

I- دور الصبغات اليخضورية في التقاط الطاقة الضوئية و تحويلها إلى طاقة كيميائية

1- استخلاص الصبغات اليخضورية و بنية البلاستيدة الخضراء

أ- عزل الصبغات اليخضورية

ب- فوق بنية البلاستيدة الخضراء و مكان تموضع الصبغات اليخضورية بها

2- خاصيات الصبغات اليخضورية

أ- طيف الضوء الأبيض

ب- فعالية الموجات الممتصة من طرف اليخضور

II- مراحل التركيب الضوئي و تفاعلاته

1- الكشف عن مراحل التركيب الضوئي

2- المرحلة الضووكيميائية

أ- مصير الإشعاعات الممتصة من طرف اليخضور المعزول

ب- مفهوم النظام الضوئي

ج- كيف يعوض اليخضور الإلكترون المفقود

د- تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية

هـ- مراحل تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية

3- المرحلة البيوكيميائية

أ- ظروف دمج CO<sub>2</sub> في المادة العضوية

ب- مراحل دمج CO<sub>2</sub> في المادة العضوية

ج- دورة Calvin

4- حصيلة

III- مصادر المادة و الطاقة المستعملة من طرف الكائنات الحية

1- التركيب الكيميائي عند الكائنات المعدنية التغدية

2- خلاصة

1- دور الصبغات اليخضورية في التقاط الطاقة الضوئية و تحويلها إلى طاقة كيميائية

1- استخلاص الصبغات اليخضورية و بنية البلاستيدة الخضراء

أ- عزل الصبغات اليخضورية (و1)

**وثيقة 1** لاستخلاص و دراسة اليخضور الخام. نقتح التجارب التالية :

**المرحلة الأولى**

أوراق خضراء  
كحول 80°  
رمل  
محلل كحولي لليخضور الخام  
هرس ثم ترشيح  
محلل كحولي لليخضور الخام

**المرحلة الثانية**

إضافة 5cm<sup>3</sup> من إثير البترول  
إضافة قطرات من الماء  
بدون تحريك  
الجزرين  
اليخضور  
5cm<sup>3</sup> من محلول كحولي لليخضور  
1  
2  
3  
4

**المرحلة الثالثة**

محلل عضوي مكون من الأستون 10% و إثير البترول 85% و السيكلوهكزان 5%  
ورق Wattman  
بعد مرور 40min  
40min  
Front du solvant  
جزرين carotène  
كزانتوفيلات مصفرة Xantophylles  
يخضور chlorophyle a  
يخضور chlorophyle b  
منحرفة

نضع قطرة أو قطرتين من اليخضور الخام على بعد 2cm من أسفل ورقة Wattman. نترك البقعة الخضراء حتى تجف. نضع ورق Wattman داخل مخبار به خليط عضوي لا يتعدى علوه 2cm. نغلق المخبار ثم نحجب التركيب عن الضوء لمدة 40min. سؤال: ماذا تستنتج من تحليلك لنتائج هذه التجارب

مرحلة 1

- نعتمد على خاصية ذوبانية الصبغات اليخضورية في المحاليل العضوية (الكحول و الأستون....)، و يمكن استخلاص اليخضور الخام بسحق أوراق خضراء مع الكحول و ترشيح الخليط.
- تحليل :** عند تسليط الضوء الأبيض على محلول اليخضور الخام نلاحظ أن الإشعاعات التي تعبر المحلول تكون ذات لون أخضر لأن هذه الإشعاعات لا يتم امتصاصها لكن ملاحظة المحلول من جهة المنبع تبين أن اليخضور مصدر إشعاعات حمراء: إنها ظاهرة **التفلور**

**Fluorescence**

- تفسير :** تعاد الطاقة الضوئية الممتصة من طرف جزيئات اليخضور المعزول على شكل إشعاعات حمراء و حرارة ، فالضوء الوارد على اليخضور المعزول يهيج الجزيئات اليخضورية فتستجيب بانتقال إلكترون إلى مستوى طاقي أكبر و عند رجوعه إلى مداره الأصلي يعيد الطاقة المكتسبة على شكل حرارة و تفلور.

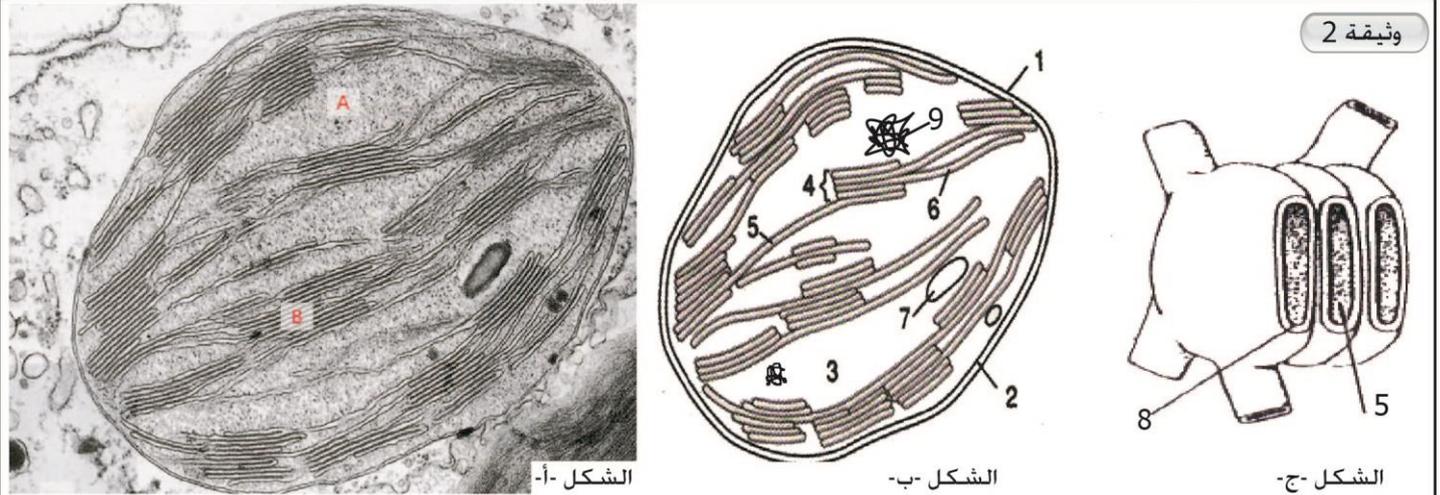
مرحلة 2

- نلاحظ بعد إضافة قطرات من الماء انفصال الكحول الخفيف عن إثير البترول الثقيل و ذوبان صبغات يخضورية مختلفة في كل محلول. تسمى بالذوبانية الإختلافية للصبغات اليخضورية. نستنتج أن اليخضور مكون من نوعين من الصبغات على الأقل: الصفراء و الخضراء.

### مرحلة 3

- نستعمل تقنية أخرى لعزل مكونات اليخضور تسمى التحليل الكروماتوغرافي، و نتائجها تظهر أربع بقع مختلفة الألوان.
- نستنتج أن اليخضور الخام مكون من أربع صبغات تتموضع على الورق الكروماتوغرافي حسب درجة ذوبانيتها في المحلول.
- اليخضور b: ذو لون أخضر مصفر.
- اليخضور a: ذو لون أخضر مزرق.
- الجزرين: ذو لون برتقالي.
- الكزانثوفيلات: أو الصبغات المصفرة.

### ب- فوق بنية البلاستيدة الخضراء و مكان تموضع الصبغات اليخضورية بها (و2)



- شكل أ- بلاستيدة خضراء ملاحظة بالمجهر الإلكتروني. شكل ب- رت لهذه العضية. الشكل ج- رسم تفسيري للعنصر رقم 4 من شكل ب-.
- 1- أتمم الرسوم التفسيرية.
- 2- في نظرك أين يتموضع اليخضور؟

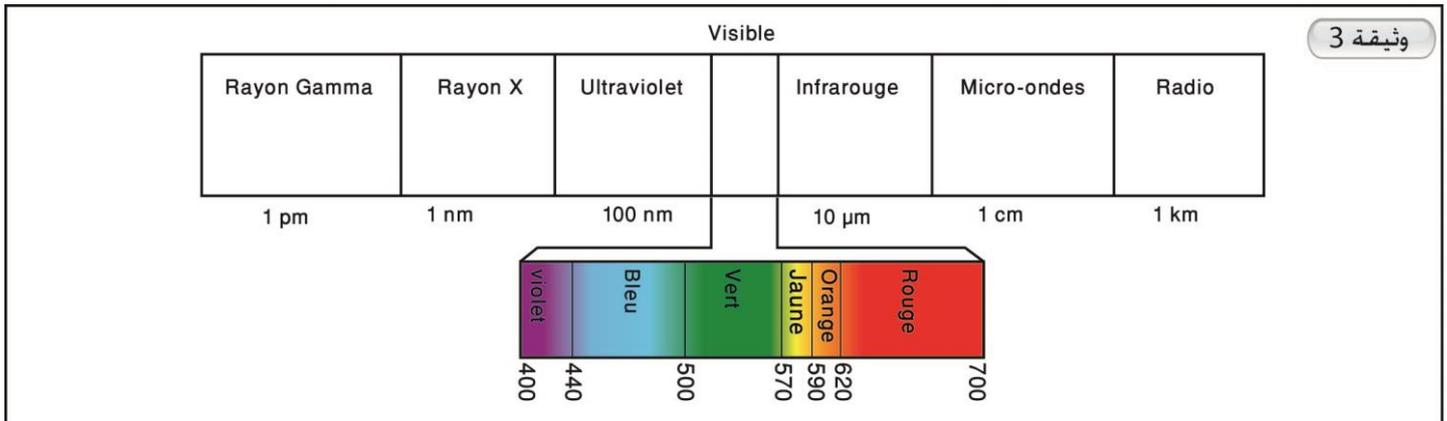
### أجوبة:

- 1- 1- غشاء خارجي، 2- غشاء داخلي، 3- ستروما، 4- غرانوم، 5- تجويف التيلاكويد، 6- تيلاكويد، 7- نشأ، 8- غشاء التيلاكويد، 9- ADN
- 2- تتموضع الصبغات اليخضورية على مستوى غشاء التيلاكويد

### 2- خاصيات الصبغات اليخضورية

#### أ- طيف الضوء الأبيض (و3)

نحصل على طيف الضوء الأبيض بتعريض شعاع من الضوء الأبيض لموشور و استقبال الأشعة النافذة منه على شاشة، تسمى هذه الظاهرة بالحيود Diffraction و تبين الوثيقة 2 ص 206 النتائج المحصل عليها، كما يكمن ملاحظة هذا الطيف بواسطة المطياف اليدوي.



### ب- الإشعاعات الممتصة من طرف اليخضور

ماذا تستنتج من تحليل معطيات الكتاب المدرسي و 1 ص 206؟

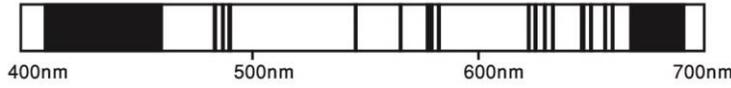
### جواب

نلاحظ أن بعض الإشعاعات لا تظهر و هي إشعاعات حمراء و زرقاء و صفراء لكونها قد امتصت من طرف صبغات اليخضور و تظهر مكانها خطوط سوداء. يسمى الطيف المحصل عليه طيف امتصاص اليخضور الخام، أما الإشعاعات الأخرى فلم تمتص.

## ج- فعالية الموجات الممتصة من طرف اليخضور (و 1، و 2)

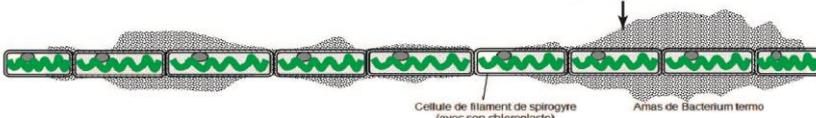
### وثيقة 4

سلط Engelman طيفا ضوئيا (بعد مروره من موشورا) على خضير يتكون من بكتيريات هوائية و خبيط من طحلب الأسبيريوجيرا المجهرى. في بداية التجربة كانت تتوزع البكتيريات بشكل عشوائي. تبين الوثيقة أسفله نتائج التجربة عند نهايتها. ماذا تستنتج من خليكك لنتائج هذه التجربة؟



خبيط طحلب الأسبيريوجيرا

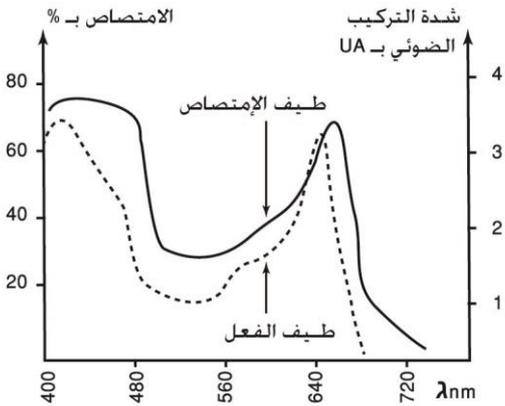
بكتيريات



نلاحظ أن البكتيريات تتجمع بكمية كبيرة في منطقتين:  
- بين 400nm و 450nm أي الإشعاعات التي تميل إلى اللون الأزرق.  
- بين 620nm و 700nm أي الإشعاعات الصفراء أو الحمراء.  
طرح الأكسجين يدل على أن الطحلب يقوم بعملية التركيب الضوئي بحيث يكون قويا تحت الإشعاعات التي تميل إلى اللونين الأزرق و الأحمر و يكون ضعيفا إذا كان الطحلب تحت إضاءة إشعاعات خضراء.

### وثيقة 5

تبين الوثيقة أسفله طيف الفعل و طيف الإمتصاص عند طحلب يسمى Ulva. ماذا تستنتج من خلال خليكك للوثيقة.



يسمى منحنى تغير شدة التركيب الضوئي بدلالة طول الموجة طيف الفعل، و يسمى منحنى تغير نسبة امتصاص الضوء بدلالة طول الموجة طيف الامتصاص.  
- طيف الامتصاص: نلاحظ أن الطحلب يمتص إشعاعات يبلغ طول موجتها ما بين 420nm و 480nm، و هي الإشعاعات الزرقاء و البنفسجية. و أخرى ما بين 640nm و 700nm و هي الإشعاعات البرتقالية و الحمراء بينما يكون الامتصاص ضعيفا بالنسبة للإشعاعات الخضراء.  
- طيف الفعل: نلاحظ تطابق بين طيف الامتصاص و طيف الفعل بحيث يكون طيف الفعل مهما بالنسبة للإشعاعات الأكثر امتصاصا و ضعيفا بالنسبة للإشعاعات الغير الممتصة.  
استنتاج: الإشعاعات الأكثر امتصاصا هي الأكثر فعالية للتركيب الضوئي.

### خلاصة

يتعلق التركيب الضوئي بنوعية الإشعاعات التي يتعرض لها النبات. الإشعاعات الأكثر امتصاصا هي الأكثر فعالية في عملية التركيب الضوئي. و هذا يبين الدور الأساسي لليخضور في عملية التركيب الضوئي بحيث يستغل الطاقة الضوئية في تركيب المادة العضوية، و يطلق على فعالية مختلف إشعاعات الضوء الأبيض في عملية التركيب الضوئي اسم طيف الفعل.

## II- مراحل التركيب الضوئي و تفاعلاته

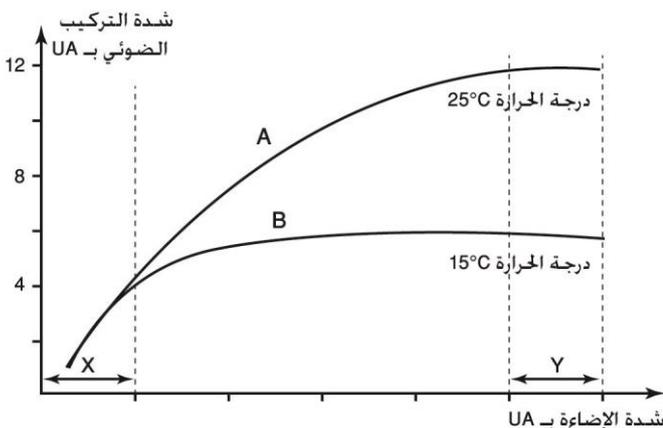
### 1- الكشف عن مراحل التركيب الضوئي (و 6)

◊ ترتفع شدة التركيب الضوئي بارتفاع شدة الإضاءة في المنطقة X بينما لا تتأثر بدرجة الحرارة، يمكن أن نقول أن شدة الإضاءة هي العامل المحدد.  
◊ في المنطقة Y نلاحظ أن شدة التركيب الضوئي ترتفع بارتفاع درجة الحرارة و لا تتأثر بشدة الإضاءة و يمكن أن نقول بأن درجة الحرارة هي العامل المحدد في هذا المجال.  
استنتاج: اعتمادا على هذا التحليل يمكن افتراض نوعين من التفاعلات في التركيب الضوئي:  
- تفاعلات تستلزم الإضاءة و لا تتأثر بدرجة الحرارة. تسمى بالتفاعلات الضوكميائية.  
- تفاعلات لا تستلزم الإضاءة و تتأثر بدرجة الحرارة. تسمى بالتفاعلات البيوكيميائية.

### 2- المرحلة الضوكميائية

### وثيقة 6

تبين الوثيقة أسفله تأثير كل من شدة الإضاءة و درجة الحرارة على شدة التركيب الضوئي. ماذا تستنتج من خلال خليكك للوثيقة على مستوى المنطقتين X و Y.



تذكير: تفاعلات الأكسدة و الاختزال هي تفاعلات كيميائية يحدث خلالها انتقال الإلكترونات بين معط للإلكترونات (مختزل) و متقبل للإلكترونات (مؤكسد).

- تفاعل الأكسدة هو تفاعل نصفى يتم خلاله فقدان الإلكترونات أو الزيادة في عدد الأكسدة (عدد شحنة العنصر).
- تفاعل الاختزال هو تفاعل نصفى يتم خلاله اكتساب الإلكترونات أو النقصان في عدد الأكسدة (عدد شحنة العنصر).

مثال:

تفاعل أكسدة (فقدان إلكترون)  $A \rightarrow A^+ + e^-$  (مؤكسد) (مختزل)

تفاعل اختزال (اكتساب إلكترون)  $B^+ + e^- \rightarrow B$  (مختزل) (مؤكسد)

الحصيلة: تفاعل أكسدة / اختزال:  $A + B^+ \rightarrow A^+ + B$

يتميز كل زوج مؤكسد - مختزل بجهد أكسدة-اختزال  $E^0$  يعبر عن قدرته على الاختزال، ففي المثال أعلاه تنتقل الإلكترونات من A إلى B دون مصدر خارجي للطاقة مما يعني أن:  $E^0 A^+/A < E^0 B^+/B$

### أ- مصير الإشعاعات الممتصة من طرف اليخضور المعزول (7و)

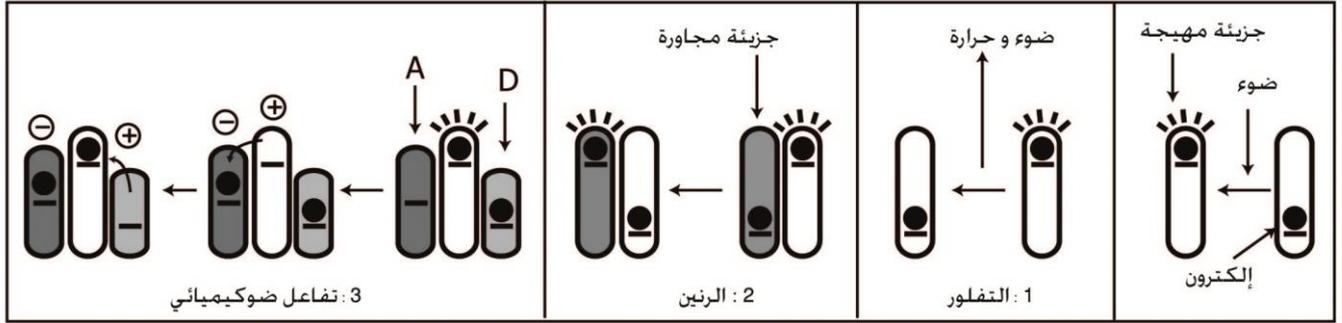
وثيقة 7

لقد بينت دراسة خاصيات الصبغات اليخضورية أن ظاهرة التفلور شبه منعدمة عند اليخضور في الخلايا الحية حيث تندمج مع جزيئات غشاء التيلاكويد للبللاستيدة الخضراء.

بعد امتصاصها لكمية من الطاقة الضوئية تصبح جزيئة صبغة يخضورية مهيجة، و يمكن أن تعود إلى حالتها الأصلية بثلاث طرق:

- 1- طرح كمية من الحرارة و كمية من الضوء، طول موجتها أطول من طول الموجة الممتصة، و هذا ما يسمى بالتفلور La fluorescence. هذه الظاهرة شبه منعدمة أو نادرة على مستوى اللاقطة المجمعة.
- 2- نقل الطاقة الممتصة إلى جزيئة أخرى، هذه الأخيرة تصبح بدورها مهيجة: ظاهرة الرنين Résonance
- 3- فقدان إلكترون محمل بالطاقة خلال تفاعل أكسدة-اختزال، إنه تفاعل ضووكيميائي

الحالة 1 و الحالة 2 تتم عند جميع الصبغات اليخضورية، أما الحالة 3 فتخص اليخضور a. حيث يحرر الإلكترون المحمل بالطاقة لمستقبل A ثم يعوضه من عند معط D و A. D يتميزان بجهد أكسدة و اختزال  $E^0$  على النحو التالي:  $E^0_D < E^0_{chl a} < E^0_A$



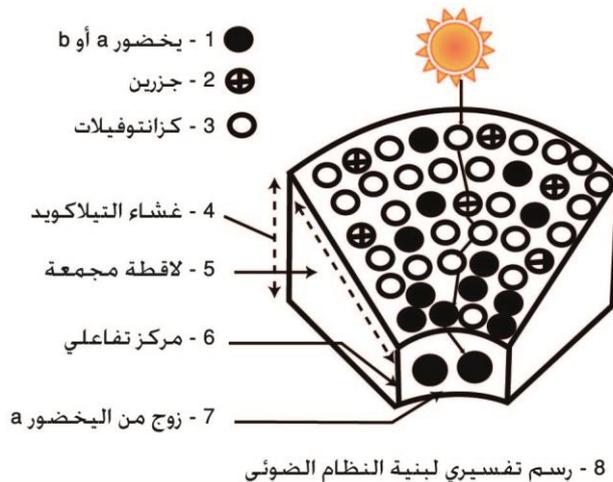
تساؤل: لماذا لا تحدث ظاهرة التفلور على مستوى الأوراق؟

### ب- مفهوم النظام الضوئي (8و)

يتكون المركز التفاعلي من زوج من اليخضور a و معط للإلكترونات و مستقبل للإلكترونات.

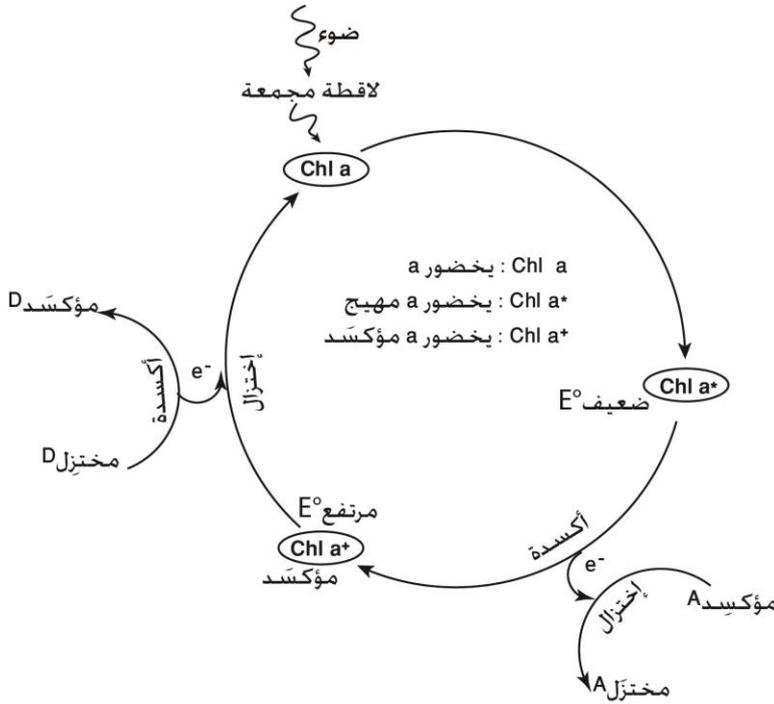
وثيقة 8

إن التنظيم الملاحظ بين جزيئات الصبغات اليخضورية يمكن من جميع الطاقة من طرف الصبغات المتواجدة على مستوى اللاقطة المجمعة Antenne collectrice، و توجيهها إلى إحدى جزيئتي اليخضور a المتواجدة على مستوى المركز التفاعلي Centre réactionnel. بعد إهاجة هذه الجزيئية تصبح قابلة لتحرير إلكترون واحد لحساب جزيئة مستقبلية للإلكترونات. نسمي كل من اللاقطة المجمعة و المركز التفاعلي نظاما ضوئيا (Photosystème).



8 - رسم تفسيري لبنية النظام الضوئي

تقارب الصبغات على مستوى اللاقطة المجمعية بالإضافة لوجود مستقبلات الإلكترونات لا يتيح الفرصة لحدوث التفلور و بالتالي كل الطاقة الضوئية الملتقطة تحول إلى طاقة كامنة مخزنة في الإلكترونات على المنوال التالي :



### ج- كيف يعوض اليخضور الإلكترون المفقود

قام Ruben و Kamen بإنجاز تجارب على طحلب يخضوري أحادي الخلية ( الكلوريل (Chlorella) بوجود الماء و CO<sub>2</sub> :

- بوجود H<sub>2</sub><sup>16</sup>O و C<sup>18</sup>O<sub>2</sub>

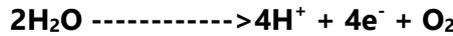
- بوجود H<sub>2</sub><sup>18</sup>O و C<sup>16</sup>O<sub>2</sub>

في الحالة الأولى، O<sub>2</sub> المطروح يحتوي على <sup>16</sup>O. و في الحالة الثانية O<sub>2</sub> المطروح يحتوي على <sup>18</sup>O.

1- ماذا يمكنك استخلاصه من التجربة؟

2- أكتب معادلة التفاعل.

استنتاج: نستنتج من تحليل هذه النتائج أن الماء هو أصل O<sub>2</sub> المطروح أثناء عملية التركيب الضوئي:



يسمى هذا التفاعل بالتحليل الضوئي للماء **La photolyse de l'eau**. خلال هذا التفاعل هناك تحرير إلكترونات إذن فهو تفاعل أكسدة. جزيئة اليخضور Chl a التي تفقد إلكترونات e<sup>-</sup> تحت تأثير الطاقة الضوئية تصبح في حالة أكسدة فتكسب جهد أكسدة عالية يمكنها من انتزاع إلكترون من جزيئة الماء، إذن فدور الطاقة الضوئية هو تهييج اليخضور و أكسدة الماء.

### د- تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية (9، و10)

#### وثيقة 9

تحليل :

- المجال T0-T1: ثبات في كمية ATP المنتجة و O<sub>2</sub> المطروح مع أن كمية ATP أكبر من كمية O<sub>2</sub>.

- المجال T1-T2: عند الإضاءة نلاحظ ارتفاع كمية O<sub>2</sub> و ATP من O<sub>2</sub>.

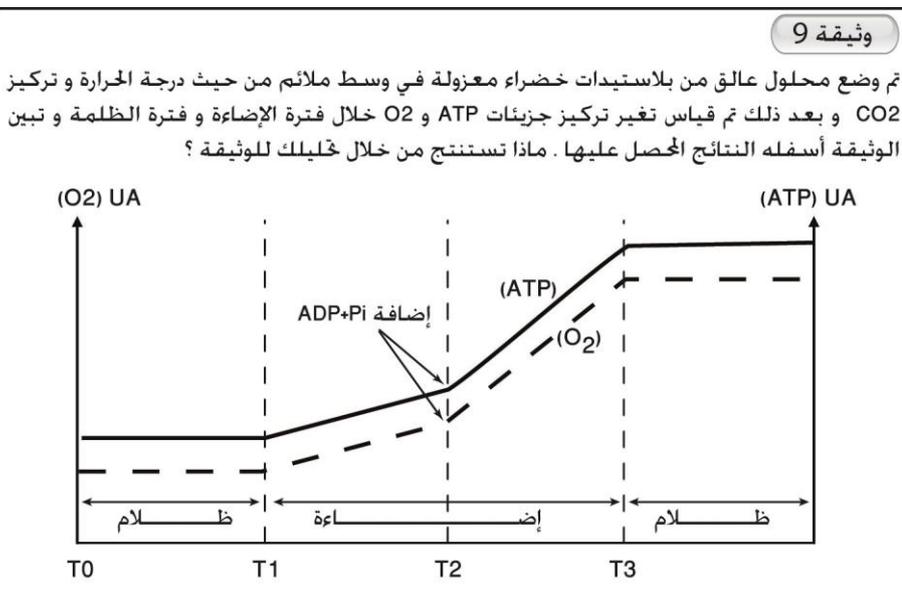
- المجال T2-T3: بعد إضافة (ADP+Pi) نلاحظ ازدياد في سرعة إنتاج ATP و O<sub>2</sub>.

- بعد T3 نلاحظ استقرار في إنتاج ATP و O<sub>2</sub>.

استنتاج :

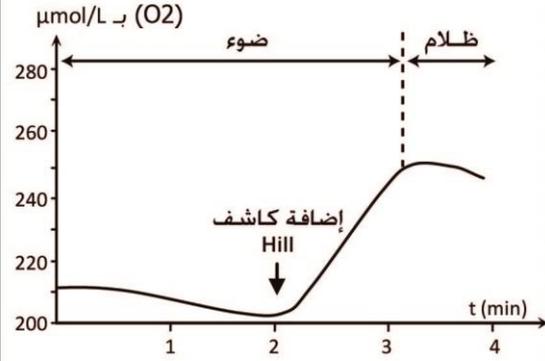
الطاقة الضوئية الممتصة من طرف اليخضور يتم تحويلها إلى طاقة كيميائية على شكل ATP.

تحويلها إلى طاقة كيميائية على شكل ATP.



### وثيقة 10

استعمل Hill محلولاً عالقاً للبلاستيدات الخضراء المعزولة في وسط بدون  $CO_2$  و قام بقياس حجم  $O_2$  بعد إضافة متقبل غير طبيعي للإلكترونات (كاشف Hill).



ماذا تستنتج من خلال تحليل معطيات التجربة؟

إن عملية تركيب ATP أو التفسفر تتم انطلاقاً من  $ADP+P_i$  بوجود طاقة (نتيجة عن الطاقة الضوئية)، و يستخدم ATP في إنتاج المادة العضوية.

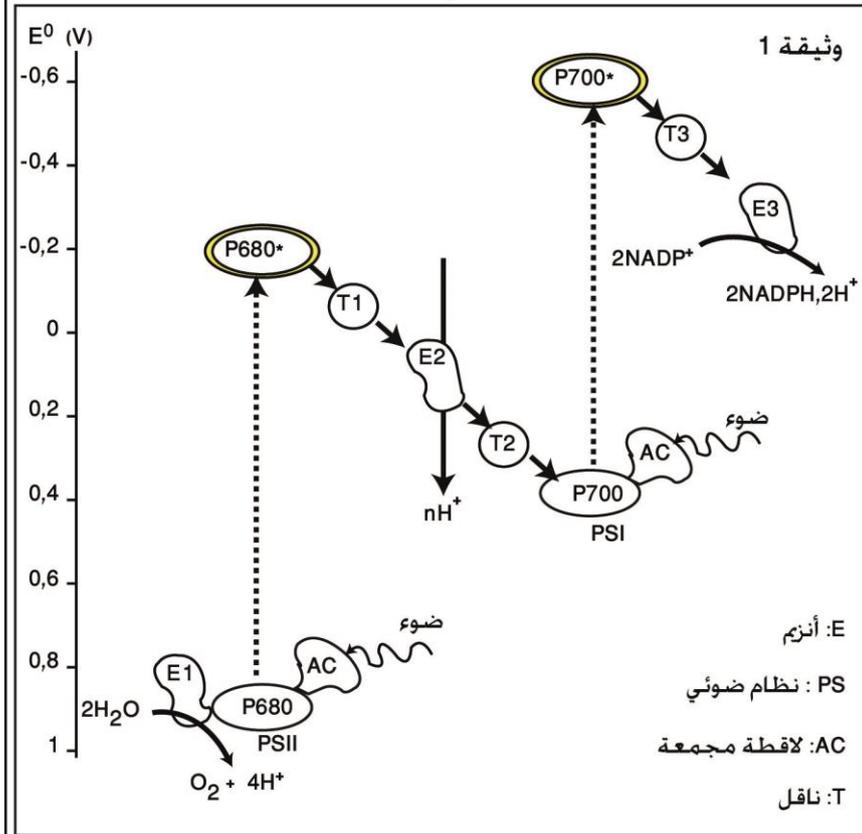
### وثيقة 10

تحليل : قبل إضافة كاشف Hill نلاحظ أن نسبة  $O_2$  المطروح تكون منخفضة. و بعد إضافته نلاحظ ارتفاع نسبة  $O_2$  المطروح. في الظلام تنخفض نسبة  $O_2$  المطروح. استنتاج : نستنتج أن طرح  $O_2$  الذي ينتج عن أكسدة الماء بوجود الإضاءة يتطلب مستقبلاً للإلكترونات يسمى  $NADP$ . و غشاء التيلاكويد يحتوي على مجموعة من الناقلات (T) تنقل الإلكترونات من جزيئات اليخضور إلى المتقبل النهائي و هو  $NADP^+$ .

### هـ - مراحل تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية

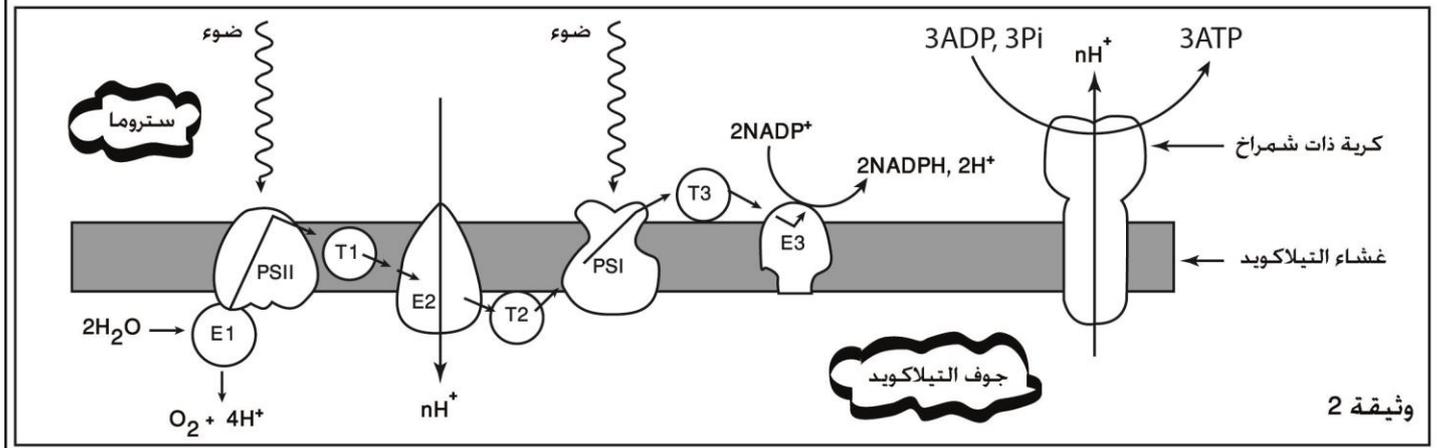
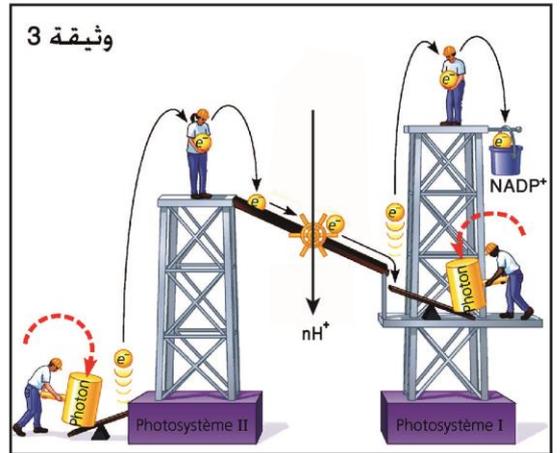
### وثيقة 11

لمعرفة كيفية تحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية نقترح دراسة الوثيقتين 1 و 2. تبين الوثيقة 1 جهد الأكسدة و الإختزال لناقلات الإلكترونات. و نعلم أن الإلكترونات تنتقل تلقائياً من  $E_0$  الأضعف إلى  $E_0$  الأكبر مع خسارة طاقة و لا تنتقل في اتجاه  $E_0$  متناقص إلا إذا توفرت طاقة.



1- انطلاقاً من مقارنة جهد أكسدة-إختزال للجزيئات المبينة في الوثيقة 1، بين كيف تنتقل الإلكترونات عبر السلسلة من الناقلات المبينة في الوثيقة 1.  
2- حدد المستقبل النهائي لهذه الإلكترونات.  
3- باستغلالك للوثيقة 2 و المعلومات السابقة. صغ تعليقا تبين فيه ما يلي :  
- مصدر و مصير البروتونات  $H^+$   
- دور الكرات ذات شمراخ  
- إنتاج الـ  $ATP$  و  $NADPH, H^+$   
4- اعط حصلة المرحلة الضوئية الكيميائية (المعادلة الإجمالية لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية).

### وثيقة 3



أجوبة :

1- تنتقل الإلكترونات عبر السلسلة على الشكل التالي:

- من T1 إلى PSI و من T3 إلى NADP: انتقال تلقائي للإلكترونات مع تحرير الطاقة.  
- من PSII إلى T1 و من PSI إلى T3: انتقال من  $E^0$  مرتفع إلى  $E^0$  منخفض مع استعمال الطاقة.

2- المتقبل النهائي للإلكترونات هو  $NADP^+$  :



3- يتم نقل الإلكترونات المحررة من طرف اليخضور عند تهيجه عبر سلسلة تفاعلات (أكسدة - اختزال) بواسطة ناقلات الإلكترونات التي توجد على مستوى غشاء التيلاكويد.

إن المستوى الطاقوي اللازم لوصول الإلكترونات إلى المتقبل النهائي  $NADP^+$  يتطلب تدخل نظامين ضوئيين PSII و PSI اللذان يكتسبان الطاقة الضوئية. أثناء انتقال الإلكترونات عبر الناقلات الغشائية تحرر طاقة تستعمل في ضخ البروتونات  $H^+$  من الستروما نحو جوف التيلاكويد التي تضاف إلى البروتونات الناتجة عن التحليل الضوئي للماء في جوف التيلاكويد، فيرتفع بذلك تركيز أيونات  $H^+$  داخل جوف التيلاكويد و يحدث مجال  $H^+$  بين جهتي غشاء التيلاكويد (انخفاض pH جوف التيلاكويد).

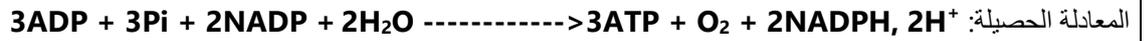
تندفق البروتونات  $H^+$  عبر الكرات ذات شمراخ إلى خارج التيلاكويد، و تستعمل الطاقة الناتجة عن ذلك في تركيب جزيئات ATP انطلاقا من ADP و  $P_i$ ، بتدخل أنزيم غشائي ATP سنتاز.



اختزال NADP:



تركيب ATP:

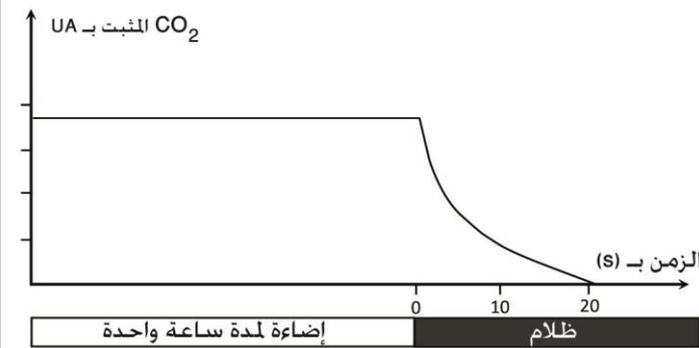


المعادلة الحصيلة:

### 3- المرحلة البيوكيميائية

#### أ- ظروف دمج $CO_2$ في المادة العضوية

وثيقة 12



قمنا بتجربة على محلول عالق لطحلب الكلوريل Chlorella بوجود ثنائي أكسيد الكربون المشع  $^{14}CO_2$ . حيث نتبع سرعة امتصاصه خلال فترة إضاءة لمدة ساعة واحدة و بعد توقيف الإضاءة. يبين المنحنى جانبه النتائج المحصل عليها.  
سؤال: ماذا تستنتج من تحليلك لنتائج هذه التجربة.

أجوبة :

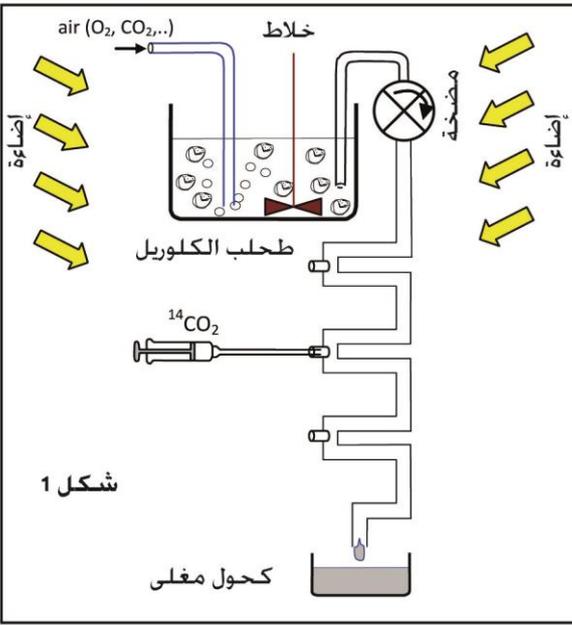
تحليل: - أثناء الإضاءة يتم تثبيت  $CO_2$  بشكل ثابت.

- في الظلام تنخفض نسبة تثبيت  $CO_2$  تدريجيا إلى أن تنعدم بعد 20s.

استنتاج: نستنتج أن تثبيت  $CO_2$  لا يتطلب الإضاءة مباشرة لكنها ضرورية لتركيب الطاقة الكيميائية (ATP و  $NADPH, H^+$ ) التي تساعد على تثبيت  $CO_2$ ، هذه الطاقة تنفذ بعد 20s من تطبيق الفترة المظلمة لذلك يتوقف تثبيت  $CO_2$ .

إن تفاعلات المرحلة البيوكيميائية تمكن من إدماج  $CO_2$  قصد تركيب المادة العضوية بوجود نواتج المرحلة الضوئية: ATP و  $NADPH, H^+$ .

تجربة Benson و Calvin



تم وضع عينة من طحلب الكلوريل في محلول مغذ داخل وعاء مغلق و شفاف. حيث تتم إضاءتها وتزويدها بـ CO<sub>2</sub> العادي. تُدفع الطحالب بواسطة مضخة داخل أنبوب دقيق و شفاف. يتم عبوره في مدة زمنية محددة حسب قوة صبيب المضخة. يحقن ثنائي أوكسيد الكربون المشع <sup>14</sup>C في مستويات مختلفة من الأنبوب حسب المدة الزمنية المختارة لمكوث الطحالب في الوسط الذي يحتوي على <sup>14</sup>C. و بعد ذلك تُقتل الخلايا الطحلبية بواسطة الكحول المغلي (شكل 1). بعد ذلك تفرز المواد المركبة من طرف الطحلب بتقنية التحليل الكروماتوغرافي. النتائج المحصل عليها مبينة في الشكل 2. سؤال: ماذا تستنتج من خليك لتنتج هذه التجربة. و ما هي العلاقة بين مختلف هذه المواد العضوية؟

شكل 1

شكل 2

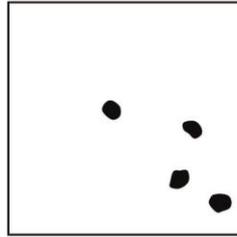
1 : السكروز

2 : الحمض الفوسفوغليسيري (C3) APG

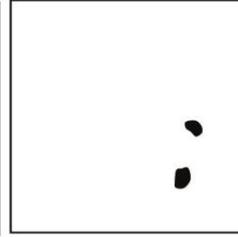
3 : سكر سداسي أحادي الفوسفات (C6) RudiP

4 : سكر خماسي ثنائي الفوسفات (C5)

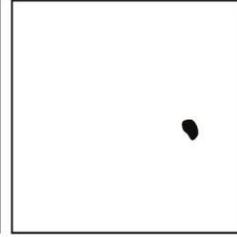
RudiP



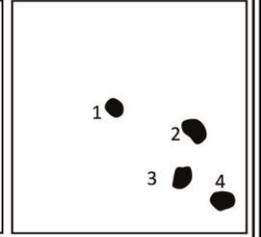
بعد 60 ثانية



بعد 5 ثواني



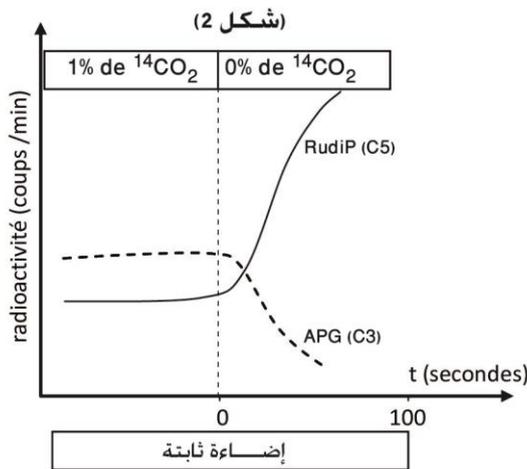
بعد 3 ثواني



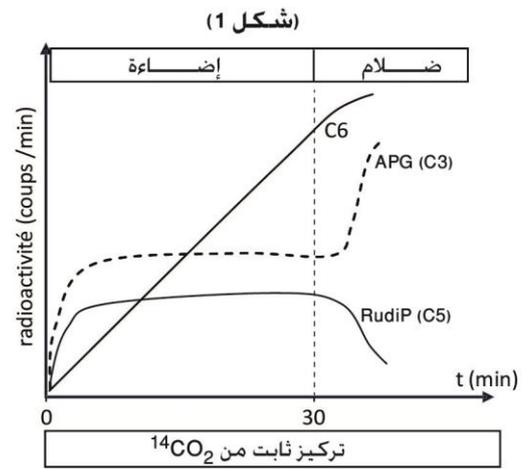
شاهد

جواب: نلاحظ في الثواني الأولى أن الإشعاع يظهر في الحمض الفوسفوكليسيري APG، ثم السكر السداسي أحادي الفوسفات ثم السكر الخماسي ثنائي الفوسفات RudiP، و خلال مدة أطول يظهر الإشعاع في السكروز. إذن نستنتج أن الكربون المعدني (CO<sub>2</sub>) يتحول إلى كربون عضوي يدمج في مواد عضوية مختلفة مع مرور الزمن.

قمنا بتجربة على محلول عالق لطحلب الكلوريل بوجود ثنائي أوكسيد الكربون المشع <sup>14</sup>C. حيث نتبع دمج ثنائي أوكسيد الكربون المشع في بعض المواد العضوية. بين الشكلين أسفله الظروف التجريبية و النتائج المحصل عليها. سؤال: ماذا تستنتج من خليك لتنتج هذه التجربة.



(شكل 2)



(شكل 1)

تحليل الشكل 1:

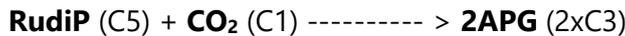
- خلال فترة الإضاءة ترتفع كمية السكريات C6 باستمرار بينما ترتفع كمية APG و RudiP و تبقى مستقرة عند قيمة قصوى.  
- خلال الفترة المظلمة: نلاحظ ارتفاع في نسبة APG (C3) و C6 وانخفاض في نسبة RudiP (C5).  
استنتاج: نستنتج أن هناك تحولات متبادلة بين APG و RudiP أثناء فترة الإضاءة تجعل تركيزهما ثابتا خلال فترة الإضاءة. أما خلال الفترة المظلمة يترام على حساب RudiP، هذا الأخير يتطلب تجديده اللحظي و المستمر وجود نواتج المرحلة الضويميائية هي ATP و NADPH, H+.

تحليل الشكل 2:

- بوجود CO<sub>2</sub> تكون تراكيز APG و RudiP ثابتة مع نسبة أكبر من APG.

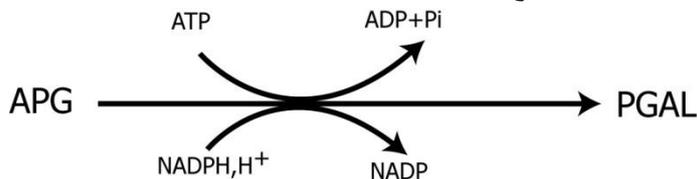
- بغياب CO<sub>2</sub> يرتفع RudiP و يقل APG.

استنتاج و تفسير: نستنتج أن هناك علاقة وطيدة بين إدماج CO<sub>2</sub> و تجديد RudiP (C5) و APG (C3) في دورة يبقى تركيزهما ثابتا، هذه العلاقة لا يمكن تفسيرها إلا بالتفاعل التالي:



رأينا في تجربة Calvin أن APG هو أول منتج عضوي لعملية التركيب الضوئي، يستعمل هذا المنتج في تركيب مواد عضوية أخرى و كذلك في تجديد RudiP الضروري لضمان استمرار إدماج CO<sub>2</sub>.

فكل جزيئة APG تتحول إلى سكر ثلاثي الكربون فوسفات مع استهلاك الطاقة.



كمية من السكر ثلاثي الكربون أحادي الفوسفات تساهم في تجديد RudiP بينما كمية أخرى تدخل في تركيب سكر سداسي الكربون. تتم هذه التفاعلات على شكل سلسلة تفاعلات تسمى دورة كلفين Cycle de Calvin.

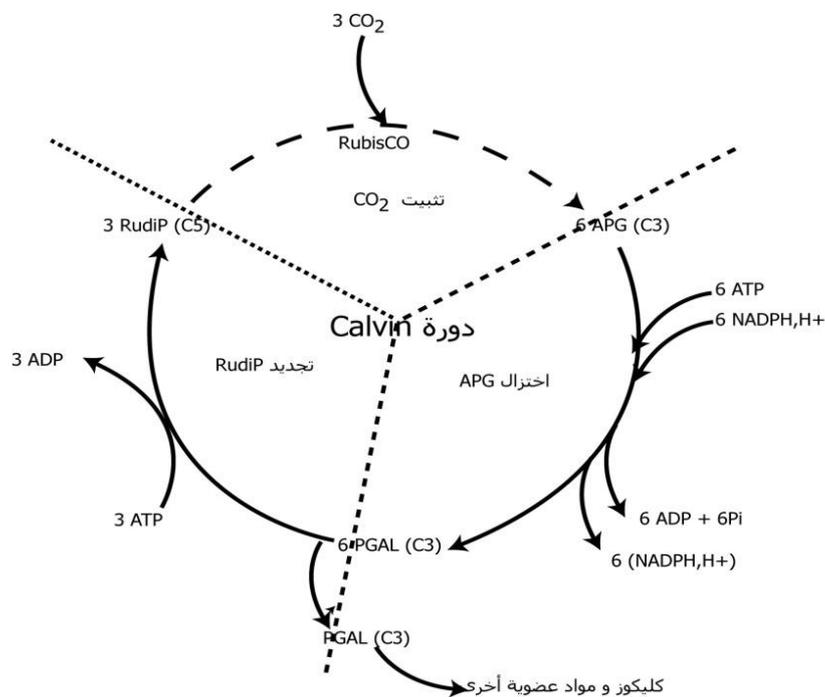
### ج- دورة Calvin

يمكن تقسيم دورة كلفين إلى ثلاث مراحل:

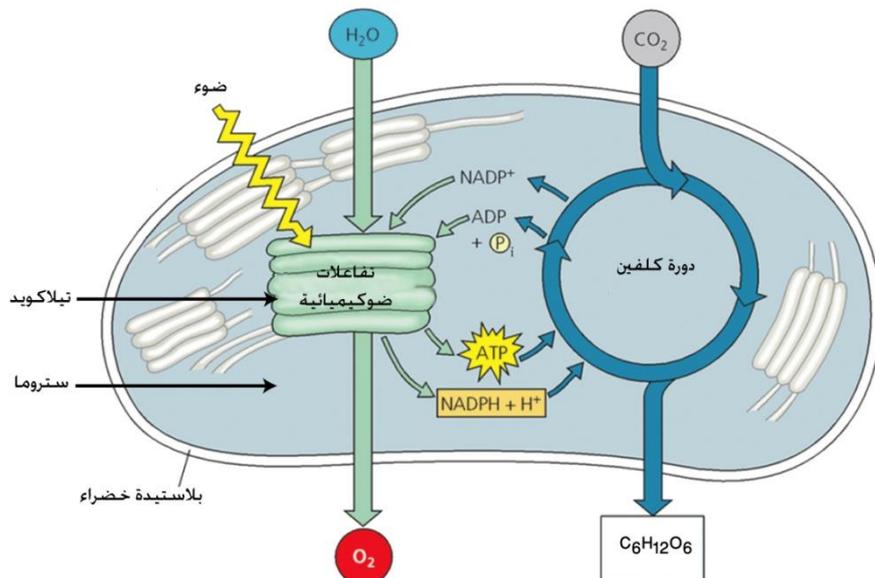
- المرحلة 1: إدماج CO<sub>2</sub> في مركب خماسي الكربون RudiP للحصول على جزيئتين لمركب ثلاثي الكربون APG وذلك بتدخل أنزيم يسمى RubisCO، إنها مرحلة تثبيت CO<sub>2</sub>.

- المرحلة 2: اختزال APG إلى سكر ثلاثي الكربون PGAL و يتم هذا الاختزال باستهلاك لـ ATP و NADPH, H<sup>+</sup>، إنها مرحلة اختزال APG. يدخل جزء من PGAL في تركيب المواد العضوية و الجزء الآخر في المرحلة 3.

- المرحلة 3: إعادة تركيب RudiP تعد هذه المرحلة أساسية لإعادة إدماج CO<sub>2</sub> و تتم إعادة تركيب RudiP باستعمال جزء من ثلاثيات السكر المركبة: إنها مرحلة تجديد RudiP.



### 4- حصيلة:



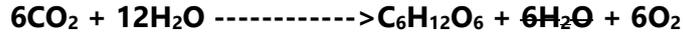
- نتيجة المرحلة الضوكميائية:



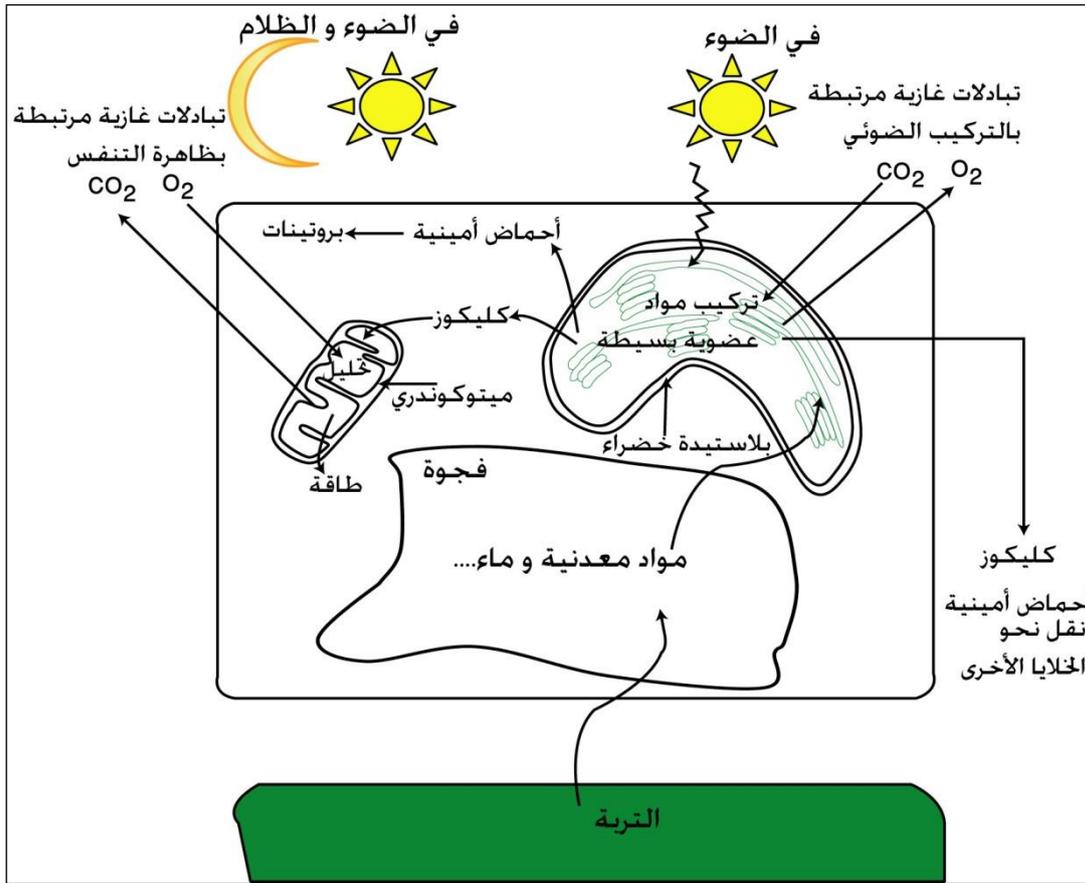
- نتيجة المرحلة البيوكيميائية:



- حصيلة:



خلاصة عامة:



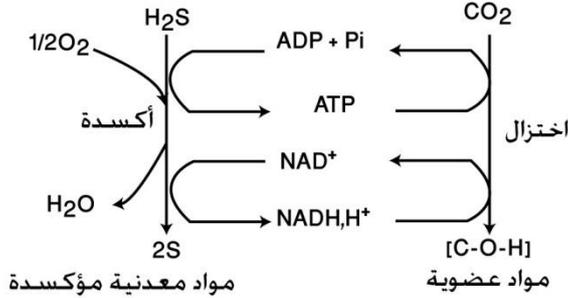
### III- مصادر المادة و الطاقة المستعملة من طرف الكائنات الحية

#### 1- التركيب الكيميائي عند الكائنات المعدنية التغذيةية

تتميز الكائنات الحية بتنوع كبير في أنواعها و بنيتها و أوساط عيشها التي تستمد منها الطاقة و المادة اللازمين لتركيب مادتها العضوية و القيام بوظائفها الحيوية. فإضافة إلى النباتات التي تتركب مادتها العضوية إنطلاقا من مادة معدنية بالإعتماد على الطاقة الشمسية، توجد كائنات حية تعيش باستقلال تام عن الطاقة الشمسية و التركيب الضوئي و تستطيع تحويل المادة المعدنية إلى مادة عضوية.

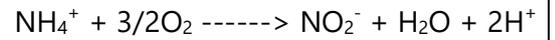
#### 1-1- المثال 1: *Riftia pachyptila*

يعيش حيوان ريفتيا (دودة عملاقة 2m) في أعماق البحار، على مستوى الذروات المحيطية حيث توجد مدخانات حرارية تنثر مجموعة من المركبات المعدنية مثل  $H_2S$ ، تعمل هذه الحيوانات و بكتيريات معدنية التغذيةية على أكسدتها من أجل تركيب المادة العضوية، و تسمى هذه الظاهرة بالتركيب الكيميائي، و تتم على النحو التالي:



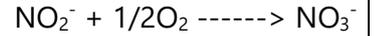
#### 2-1- المثال 2: *Nitrosomonas*

يمكن من تحويل الأمونياك Ammoniac إلى حمض النتروز:



#### 2-1- المثال 3: *Nitrobacter*

تحول حمض النتروز إلى حمض النتريك



#### 2- خلاصة:

تتنوع مصادر المادة و الطاقة حيث نميز الكائنات الذاتية التغذيةية (التركيب الضوئي و التركيب الكيميائي و التركيب الضوحي) و الكائنات الإعتمادية التغذيةية. تستغل إذن الكائنات الحية الطاقة الشمسية أو طاقة الأوكسدة للحصول على طاقة كيميائية قابلة للإستعمال المباشر في التفاعلات اللازمة لإنجاز الوظائف الإحيائية.

مصدر الطاقة		مصدر المادة
كيمائي = التركيب الكيميائي	ضوء = التركيب الضوئي	
كائنات كيميائية معدنية التغذيةية (البكتيرية الأزوتية)	كائنات ضومعدنية التغذيةية (النباتات الخضراء)	معدنية = كائنات ذاتية التغذيةية
كائنات كيميائية عضوية التغذيةية (بعض الفطريات و الحيوانات)	كائنات ضوعضوية التغذيةية (البكتيرية اليخضورية)	عضوية = كائنات اعتمادية التغذيةية