

TD3a : Du CO₂ à la matière organique : le cycle de Calvin

CORRECTION

Nous avons vu que la **photosynthèse** se déroule dans les **cellules chlorophylliennes** des **feuilles**. Ce sont les **pigments chlorophylliens** des **chloroplastes** qui **captent** la lumière et qui permettent la photolyse de l'eau, au cours de laquelle est produite de l'**O₂** et de **l'énergie chimique** utilisable par la cellule : **l'ATP et des coenzymes réduits**.

A ce moment de la photosynthèse, toujours pas de molécules organiques (sucre) produites.

Problème : Comment l'énergie chimique sous forme d'ATP et les coenzymes réduits permettent-elles la production de molécules organiques à partir du CO₂ ?

Dans les années 1950, Melvin Calvin, un biochimiste américain, proposa que l'ATP et les coenzymes réduits produits au cours de la phase de la photolyse de l'eau (= phase photochimique de la photosynthèse) permettraient de faire fonctionner un cycle de réactions chimiques au cours duquel le CO₂ serait utilisé pour former des molécules de sucre. Autrement dit, ce cycle constituerait la dernière étape de la photosynthèse puisque celle-ci doit aboutir à la fabrication de sucre.

Question n°1 : À l'aide de l'exploitation des documents 1 et 2 de l'annexe TD3a, pour chaque série d'expérience 1, 2, 3 et 4, **prédire** les résultats expérimentaux que Calvin devrait obtenir si son cycle est exact.

Prédictions des résultats de l'expérience n°1 si le cycle de Calvin est exact :

* **A 2 secondes** : le ¹⁴C injecté devrait d'abord être intégré dans les molécules d'APG : les premières molécules radioactives à apparaître devaient donc être des molécules d'APG.

* **A 4 secondes** : le ¹⁴C présent dans les molécules d'APG devrait ensuite servir à former des molécules de TP : les secondes molécules radioactives à apparaître devraient donc être des molécules de TP.

* **A 6 secondes** : le ¹⁴C présent dans les molécules de TP devrait ensuite servir à former des molécules de RuBP et d'hexoseP : les troisièmes molécules radioactives à apparaître devraient donc être des molécules de RuBP et d'hexoseP.

* **A 8 secondes** : le ¹⁴C présent dans les molécules d'hexoseP devrait ensuite servir à former des molécules de saccharose et des acides aminés : les dernières molécules radioactives à apparaître devraient donc être des molécules de saccharose et des acides aminés.

Question n°2 : Comparez les résultats théoriques attendus dans le cas où l'hypothèse de Calvin est exacte avec les résultats obtenus expérimentalement (document 3).

On peut constater que les molécules produites puis séparées par chromatographie puis mises en évidence par autoradiographie sont bien les molécules citées ci-dessus et dans le même ordre. On en déduit que l'hypothèse de Calvin est validée.

Pour confirmer son hypothèse, Calvin réalise ensuite 2 autres expériences :

Influence de la lumière :

* Des algues sont placées dans un aquarium éclairé.

* Calvin place ensuite l'aquarium à l'obscurité, puis il mesure l'évolution de la concentration en APG et en RuBP dans les algues de l'aquarium, au cours du temps.

Question n°3 : **Prédire** les résultats expérimentaux (évolution de la concentration en APG et en RuBP dans les algues de l'aquarium, au cours du temps) si son hypothèse est correcte.

Prédictions des résultats de l'expérience n°2 si le cycle de Calvin est exact :

- * on sait qu'en l'absence de lumière il n'y a plus de RH_2 et d'ATP
- * en l'absence de RH_2 et d'ATP, les réactions ② et ③ ne devraient plus se produire
- * si la réaction ② ne se produit plus alors les molécules d'APG ne devraient plus se transformer en molécules de TP (trioses phosphates = petit sucres à 3 carbone)
- * si la réaction ③ ne se produit plus alors les molécules de TP ne devraient plus se transformer en molécules de RuBP
- * l'absence de formation de molécules de TP devrait avoir pour conséquence un épuisement progressif du stock de TP, les molécules préexistantes se transformant progressivement en hexoseP.
- * les molécules de RuBP devraient continuer à se transformer en APG. Par conséquent :
 - la quantité de RuBP devrait diminuer jusqu'à devenir nulle
 - la quantité d'APG devrait augmenter jusqu'à ce qu'il ne reste plus de RuBP.

Question n°4 : Comparer les résultats théoriques attendus dans le cas où l'hypothèse de Calvin est exacte avec les résultats obtenus expérimentalement (document 4)

On peut constater que les résultats obtenus sont encore avec son hypothèse donc son hypothèse est de nouveau validée.

Influence du CO_2 :

- * Des algues sont placées dans un aquarium éclairé.
- * Calvin rend nulle la concentration en dioxyde de carbone, dans l'eau de l'aquarium, puis il mesure l'évolution de la concentration en APG et en RuBP dans les algues de l'aquarium, au cours du temps.

Question n°5 : Prédire les résultats expérimentaux (évolution de la concentration en APG et en RuBP dans les algues de l'aquarium, au cours du temps) si son hypothèse est correcte.

- * en l'absence de CO_2 la réaction ① ne devrait plus se produire
- * si la réaction ① ne se produit plus alors les molécules de RuBP ne devraient plus se transformer en molécules d'APG
- * l'absence de formation de molécules d'APG devrait avoir pour conséquence un épuisement progressif du stock d'APG, les molécules préexistantes se transformant progressivement en TP
- * lorsque le stock d'APG est épuisé, alors il ne peut plus se former de molécules de TP, en revanche les molécules de TP doivent continuer à se transformer en RuBP. Par conséquent :
 - la quantité d'APG devrait diminuer jusqu'à devenir nulle
 - la quantité de RuBP devrait augmenter jusqu'à ce qu'il ne reste plus d'APG et donc de TP

Question n°6 : Comparer les résultats théoriques attendus dans le cas où l'hypothèse de Calvin est exacte avec les résultats obtenus expérimentalement (document 4)

On peut constater que les résultats obtenus sont encore avec son hypothèse donc elle est de nouveau validée.
L'hypothèse de Calvin est donc juste.

La production de molécules organiques lors de la photosynthèse se fait au cours d'un cycle où plusieurs réactions chimiques se suivent et dépendent les unes des autres. Le cycle ne se fait pas directement à la lumière mais il a besoin des produits (ATP et coenzymes réduits) fabriqués lors de la photolyse de l'eau à la lumière. C'est au cours de ce cycle que sont produites les molécules organiques simples : sucre à 6 carbones comme le glucose, puis le saccharose et les acides aminés.

Calvin était donc en mesure de prétendre au prix Nobel (qu'il a obtenu en 1961).

Bilan :

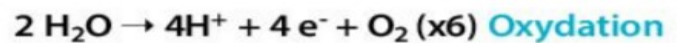
* Lors de cette 2^{ème} phase de la photosynthèse, la lumière n'est pas indispensable mais **les coenzymes réduits et l'ATP** précédemment fabriqués lors de la phase lumineuse **sont indispensables**. Les 2 phases sont donc **étroitement liées**. C'est à ce moment que le **CO₂ atmosphérique est transformé en sucres simples** (glucose par exemple)

* **Les molécules d'ATP** produites durant la photolyse de l'eau sont une source d'énergie chimique que la cellule utilise **pour synthétiser** (=fabriquer) les **nouvelles molécules organiques** à partir du **dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂)**.

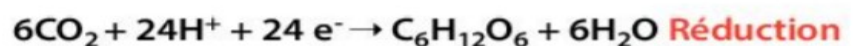
* Cette synthèse se fait lors d'un cycle de réactions : le **cycle de Calvin** qui se déroule dans le chloroplaste.

* Au cours de ce cycle, le **CO₂ absorbé au niveau des stomates des feuilles est réduit** grâce aux **coenzymes réduits** (produits lors de la photolyse de l'eau) qui apportent les protons, ce qui conduit à la **formation de glucose, d'autres sucres solubles et d'acides aminés**.

1^{ère} phase à la lumière : photolyse de l'eau \Rightarrow



2^{ème} phase : réduction du CO₂ en molécules organiques (C₆H₁₂O₆) \Rightarrow



BILAN : La photosynthèse correspond donc à une réduction du CO₂ en molécules organiques couplée à l'oxydation de l'eau grâce à la lumière solaire.

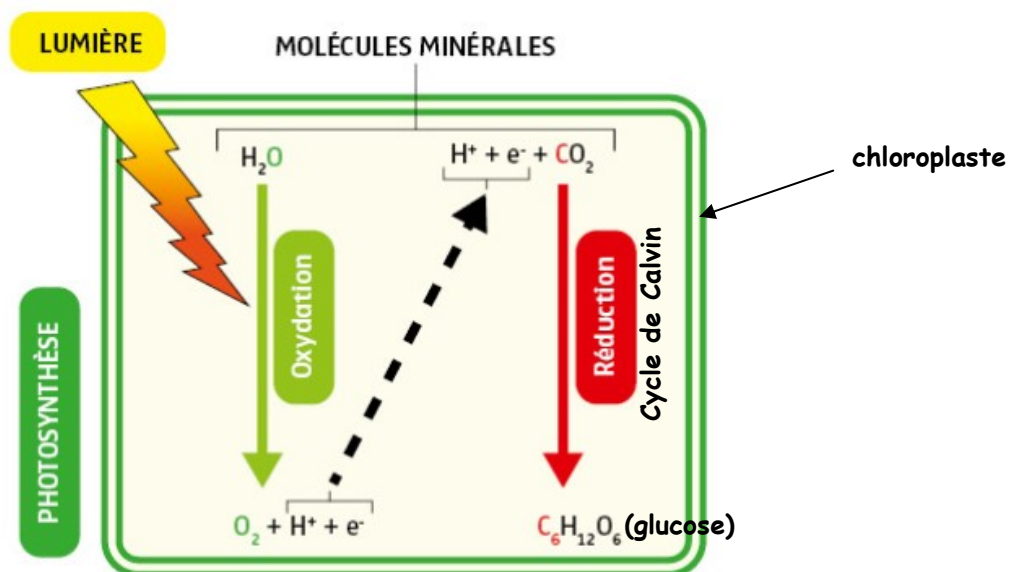
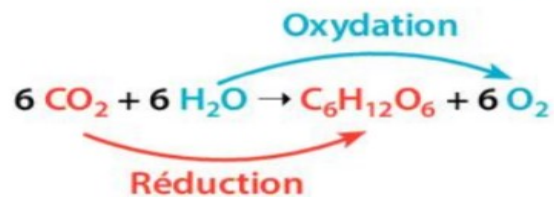


Schéma résumant les 2 étapes de la photosynthèse : photolyse de l'eau (= oxydation) et réduction du CO₂ en molécules organiques