

La photosynthèse chez les plantes C3, C4 et CAM

Introduction

- Le mécanisme de **photosynthèse en C3** est le mécanisme de base de 85% des plantes vertes.
- Dans les régions subtropicales à tropicales (10 à 30° de latitude), qui sont caractérisées par une saison de pluies chaude, certaines plantes comme les végétaux herbacés ont pu développer des alternatives aux changements des conditions du milieu pour préserver une certaine activité photosynthétique.
- Ce mécanisme de photosynthèse particulier est appelé **Photosynthèse en C4**

La photosynthèse en C4

- Ce mécanisme est appliquée chez les poacée (à 41%) et en particulier les graminées tropicales (maïs, mil, sorgho, canne à sucre,).
- Ce mécanisme est différent à celui du C3 par le mode de fixation du CO₂ durant la réalisation de la photosynthèse (Cycle de Calvin).
- Dans cette étape, Les plantes citées auparavant pourront assimiler la totalité du CO₂ (de l'atmosphère) dans la plante et d'avoir un très bon rendement photosynthétique qui est élevé à celui des plantes en C3.
- Ce mécanisme est fonctionnel quand la lumière est très claire et la température est au alentour de (40 à 50°C).
- Dans ce cas la **photorespiration** est extrêmement faible

- Les plantes C4 et CAM sont des plantes qui ont développée un mécanisme pour s'adapter aux conditions difficiles du milieu, telles que; l'adaptation au stress hydrique, ou adaptation à une réduction de disponibilité de CO₂ pendant la journée.
- Les plantes des deux types C4 et CAM possèdent des alternatives pour augmenter l'activité photosynthétique.
- Ces deux types (C4 et CAM) sont adaptés aux milieux de vies contraignants (climat chaud et sec, sols à faible potentiel hydrique,..)

RECAPITULATIF

	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

- La **voie métabolique C3** se trouve dans les organismes photosynthétiques comme les cyanobactéries, les algues vertes et la plupart des plantes vasculaires.
- Les **voies métaboliques C4 et CAM** ne se trouvent que dans les plantes vasculaires.
- Les voies **C4 et CAM** impliquent des mécanismes spécialisés pour la concentration et le transport du CO₂ vers les sites de fixation par RUBISCO (voie C3) en consommant d'ATP par unité de CO₂. sans présenter d'amélioration biochimique en termes d'efficacité de RUBISCO par rapport à la voie C3.
- Parmi les espèces étudiées jusqu'à présent environ 89 % sont en C3, 10 % en CAM et 1 % en C4. En outre, quelques espèces sont connues pour être des intermédiaires C3-C4.

- **Pourquoi la présence d'un mécanisme énergétiquement plus coûteux est nécessaire pour la fixation du CO₂ par le RUBISCO ?**
- La réponse est apparemment liée à la pression sélective exercée par certains environnements en termes de ratio CO₂ fixé vs. H₂O transpiré. Il peut être démontré que même dans des conditions environnementales favorables, une plante C₃ perd à travers ses stomates environ 100 molécules d'H₂O pour chaque molécule de CO₂ entrant par les stomates. Dans les régions où l'approvisionnement en eau est constant, cela ne pose pas de problème, mais dans les régions arides et semi-arides, cela devient un problème.

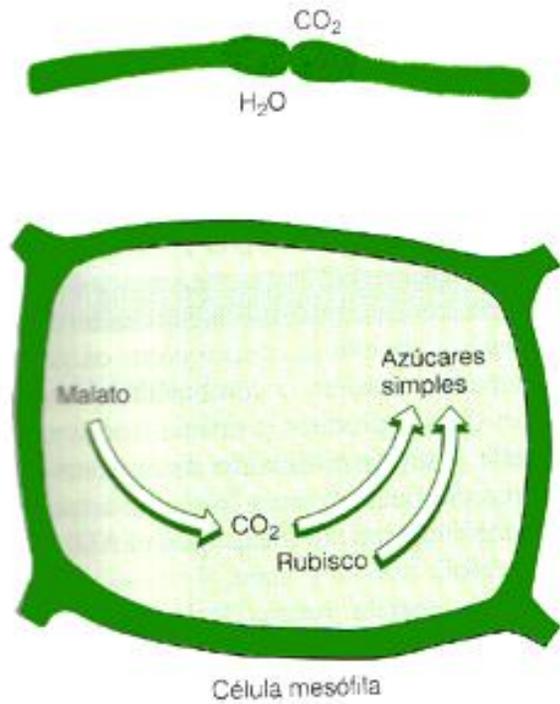
- D'autre part, étant donné que la plante (par l'intermédiaire de l'activité stomatique) répond finement à la demande d'eau, il n'est pas surprenant que la plante ne réagisse pas à la demande d'eau, les conditions qui conduisent à un effet de serre défavorable sont celles qui sont les moins favorables: Température et irradiation élevées, un déficit élevé de la pression de vapeur entre le mésophylle et l'atmosphère, un apport limité d'eau par le sol ou une conductivité électrique très élevée dans la solution aqueuse du sol solution aqueuse du sol, auront tendance à augmenter la restriction diffusionnelle de l'eau avec fermeture partielle ou totale des stomates.

- Cependant, la fermeture stomatique a également un impact négatif sur la diffusion du CO₂, ce qui se traduit par une augmentation de l'**activité photorespiratoire** de la plante, ce qui n'est pas le cas des plantes **C4 ou CAM**.
- Pour les **plantes en C4**, le résultat des modifications évolutives est que le CO₂ est fixé dans deux compartiments différents : dans le mésophylle, le CO₂ est fixé sous forme de HCO₃⁻ et dans le mésophylle sous forme de HCO₃⁻ par le CA pour être absorbé puis pris en charge par la PEPc qui incorpore le carbone dans un acide C₄. Cet acide C₄ est transporté vers la gaine du faisceau vasculaire par l'action de transporteurs spécifiques dépendant de l'ATP où il est décarboxylé pour libérer le CO₂ qui est fixé par le RUBISCO et incorporé dans le cycle de Calvin-Benson.
- sous l'action de ce mécanisme de concentration et de pompage du CO₂ vers les sites de fixation de RUBISCO (cycle de Calvin-Benson), la plante est capable de maintenir des taux élevés d'assimilation du CO₂ en présence d'une faible concentration intercellulaire de CO₂.

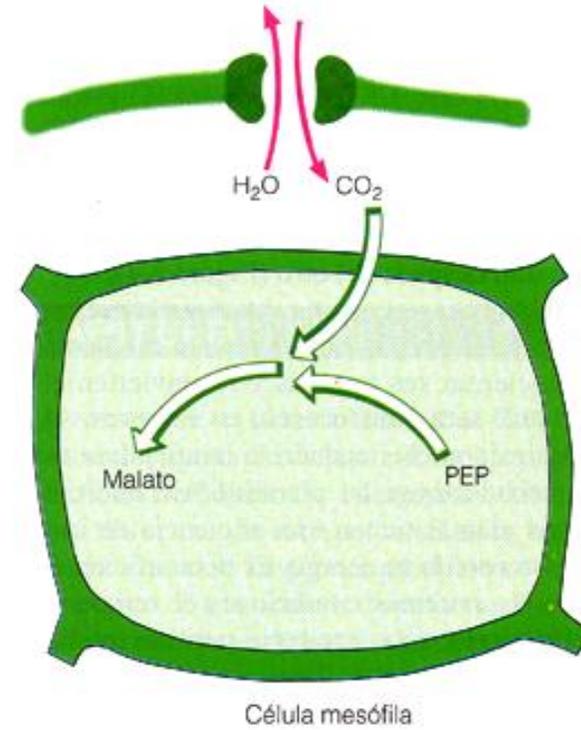
- Malgré ces adaptations, les plantes en C4 ne sont pas plus tolérantes à un stress hydrique sévère que les plantes en C3, c'est-à-dire que le mécanisme en C4 est une adaptation visant à l'utilisation efficace du CO₂. Il s'agit donc d'une adaptation visant à une utilisation efficace de l'eau, et non d'une tolérance au stress hydrique.
- En **revanche, les plantes CAM** présentent des adaptations qui leur **permettent de tolérer un stress hydrique important** : succulence tissulaire ou cellulaire, diminution drastique du rapport surface/volume des organes photosynthétiques, fermeture stomatique diurne qui limite fortement les pertes d'eau, combinée à une ouverture nocturne ne compromettant pas le gain de CO₂, présence de systèmes racinaires étendus, etc.

- Dans les plantes CAM, le résultat des modifications évolutives est que le CO₂ est fixé en deux étapes séparées dans le temps, plutôt que physiquement comme dans les plantes C₄.
- Pendant la nuit, l'ouverture des stomates permet la diffusion du CO₂, qui est fixé sous forme de HCO₃⁻ par l'AC et est capté par la PEPc qui l'incorpore dans les acides C₄ qui s'accumulent dans les vacuoles par l'intermédiaire d'une pompe membranaire dépendante de l'ATP.
- Pendant la journée, les stomates se ferment et les acides C₄ sont absorbés dans le cytoplasme, via une pompe membranaire ATP-dépendante. Les acides C₄ passent dans le cytoplasme, par un mécanisme apparemment passif, où ils sont décarboxylés. Le CO₂ qui atteint des concentrations internes très élevées, est fixé dans les chloroplastes par la RUBISCO pour être incorporé dans le cycle de Calvin-Benson.

La photosynthèse dans les plantes CAM durant le jour et durant la nuit (Smith et Smith, 2001)



Le jour



La nuit

Figure: Différentes voies dans les plantes C3, C4 et CAM. (Sources: Wataru Yamori 2013) In (Kumar et al. 2017)

