

# PARTIE 1

## I\ Généralités sur le métabolisme.

### A\ Métabolisme : anabolisme et catabolisme.

Le métabolisme est composé des deux phénomènes de catabolisme et d'anabolisme. L'énergétique cellulaire concerne toutes avec une importance plus ou moins grande.

Le métabolisme concerne toutes les fonctions qui regroupent les transferts d'énergie. On y trouve deux phases inverses qui sont : le catabolisme ou dégradation de la matière organique et l'anabolisme ou l'assimilation de composés dégradés.

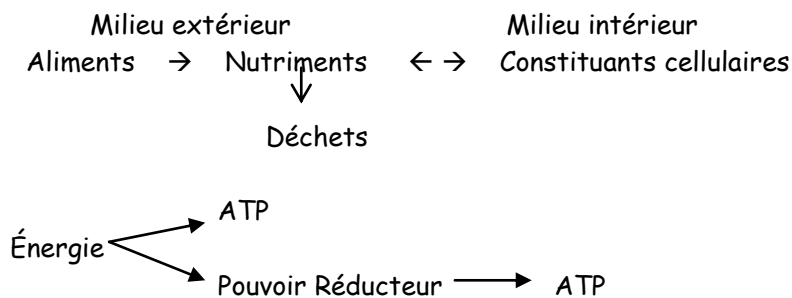
### B\ Autotrophie et hétérotrophie.

Si les processus sont à peu près analogues chez toutes les cellules, il n'en est pas de même pour l'anabolisme par rapport à la synthèse de matière et face à l'énergie. Certains êtres vivants sont capables de réaliser leurs synthèses à partir, uniquement, d'éléments minéraux : ce sont les autotrophes. Leur source d'énergie est soit la lumière, soit d'origine chimique. On distingue alors, les photolithotrophes et les chimiolithotrophes.

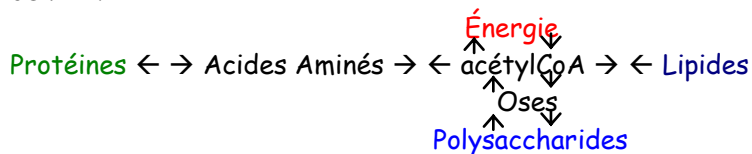
L'utilisation de la lumière est réalisée par l'intermédiaire des pigments. Chez les chimiolithotrophes, l'énergie vient de l'oxydation de composés azotés ou soufrés. Quelle que soit son origine, cette énergie sera emmagasinée au cours de l'anabolisme dans des composés qui seront ensuite utilisés lors du catabolisme.

Les autres organismes ont un besoin absolu de substances organiques pour avoir de la matière et de l'énergie : ce sont les chimioorganotrophes. L'énergie est nécessaire aux synthèses. Celle-ci provient de substances organiques qui vont être oxydées par la respiration ou par une fermentation.

Le métabolisme intermédiaire : il est réalisé à partir de réactions chimiques intracellulaires qui sont réalisées par des enzymes prenant place après un premier fragment qui a pour but la transformation des éléments en nutriments. Ces nutriments vont ensuite être assimilés par la cellule.



Deux types de constituants sont principalement utilisés : ce sont les lipides et les polysaccharides. L'acétylCoA est la plaque tournante à partir de laquelle sera produit l'essentiel de l'ATP



## C\ Équilibre dynamique.

Dans une cellule, le catabolisme et l'anabolisme vont créer deux flux opposés de matériaux et d'énergie. On obtient toutefois un équilibre qui n'est qu'apparent. Ce pseudo-équilibre est obtenu grâce au renouvellement permanent de la majorité des composants : c'est le phénomène de turn-over. Ce turn-over ne touche pas les constituants dont les éléments structuraux ont un turn-over presque nul.

Dans ce cas, on parle d'équilibre dynamique ; la cellule se comporte comme un milieu réactionnel. Les réactions ont lieu dans le cytoplasme et dans toutes les inclusions cellulaires.

## D\ Milieu réactionnel.

Particularité : les réactions biochimiques se réalisent essentiellement dans les milieux riches en eau. Dans les cellules, les structures membranaires ont des fonctions aqueuses. Les réactions se font dans le cytoplasme. Le milieu cytoplasmique est riche en eau et certaines réactions vont être possibles grâce à la présence d'enzymes dans les zones polaires ou dans les non polaires.

Dans la cellule, température et pression sont toujours à peu près constantes. L'énergie utilisée pour réaliser les réactions est toujours d'origine chimique. Dans les cellules, les concentrations en réactifs varient peu, tout comme le pH et les catalyseurs sont remplacés par les enzymes. Dans une cellule, on trouve de très nombreuses espèces moléculaires. Cette grande diversité permet l'accomplissement d'une multitude de réaction tout en conservant la possibilité de contrôle et d'assimilation par de multiples réactions. À l'état d'équilibre, une cellule a un métabolisme interne très actif.

## E\ Étude métabolique.

On va établir des séquences métaboliques pour étudier les réactions, puis, pour les situer, on va localiser les voies métaboliques dans les différents compartiments cellulaires. On verra enfin quels sont les mécanismes de régulation entre les différents compartiments.

# II\ Les énergies dans les réactions biochimiques.

## A\ Rappels de thermodynamique.

### 1\ Premier principe.

L'énergie d'un système et de son milieu est constante. L'enthalpie ( $\Delta H$ ) est la chaleur de réaction à pression constante.

## 2\ Second principe.

L'état d'ordre d'un système est égal à l'entropie ( $\Delta S$ ). L'état d'énergie prend en compte l'enthalpie, l'entropie et la chaleur. On a donc la formule :  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ .

## 3\ Exemples.

Mesure de variation : si on travaille à  $V = \text{constante}$ , on obtient l'énergie. L'enthalpie libre donne la réaction qui se fait spontanément : c'est un critère de spontanéité des réactions chimiques.

Quand  $\Delta G < 0$ , il est possible que la réaction soit exergonique. Il y aura perte d'énergie.  
 $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \log K$ .

Dans la matière vivante, la température, le pH et les concentrations sont très variables ( $\Delta G^\circ$  est l'enthalpie libre standard à pH = 7).

Beaucoup de réactions sont des oxydoréductions. On utilisera alors des paramètres électrochimiques :  $E = E^\circ + (RT)/(nF) \times \log(\text{Ox}/\text{Red})$ , donc,  $\Delta G^\circ = -nF\Delta E^\circ$ .

En général, on a deux couples rédox : les électrons seront transférés du couple le plus électronégatif au couple le plus réducteur.  $\Delta G = G_1 - G_2 = nF(E_1 - E_2)$ .

$0 \geq \Delta G^\circ \Leftrightarrow 0 \geq -nF(E_1 - E_2)$ .

## B\ Le couplage.

### 1\ L'ATP.

La plupart des réactions sont endergoniques et demandent donc de l'énergie qui viendra du catabolisme  $\rightarrow$  c'est un couplage énergétique.

Le transfert énergétique se fait grâce à des composés riches en énergie. Ces composés assurent le stockage et le transport de cette énergie. L'ATP est alors renouvelé. L'ATP est un ester triphosphate d'adénosine. On trouve dans cette molécule trois liaisons phosphates différentes. La première liaison a une énergie de -12,5 KJ/mol alors que les deuxièmes et troisièmes liaisons ont une énergie de -29 KJ/mol.

$\text{ATP} \rightarrow \leftarrow \text{ADP} + \text{Pi}$  Parfois, on a  $\text{ATP} \rightarrow \leftarrow \text{AMP} + 2\text{Pi}$  ( $\Delta G = -36$  KJ/mol).

### 2\ Les principaux composés riches en énergie.

#### a\ Phosphate à haut potentiel d'hydrolyse.

- di et triose phosphate : voir ATP
- di et triose phosphate de nucléotides : ATP, UTP, GTP
- les acides phosphates  $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{PO}_3^-$  (exemple : l'Acétyl-phosphate)
- Les amidines phosphates : la créatine phosphate
- Les sucres phosphorylés : ce sont tous les composés ayant une fonction aldéhyde ou cétone et au moins deux fonctions alcool. À partir d'un C5, on a une cyclisation qui donnera un hémiacétal. Les glucosides ou les hétérosides donneront des acétals.

#### b\ Acyles à haut potentiel d'hydrolyse.

On trouve les thioesters :  $\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{S}-\text{R}'$

$\text{CH}_3\text{-CO-S} + \text{CoA} \rightarrow \text{CH}_3\text{-CO-S-CoA}$  (= acétylCoA)

### c\ Les autres ammoniums quaternaires.

Chaque liaison a une valeur différente, d'où un classement nécessaire des différents composés.

3\ Classement énergétique des composés riches en énergie (valeurs données en KJ/mol).

- -52 : PEP
- -49,4 : 1,3 diphosphoglycérique
- -43,9 : créatine phosphate
- -42,3 : Acétyl phosphate
- -36 : ATP
- -29 : ADP
- -26,4 : acétylCoA
- -25 : PP
- -21 : glucose 1P
- -13,8 : glucose 6P
- -12,5 : fructose 1P
- -9,6 : Glycérol 1P

### 4\ Origine et rôle des composés riches en énergie.

Chez les chimiotrophes, l'énergie vient de l'oxydation de substrats.

Chez les phototrophes, l'énergie vient de la lumière.

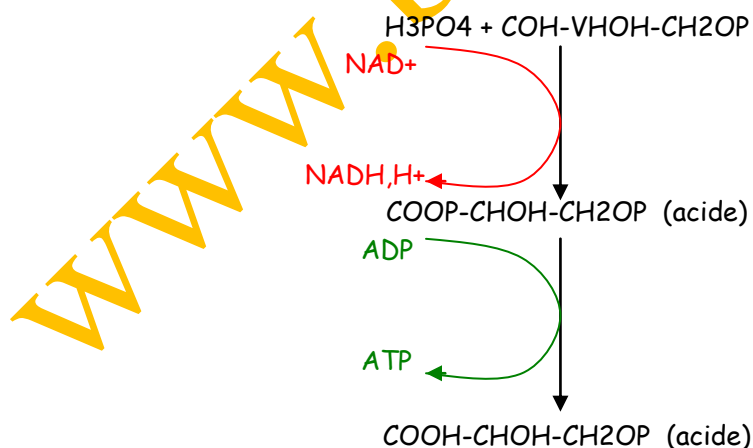
#### a\ Photophosphorylation.

Chez les végétaux → la photosynthèse.

#### b\ Oxydoréduction phosphorylantes.

Elles ont lieu au niveau du substrat, ou au niveau de la chaîne respiratoire.

Au niveau du substrat :



L'oxydation du substrat permet la formation d'une liaison riche en énergie. Cette énergie est récupérée par un mécanisme de couplage.

La première étape : il y a oxydation par une déshydrogénase (la glyceraldéhyde 3P déshydrogénase). L'aldéhyde donnera un acide phosphorylé.

La deuxième étape : l'énergie dégagée sera récupérée par l'ATP grâce à une kinase (la 3P glycérate kinase).

Le rôle : ce sont soit des étapes du métabolisme (PEP), soit des transporteurs d'énergie (ATP) et les groupements de certains sont ceux de coenzymes.

### III\ Enzymes et coenzymes.

#### A\ La classification des enzymes.

- les oxydoréductases : elles transfèrent les électrons et les protons en présence de coenzyme ou d'O<sub>2</sub>. On trouve parmi celles-ci, les déshydrogénases.
- Les transférases : elles transfèrent le groupement d'une molécule vers une autre molécule.
- Les hydrolases : elles coupent des liaisons estérases, lipases, phosphatases, protéases et glycosidases.
- Les lyases : on y trouve des carboxylases et des phospholyases.
- Les isomérases.
- Les ligases ou synthétases : elles fonctionnent avec de l'ATP.

#### B\ Les coenzymes.

Ils ne sont pas de nature protéique et possèdent un ou plusieurs noyaux cycliques ou hétérocycliques. Ils présentent une structure fortement conjuguée, riche en électron  $\pi$  (électron mobile). Ce sont souvent des vitamines ou des dérivés de vitamines. On trouve :

- des groupements prosthétiques : activateurs très liés en l'enzyme.
- des groupements transporteurs : ils sont faiblement liés à des protéines.