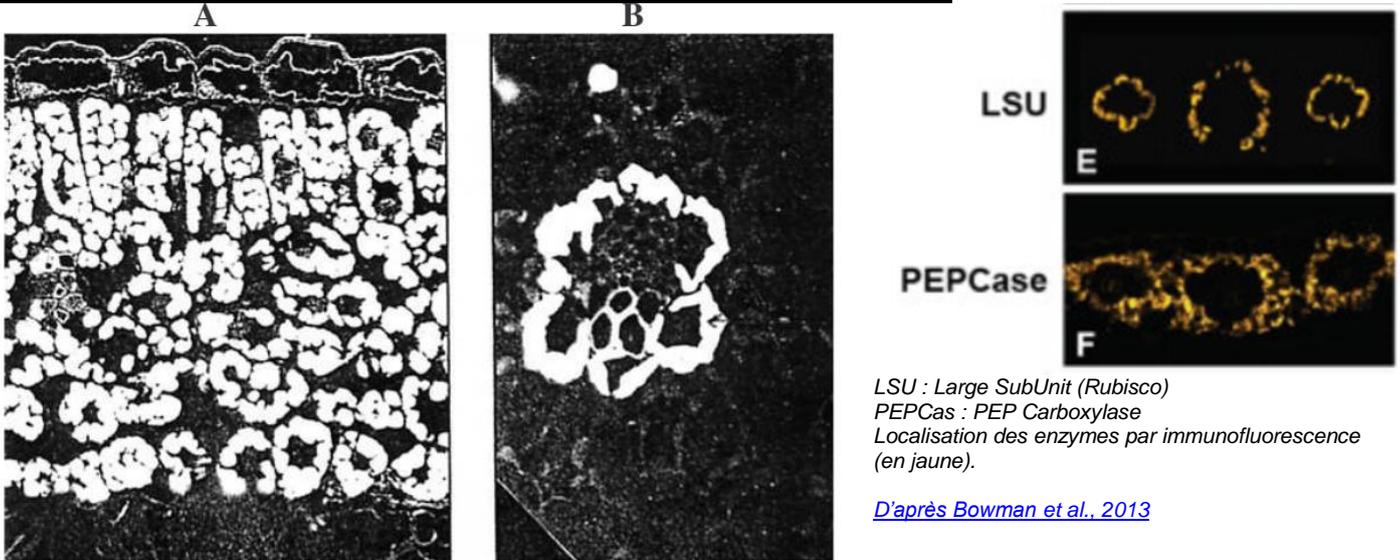


# Le métabolisme des plantes en C4

Programme concerné : IC3b

## Document 1 : Coupe de feuille de Betterave, à métabolisme en C3 (A) et de Maïs, à métabolisme en C4 (B, E) montrant la localisation de la RubisCO et de la PEPCase (F)

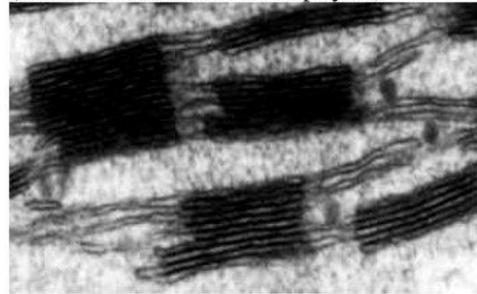


Mise en évidence de la Rubisco par immunofluorescence  
(zones blanches des photos)

## Document 2 : Observations cellulaires de Maïs à métabolisme en C4 (vue d'un secteur vasculaire du limbe foliaire), micrographies au niveau d'une coupe transversale de feuille de Maïs.

Vue générale en microscopie électronique à transmission d'une portion de cellule de la gaine foliaire (en bas) et d'une cellule du mésophylle foliaire (en haut) du Maïs.

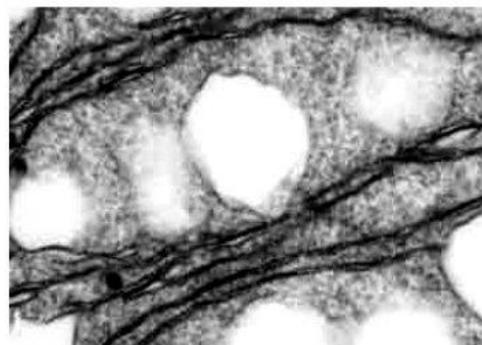
(Vue de détails côté mésophylle)



N.B. Les parois cellulaires entre gaine et mésophylle sont riches en plasmodesmes.

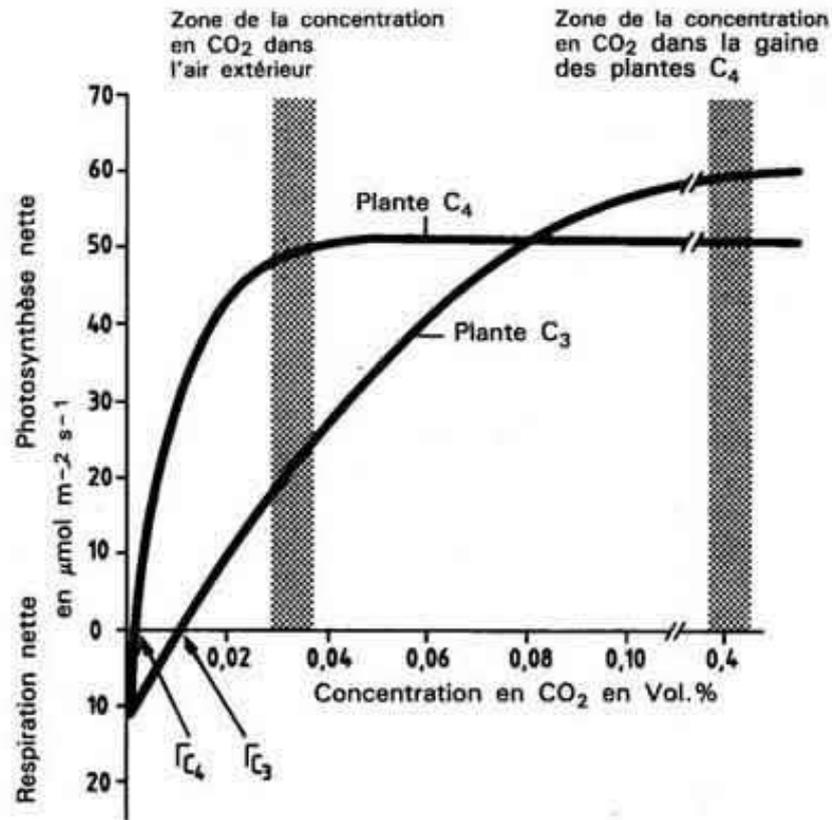


1µm

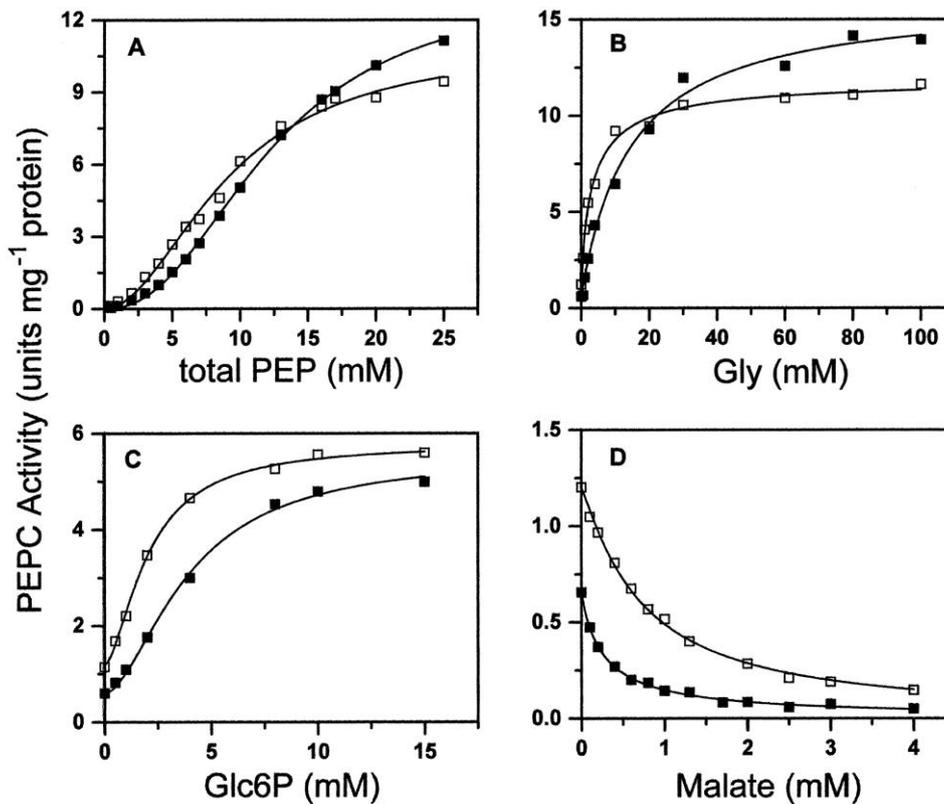


(Vue de détails côté gaine)

**Document 3 : Comparaison de la photosynthèse de plantes en C3 et en C4 en fonction de la concentration en CO<sub>2</sub> du milieu.**



**Document 4 : Cinétique de l'activité de l'enzyme PEPC (PEP Carboxylase) non-phosphorylée (□) et phosphorylée (■) au sein de la feuille de maïs en présence de PEP (A), Glycine (B), Glucose-6-P (C), et malate (D) – Source : <http://www.plantphysiol.org/content/123/1/149> (Tovar-Mendez et al. Plant physiol, 2000).**

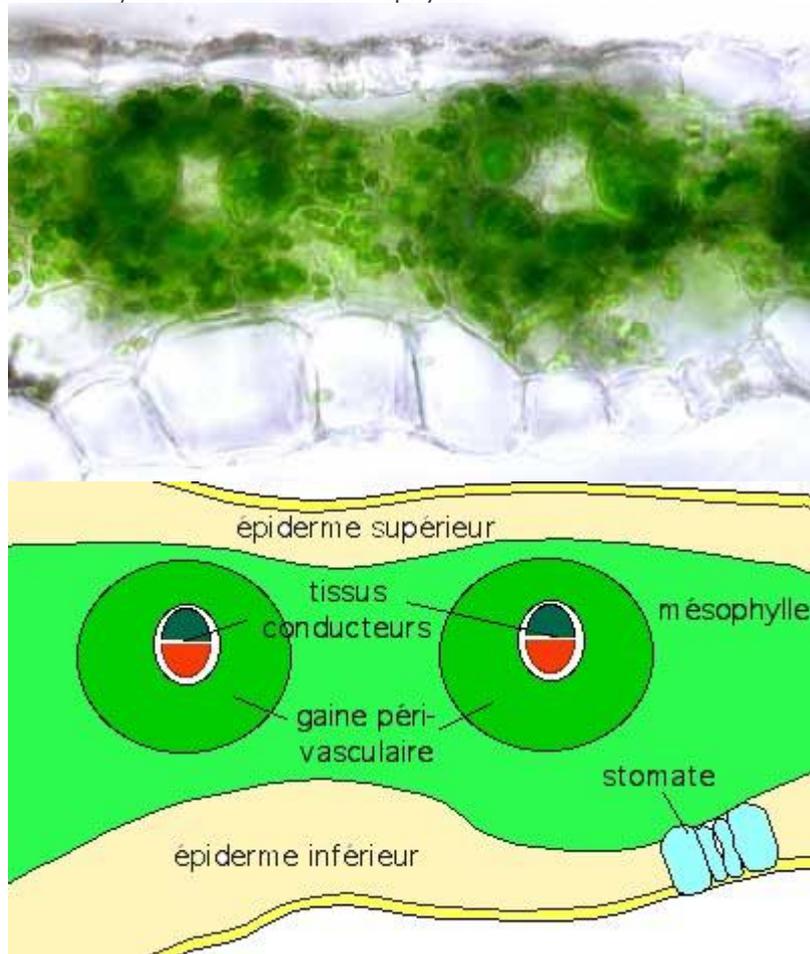


## ELEMENTS DE CORRECTION PLANTES C4

Source : [https://rnbio.upmc.fr/physio\\_veg\\_photosynthese\\_22\\_C4\\_1](https://rnbio.upmc.fr/physio_veg_photosynthese_22_C4_1)

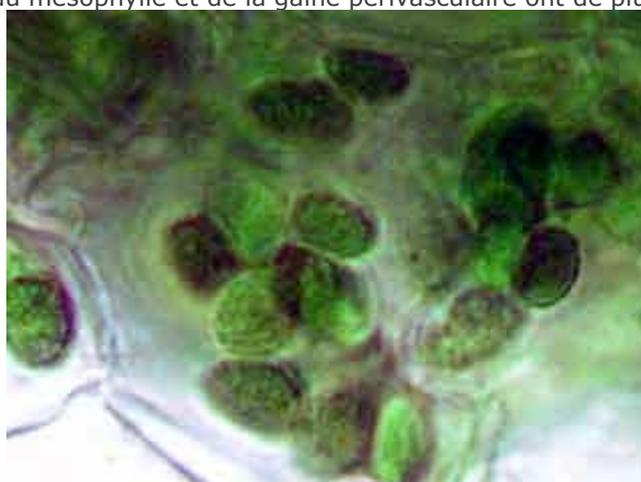
Hatch et Slack ont montré en 1970 que chez certaines plantes (canne à sucre), le 1er composé organique formé à partir du CO<sub>2</sub> était une molécule en C<sub>4</sub> (malate ou aspartate) et non l'acide phosphoglycérique (APG) comme dans la photosynthèse traditionnelle montrée par Calvin et Benson.

D'autre part, les plantes qui réalisent cette photosynthèse dite en C<sub>4</sub> présentent très généralement une structure particulière au niveau de la feuille, de ses cellules chlorophylliennes et de ses nervures.

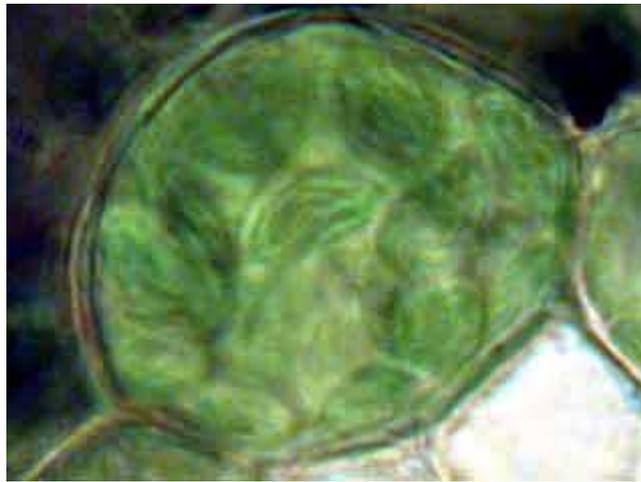


**Coupe transversale de feuille de maïs. En plus des cellules chlorophylliennes du mésophylle, on constate que les nervures sont entourées d'une gaine périvasculaire chlorophyllienne.**

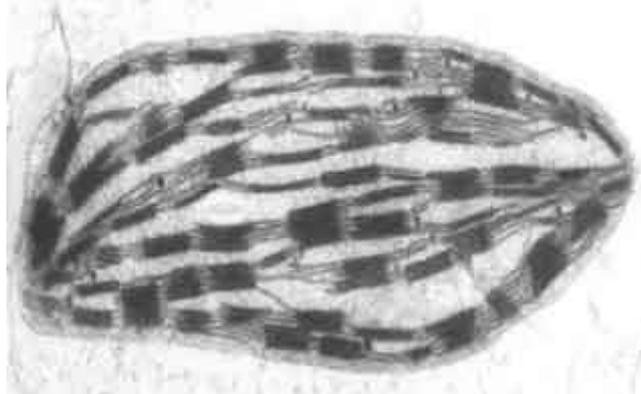
Les chloroplastes des cellules du mésophylle et de la gaine périvasculaire ont de plus une structure différente.



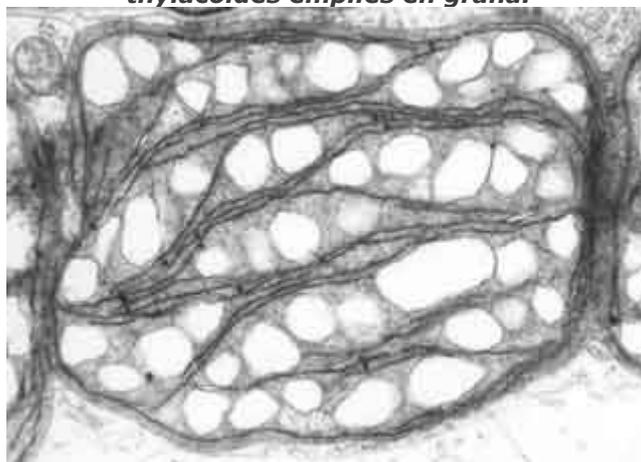
**Cellule du mésophylle, les chloroplastes, petits montrent une structure granulaire (présence de grana).**



**Cellule de la graine périvasculaire : les chloroplastes, plus grands présentent une structure agranaire.**  
 Ces caractéristiques apparaissent plus clairement en microscopie électronique à transmission (MET).



**Chloroplaste de mésophylle (MET): La structure est classique, le chloroplaste contient de nombreux thylacoïdes empilés en grana.**

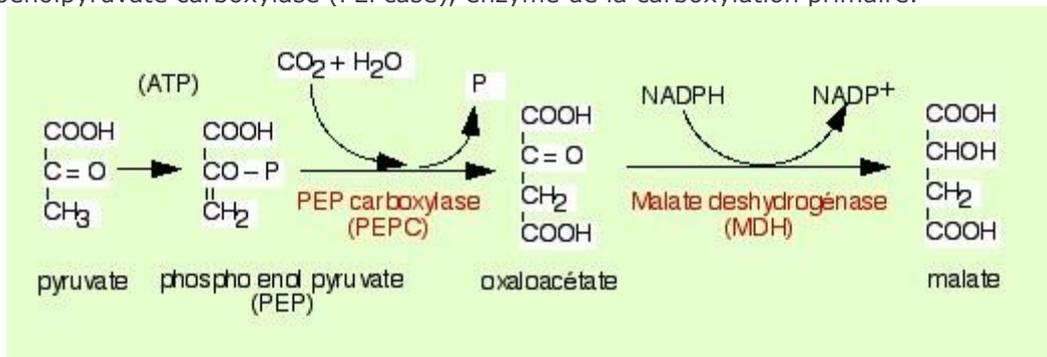


**Chloroplaste de gaine (MET): Le chloroplaste ne contient pas de grana mais seulement de longs thylacoïdes non empilés.**

Ces différences structurales s'accompagnent de grandes différences biochimiques.

- Les chloroplastes des cellules du mésophylle contiennent des granas (thylacoïdes empilés) et réalisent la photosynthèse acyclique avec production d'ATP, de NADPH et libération d'oxygène, mais ne possèdent que peu de Rubisco et ne font donc pas l'incorporation en C3. Ces cellules sont riches en PEPC (phosphoenolpyruvate carboxylase)
- Les chloroplastes des cellules de la gaine contiennent des thylacoïdes simples non réunis en granas. Ils possèdent peu de PSII et donc réalisent la photosynthèse cyclique sans production d'oxygène. Par contre, ils contiennent la Rubisco qui fonctionne en carboxylase

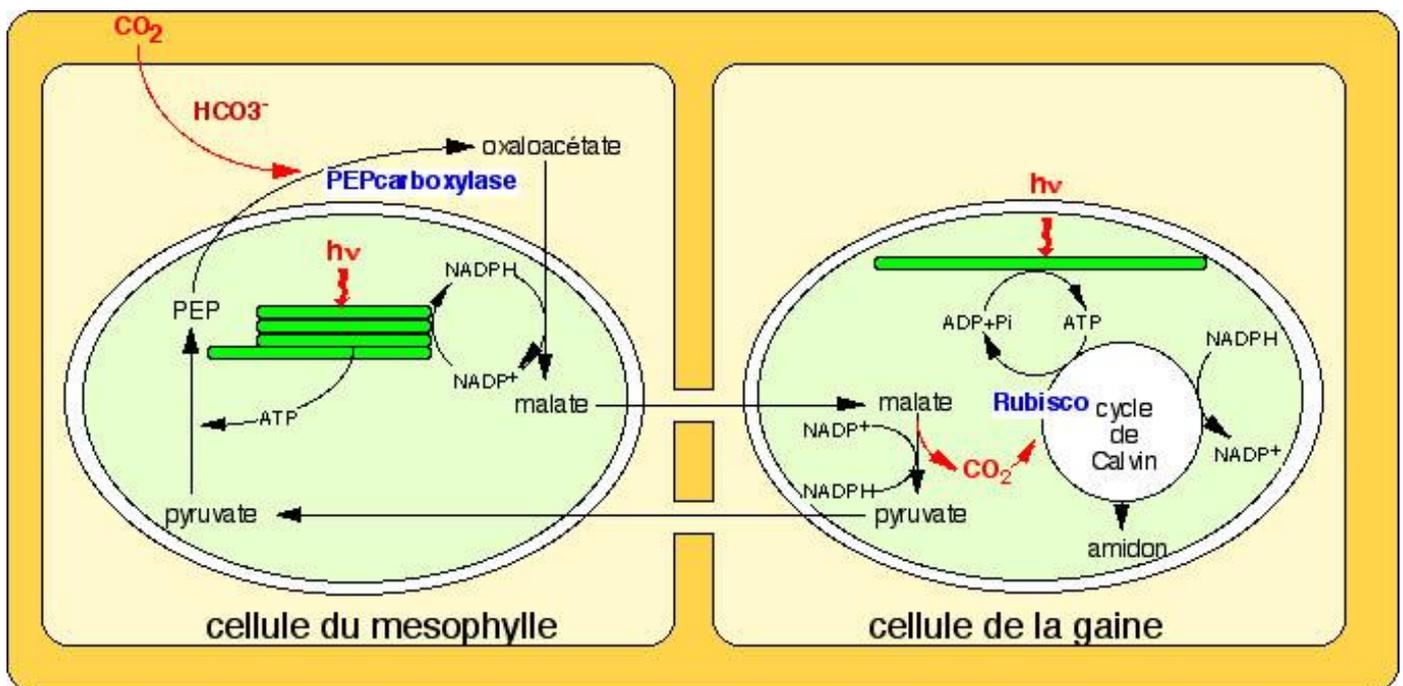
Les cellules de la gaine et du mésophylle sont voisines et communiquent par des plasmodesmes.  
 L'incorporation préalable du CO<sub>2</sub> dans un corps en C<sub>4</sub> est réalisée dans le cytoplasme des cellules du mésophylle par la phosphoenolpyruvate carboxylase (PEPcase), enzyme de la carboxylation primaire.



La PEPcase est très affine pour le CO<sub>2</sub> (utilisé sous forme de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans le cytosol) et l'incorporation peut donc se réaliser avec une faible concentration en CO<sub>2</sub>, lorsqu'il fait chaud et que les stomates sont presque fermés.

Le métabolisme des plantes en C<sub>4</sub> implique les étapes suivantes:

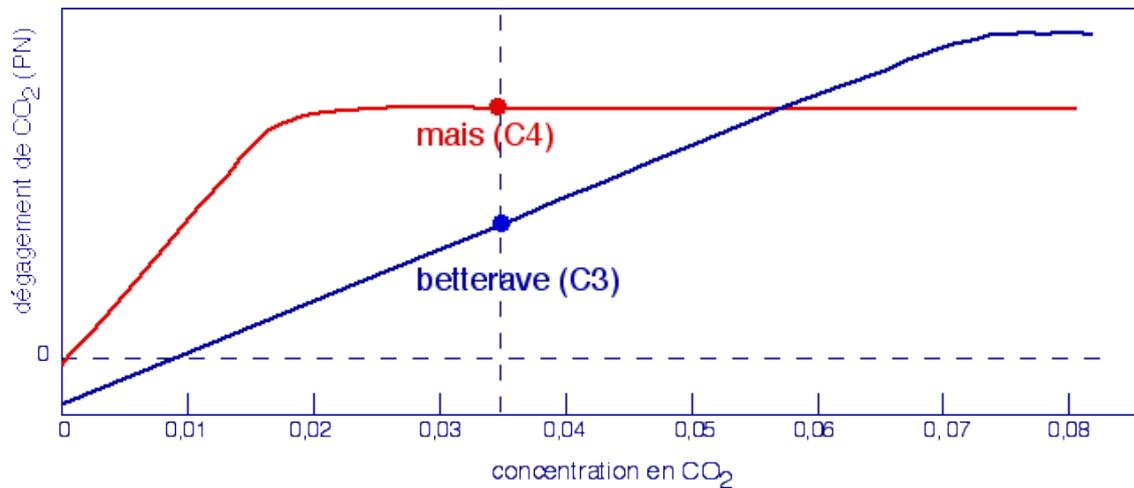
- carboxylation primaire par la PEPC et formation de malate
- transport du malate dans les cellules de la gaine périvasculaire
- décarboxylation par l'enzyme malique à NADP<sup>+</sup> (chloroplastique) et fixation du CO<sub>2</sub> par la rubisco
- transport en retour du pyruvate dans les cellules du mésophylle et régénération du PEP



**Schéma simplifié de la photosynthèse en C<sub>4</sub>.**

Ce métabolisme peut donc être considéré comme une adaptation à la sécheresse. Il faut noter que la photosynthèse en C<sub>4</sub> a été mise en évidence chez de nombreuses plantes tropicales (cane à sucre) ou d'origine tropicale (maïs)

Ce métabolisme C<sub>4</sub> conduit à une augmentation du CO<sub>2</sub> dans les cellules de la gaine ce qui permet à la rubisco de fonctionner dans des conditions optimales (pas de photorespiration).



**Comparaison de la photosynthèse de plantes en C3 et en C4 en fonction de la concentration en CO2 du milieu. Les plantes en C4 présentent un point de compensation très proche du zéro. A la concentration atmosphérique (0,037%), la photosynthèse des plantes en C4 est optimale alors que pour les plantes en C3, la concentration en CO2 est limitante.**

Bilan de la fixation d'une molécule de CO2 par la photosynthèse en C4 :

- Dans les cellules de la gaine (comme pour les C3) : 3 ATP et 2 NADPH par molécule de CO2 assimilé.
- Dans les cellules du mésophylle, il y a besoin de 2 ATP supplémentaires pour régénérer le PEP à partir du pyruvate.

Au total, il faut 5 ATP et 2 NADPH par molécule de CO2 assimilé.

**En conclusion, la photosynthèse en C4 présente des inconvénients et des avantages par rapport à la photosynthèse en C3:**

**Inconvénient :** Le coût énergétique est plus élevé, conséquence du mécanisme de concentration du CO2 depuis les cellules du mésophylle jusqu'aux cellules de la gaine périvasculaire.

**Avantage :** La photosynthèse est optimale (pas de photorespiration) avec des concentrations en CO2 atmosphériques actuelles. Elle est efficace aussi avec des concentrations en CO2 plus faibles (avantage des C4 en période glaciaire). Elle est efficace actuellement en climat chaud car les plantes peuvent maintenir un faible degré d'ouverture de leurs stomates ce qui réduit les pertes d'eau par la transpiration.

	C3	C4	CAM
Milieu de vie	Ubiquiste	Milieu chaud en toute saisons et lumineux	Désert chaud Désert salé Forêt tropicale (épiphytes)
% du nombre d'espèces d'angiospermes	85 %	5 %	10 %
% du nombre d'espèces de poacées	59%	41%	-
Les 2 phases de la photosynthèse	Les réactions sont simultanées le jour dans un seul type de cellule	Les réactions sont simultanées le jour mais réparties dans 2 types de cellule : séparation spatiale	Les réactions ont lieu le jour et la nuit, dans la même cellule : séparation temporelle
Optimum thermique	25°C	35°C	35°C le jour 15°C la nuit
Photorespiration	Oui	Non	Non
Production de matière sèche	Moyenne	Elevée	Faible
Stratégie	Activité moyenne sur une large gamme de conditions climatiques	Haute performance en condition chaude et lumineuse, humide ou sèche	Résistance en condition de sécheresse extrême