**2.3.2. Incorporation**

2.4. Bilan chimique et énergétique





FIXATION      piégeage

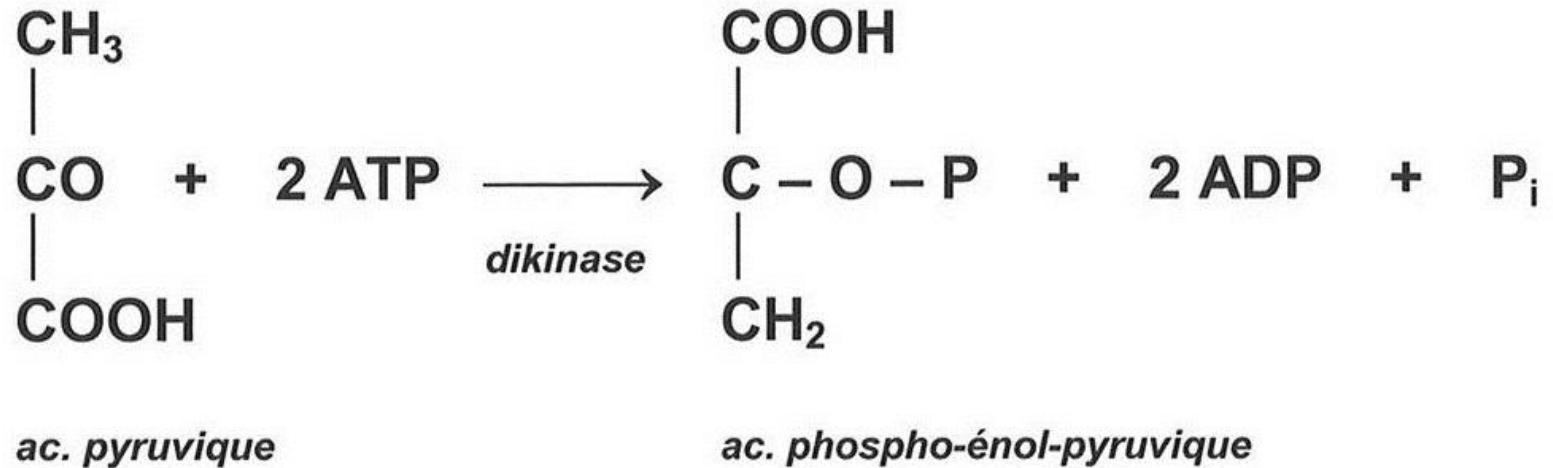


TRANSPORT

INCORPORATION



# Régénération du substrat



## 2. LES PLANTES EN C4

2.1. Particularités morpho-anatomiques

2.2. La fixation du CO<sub>2</sub>

2.3. Transport et incorporation du CO<sub>2</sub>

2.3.1. Transport

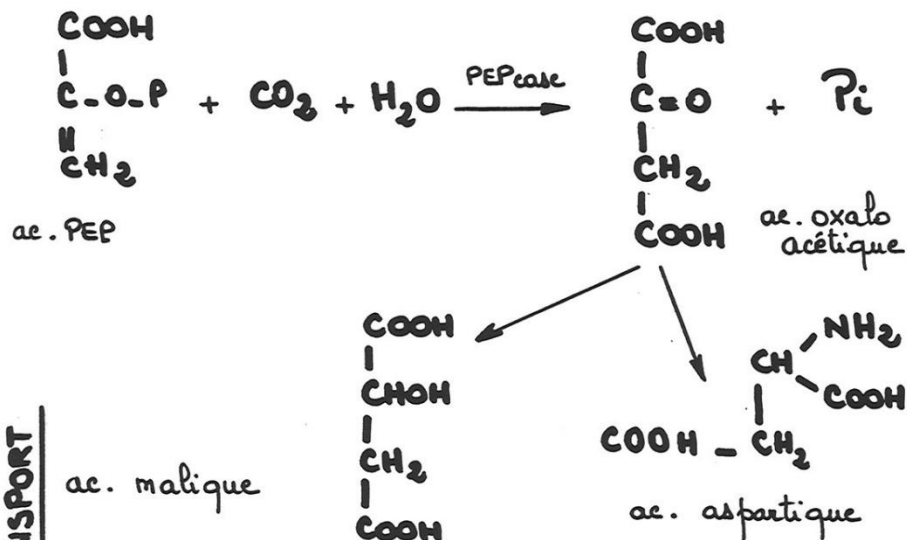
2.3.2. Incorporation

**2.4. Bilan chimique et énergétique**

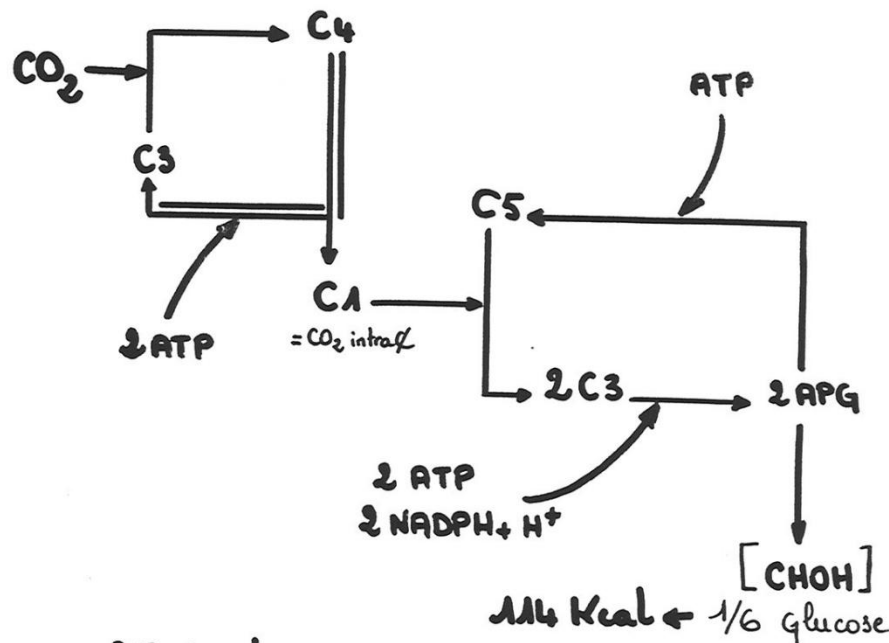
# PLANTES EN C<sub>4</sub>



Fixation piégeage

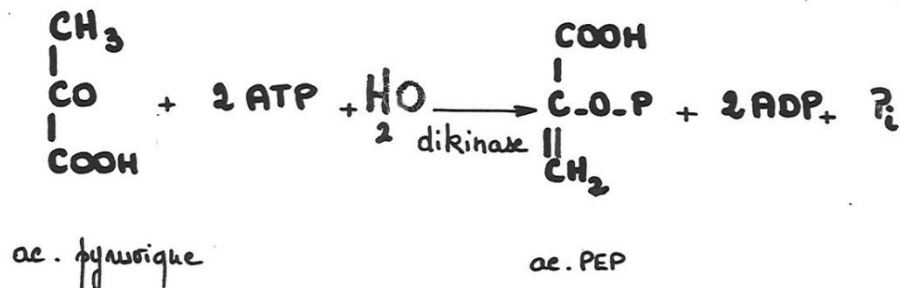
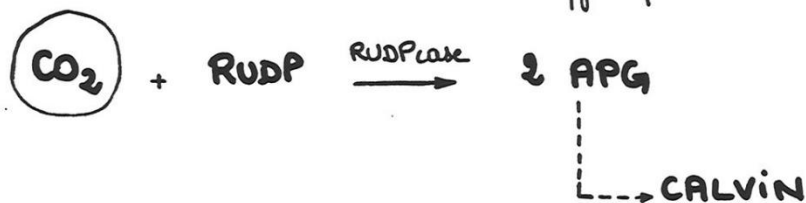
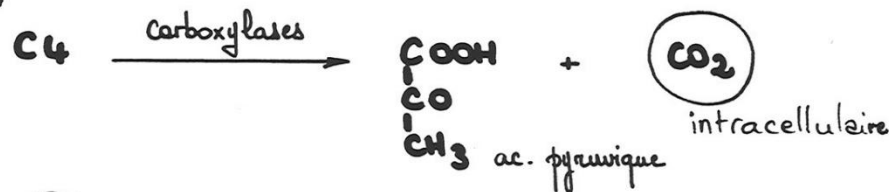


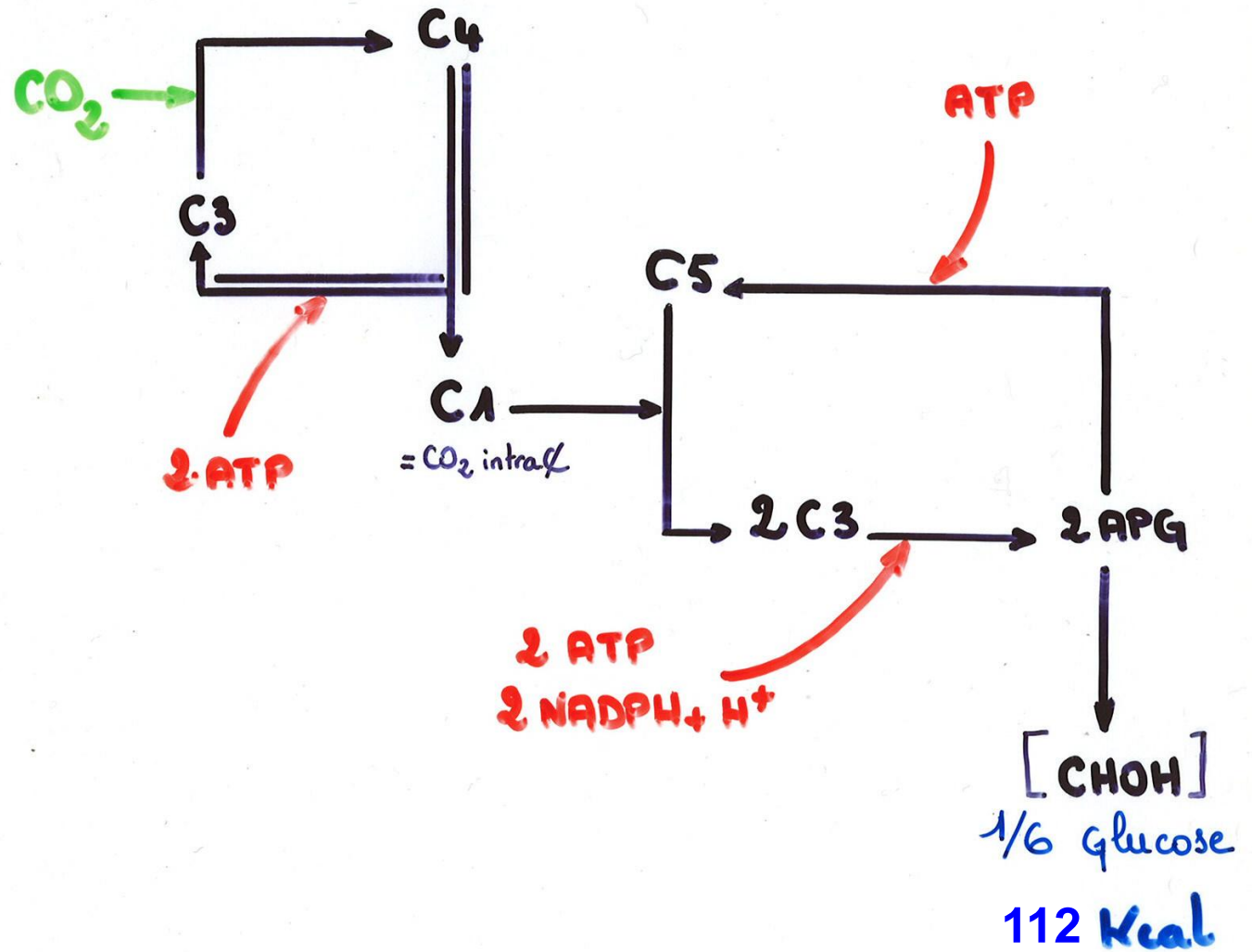
BILAN CHIMIQUE ET ENERGETIQUE



$$\begin{array}{r} 35 \text{ Kcal} \\ 100 \text{ Kcal} \\ \hline 135 \text{ Kcal} \end{array}$$

soit  $R = 84\%$





$$\begin{array}{r}
 35 \text{ Kcal} \\
 100 \text{ Kcal} \\
 \hline
 135 \text{ Kcal}
 \end{array}$$

noit

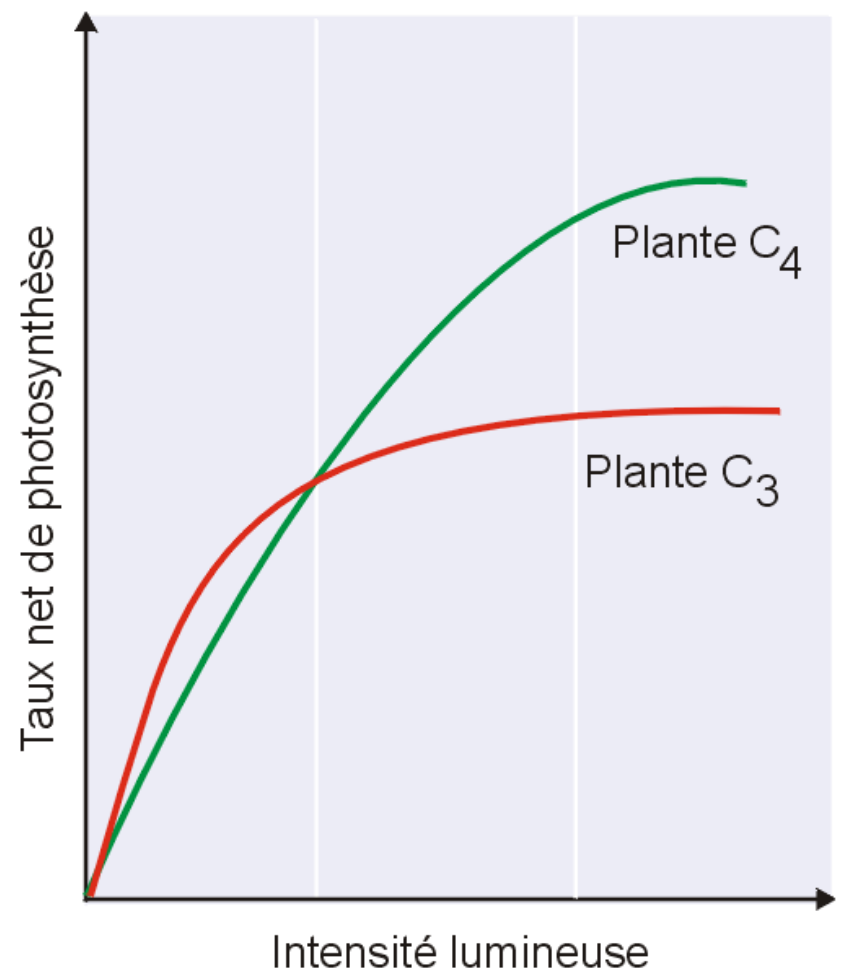
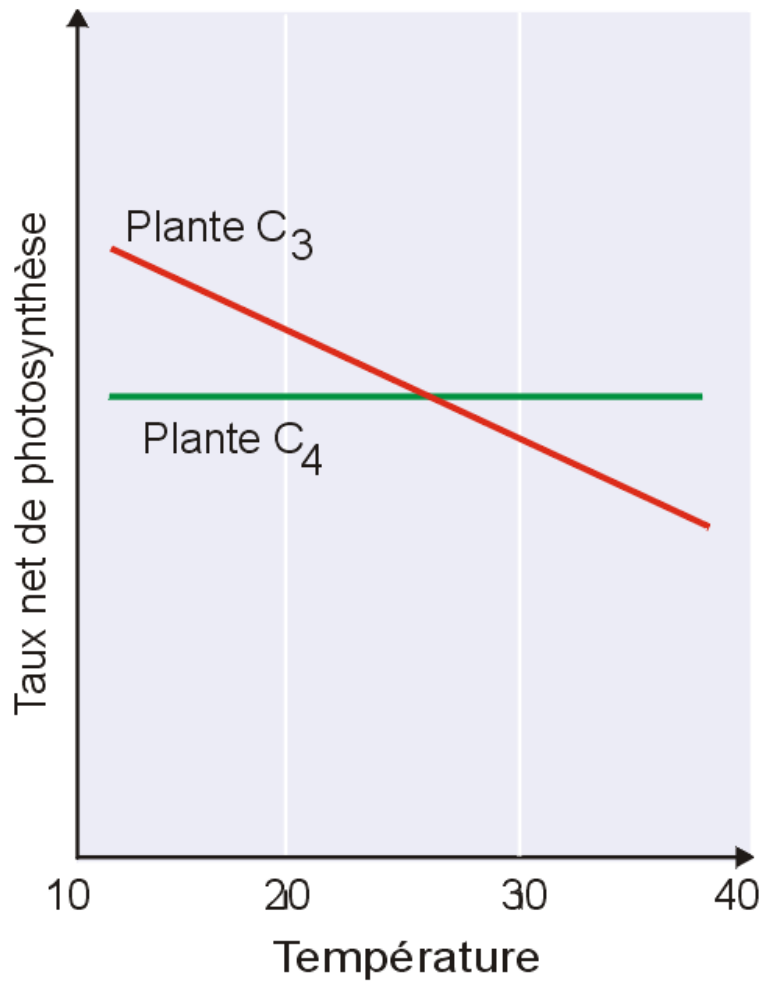
$$R = 83 \%$$

**Chez les plantes  $C_4$  la photosynthèse se déroule à deux endroits différents de la feuille.**

**Le métabolisme  $C_4$  est une adaptation à l'aridité :**

→ **emmagasiné un maximum de  $CO_2$  pendant que les stomates sont ouverts**

→ **« répartition spatiale des taches »**



**Chez les plantes  $C_4$  la photosynthèse se déroule à deux endroits différents de la feuille.**

**Le métabolisme  $C_4$  est une adaptation à l'aridité.**

~ 95% des 260 000 espèces connues de plantes =  $C_3$

~ 5% =  $C_4$

Pourquoi les plantes en  $C_4$  ne sont-elles pas plus répandues ?



- $C_3$  : Il faut 18 ATP pour produire un glucose (3 ATP par  $\text{CO}_2$ )
- $C_4$  : Il faut 30 ATP pour produire un glucose (5 ATP par  $\text{CO}_2$ )



### 3. LES PLANTES CAM

**CAM** = **C**rassulacean **A**cid **M**etabolism

= métabolisme découvert chez des plantes appartenant à la famille des **Crassulaceae** (= plantes grasses ou pl. succulentes).

Ce type de métabolisme est aussi présent dans de nombreuses autres familles de plantes (~ 20 familles).

Ex. : Cactus, Ananas, Orchidées

Plus répandu que le métabolisme  $C_4$

## La nuit :

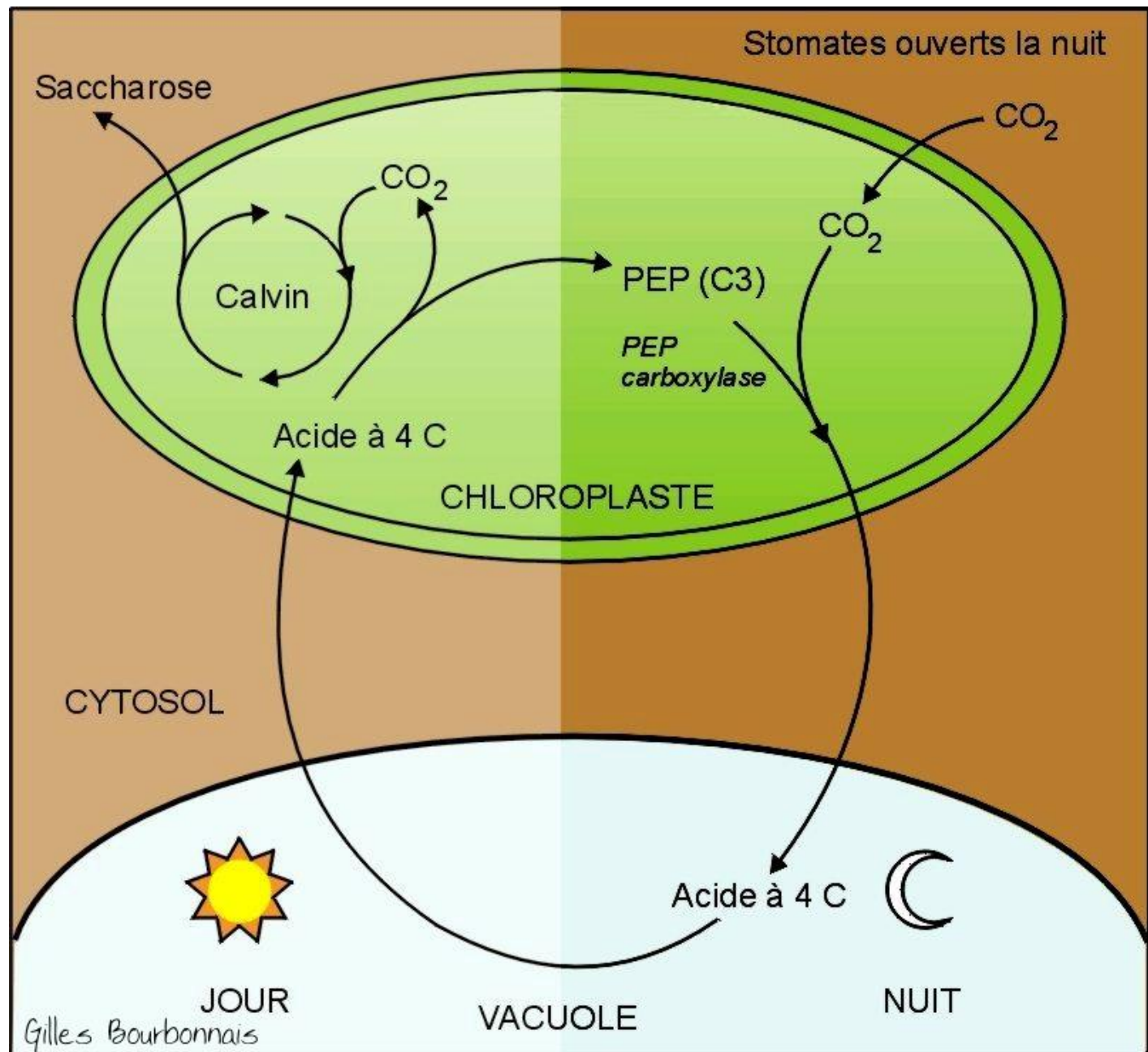
- **Ouverture des stomates**
- Absorption de  $\text{CO}_2$
- $\text{CO}_2$  réagit avec un composé à 3 C (acide phospho-énol pyruvique) pour former un composé acide à 4C (acide malique).



- L'acide malique s'accumule dans les cellules foliaires (vacuole) au cours de la nuit.

## Le jour :

- Les stomates se ferment (limitation des pertes en eau).
- L'acide malique est converti en un composé à 3C et en  $\text{CO}_2 \rightarrow$  Cycle de Calvin dans le chloroplaste.



## Métabolisme CAM

**Chez les plantes CAM, la photosynthèse se déroule à deux moments différents.**

**Le métabolisme CAM est également une adaptation à l'aridité.**

→ **emmagasiner un maximum de CO<sub>2</sub> pendant que les stomates sont ouverts**

→ **« répartition temporelle des taches »**

## **4. LA PHOTORESPIRATION**

### **4.1. Conditions de réalisation, définition, mise en évidence**

### 4.2. Réactions mises en jeu

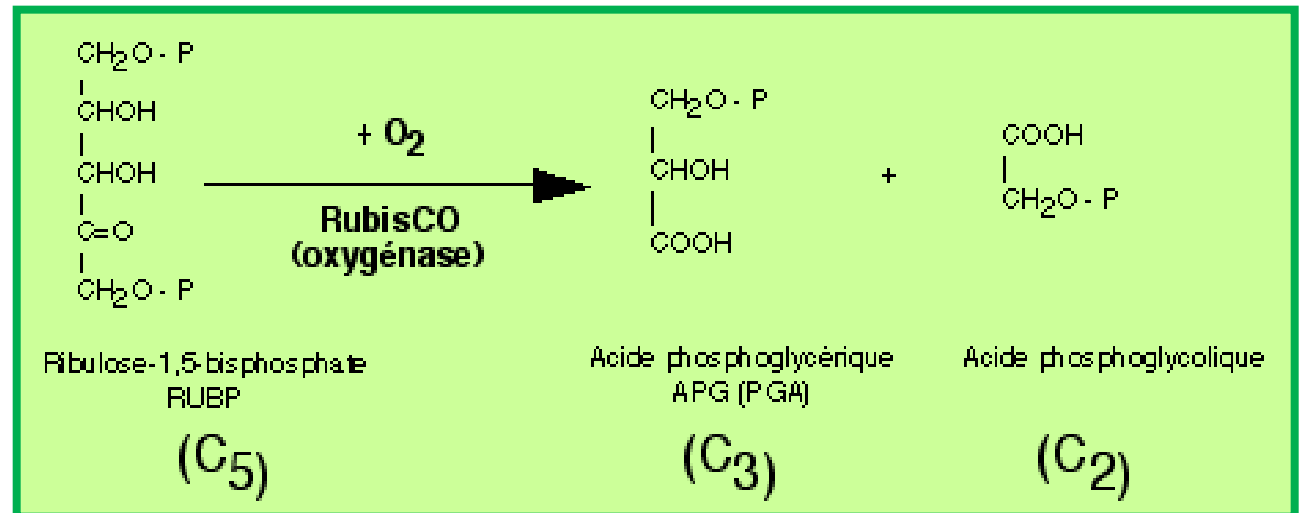
### 4.3. Rôle dans la cellule

## La fonction oxygénase de la RuBisCO :

- A la lumière, double affinité de la RuBisCO :
  - pour le  $\text{CO}_2$
  - pour l' $\text{O}_2$
- affinité plus grande pour le  $\text{CO}_2$
- Chez les plantes en C3, la RuBisCO n'est pas saturée par le  $\text{CO}_2$  pour les concentrations atmosphérique (0,037%)
  - => compétition avec l' $\text{O}_2$  en concentration bien plus élevée dans l'air (21%)

# La photorespiration ou cycle de TOLBERT :

- **Fixation de l'O<sub>2</sub> sur le ribulose 1,5-di phosphate par la RuBisCO, à la place du CO<sub>2</sub>**
- **Permet la synthèse d'une molécule d'APG qui peut ainsi servir au cycle de Calvin et la formation d'une molécule de phosphoglycolate**





# La respiration :

- **a lieu dans les mitochondries**
- **mécanisme de la chaîne respiratoire**  
**= ré-oxydation des co-enzymes NADH et des ubiquinones CoQ réduits au cours du cycle de Krebs ;**  
**ré-oxydation avec création d'un gradient transmembranaire de protons => synthèse d'ATP**  
**= la phosphorylation oxydative**  
**(théorie chimiosmotique de Mitchell)**
- **émission de CO<sub>2</sub>, indépendante de la lumière**
- **« dark respiration »**

# Mise en évidence de la photorespiration :

- L'émission de  $\text{CO}_2$  augmente à la lumière
  - La respiration mitochondriale ou « dark respiration » se réalise à la lumière comme à l'obscurité, avec la même intensité
- => La plante possède une autre respiration dépendante de la lumière = **la PHOTORESPIRATION**  
qui concurrence la photosynthèse / RuBisco
- Si le rapport  $\text{O}_2/\text{CO}_2 < 2\%$  pas de PR  
Si le rapport  $\text{O}_2/\text{CO}_2 > 20\%$  PR très active

## 4. LA PHOTORESPIRATION

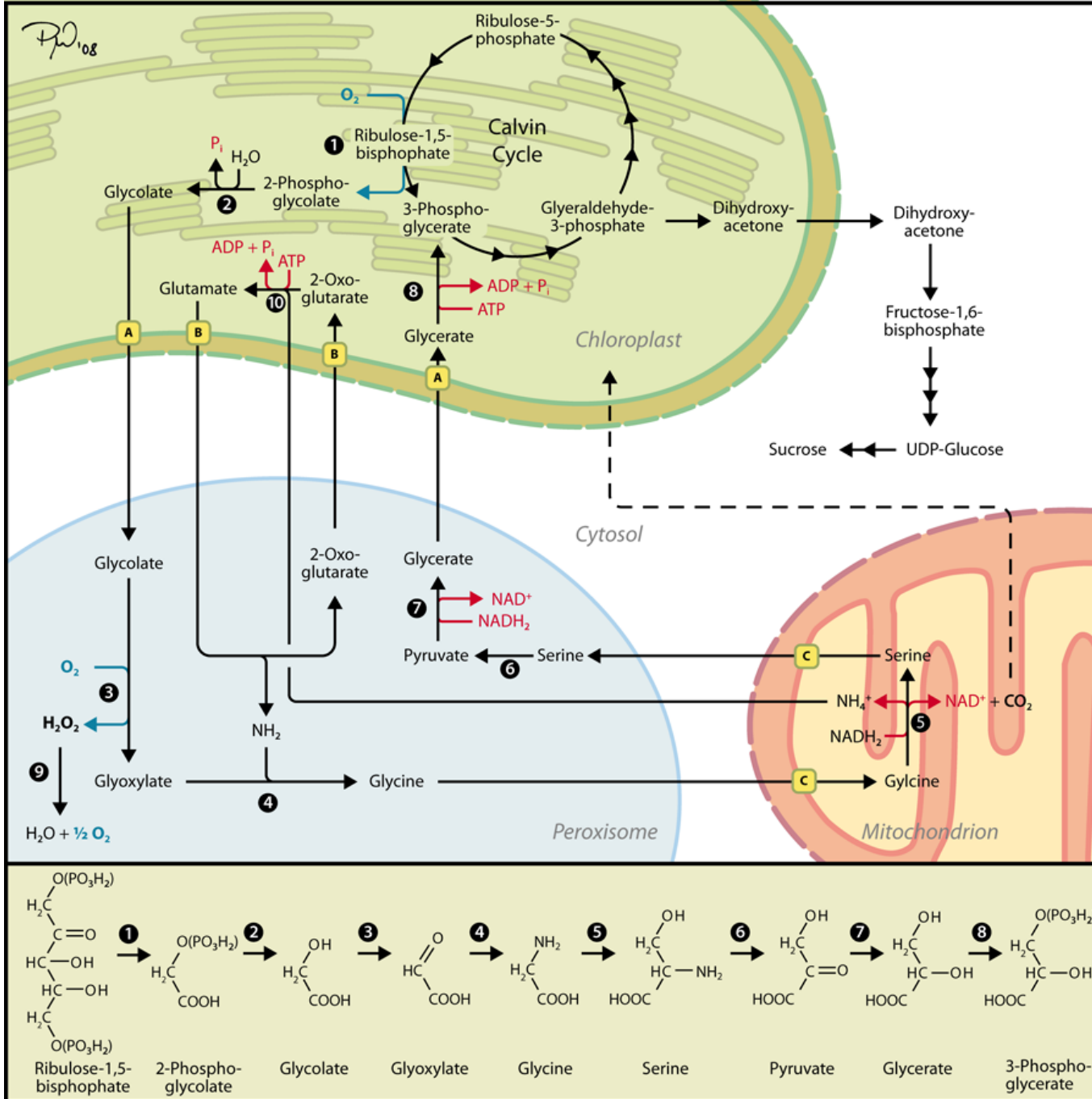
4.1. Conditions de réalisation, définition, mise en évidence

**4.2. Réactions mises en jeu**

4.3. Rôle dans la cellule

**Les réactions se déroulent dans 3 compartiments cellulaires :**

- **chloroplaste**
- **peroxysome**
- **mitochondrie**



## Photorespiration

### Enzymes

- 1 RubisCO
- 2 Phosphoglycolate phosphatase
- 3 Glycolate oxidase
- 4 Glutamate-Glyoxylate aminotransferase
- 5 Glycine decarboxylase complex
- 6 Serin-Glyoxylate aminotransferase
- 7 Pyruvate reductase
- 8 Glycerate kinase
- 9 Catalase
- 10 Glutamate synthase & Glutamine synthetase

### Translocators

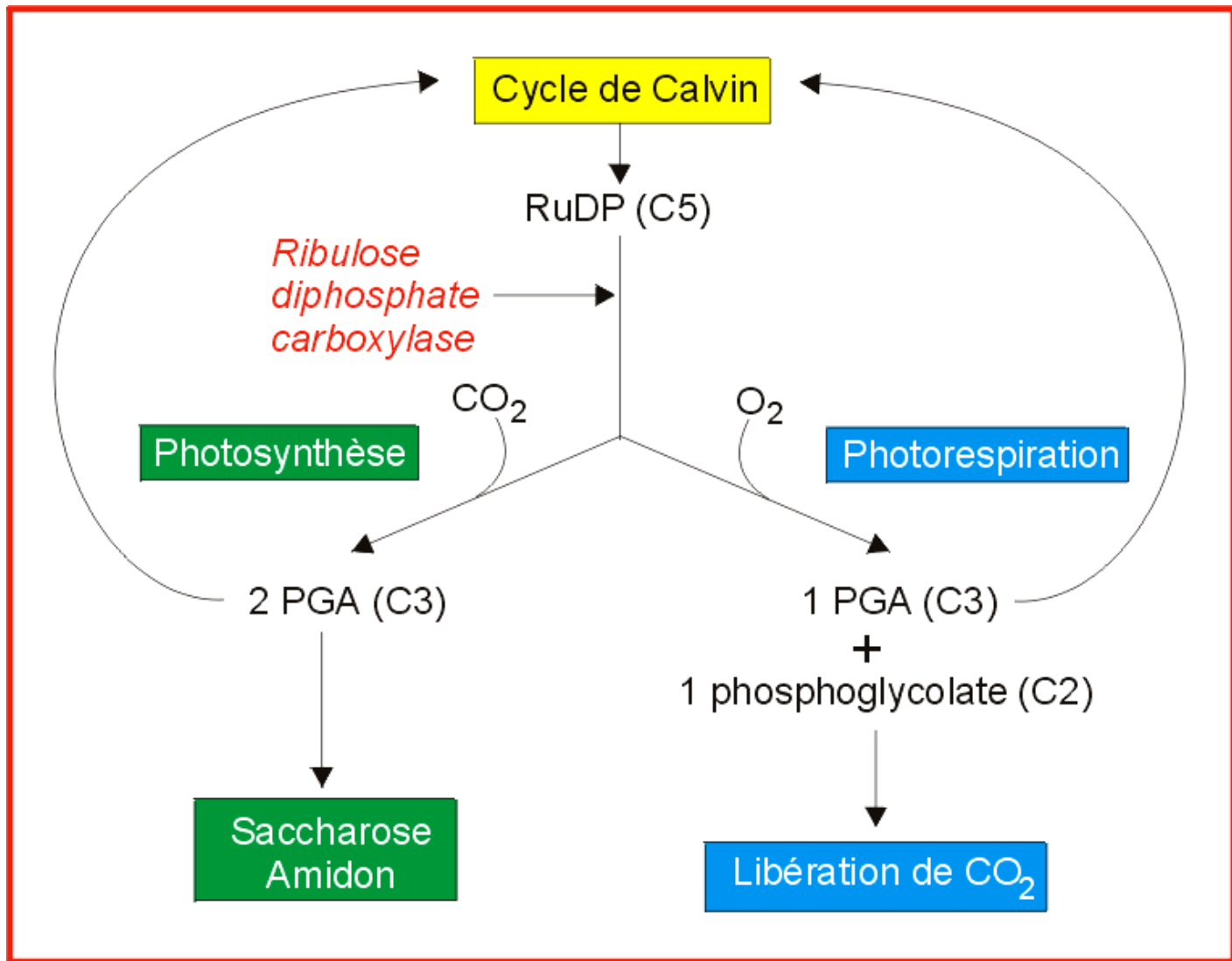
- A Glycerate-Glycolate translocator
- B Malate-Glutamate/2-Oxoglutarate translocator
- C Amino acid translocator

### Abbreviations

$P_i$  /  $(PO_3H_2)$  Phosphate  
 ATP/ADP Adenintri/diphosphate  
 $NADH_2$  Nicotinamide adinine dinucleotide  
 $NH_4^+$  Ammonium  
 $NH_2$  Amino group  
 $H_2O_2$  Hydrogen peroxide  
 RubisCO Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase

Not drawn to scale! Enzymes and some compounds not directly involved in photorespiration are omitted for clarity.

Buchanan BB, Gruissem W, Jones RL (2000). Biochemistry and Molecular Biology of Plants. Am Soc Plant Phys (Rockville).



**Pas de fixation du carbone, pas de formation de glucides.  
La photorespiration diminue le rendement de la photosynthèse.**

**Pourquoi ce "défaut" de la *RuDP* carboxylase ?**

**= probablement un vestige de l'époque où  
l'atmosphère de la planète était pauvre en O<sub>2</sub>  
et riche en CO<sub>2</sub>**

## 4. LA PHOTORESPIRATION

4.1. Conditions de réalisation, définition, mise en évidence

4.2. Réactions mises en jeu

**4.3. Rôle dans la cellule**



# Bilan

## Dark respiration

- Perte de 40 à 50% de la photosynthèse journalière d'une plante = 40 à 50% du  $\text{CO}_2$  assimilé
- Processus indispensable  
=> perte normale

## Photorespiration

- Perte de 30% de la photosynthèse journalière d'une plante = 30% du  $\text{CO}_2$  assimilé
- Gaspillage énergétique ?

- Synthèse d'acides aminés : sérine
- Photo-protection

## **5. EFFETS DE L'AUGMENTATION DES GES**

### **5.1. Mécanisme de l'effet de serre**

### 5.2. Effets de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

# **L'effet de serre : définition**

**Phénomène thermique naturel à l'origine de la température à la surface d'une planète comme la Terre.**

**Il permet d'avoir une température moyenne sur Terre de 15° c contre -18°c si cet effet n'existait pas.**

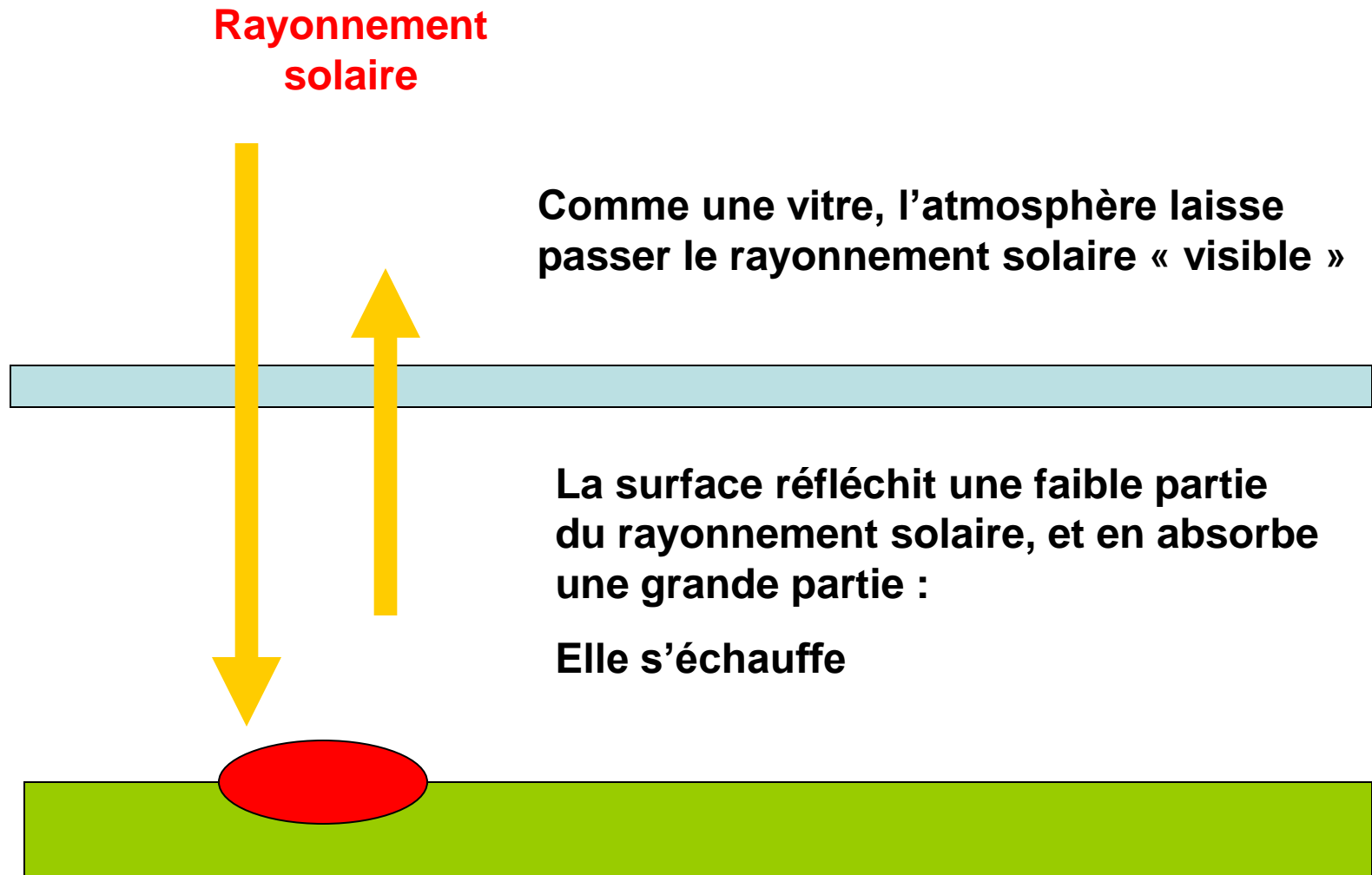
**Il est indispensable à la vie sur Terre.**

# **Le mécanisme de l'effet de serre**

**Le rayonnement du soleil vient frapper la surface du sol.**

**Réchauffé, le sol émet alors un rayonnement infrarouge ; le sol s'échauffe.**

# Le mécanisme de l'effet de serre

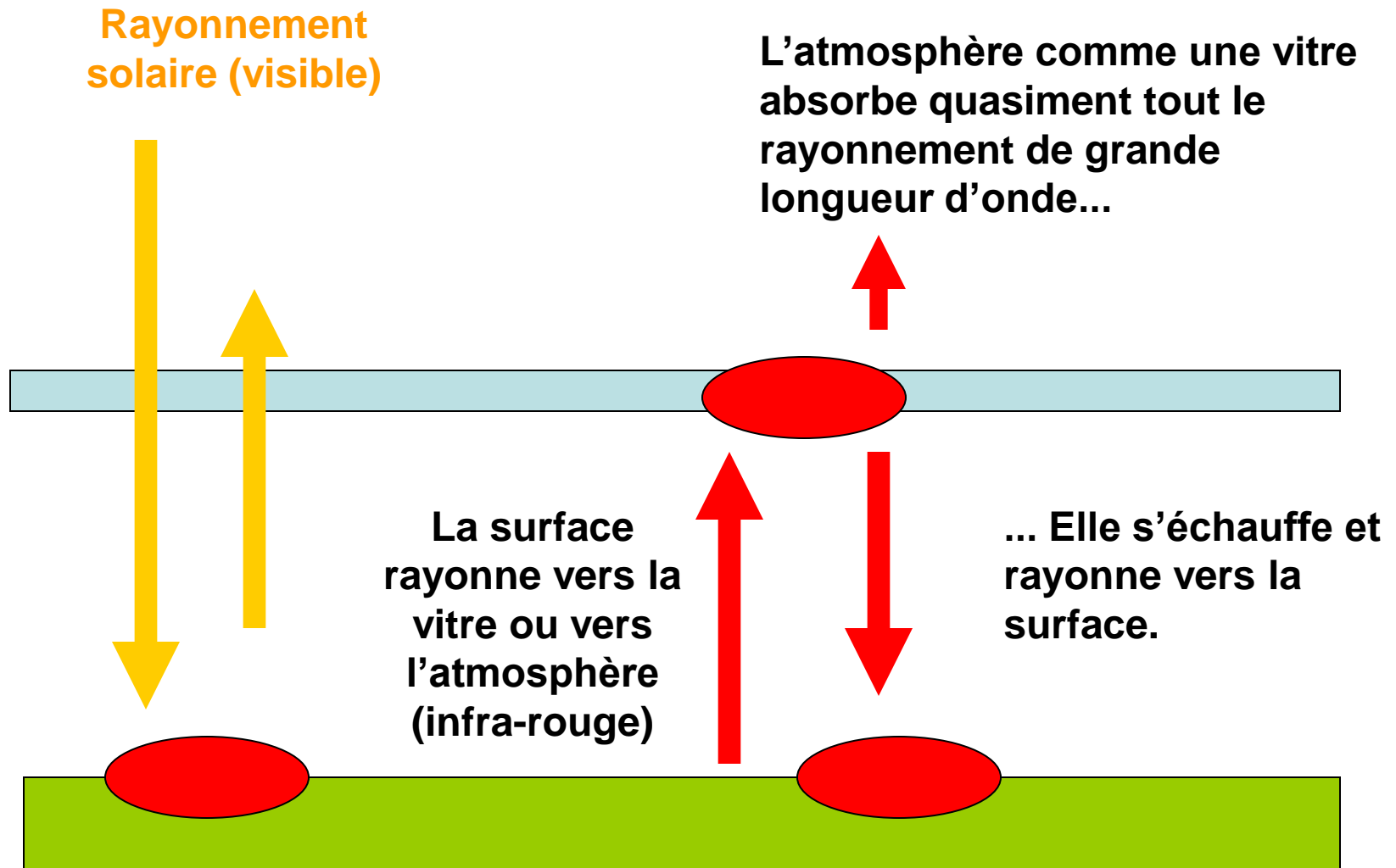


## **Le mécanisme de l'effet de serre**

**L'atmosphère absorbe et réfléchit ce rayonnement IR en raison de la présence des gaz atmosphériques qui la composent, dont principalement la vapeur d'eau et le CO<sub>2</sub>.**

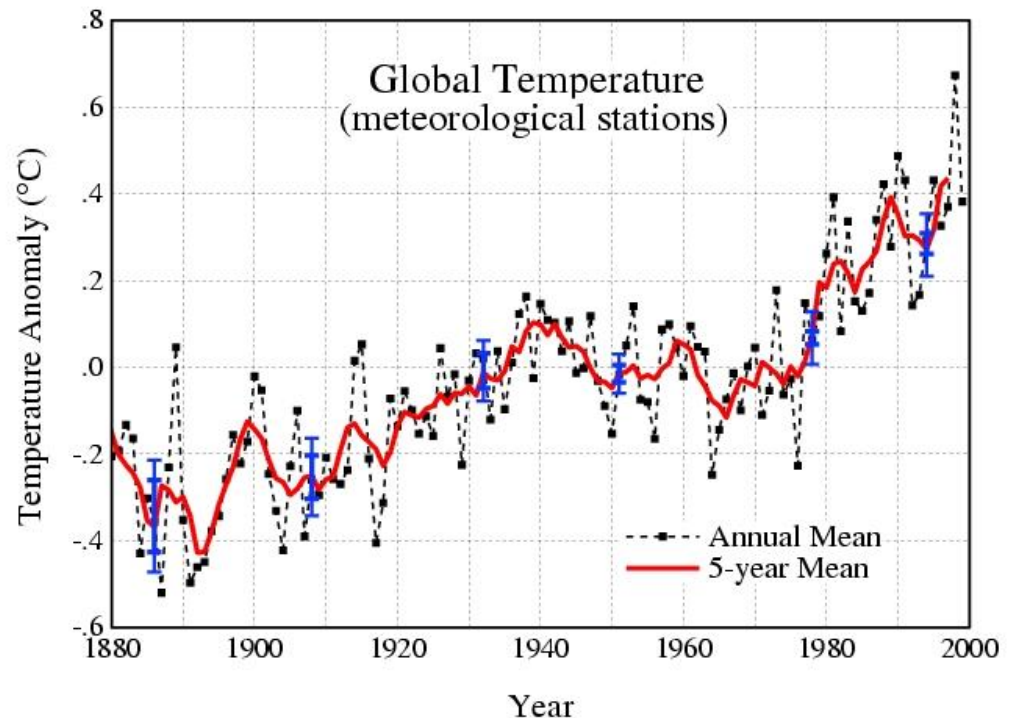
**L'atmosphère modifie ainsi l'équilibre thermique ; elle isole la Terre du vide spatial comme une serre isole les plantes de l'air extérieur et provoque ainsi un réchauffement général de la surface de la Terre.**

# Le mécanisme de l'effet de serre



# Emissions de gaz à effet de serre

Le CO<sub>2</sub> gaz à effet de serre est naturellement peu abondant dans l'atmosphère mais du fait de l'activité humaine, la concentration de ce gaz s'est sensiblement modifiée.



La température moyenne du globe a augmenté de 0,6°C depuis 1880.

d'après ENERGIE ET ECOSYSTEMES J-F Castelli INA PG - INRA

**La concentration de CO<sub>2</sub> a augmenté de 30% depuis une centaine d'années.**



# **Emissions de gaz à effet de serre**

**Augmentation des concentrations en GES :**

**=> augmentation de la température moyenne du globe de 1 à 4°C d'ici 100 ans**

**=> le cycle de l'eau risque d'être perturbé par ces changements**

**=> impact sur le climat terrestre**

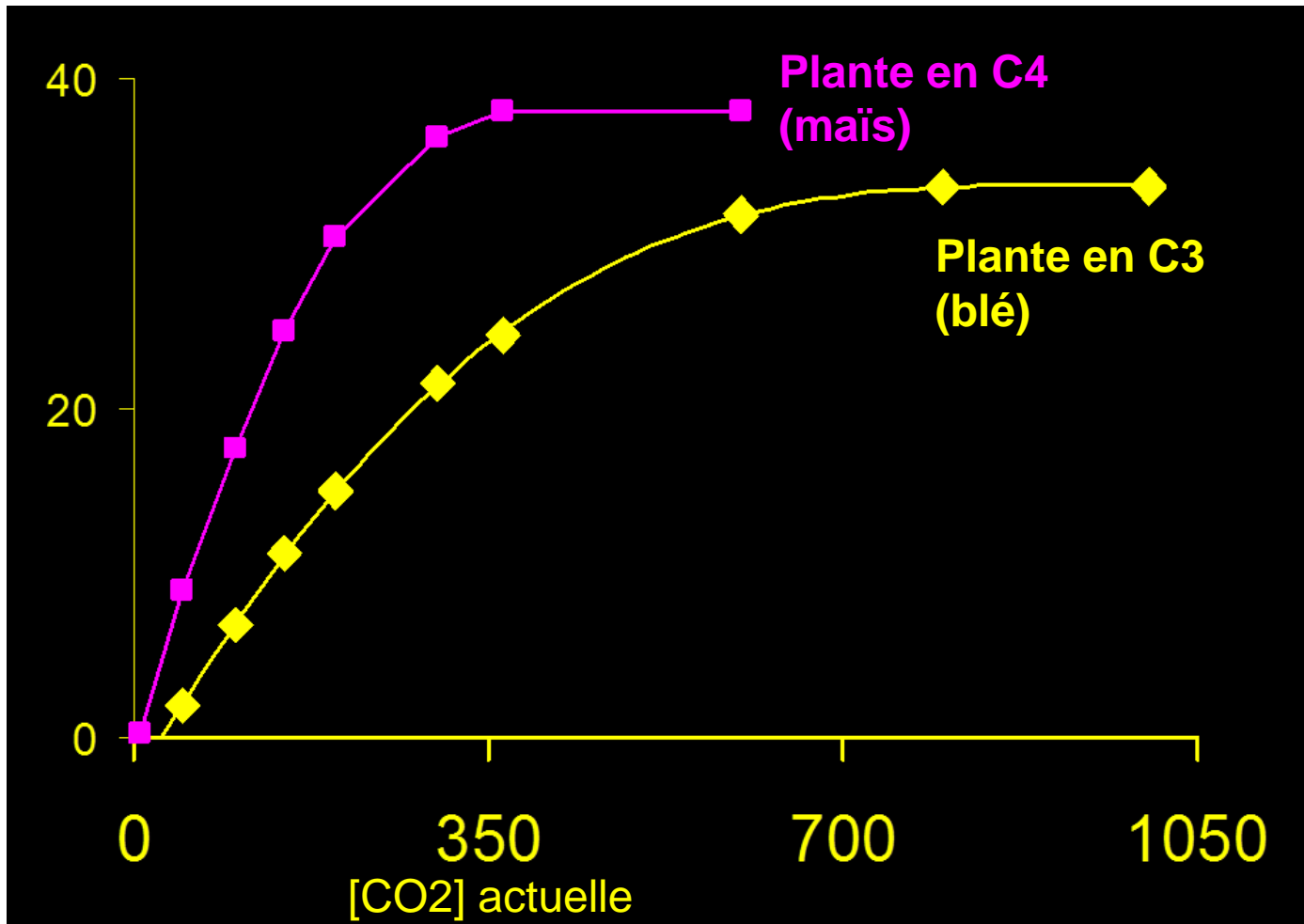
## 5. EFFETS DE L'AUGMENTATION DES GES

### 5.1. Mécanisme de l'effet de serre

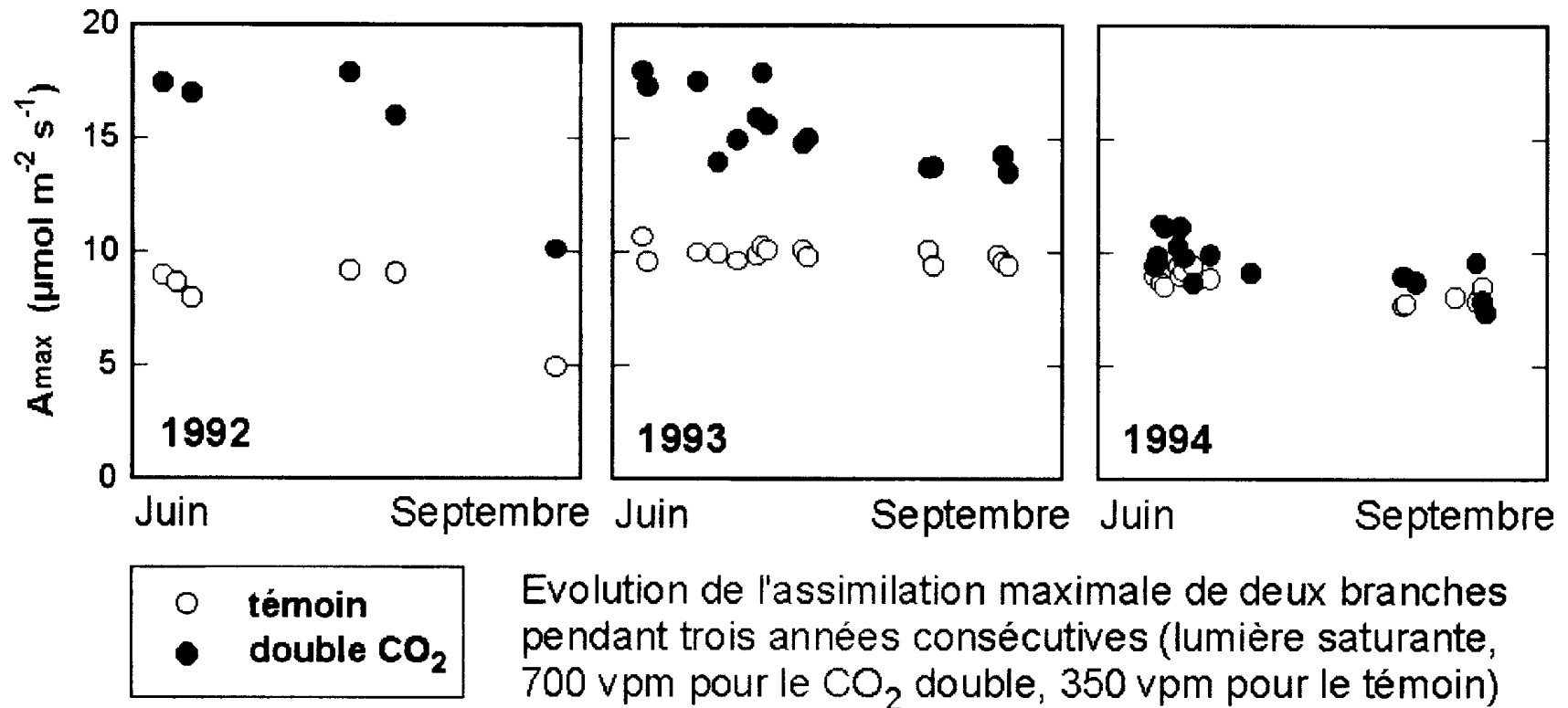
### 5.2. Effets de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

# Effets de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

[ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2) \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ]



# Effets de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique



## Impact sur la photosynthèse du Hêtre

# Effets de l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique

- Photosynthèse des espèces en C3 plus fortement stimulée
- Photosynthèse des espèces en C4 peu modifiée
- La stimulation décroît au cours du temps (sans doute de façon différente selon les espèces et les conditions de milieu)

**Les plantes en C3 semblent les plus aptes à  
bénéficier d'une stimulation prolongée  
de la photosynthèse**

**Accroissement de la compétition (C3/C4)**