

La photosynthèse : Les pigments photosynthétiques

Évènements photochimiques : énergie lumineuse \rightarrow énergie chimique (ATP, NADPH₂)

Évènements thermochimiques : Cminérale (CO₂) \rightarrow Glucide (sucres)

Caractères généraux de la photosynthèse

La photosynthèse est un phénomène caractéristique des plantes vertes, qui utilisent l'énergie lumineuse du soleil pour produire des glucides à partir de gaz carboniques de l'air (CO₂) et de l'eau (H₂O) puisée dans leur milieu de vie

Le pigment principal = chlorophylles

Au cours de ce processus, les végétaux absorbent le gaz carbonique et rejettent de l'oxygène

I Les chlorophylles

1 Structure chimique

Structure composée de 4 noyaux pyrroles reliés les uns aux autres par des liaisons C mais aussi un Mg chélaté \Rightarrow noyau tétrapyrrolique

Il y a des substituants Méthyle CH₃, Ethyle C₂H₅, Vinyls, Propionique

Très grand nombre de doubles liaisons : e- libres \Rightarrow capture de l'énergie

La plaque chlorophyllienne est polaire, de 10 Angstroms; sur cette plaque est accroché le queue phytol (apolaire) via un isoprène (monomère de base que l'on retrouve dans beaucoup d'hydrocarbures : terpènes avec 20 C).

Il existe plusieurs molécules de chlorophylles :

Chacune a 4 noyaux pyrroles, structure bipolaire, ce qui change juste les substituants.

- Chloro a : universel (mousse, plantes)
- Chloro b : un peu moins universel (plantes vertes et seulement chez les algues vertes)
- Chloro c1 : que chez les algues
- Chloro c2 : que chez les algues
- Chloro d : que chez les algues
- (Chloro f : bactériochlorophylle)

2 Propriétés spectrales

Pigment de couleur vert, donc les chloro n'absorbent pas le vert surtout dans les radiations : chloro a : 650-700nm & 430nm, chloro b : 640nm & 475nm => absorbent dans le rouge (rouge orangé, rouge plus sombre) et dans le bleu

II Les caroténoïdes

Famille des terpènes

Monomère = isoprène (5C)

Nombre de total de C = 40 => tétraterpènes

2 sous familles :

- Les carotènes
- Les xanthophylles

Les carotènes : des hydrocarbures stricts

Composés uniquement de C et H

Alpha-carotène et le Béta-carotène (tous les végétaux)

Couleur rouge-orangée, et sont situés dans les chloroplastes (photosynthèse) ou des chromoplastes (seulement pour la couleur)

Autre exemple : le lycopène (tomates)

Les xanthophylles : des hydrocarbures oxygénés

La plus courante : la luthéine

Couleur jaune Absorbent dans le bleu - vert

Ils participent à la photosynthèse quand ils sont dans les chloroplastes et absorbent les radiations bleues

Présence de bcp de doubles-liaisons

III Les phycobilines

N'existe que pour les algues.

Il y a 4 noyaux pyroles

Les substituants sont les mêmes que la chlorophylle.

Les doubles liaisons sont nombreuses.

Ils vont absorber dans la zone rouge du spectre.

Il faut cependant que ces pigments soient localisés dans des chloroplastes, dans les membranes des thylakoïdes

La queue apolaire est dans la double couche lipidique tandis que la plaque polaire

reste dans l'espace inter-membranaire.

Il faut aussi, dans la membrane, que le pigment soit avec une protéine

Chlorophylle + protéine = Holochrome (P680, le chiffre en indice représente la longueur d'onde du maximum d'absorption)

Les caroténoïdes peuvent être associé avec :

- complexe 1 : Protéine (+) + Béta-carotène (+++) + Lutéine ((+))
- complexe 2 : Protéine (+) + Lutéine (+++) + Béta-carotène ((+))

Phycobiline + protéine = biliprotéine

IV Capture et migration de l'énergie lumineuse

1 Capture de l'énergie

Energie lumineuse constitué dde particules lumineuses (photon) qui transporte de l'énergie (quantum)

1 Einstein = 1 mole de photons

La lumière bleue est bcp plus riche en énergie que la lumière rouge.

La capture de l'énergie lumineuse.

Lorsqu'un e- récupère de l'énergie, il va devenir excité et va passer sur une orbital plus externe (transition électronique) => État excité, chlorophylle activée
Cependant, il va falloir que e- perde cette énergie pour repasser à un état stable.
Il libère cette énergie avec de la chaleur et de lumière.

a La fluorescence

Le mécanisme de fluorescence est rare. Par rapport à la photosynthèse, c'est inutile.

b Par résonnance

L'énergie va passer d'une molécule de chlorophylles vers une autre.

Il faut que l'énergie passe d'une molécule de chlorophylle à une autre (du + énergétique vers le - énergétique)

Il y a toujours des pertes sous forme de chaleurs.

c Par conversion

Il n'y a que deux holochromes qui ne sont capable de réaliser cette conversion (P680 et P700)

Lors du changement d'orbital, l'e- est arraché au carbone et l'e- est récupéré par un accepteur d'électron (réduit) => réactions d'oxydo-réduction

Ces deux mécanismes ne sont pas indépendants. Les photons sont récupérés, il y a un transit d'énergie par résonnance, et va jusqu'à P680 et P700.

P680 et P700 ne sont impliqués que dans le processus de conversion.

Ces mécanismes se font au départ par des antennes collectrices composées par de la chlorophylle a/b, Béta-carotène . . .

La conversions n'existe pas chez les caroténoïdes, ni les phycobiline.

P680 et P700 sont des holochromes de chlorophylle a seulement.

L'accepteur d'e- primaire reçoit les e- de P680 ou P700.

Antenne + centre réactionnel = photosystème.

On note :

- PS1 : le photosystème dont l'holochrome est P700
- PS2 : le photosystème dont l'holochrome est P680

V Notion de rendement quantique

C'est le nb de molécules de CO₂ fixés par le nombre de photons reçus.

$\text{psi} = \text{nb CO}_2 / \text{nb photons reçus} = \text{nb O}_2 / \text{nb photons reçus}$

On travaille bcp sur des chlorelles (algues)

Différence entre la théorie et l'absorption due à la chaleur perdue.

Les pigments jouent un rôle de filtre solaire.

La photosynthèse : Les événements photochimiques

La photosynthèse se déroule en présence :

- De lumière
- De CO₂
- De l'eau
- D'un accepteur d'électrons = réaction de Hill (1939)

NADP est l'accepteur final en bout de chaîne

Holochrome \rightarrow Holochrome $^{+}$ + e $^{-}$ Accepteur (NADP)

Donneur e $^{-}$ (Eau) + Holochrome $^{+}$ \rightarrow Holochrome

Il faut 2 donneurs, un pour régénérer P680 et l'autre pour P700

Le transfert spontané des e $^{-}$: il ne peut se réaliser que d'un système de potentiel rédox bas **vers** un système de potentiel rédox élevé.

I Les transport acyclique (linéaire) des électrons

1 Évènements autour de PS1

LHC1 est l'antenne collectrice.

A est l'accepteur primaire (P430)

Les e $^{-}$ sont transmis vers un complexe Fer-Soufre, avant d'arriver vers la chaîne de transporteurs (Fd = ferrédoxine puis FNR) et arriver vers le NADP $^{+}$ (forme réduite)

Bilan thermodynamique autour de PS1 :

- Bilan essentiellement endergonique \rightarrow dans le sens des potentiels électronégatifs \Rightarrow gain d'énergie
- Perte de chaleur (exergonique) minimales

2 Évènements autour de PS2

L'antenne collectrice est au nombre de 2 : partie distale (à gauche) et l'antenne collectrice proximale (la plus près de l'holochrome)

Les e $^{-}$ seront récupérés par un accepteur primaire (Pheo) et puis va à la chaîne des transporteurs puis Pq (plastoquinones) et va à des cytochromes et va à P700

Le centre réactionnel est composé de 2 centres réactionnels (D1 & D2)

La régénération du PS1 se fait grâce à la chaîne et avant le PS2

II Le transport cyclique des électrons

S'il n'y a plus de NADP à réduire, tout les e $^{-}$ vont passer de Fd à PQ et les e $^{-}$ tournent en boucle.

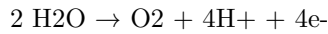
Il n'y aura pas de synthèse d'O $_2$ et de NADPH, H $^{+}$

Delta G' $^{\circ}$ \approx - 36Kcal

On peut donc faire 3 ATP

Permet de continuer à transformer l'énergie lumineuse en ATP
C'est la **photophosphorylation cyclique**

III La photolyse de l'eau



Les 4e^- vont être récupéré par un complexe intermédiaire (OEC avec Mn) =>
stocker les 4e^- libérés par la réaction, pour les relacher un par un pour régénérer
4 PS2

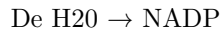
S0 est l'état initial, S1 devient + positif, S2 → ++ positif, S3 → +++ positif,
S4 → ++++ positif et la photolyse va régénérer la perte de ces 4e^- (S0)
À chaque étape, il y a libération d' 1H^+ et 1e^-

Bilan thermodynamique :
 $\Delta G'0 \approx -13 \text{ Kcal}$

Or $\text{ADP} + \text{Pi} \rightarrow \text{ATP}$ consomme 7 Kcal => synthèse de 1 ATP
Réaction de photophosphorylation acyclique

IV Le schéma Z

C'est le schéma du transport acyclique



Bilan endergonique

$\Delta G'0 = 50 \text{ Kcal}$ => pouvoir réducteur de la photosynthèse qui correspond à
une molécule de NADPH2

et + 21Kcal de la photophosphorylation (en moyenne 3 ATP)

On arrive à 71Kcal => pouvoir réducteur assimilateur

V Vision cytologique et moléculaire du transfert des électrons

La photophosphorylation

Il y a aussi la circulation des protons entre le stroma et l'intérieur du thylakoïde
: Les pQ vont consommer les protons du stroma et les relacher dans le lumen

Le NADP va aussi consommer les protons

Les protons du lumen vont passer par une ATP synthétase

Les évènements thermochimiques

Réactions photochimiques

Énergie lumineuse \rightarrow 1 NADPH₂ + 3 ATP

Les réactions thermochimiques ne dépendent que de la température

=> Réactions sombres (se déroule obligatoirement le jour)

On passe du C minéral : CO₂ \rightarrow Sucres : C organique (par l'énergie chimique de la phase photochimique => dépendance indirecte)

2 catégories de plantes : C₃ (la + courante) et C₄

I Les plantes en C₃

1 Le cycle de Calvin (Benson & Calvin)

3 étapes :

a L'incorporation du CO₂

RUBP + CO₂ \rightarrow RubisCo (instable) \rightarrow 2 APG

RUBP : sucre à 5 C : Ribulose Bis Phosphate

RubisCO : ribulose Bis phosphate **Carboxylase** Oxygénase

APG : molécule à 3 C : Acide phospho Glycérique

C₅ + C₁ \rightarrow 2 C₃ (via RubisCO)

b La réduction de l'acide phosphoglycérique

Activation de l'APG par un ATP

réduction de l'ABPG par le NADH, H⁺ qui donne un sucre (ald PG)

c La régénération du RUBP

On ajoute des 5 C₃ pour obtenir 3 C₅

Il y a des étapes de phosphorylation et déphosphorylation intermédiaire pour assembler les C₃

Chaque triose consomme une molécule d'ATP à chaque fois

Un seul triose par dans la voie des hexoses (synthèse C₆) soit mis en réserve sous forme d'amidon

Le C₆ servira pour la fabrication du glucose et du saccharose.

2 La voie des synthèse des hexoses

2 trioses :

AldPG + DHAP (isomère de AldPG) \rightarrow Fructose 1,6-diP \rightarrow Fructose 6-P \rightarrow Glucose 6-P \rightarrow Glucose 1-P (pour pouvoir être utilisé par la plante ou mis en réserve)

UDPGlucose + Fructose 6-P \rightarrow UDP + Saccharose-P
et/ou

UDPGlucose + Fructose \rightarrow UDP + Saccharose

Le glucose va s'associer et se condenser en un polymère de Glc \Rightarrow amidon (très haut poids moléculaire)

Le saccharose se fabrique dans le cytoplasme des cellules foliaires. Les trioses doivent donc migrer du chloroplaste vers le cytoplasme

Ces trioses peuvent aussi être utilisés lors de la respiration cellulaire

Lorsque tu éteins l'interrupteur, il n'y a plus de cycle de Calvin. Les réserves d'amidon sont hydrolysées pour libérer des trioses-P et utilisés pour le métabolisme de la cellule.

II Les plantes en C4

1 Particularité morpho-anatomique

Le parenchyme lacuneux (Faisceau Libéro-Ligneux)

Le parenchyme de la gaine fasciculaire, anneau périvasculaire (entoure le FLL)

Cellules mésophylles : chloroplastes avec de nbs granas, peu de RubisCO \Rightarrow pas de cycle de Calvin mais présence de la PEPcase (PhosphoÉnolPyruvate carboxylase) : très grande affinité pour le CO₂.

Gaine périvasculaire : chloroplastes agranaires (qqes thylakoïdes longs, simple, non réunis en granas), présence de RubisCO \Rightarrow cycle de Calvin

2 Fixation du CO₂

Maïs origine tropicale donc adaptation de la céréale.

On est dans le parenchyme lacuneux

C₃ + C₁ \rightarrow (via PEPcase) \rightarrow C₄ (ac. oxalo-acétique) + Pi \rightarrow ac. malique | ac. aspartique

ac malique vont migrer dans la gaine fasciculaire

3 Transport et incorporation du CO₂

$C_4 \rightarrow (\text{décarboxylase}) \rightarrow \text{ac. pyruvique} + \text{CO}_2$

Le CO₂ libéré lors de la décarboxylation reste dans le tissu

Le RuDP va prendre en charge ce CO₂ qui reste.

$\text{RuDP} + \text{CO}_2 (\text{RuDPase}) \rightarrow 2 \text{APG} (C_3) \Rightarrow \text{cycle de calvin}$

L'ac. pyruvique va permettre de régénérer par phosphorylation pour réavoir ac. PEP

Disjonction spatiale des réactions (synthèse dans 2 compartiments différents)

Il faut être plus efficace donc la plante a créé deux types de cellules. Il faut vite piéger du CO₂ lorsque les stomates sont ouverts (car ils se referment très vite quand il fait chaud (climat tropical))

4 Bilan chimique et énergétique

Les C₄ sont plus performantes que les C₃, on a plus de captation de CO₂, un meilleur fonctionnement à température élevée.

III Les plantes CAM

CAM = Crassulacean Acid Metabolism

= métabolisme découvert chez les plantes appartenant de crassulacées (= plantes grasses ou succulentes)

Les réactions thermochimiques vont se répartir dans le temps : disjonction temporelle.

Les stomates sont ouverts la nuit, au coucher ou au lever du soleil

Ce type de métabolisme est aussi présent dans de nbs familles de plantes (~ 20 familles)(cactus, ananas, orchidées, euphorbes)

Plus répandu que le métabolisme C₄.

Découvert en 1966.

La nuit :

Ouverture des stomates, absorption de CO₂, CO₂ réagit avec un composé à 3C (ac PEP) pour former un ac. malique à 4C.

$\text{CO}_2 + C_3 \rightarrow C_4 (\text{ac. malique})$

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

Le jour :

Les stomates se ferment, l'ac. malique va rentrer, par le CO₂, dans le cycle de calvin