

I) Introduction :

Pour se **conserver** et réaliser tout son **travail**, une cellule a un besoin perpétuel d'énergie. Initialement, cette énergie est au niveau **extérieur**. Le principe de la prise alimentaire est de la **transférer** et de la **transformer** par des réactions de catabolisme impliquant la **chaîne respiratoire mitochondriale** pour former de l'**ATP**.

Bioénergétique

- étude de l'**approvisionnement**, du **transfert** et de l'**utilisation** de l'énergie par la cellule.
- Soumise aux lois de la thermodynamique → premier principe: **L'énergie totale de l'univers demeure constante** (rien ne se perd, rien ne se crée tout se transforme).

II) Energie Libre (G)

- exprimée en **kJ/mol ou kcal/mol**.
- partie de l'énergie contenue dans une molécule susceptible de fournir un **travail utile**.
- Le reste de l'énergie ne peut être libéré que sous forme de **chaleur**.
- reflète le potentiel qu'a une molécule de se **transformer**.

Une réaction chimique évolue selon un gradient de potentiel : dans le sens de la molécule possédant le **G** le plus élevé vers la molécule possédant le **G** le plus faible

III) Variation d'Energie Libre (ΔG)

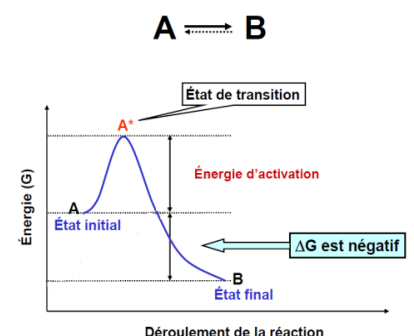
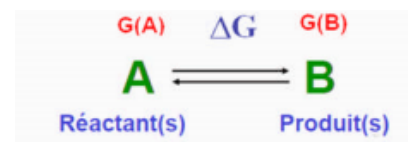
Les espèces A et B possèdent des énergies libres (**G**) différentes : **G(A)** et **G(B)**.

La Variation d'Energie Libre **G(B) – G(A)** entre les deux espèces est notée **ΔG** .

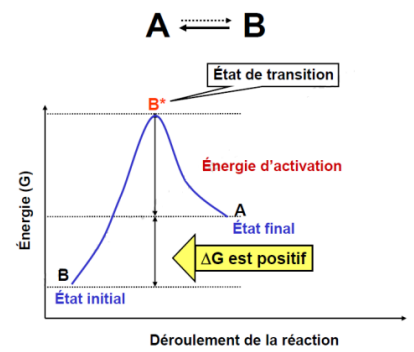
Lors d'une réaction de transformation d'un **réactant** en **produit**, il existe 3 possibilités :

$\Delta G < 0$, la réaction est dite **EXERGONIQUE**. **G(B) < G(A)**, on assiste donc à une **libération d'énergie** de la part du système. La réaction **A → B** sera donc **spontanée**, elle est **thermodynamiquement favorable**.

Elle nécessite tout de même d'atteindre un **état de transition (A*)** grâce à l'**énergie d'activation**, sorte de sécurité pour éviter que la réaction ne se produise anarchiquement. L'**enzyme** intervient durant cette étape.



$\Delta G > 0$, la réaction est dite **ENDERGONIQUE**. $G(B) > G(A)$, on assiste donc à une **absorption d'énergie** de la part du système ; elle ne sera **pas spontanée** et nécessitera un apport énergétique extérieur. La réaction $A \rightarrow B$ ne se fait pas de manière spontanée, elle est **thermodynamiquement défavorable**.



$\Delta G = 0$: la réaction est à l'**EQUILIBRE**. $G(B) = G(A)$, A et B ont le même potentiel. La réaction se fait dans les deux sens : elle donc est **réversible**.

- Le signe de ΔG permet donc de prédire le sens d'une réaction chimique (suivant s'il est positif ou négatif)
- La valeur du ΔG permet de prédire si la réaction sera réversible, ou au contraire irréversible :
 - $|\Delta G|$ faible \rightarrow réaction réversible (état énergétique du produit proche de celui du réactif)
 - $|\Delta G|$ élevé \rightarrow réaction irréversible (état énergétique du produit très éloigné de celui du réactif)

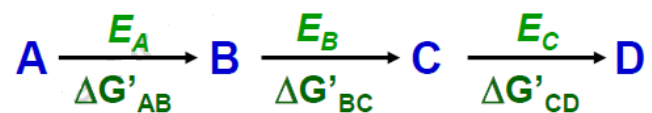
Le flux entrant d'une voie métabolique mettra toujours en jeu une réaction irréversible qui sera soumis à régulation !

Deux paramètres définissent chaque réaction des voies métaboliques :

- Le ΔG
- **L'énergie d'activation (E_a)**

En chimie, on aura une réaction **sans intermédiaires réactionnels** du type $A \xrightarrow{\Delta G'_{AD}} D$

En biochimie cela est impossible à cause des contraintes énergétiques. La cellule va donc **découpler** la réaction en 3 étapes afin de diminuer la contrainte énergétique :



A chaque étape réactionnelle de la cellule on aura une **enzyme spécifique** ; sa fonction sera de **minimiser l'énergie d'activation** afin de favoriser le passage à l'**état de transition**, et donc la réaction.


Les deux moyens trouvés par la cellule comme réponse aux contraintes thermodynamiques sont donc :

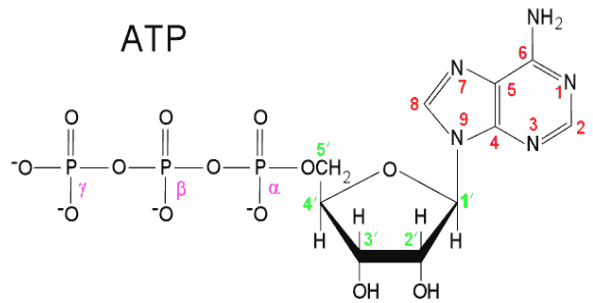
- **Le découplage réactionnel** : permet de **minimiser** le ΔG
- **Le découplage énergétique** : permet de **minimiser l'énergie d'activation** \rightarrow rôle des **enzymes**

IV) L'ATP, transporteur universel d'énergie

L'énergie libérée par les réactions **exergoniques** ($\Delta G < 0$) est soit directement convertie en **chaleur** soit **stockée** pour une utilisation future. Sous quelle forme est-elle stockée ? En biologie, la forme principale et universelle de stockage de l'énergie est l'**Adénosine Tri Phosphate** ou **ATP**. L'**ATP** est un nucléotide.

ATP





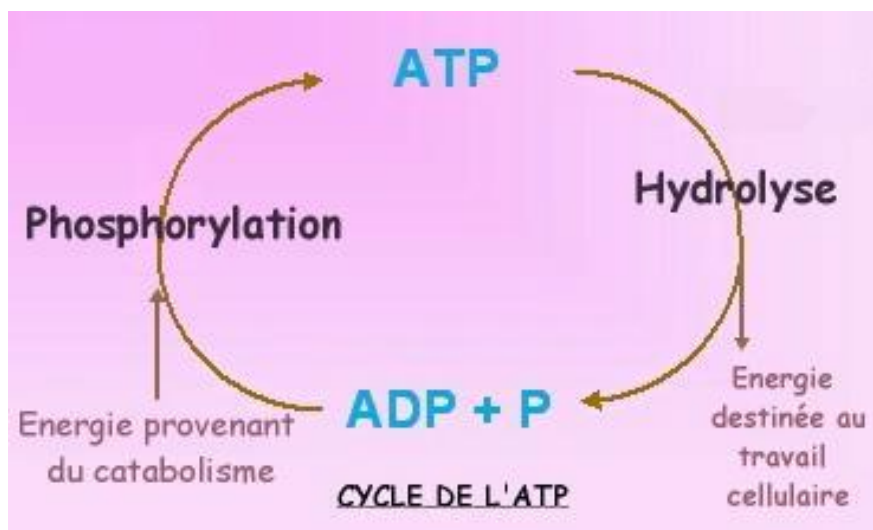
- Il est présent dans **toutes les cellules** de tous les êtres vivants.
- C'est **l'unique fournisseur** d'énergie !
- En moyenne : 75g d'**ATP** dans l'organisme, alors qu'il en nécessite 45kg par jour → Importance du **TURN-OVER**
- Le but de la cellule sera d'avoir 10 **ATP** pour 1 **ADP**

Le « **haut potentiel énergétique** » de l'**ATP** est dû à la présence de « liaisons à haut potentiel énergétique (liaison HPE) » dans sa structure. Ces liaisons sont celles qui lient 2 phosphates entre eux : ce sont des liaisons de type **phospho-anhydride** (β et γ). L'hydrolyse de ces liaisons va libérer **31 kJ**

Le **voies cataboliques** libèrent de l'énergie qui est alors utilisée pour la synthèse d'**ATP** (par phosphorylation de l'**ADP**, ce qui consomme de l'énergie car on forme une « **liaison HPE** »)

Les **voies anaboliques** consomment de l'énergie. Elles utilisent l'**ATP** en rompant une des 2 « liaisons HPE » **phospho-anhydres** ce qui libère l'énergie dont elles ont besoin :

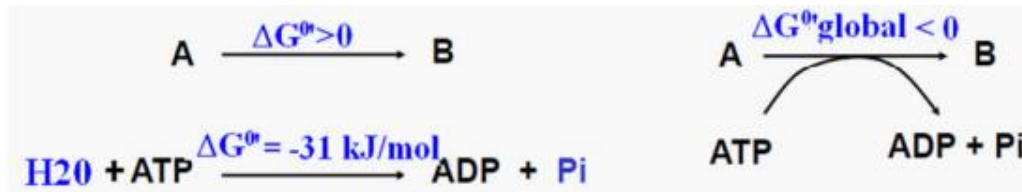
- $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$ le plus souvent
- $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{AMP} + \text{PP}_i$ plus rarement



Réaction couplées

Le **catabolisme** contient de nombreuses réactions **exergoniques** libérant de l'énergie stockée sous forme d'**ATP**.

L'**anabolisme** contient de nombreuses réactions **endergoniques** qui sont défavorables en l'absence d'un apport d'énergie extérieur → Il faut donc leur apporter de l'énergie.



La réaction $A \rightarrow B$ est **endergonique** ($\Delta G'^0 > 0$). Cette réaction ne peut se produire **spontanément** car elle doit consommer de l'énergie.

Or, on sait que l'hydrolyse de l'**ATP** en **ADP** est très **exergonique** ($\Delta G'^0 = -31 \text{ kJ/mol}$).

En couplant les 2 réactions : $A + \text{ATP} \rightarrow B + \text{ADP}$, on peut obtenir une réaction globalement **exergonique** (favorable) si la somme des $\Delta G'$ des deux réactions est négative ($\Delta G' < 0$)

L'énergie libérée par l'hydrolyse de l'**ATP** en **ADP** est convertie en :

- énergie pour un **travail** : la transformation **endergonique** (défavorable) de A en B
- **chaleur** : l'énergie excédentaire non utilisée pour un travail est convertie en chaleur

Le **bilan énergétique global** d'une voie métabolique doit toujours être **exergonique**.