

## *Semaine 3*

### Chapitre 2 : Le métabolisme cellulaire

Les cellules sont de "petites usines" dans lesquelles se déroulent de nombreuses réactions chimiques. Des molécules sont fabriquées et d'autres sont dégradées.

Le métabolisme est l'ensemble des réactions chimiques se produisant dans le cytoplasme ou dans les organites des cellules quand elles en ont (quand ce sont des cellules eucaryotes).

Ces réactions chimiques permettent la reproduction et la croissance des êtres vivants.

Le métabolisme est ainsi l'ensemble des réactions chimiques qui permettent aux cellules de produire des nouvelles molécules ou d'en dégrader pour réaliser leur vie cellulaire, c'est-à-dire produire leur propre matière organique. Cela leur permet de grandir et de se multiplier. Pour cela, les cellules ont besoin de s'approvisionner en matières premières, c'est-à-dire de se nourrir.

Il existe deux grands types de métabolismes chez les êtres vivants: l'hétérotrophie et l'autotrophie.

#### I) Les différents types de métabolismes

Un être vivant possède un métabolisme lui permettant de se nourrir, de respirer, de croître, d'échanger de la matière avec le milieu et de dépenser de l'énergie.

- Les métabolismes hétérotrophes :

Ce sont les organismes ou les cellules qui ont besoin de matière organique préexistante pour fabriquer leurs propres substances organiques. Ces êtres vivants ont besoin d'aliments organiques pour assurer leurs fonctions métaboliques.

Tous les animaux, les champignons et certaines bactéries sont hétérotrophes au carbone : ce sont des consommateurs ou des décomposeurs.

- Les métabolismes autotrophes :

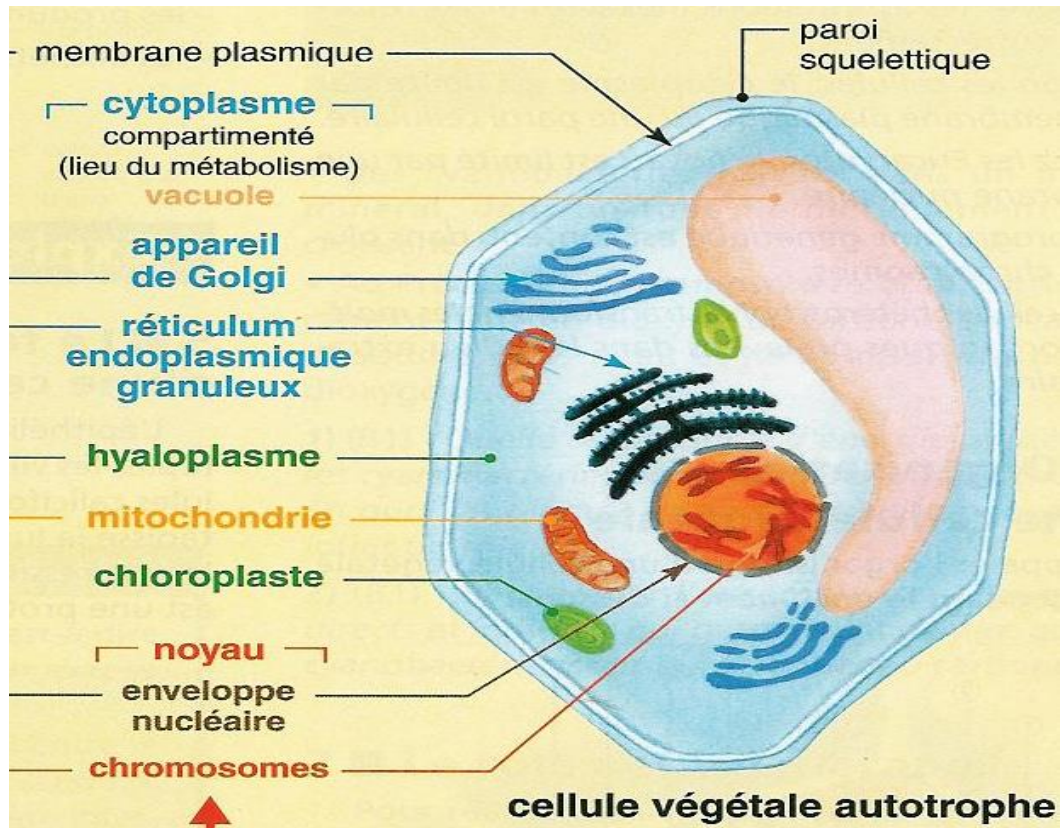
Ce sont les organismes capables de synthétiser leur propre matière organique à partir de matières minérales (CO<sub>2</sub>, sels minéraux) et d'énergie.

Si l'énergie est la lumière, la cellule est phototrophe: cas des organismes photosynthétiques (végétaux chlorophylliens).

Si l'énergie est chimique, la cellule est chimiotrophe. Les végétaux et certains microorganismes (bactéries, levures, algues) sont autotrophes.

Voici un schéma de l'ultrastructure d'une cellule végétale chlorophyllienne :

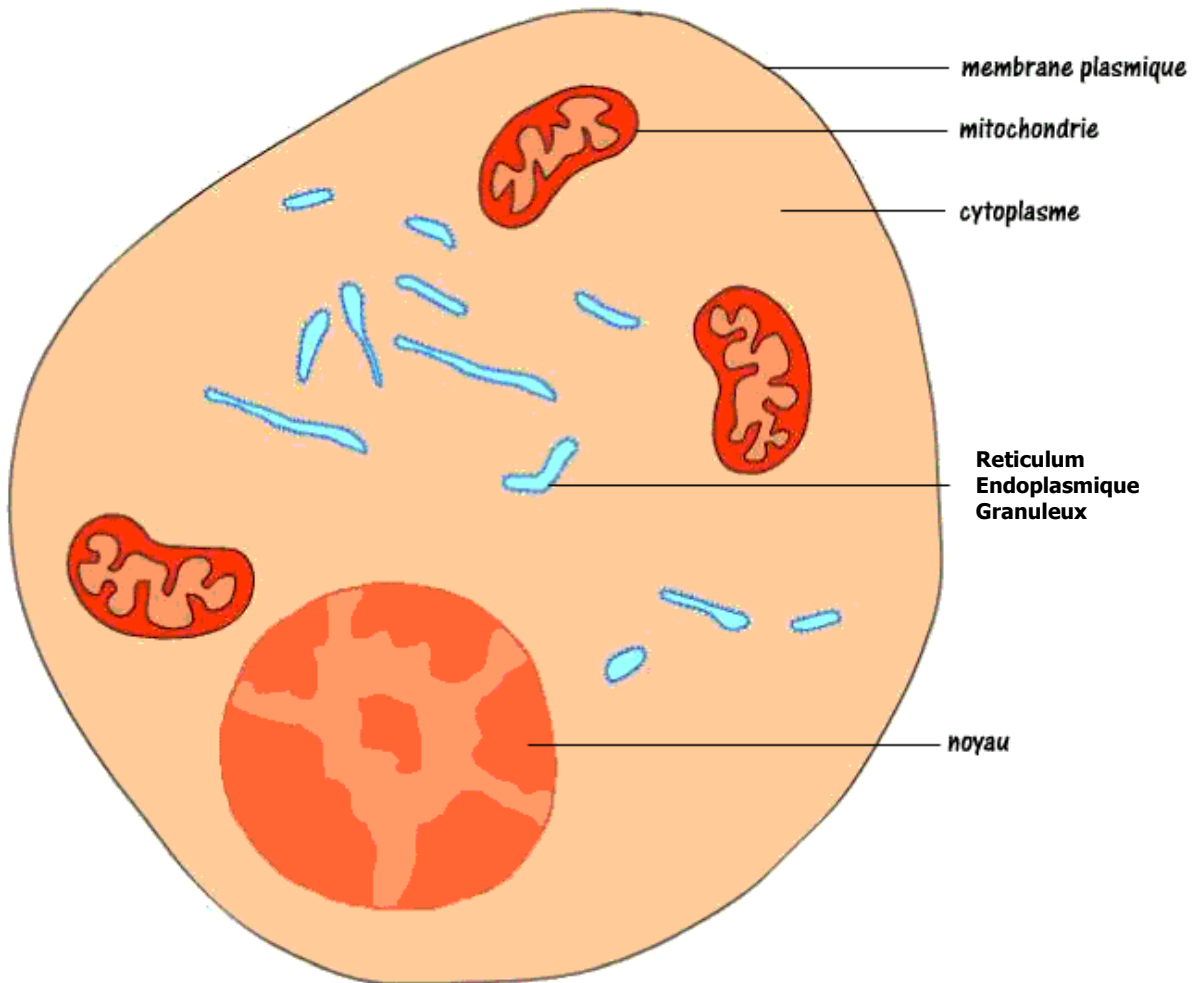
La particularité de la cellule est d'avoir une paroi rigide qui lui impose une forme figée.



Les organites à l'intérieur de la cellule chlorophyllienne sont :

- le noyau qui est le lieu de stockage de l'information génétique sous forme d'ADN.
- l'appareil de Golgi, le réticulum endoplasmique granuleux qui participent à la synthèse des protéines de la cellule.
- la mitochondrie qui est le lieu de fabrication de l'énergie cellulaire.
- le chloroplaste qui est l'organite responsable de la photosynthèse et donc spécifique des cellules chlorophylliennes.

Le hyaloplasme est l'élément liquide ; associé avec les organites, cela forme le cytoplasme.



**Schéma de l'ultrastructure de la cellule animale**

La cellule animale se distingue de la cellule végétale par une absence de paroi squelettique et donc une forme variable. De plus, la cellule animale ne possède pas de chloroplaste.

## II) Les équations métaboliques

### - L'hétérotrophie

L'hétérotrophie est le métabolisme des cellules animales, des cellules végétales non chlorophylliennes, des cellules de champignon, des protozoaires (et de certaines bactéries).

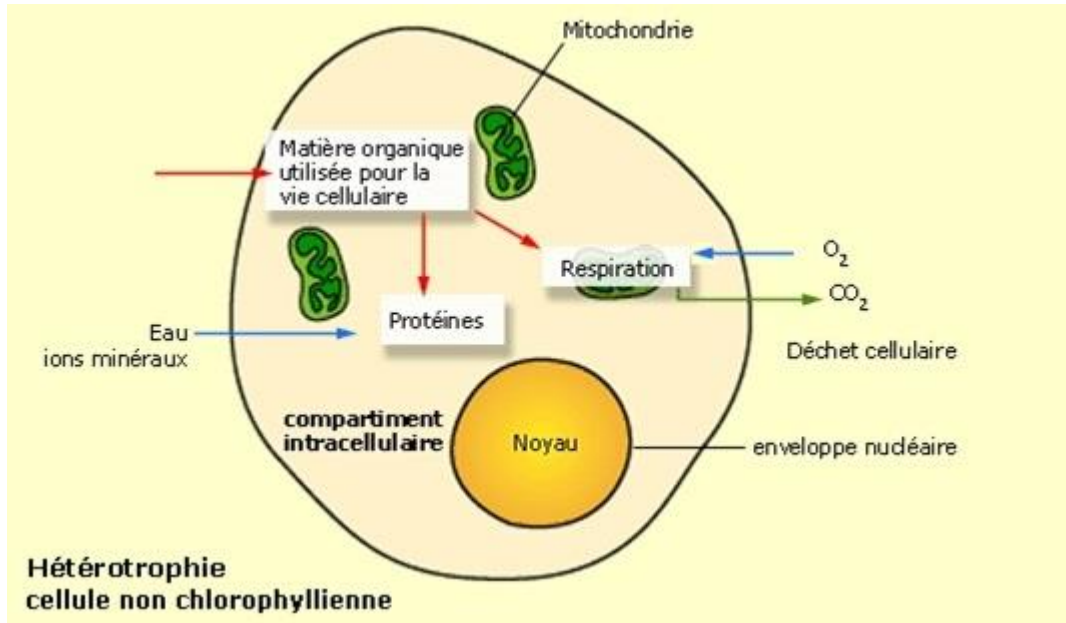
Elle consiste à fabriquer des molécules organiques à partir d'autres molécules organiques prélevées dans l'environnement (alimentation). Les molécules de départ peuvent aussi avoir été fabriquées par la cellule auparavant.

L'hétérotrophie est associée au phénomène de respiration cellulaire.

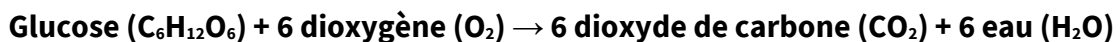
La respiration cellulaire se déroule dans les mitochondries et permet aux cellules de produire l'énergie indispensable à la synthèse des molécules organiques.

La respiration cellulaire correspond à la destruction de molécules de glucose par le dioxygène (O<sub>2</sub>).

Outre la production d'énergie, elle aboutit aussi à la formation de molécules de dioxyde de carbone et de molécules d'eau.



Equation de la réaction :



## - L'autotrophie

L'autotrophie est le métabolisme des cellules végétales chlorophylliennes (et de certaines bactéries).

Elle consiste à fabriquer des molécules organiques à partir de substances minérales uniquement qui sont prélevées dans l'environnement (eau et sels minéraux dans la terre ; CO<sub>2</sub> dans l'air).

L'autotrophie est associée au phénomène de photosynthèse qui se déroule dans les chloroplastes.

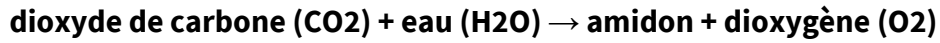
La photosynthèse permet aux cellules chlorophylliennes de fabriquer de l'amidon à partir de CO<sub>2</sub> prélevé dans l'air par les feuilles et de molécules d'H<sub>2</sub>O prélevées dans le sol.

Cette synthèse aboutit également à la production d'O<sub>2</sub>.

Elle nécessite de l'énergie.

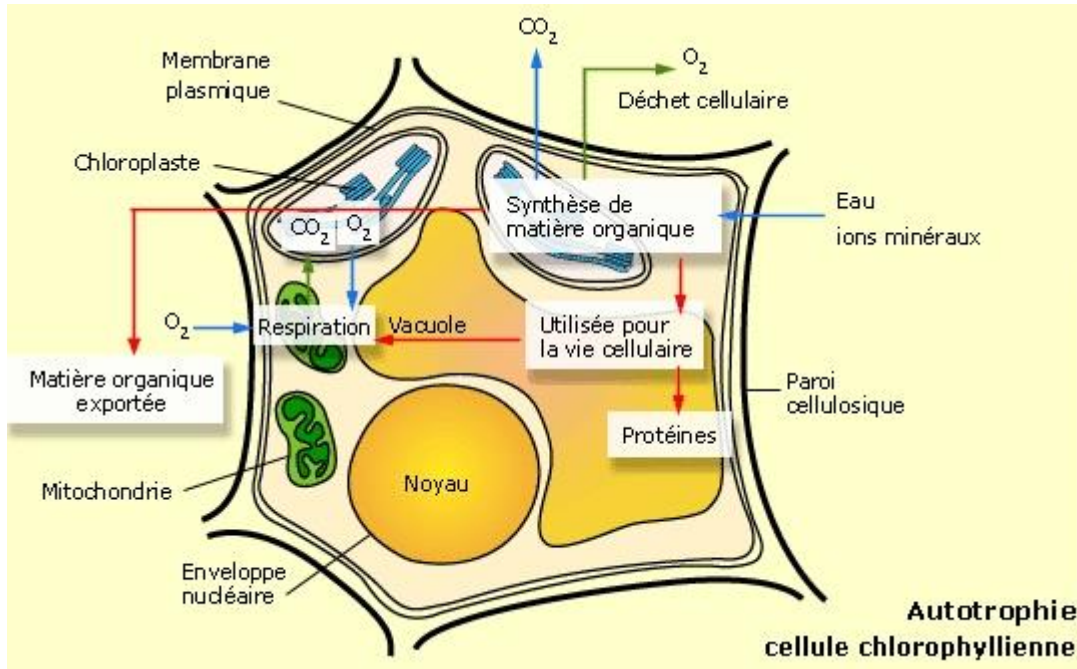
Les cellules chlorophylliennes utilisent celle de la lumière (soleil).

Équation de la réaction :

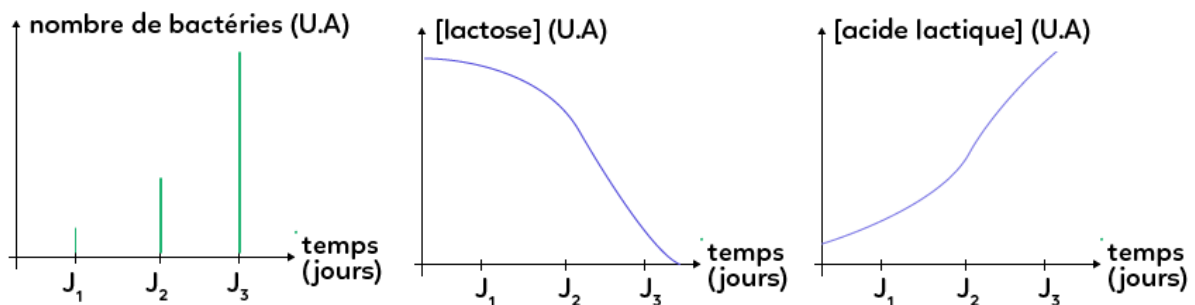


L'amidon est ensuite dégradé dans les mitochondries afin de permettre aux cellules chlorophylliennes de produire l'énergie dont elles ont besoin pour fabriquer les autres substances organiques.

Donc les cellules autotrophes « respirent » comme les cellules hétérotrophes.



### III) Exemple d'étude du métabolisme des bactéries du lait



Le 1<sup>er</sup> graphique représente le nombre de bactéries qu'on laisse se développer pendant trois jours. (C'est un graphique en histogramme, avec des unités arbitraires, peu importe le nombre total, on veut seulement comparer le nombre de bactéries dans du lait pendant trois jours d'affilés). On constate que le nombre de bactéries augmente de jours en jours.

Le 2<sup>ème</sup> graphique suit la composition chimique du même lait (où se développent les bactéries) et on se rend compte que la quantité de lactose (sucre présent naturellement

dans le lait) diminue au cours de ces trois jours, au fur et à mesure que les bactéries se développent.

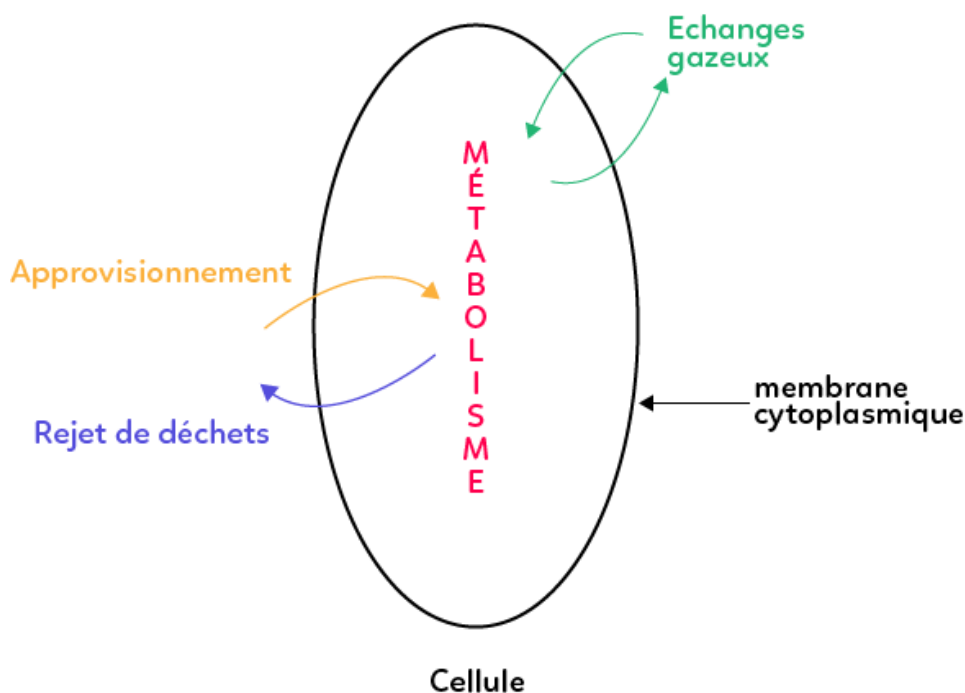
Le 3<sup>ème</sup> graphique suit la quantité d'acide lactique. Au départ absent du lait, il augmente au fur et à mesure que le temps passe.

Si le lait avait été chauffé au préalable pour tuer les bactéries qu'il contient, la quantité de lactose ne diminuerait pas au cours du temps et celle d'acide lactique n'augmenterait pas. Donc, c'est bien la présence de bactéries vivantes se multipliant pendant ces trois jours qui cause la diminution du lactose et l'augmentation de l'acide lactique.

Finally, the multiplication of bacteria during these three days in milk was made possible by a consumption of sugar (in the form of lactose) and produced a kind of waste which is lactic acid coming to accumulate outside the bacteria of milk in the surrounding liquid environment.

C'est un exemple de consommation de matière et de rejet de déchet par ces bactéries, au fur et à mesure des réactions de leur métabolisme pendant trois jours.

#### IV) Représentation du métabolisme d'une cellule



For the cell to perform its metabolic reactions, it needs raw materials, it rejects waste or products of its metabolism, and it can also perform gaseous exchanges with its environment (not illustrated in the case of milk bacteria).

Tous ces échanges se font par l'intermédiaire de la membrane plasmique qui est la barrière jouant un rôle de filtre, plus ou moins poreux, pour les échanges cellulaires. Tout cela permet la réalisation de réactions chimiques plus ou moins complexes et permet aux cellules de se multiplier.

## V) Le contrôle du métabolisme

### A) Contrôle par l'environnement

Les levures sont des cellules hétérotrophes. Elles dégradent du glucose pour produire de l'énergie.

Toutefois, certaines sont capables de dégrader du saccharose si elles ne trouvent pas de glucose dans leur milieu de vie.

Leur métabolisme est différent selon le sucre présent dans leur environnement.

Le métabolisme est donc contrôlé par l'environnement.

### B) Contrôle par le programme génétique

Les levures sont habituellement de couleur crème, mais on peut parfois observer des levures de couleur rouge.

Ces **levures** présentent une **anomalie métabolique**. Elles ne sont plus capables de **synthétiser** une **molécule organique** appelée **adénine**.

molécule A → molécule B → molécule rouge → adénine (incolore)



Les réactions de synthèse de l'adénine s'arrêtent à l'avant dernière étape qui aboutit à une molécule rouge. Celle-ci s'accumule dans le cytoplasme. C'est pour cela que les levures ont cette couleur.

Chez les levures qui ne présentent pas d'anomalie, la molécule rouge est tout de suite transformée et ne s'accumule pas dans le cytoplasme.

Les levures rouges présentent une mutation dans un gène qui permet la transformation de la molécule rouge en adénine.

Cette observation montre que le programme génétique contrôle le métabolisme.

## En résumé

Les cellules hétérotrophes comme les cellules autotrophes fabriquent de la matière organique pour renouveler leurs constituants et se reproduire. Pour cela, elles ont besoin d'énergie qu'elles produisent elle-même grâce à la respiration cellulaire.

Les cellules hétérotrophes sont capables d'utiliser directement une substance organique (le glucose) pour leur production d'énergie.

Par contre, les cellules autotrophes ne peuvent consommer que des substances minérales. Elles doivent donc d'abord fabriquer de l'amidon grâce à la photosynthèse pour pouvoir ensuite produire de l'énergie à partir de ce dernier.

Le métabolisme reste le même pour chaque type cellulaire. Toutefois, il peut être modifié par des facteurs environnementaux ou des mutations.

Il est donc contrôlé par l'environnement et le programme génétique des cellules.

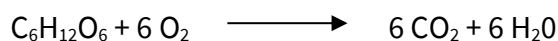
Nous pouvons malgré tout constater des similitudes importantes dans les 2 types de métabolisme qui permettent de conclure que les cellules représentent une unité fonctionnelle du monde vivant.

## VI) La respiration et la fermentation

L'acquisition d'énergie est la fonction du métabolisme indispensable à la vie de l'organisme. L'énergie est utilisée par l'organisme sous formes de molécules d'ATP. Ces molécules d'ATP sont formées par dégradation de la matière organique synthétisée (végétaux) ou absorbée (animaux). Cette dégradation peut utiliser de l'Oxygène (respiration) ou non (fermentation).

Remarque : Les végétaux aussi doivent respirer malgré leur capacité de photosynthèse. En effet, le bilan de la photosynthèse en molécules d'ATP est nulle. Elles sont toutes utilisées pour la formation de molécules organiques.

Equation chimique de la respiration





## A) La localisation de la respiration

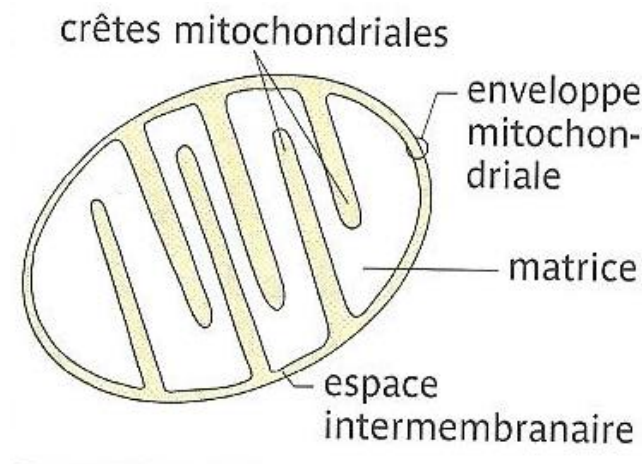
**Mitochondrie** : organe cellulaire des cellules animales et végétales.

### Schéma de l'ultrastructure.

Explication : 2 membranes délimitent la mitochondrie. Entre ces deux membranes, c'est l'espace intermembranaire.

La membrane interne forme des replis vers l'intérieur de la mitochondrie, ce sont des crêtes membranaires.

L'intérieur de la mitochondrie est appelée la matrice.



**Schéma de l'ultrastructure de la mitochondrie**

## B) Les étapes de la respiration

### 1) La glycolyse

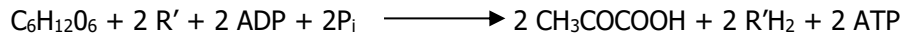
**Localisation** : Dans le cytoplasme des cellules vivantes.

Le glucose est oxydé en 2 molécules de pyruvate ( $\text{CH}_3\text{COCOOH}$ ).

Cette oxydation du glucose est couplée à la réduction de composés intermédiaires notés R' en R'H<sub>2</sub>. Cette molécule qui accepte les électrons et les ions H<sup>+</sup> est proche de la molécule de réduction de la photosynthèse notée R. D'où une grande attention portée à l'écriture du petit signe (').

De plus, la dégradation d'une molécule de glucose en pyruvate permet la synthèse de 2 molécules d'ATP.

**Bilan de la glycolyse est :**



## 2) Le cycle de Krebs

**Localisation :** Dans la matrice mitochondriale. Le pyruvate formé à l'extérieur de la mitochondrie entre directement dans la matrice mitochondriale.

**Schéma du cycle de Krebs :**



Le cycle de Krebs est un ensemble de décarboxylations oxydatives, c'est-à-dire une décomposition des chaînes carbonées et une libération des électrons par le glucose seront fixés aux réducteurs R'.

Donc toute la molécule de glucose est dégradée sous forme de dioxyde de carbone, CO<sub>2</sub>.

Or, les composés de R'H<sub>2</sub> contiennent encore de l'énergie qui sera transformée en molécules ATP.

**Localisation :** crête mitochondriale.

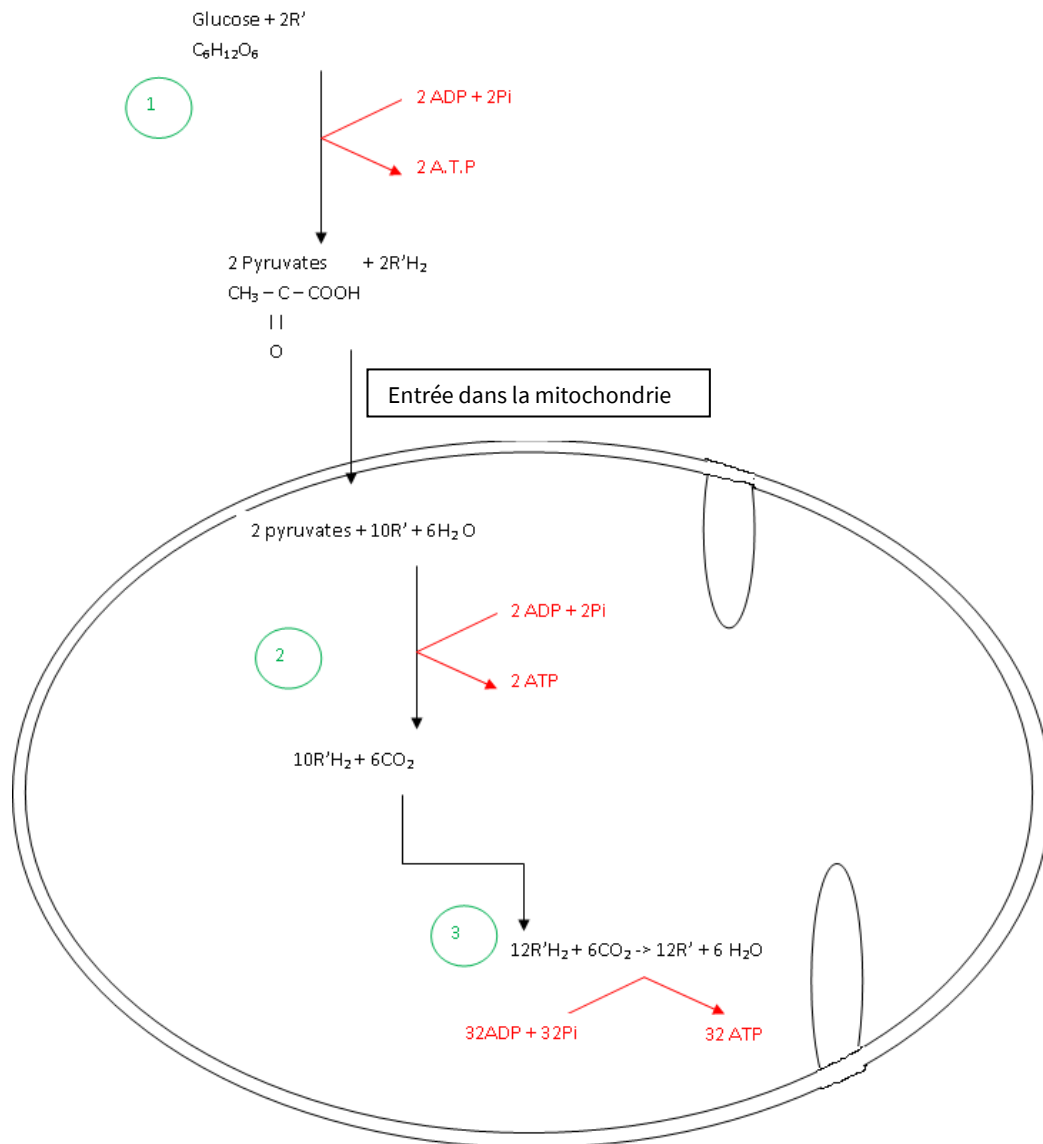
Les composés intermédiaires réduits R'H<sub>2</sub> seront de nouveau oxydés. Les électrons perdus, circulent entre des transporteurs moléculaires au sein d'une chaîne mitochondriale. Le dioxygène, présent dans les mitochondries grâce à la respiration à l'échelle de l'organisme, est l'accepteur (=celui qui reçoit et fixe) final des électrons.

La réduction du dioxygène libère de l'eau.

Ces réactions s'accompagnent d'une production importante d'ATP qui permet les activités cellulaires.

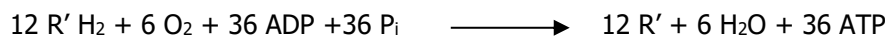
**Schéma bilan :**

La respiration cellulaire



Étape 1 : Glycolyse dans le hyaloplasme  
 Étape 2 : Cycle de Krebs dans la matrice de la mitochondrie  
 Étape 3 : Chaîne respiratoire dans les crêtes mitochondriales

**Bilan global de la respiration**



Les 36 molécules d'ATP sont issues pour deux d'entre elles de la glycolyse, deux autres du cycle de Krebs, et 32 ATP de la chaîne respiratoire de la crête mitochondriale. L'ATP régénéré au niveau des organites des mitochondries des cellules sera utilisé par la cellule dans tous types d'activités cellulaires.

## C) La fermentation

**Localisation** : Dans le cytoplasme des cellules **lorsqu'il n'y a pas de dioxygène**.

C'est une dégradation **incomplète** du glucose.

En effet, la molécule finale de la fermentation est une molécule organique qui possède de l'énergie chimique. Cette molécule peut être par exemple :

- de l'acide lactique dans le cas de la fermentation chez l'homme ou chez les bactéries utilisées dans la production de yaourt.

La fermentation lactique chez l'homme se produit lors d'un exercice musculaire quand l'apport de dioxygène est insuffisant, alors l'acide lactique s'accumule dans les cellules musculaires et engendre des crampes ainsi que des courbatures.

- de l'éthanol chez les levures.

### Les réactions chimiques :

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow$  Acide lactique + 2 ATP : Fermentation chez l'homme et chez les bactéries des yaourts.

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow$  Ethanol +  $CO_2$  + 2 ATP : Fermentation alcoolique chez les levures, dans le cas de la fabrication de l'alcool.

### Bilan global de la fermentation :

2 molécules d'ATP et des molécules riches en énergie mais non dégradées par la fermentation.

Dans le cas de l'acide lactique produit par les muscles de l'homme, il sera détruit dans le foie et éliminé par le rein dans les urines.

## En résumé

Toutes les cellules eucaryotes puisent l'énergie nécessaire à leur métabolisme dans l'oxydation de molécules organiques comme le glucose.

En absence de dioxygène (= anaérobiose), les cellules peuvent dégrader (= oxyder) le glucose de façon incomplète, c'est la fermentation.

En présence de dioxygène (= aérobiose), les cellules dégradent le glucose de façon complète en dioxyde de carbone et en eau, ce qui permet une production beaucoup plus importante de molécules d'ATP.

La dégradation du glucose débute toujours par la glycolyse (même dans le cas de la fermentation), qui se déroule dans le cytoplasme des cellules.

## VII) L'utilisation de l'énergie par les cellules

Le fonctionnement des cellules nécessite de l'énergie. L'énergie est fournie par l'intermédiaire d'une molécule d'ATP, riche en énergie, se régénérant par la respiration, la fermentation ou la photosynthèse.

### L'ATP ou adénosine tri phosphate

#### 1) Sa nature

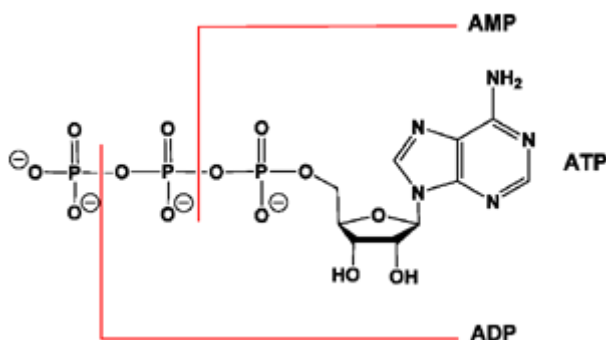
L'ATP ou adénosine triphosphate est une molécule à 3 phosphates.

L'hydrolyse de l'ATP libère une ou deux molécules de phosphate inorganique.

La réaction d'hydrolyse de l'ATP en adénosine di-phosphate (= ADP) + phosphate inorganique (= Pi) est une réaction qui libère de l'énergie :



Au contraire, la réaction de synthèse de l'ATP à partir d'adénosine di-phosphate (= ADP) et de phosphate inorganique (= Pi) est une réaction qui nécessite logiquement de l'énergie :



L'ATP est la molécule complète.

A chaque flèche rouge, correspond une coupure de la molécule d'ATP et donc un autre nom de la molécule. Cette coupure s'accompagne d'une libération de molécules de phosphate inorganique.

#### 2) Sa régénération

La concentration d'ATP dans les cellules musculaires est faible (à peine suffisante pour assurer une seconde d'effort) et ne varie que très peu lors d'un effort musculaire.

L'ATP est continuellement en régénération.

Au début d'un effort, c'est la respiration qui permet la régénération de l'ATP.

Pendant un effort qui se prolonge, c'est la fermentation lactique qui intervient. Le taux sanguin d'acide lactique sanguin augmente. Mais chaque molécule de glucose ne produit que 2 molécules d'ATP.

Puis, après un effort plus long, grâce à l'adaptation des systèmes cardiovasculaires et respiratoire, les cellules musculaires sont correctement approvisionnées en dioxygène et l'ATP est de nouveau principalement produit par la respiration cellulaire. (36 molécules d'ATP sont alors produites par molécule de glucose).

# *Énoncés des exercices non à soumettre en semaine 3*

## **Exercice 1**

### **Trouvez la réponse exacte en la justifiant**

1. La respiration cellulaire :

- a) se déroule dans les chloroplastes.
- b) uniquement dans les mitochondries.
- c) dans le cytoplasme et les mitochondries.
- d) dans le noyau.

2. La fermentation :

- a) se déroule uniquement chez les animaux.
- b) se déroule uniquement dans les muscles.
- c) produit beaucoup de molécules d'ATP.
- d) produit des molécules riches en énergie.

## **Exercice 2**

Pour chaque proposition, choisissez la bonne réponse.

1) Le métabolisme :

- a) concerne les cellules autotrophes seulement.
- b) correspond aux transformations biochimiques ayant lieu dans les cellules.
- c) est forcément réalisé par des mitochondries.
- d) est le même dans toutes les cellules.

2) Une cellule autotrophe :

- a) est capable d'utiliser de la matière organique pour former sa matière minérale.
- b) est capable d'utiliser de la matière minérale pour former sa matière organique.
- c) transforme de la matière organique en matière organique.
- d) n'a pas besoin de lumière.

3) La photo ci-dessous montre :

- a) des chloroplastes.
- b) des enzymes.
- c) des mitochondries
- d) aucun organite.



Cellules d'un intestin observées au microscope électronique à transmission

4) un organite :

- a) contient des cellules.
- b) joue toujours un rôle dans la respiration.
- c) est délimité par une membrane.
- d) est une enzyme.

5) Une cellule hétérotrophe :

- a) peut contenir des chloroplastes.
- b) puise de la matière organique dans son environnement.
- c) utilise l'énergie de la matière minérale pour former sa matière organique.
- d) n'a pas de métabolisme.

### Exercice 3

Vrai ou faux? Parmi les propositions suivantes, identifiez la proposition fautive et corrigez-la.

- a) Les cellules réalisent des échanges avec d'autres cellules ou avec le milieu.



- b) Le métabolisme peut être différent selon les conditions du milieu.
- c) La respiration produit de l'énergie utilisable par les cellules.
- d) La photosynthèse peut se faire quelles que soient les conditions du milieu.

#### Exercice 4

Construisez une phrase pour chaque série de mots proposée. Votre phrase doit utiliser tous les mots !

- a. lumière - autotrophe - dioxyde de carbone.
- b. cellule - métabolisme - réactions biochimiques.
- c. substrat - enzyme - produit.
- d. énergie - échanges - environnement - cellules - matière.
- e. hétérotrophe - mitochondrie - respiration - énergie.

#### Exercice 5

Les levures sont des micro-organismes unicellulaires utilisées fréquemment dans l'alimentation (pain, fromage, vin, yaourt, saucisson ...). En l'absence de dioxygène, les cellules de levures assurent un métabolisme fermentaire. On cherche à comprendre le rôle des levures de boulanger *Saccharomyces cerevisiae* dans la fermentation de la pâte à pain. Les évolutions des quantités de dioxygène ( $O_2$ ), dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), glucose et éthanol (alcool) sont mesurées dans une suspension de levures placée dans une enceinte hermétique.

Décrire l'évolution des quantités des différentes molécules mesurées :  $O_2$ , éthanol,  $CO_2$  (mg/ml)

En déduire les échanges de matières caractérisant le métabolisme de fermentation chez les levures

Conclure sur le rattachement de la fermentation au métabolisme autotrophe ou hétérotrophe

