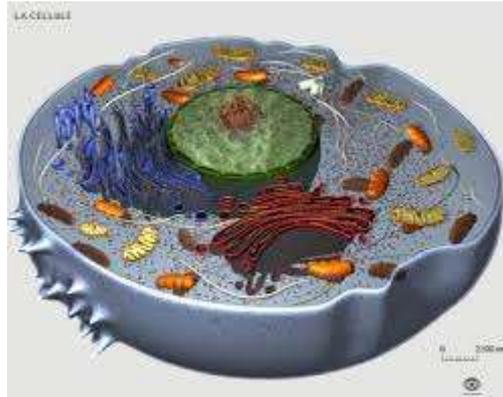


Biologie cellulaire



Dr. S. SEBAA

**Année universitaire
2022-2023**

Chapitre 2

Bioénergétique, Enzymes et métabolismes cellulaires

2.1. Bioénergétique

- Définition de l'énergie
- Définition de la bioénergétique
- Bioénergétique et thermodynamique
- Transfert d'énergie par couplage
- Réactions d'oxydoréduction

2.2. Enzymes

- Définition d'une enzyme
- Enzymes et couplages
- Classes des enzymes

2.3. Métabolismes cellulaires

- Définition du métabolisme cellulaire
- Compartimentation des voies métaboliques
- Métabolisme énergétique (ou la production d'énergie)

2.1. Bioénergétique

■ Définition de l'énergie:

- Pour croître et se reproduire les cellules de tout organisme vivant ont besoin d'**énergie**,
- L'**énergie**, du latin en (dans) et ergo (j'agis) : qui **agit en dedans**, est une propriété (force) de la **matière** lui permettant de **se transformer** en **générant un travail**, ou à l'inverse de se transformer comme **résultat d'un travail**.
- L'énergie peut être :
 - **Chimique** : permet de réaliser une réaction chimique dans divers voies métaboliques,
 - **Calorifique**: suite à une production de chaleur,
 - **Osmotique**: permet de réaliser des transferts de molécules grâce à un gradient de concentration dans les divers compartiments cellulaires,
 - **Mécanique** : permet de réaliser un mouvement au cours de la contraction musculaire
 - **Electrique** : permet de réaliser des transferts de molécules grâce à un gradient ionique géré par des potentiels membranaires,
- Les cellules humaines utilisent de l'**énergie chimique** des substances ingérées à partir de nutriments (glucides, lipides, acides aminés, bases puriques et pyrimidiques) pour **être convertie** en d'**autres formes d'énergie**.

▪ Définition de la bioénergétique:

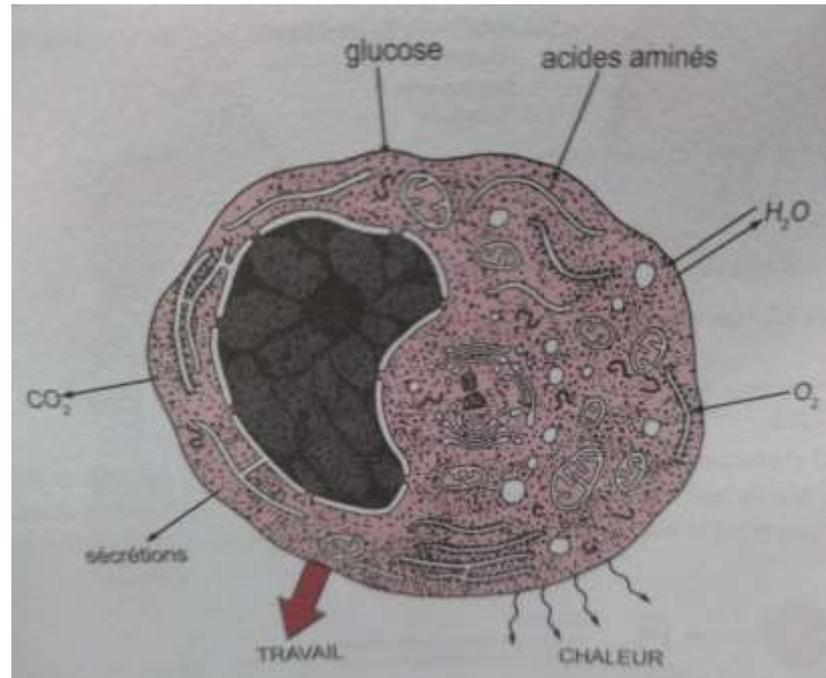
- La **bioénergétique** étudie les processus cellulaires, comme la **respiration** ou la **photosynthèse**, qui permettent de stocker, sous forme d'un excès de molécules d'**ATP**, l'**énergie chimique** nécessaire pour de nombreuses réactions biologiques,
- La **bioénergétique** branche de la **biochimie** qui s'intéresse à l'étude des **transformations de l'énergie** apportée par le **milieu extérieur à la cellule**, et ce de façon **utilisable** pour celle-ci.

▪ Bioénergétique et thermodynamique:

Bioénergétique:

- La **bioénergétique** analyse le flux d'énergie dans les **systèmes vivants (systèmes thermodynamiques ouverts)**,
- Les **systèmes vivants** sont des **systèmes ouverts** qui dépensent beaucoup d'énergie pour réaliser de nombreux travaux,
 - Un **système ouvert** est un **système réactionnel** qui permet les échanges de matière avec le milieu environnant sans permettre aux réactions d'atteindre un état d'équilibre.
 - Les **systèmes fermés** permettent à une réaction réversible d'atteindre l'**état d'équilibre**.

- Les **cellules** sont des **systèmes ouverts**: leur membrane est sélective mais autorise les flux de nombreux solutés (glucose, acides aminés, molécules d'eau, sécrétions,...),
- Les **systèmes mécaniques** de la cellule permettent à cette dernière d'exercer un **travail** sur son milieu, exemple : travail de déplacement,
- Les cellules **importent** et **exportent** de la **chaleur**.



La cellule: un système thermodynamique ouvert

Thermodynamique:

La production d'énergie obéit aux lois de la **thermodynamique** qui repose sur **deux principes** postulés et qui n'ont été **ni démontrés ni infirmés**.

- **Lois (principes) de la thermodynamique:**

- Le **premier principe** stipule que l'énergie totale de l'Univers est **constante**, ni produite ni consommée, et qu'elle ne peut être que **convertie** d'une forme en une autre.

Exemple de la transformation d'une forme d'énergie à une autre:

l'hydrolyse de l'ATP (**énergie chimique**) est nécessaire à la contraction musculaire (**énergie mécanique**).

- Le **second principe** donne le sens général des réactions physicochimiques : le désordre de l'Univers (**l'entropie**) est en **augmentation** constante.

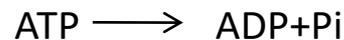
Entropie est un terme qui caractérise le degré de **désorganisation**.

- Lors de la production d'énergie, les systèmes intervenants évoluent d'un **état ordonné vers un état moins ordonné**.
- Le **désordre** obtenu est appelé **Entropie (S)**.
- La mesure quantitative de la variation de ce désordre (d'un état initial à un état final) est désignée par la **variation de l'entropie (=ΔS)**.

- Notion de l'énergie libre de Gibbs G (= enthalpie libre) :

En thermodynamique, l'**enthalpie libre** est une fonction assimilable à l'énergie « **utilisable** »

- La variation de l'énergie libre ΔG est la différence entre l'état final et l'état initial
- La variation de l'énergie libre ΔG^0 est la valeur prise de ΔG pour 1mole de substrat, à Température constante (i.e: 298°K soit 25°C), à concentration constante de tous les réactants (1 mole/l). et à pH=0. ΔG^0 s'exprime en KJ/mole.
- La variation de l'énergie libre ΔG permet de prévoir le **sens d'une réaction chimique**:
 - Si **$\Delta G < 0$** : la réaction est **exergonique**, elle **dégage de l'énergie** et tend à se faire spontanément.

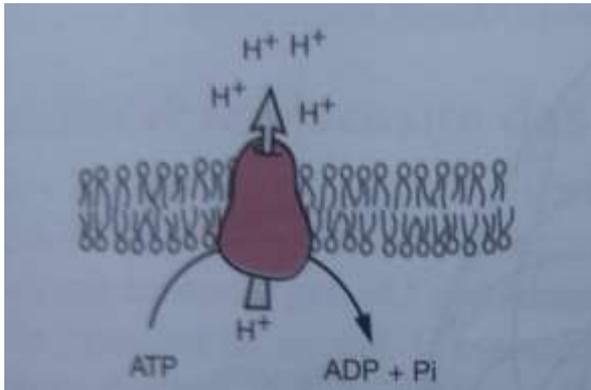


- Si **$\Delta G > 0$** : la réaction est **endergonique**, elle a **besoin d'énergie** pour se faire.



- Si **$\Delta G = 0$** : la réaction se fait **sans consommation d'énergie**, elle tend vers l'équilibre
- La réalisation des processus biosynthétiques repose sur le **couplage énergétique** : ce qu'un système perd, un autre le gagne, la somme algébrique de l'ensemble étant toujours négative.
- Le **couplage énergétique** est une association de deux réactions enzymatiques, l'une **exergonique**, l'autre **endergonique**, grâce à laquelle l'énergie libérée par la première peut être directement transmise à la seconde au lieu d'être perdue sous forme de chaleur.

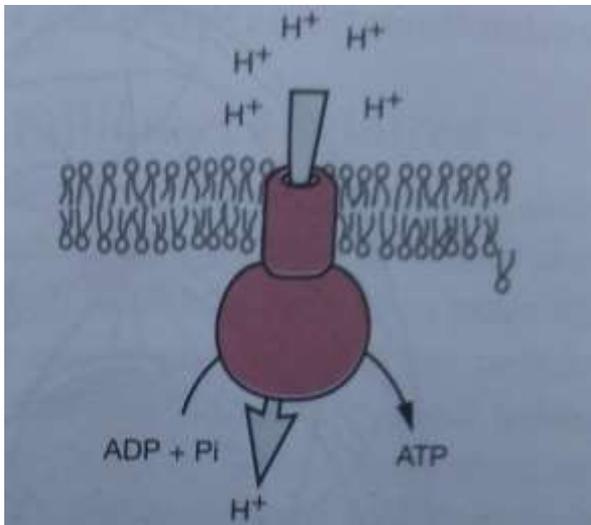
■ Transfert d'énergie par couplage



Couplage chimio-osmotique

Une réaction chimique **pompe** un soluté à travers une membrane contre son gradient.

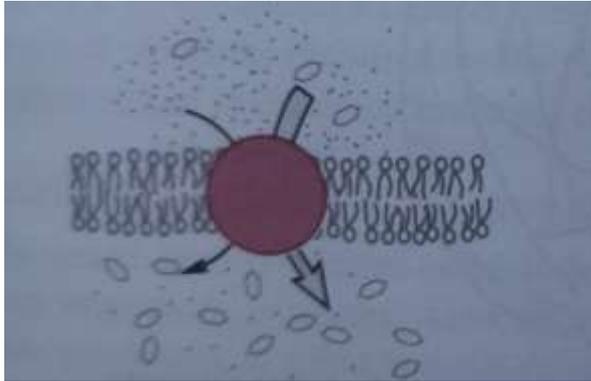
protéine transmembranaire de type **pompe**:
transport actif → **énergie**



Dissipation spontanée d'un gradient permet la réalisation d'un travail chimique (réaction).

Couplage osmo-chimique

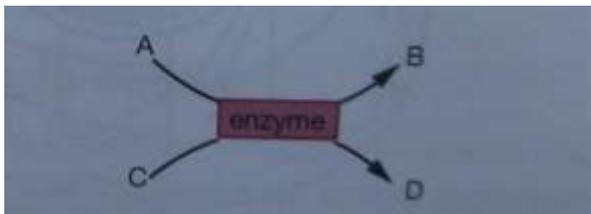
■ Transfert d'énergie par couplage



Couplage osmo-osmotique

Dissipation d'un gradient d'un soluté permet de **pomper** un autre soluté contre son gradient.

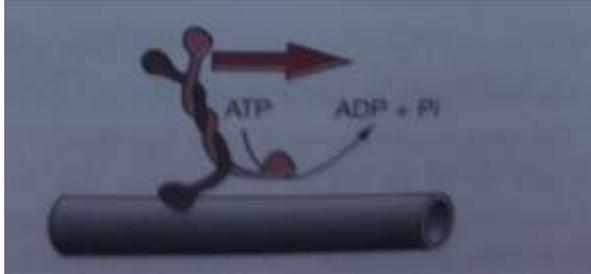
protéine transmembranaire de type **pompe**:
transport actif → **énergie**



Couplage chimio-chimique

Réaction chimique spontanée permet la réalisation d'une autre réaction chimique.

▪ Transfert d'énergie par couplage



Réaction chimique spontanée permet la réalisation d'un travail mécanique par fonctionnement d'un moteur.

Couplage chimio-mécanique

■ Réactions d'oxydoréduction

- L'**énergie chimique** peut être **conservée** sous forme **d'électrons** à haut potentiel énergétique contenus dans les **molécules énergétiques**.
- Les **réactions d'oxydoréduction**: transfert d'un électron d'un **donneur** d'électrons à un **accepteur** d'électrons,
- Ces réactions sont des **échanges d'électrons**,
 - une **oxydation** est une **perte d'électron(s)** ou **d'hydrogène(s)**,
 - une **réduction**, un **gain d'électron(s)** ou **d'hydrogène(s)**,



- Ce transfert d'électrons s'accompagne d'une **variation d'énergie libre**.
- C'est cette énergie qui est transformée en potentiel phosphate (ATP/ADP.Pi) grâce à l'**oxydation phosphorylante mitochondriale**.
- Le **potentiel d'oxydoréduction (redox)** peut être défini comme la probabilité que possède un corps de céder ou de capter un ou plusieurs électrons à un composé voisin.

- Dans toute réaction biochimique **spontanée**, l'**énergie libre diminue**, le système tendant vers le niveau énergétique minimal.
- Certaines réactions sont spontanément **très lentes** : la probabilité de transformation est faible car elle passe par une étape transitoire dont le niveau énergétique est supérieur à l'état initial.
- Pour **accélérer** le processus:
 - ✓ soit apporter de l'énergie à l'état initial,
 - ✓ soit abaisser le seuil par un **catalyseur (enzyme)**, ce qui augmente la probabilité de la réaction.

2.2. Enzymes

▪ Définition

- La cellule contient de très nombreux enzymes,
- Les **enzymes** sont **catalyseurs biologiques** de nature **protéique** dont la fonction est d'**accélérer** les réactions chimiques de façon **spécifique**,
- Un site catalytique est un **ensemble d'acides aminés** qui interviennent dans la **transformation** d'un substrat **préalablement fixé**,
- L'enzyme
 - n'a aucun **effet thermodynamique** sur les réactions
 - Ne modifie jamais et en aucune manière de sens des réactions

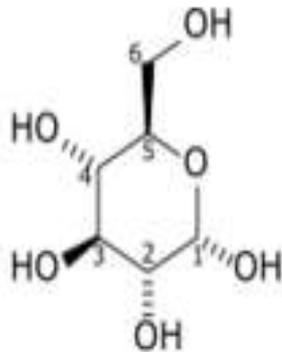
▪ Enzymes et couplages

Exemple: la phosphorylation du glucose et l'hydrolyse d'une molécule d'ATP

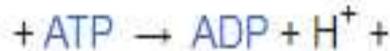
Glucose + **Pi** = Glucose-phosphate

ATP = ADP + **Pi**

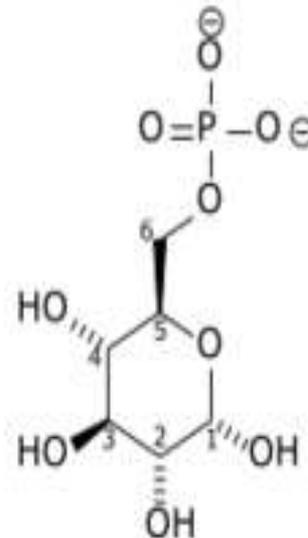
Glucose + ATP = Glucose-phosphate + ADP



Glucose



glucokinase



Glucose-6-phosphate

■ Classes des enzymes

- En fonction de leur **séquence en acides aminés**, les enzymes ont des structures différentes qui déterminent leurs **propriétés catalytiques**.

➤ Classe 1 : les oxydoréductases:

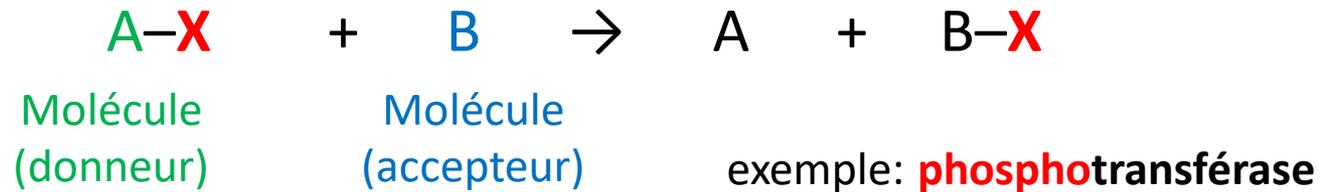
- enzymes catalysant les réactions d'oxydoréduction en transférant les **ions H+** et des **électrons**.
- Elles sont associées à des **coenzymes** d'oxydoréduction (NAD, FAD, FMN, etc.).



■ Classes des enzymes

➤ Classe 2 : les transférases :

- enzyme catalysant le transfert d'un **groupe fonctionnel** (par exemple un groupe éthyle ou **phosphate**) d'une molécule (appelée donneur) à une autre (appelée accepteur).



➤ Classe 3 : les hydrolases: (hydrolases **acides**, pH acide proche de 5)

- enzyme catalysent les réactions d'**hydrolyse** de molécules (en brisant les **liaisons covalentes**).



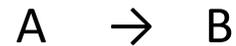
exemple, les **phosphatases**, qui hydrolysent les produits phosphorés
(ATP + **H₂O** \rightleftharpoons ADP + P).

■ Classes des enzymes

- **Classe 4 : les lyases:** enzyme catalysant la rupture des **liaisons covalentes** (C-C, C-O, C-N ou autre) sans hydrolyse ni oxydation, créant souvent de **nouvelles doubles liaisons**.



- **Classe 5 : les isomérases:** enzyme catalysant les changements au sein d'une molécule, souvent par **réarrangement des groupements fonctionnels** et conversion de la molécule en l'un de ses **isomères**.



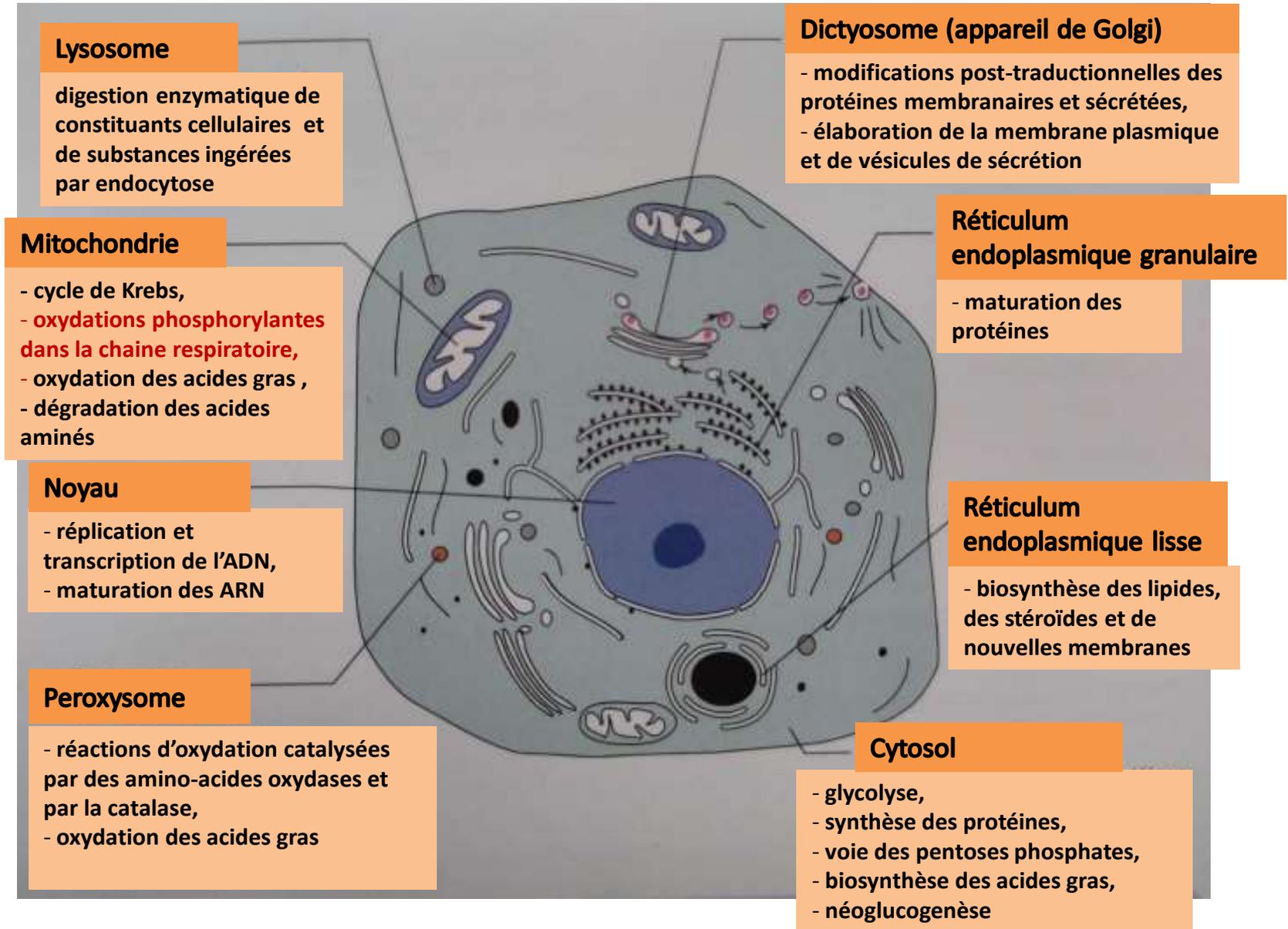
B est un **isomère** de A

- **Classe 6 : les ligases (synthétases):** enzyme catalysant la jonction (*ligation* en anglais) de deux molécules par de nouvelles liaisons covalentes avec hydrolyse **concomitante** de l'ATP ou d'autres molécules similaires.

▪ Définition du métabolisme cellulaire

- le **métabolisme** est l'ensemble des réactions chimiques qui ont lieu dans une cellule,
- le **métabolisme** d'une cellule est la **somme** du **catabolisme**, ou activité de **dégradation**, et de l'**anabolisme**, ou activité de **synthèse**,
- le **catabolisme** dégrade des molécules complexes en molécules de base,
 - soit pour **produire de l'énergie**
 - soit pour produire des molécules directement utilisables par les voies de l'anabolisme,
- les **enzymes** jouent un **rôle crucial** dans ce métabolisme cellulaire en facilitant les réactions métaboliques,
- les cellules **n'ayant pas toutes les mêmes enzymes**, elles **ne réalisent pas toutes les mêmes transformations biochimiques**.

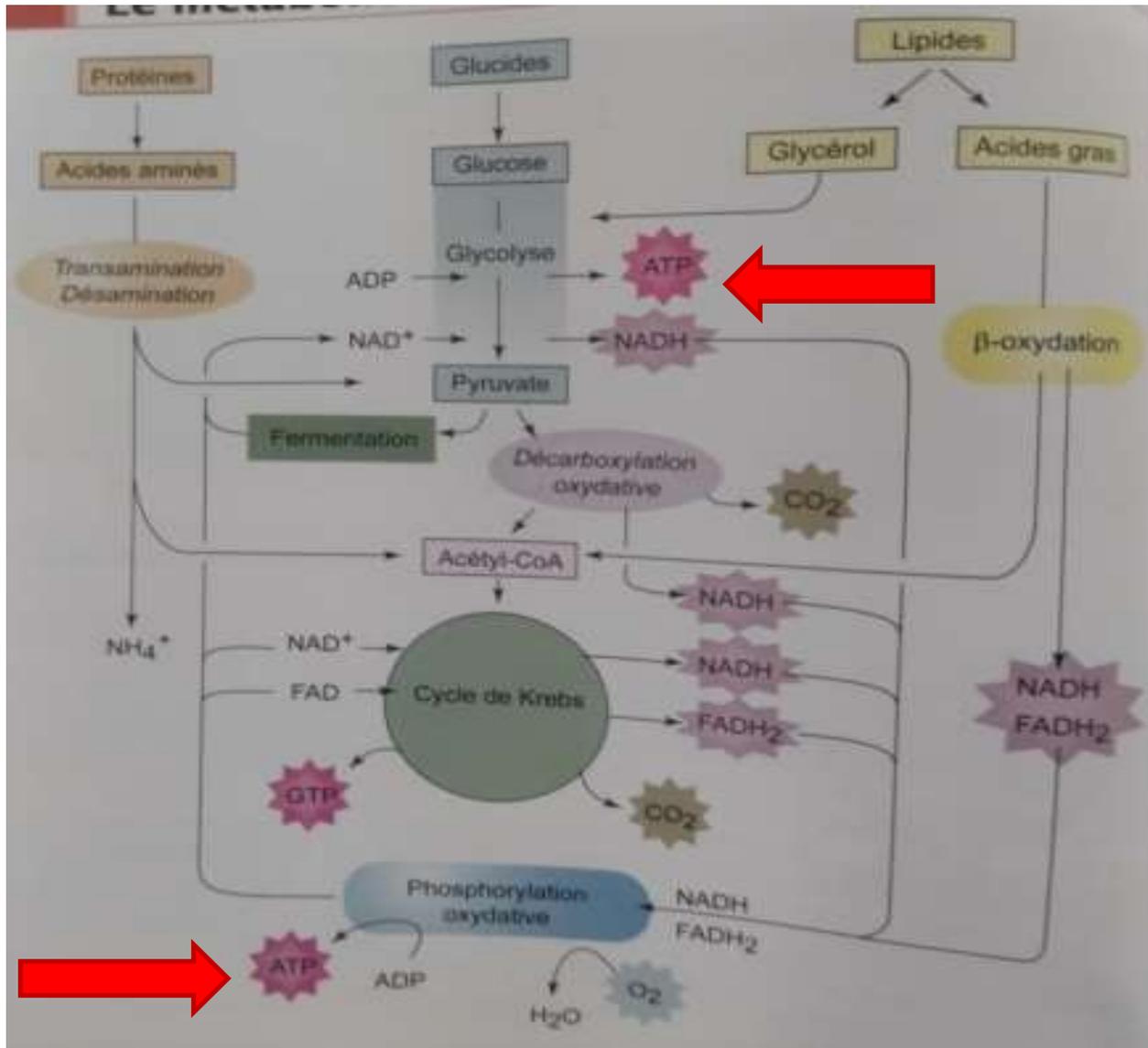
■ Compartimentation des voies métaboliques



▪ Métabolisme énergétique (ou la production d'énergie)

- ensemble des réactions chimiques au niveau des cellules de l'organisme permettant la **production de l'énergie**,
- il existe trois voies métaboliques qui aboutissent à la **synthèse (production) d'ATP**:
 - la **respiration**
 - la **photosynthèse**
 - la **fermentation**

■ Métabolisme énergétique (ou la production d'énergie)



Le métabolisme intermédiaire concerne l'ensemble des voies métaboliques impliquées dans les transferts d'énergie au sein de la cellule et leur permettant d'accomplir leurs fonctions biologiques. Il couple des réactions exergoniques aux processus endergoniques nécessaires au maintien de la vie.