TUTORAT NIÇOIS - PRÉ RENTRÉE

BIOÉNERGÉTIQUE *en version* TTR

PAR VALACTINE



Sommaire

01. INTRODUCTION

02. BIOÉNERGÉTIQUE ET THERMODYNAMIQUE

03. BIOÉNERGÉTIQUE ET MÉTABOLISME

04. MOLÉCULES IMPLQUÉS DANS LA BIOÉNERGÉTIQUE



Introduction



01 - Introduction

L'énergie est indispensable au fonctionnement des organismes vivants.

2 missions essentielles de l'organisme :

1. Se conserver / vivre

2. Se perpétuer

Et ces besoins de matières + énergie = assurés par le métabolisme...

01 - Introduction

MÉTABOLISME = regroupe l'ensemble des réactions chimiques ayant lieu à l'intérieur d'un être vivant et qui génère la matière et l'énergie pour maintenir l'organisme en vie

- CATabolisme = Dégradation
- ANabolisme = Biosynthèse / Synthèse

❤️ **CATABOLISME + ANABOLISME = MÉTABOLISME** ❤️

À retenir :

- CAtabolisme = CAsser les liaisons → dégradation
- Anabolisme = construire → synthèse

01 - Introduction

Il existe 2 types de réactions :

- EXergonique : → énergie vers l'EXtérieur → LIBÈRE de l'énergie
- ENDergonique : → le D = Dedans → CONSOMME de l'énergie

Exergonique	**Endergonique**
Libère de l’énergie	Consomme de l’énergie
Energie → Milieu	Energie → Réaction
Réaction spontannée	Nécessite un apport d’énergie

01 - Introduction

A - L'énergie c'est la vie

Une cellule doit continuellement réaliser des réactions indispensables à sa survie/conservation → besoin continu en énergie

Énergie = capacité à réaliser un travail

3 formes de travail cellulaire :

- Mécanique → mouvements/contraction musculaire
- Transmembranaire → transport de molécules
- Chimique → métabolisme cellulaire

01 – Introduction

A – L'énergie c'est la vie

Une cellule :

- capte de l'énergie : substrats carbonés
- cède de l'énergie : chaleur
- utilise de l'énergie : travaux cellulaires

On retient !

+++ Pour vivre et se développer, la cellule échange en CONTINU de **la matière et de l'énergie** avec son MILIEU environnant +++

Grace à des systèmes ...

01 - Introduction

B - Différents systèmes appliqués à la bioénergétique

Système = ensemble cohérent de matière considéré comme un tout

- CELLULE = SYSTÈME OUVERT + ISOTHERME

→ fonctionne à température et pression constantes

Hétérotrophie

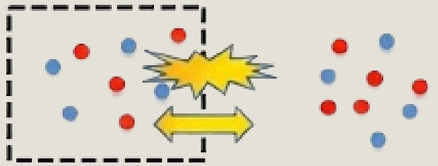
- **Plantes** = autotrophes → utilisent lumière soleil → production nutriments
- **Cellules animales** = hétérotrophes → utilisent des nutriments provenant de l'extérieur.
- Les nutriments sont dégradés par le **catabolisme** → libération d'énergie
  - utilisée pour les travaux cellulaires
  - ou stockée (=fabrique des macromolécules indispensables grâce à l'anabolisme)

01 - Introduction

B - Différents systèmes appliqués à la bioénergétique

La transformation observée dans un système peut s'accompagner :

d'échanges d'énergie et/ou de matière avec le milieu/environnement extérieur

Système ouvert  → La cellule

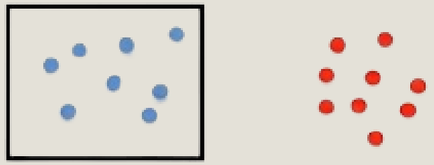
---

d'échanges d'énergie mais pas de matière avec le milieu/environnement extérieur

Système fermé 

---

d'aucun échange d'énergie et de matière avec le milieu/environnement extérieur

Système isolé 

01 - Introduction

C - Les grands principes de la Bioénergétique

La bioénergétique : étude de l'approvisionnement, du transfert et de l'utilisation de l'énergie par la cellule

Elle aborde :

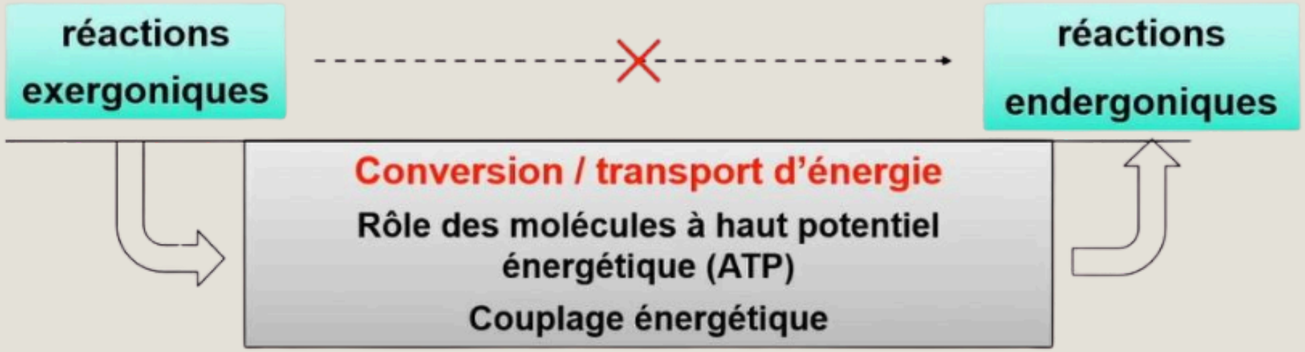
- Catabolisme : dégradation des aliments → libération/extraction d'énergie
- ATP : principale forme de stockage et transfert d'énergie utilisable par la cellule
- Utilisation de l'énergie :

1. Mouvement des organites
2. Contraction musculaire
3. Anabolisme (synthèse de molécules)

01 - Introduction

D - Le couplage énergétique

- Réactions exergoniques → libèrent de l'énergie
- Réactions endergoniques → nécessitent de l'énergie
- Couplage énergétique : l'énergie libérée par les réactions exergoniques permet les réactions endergoniques
- ATP : molécule à haut potentiel énergétique, essentielle au transfert et à la conversion de l'énergie



01 - Introduction

E - Métabolisme = Anabolisme + Catabolisme

1) Catabolisme :

- Dégradation des macromolécules alimentaires → molécules simples → intermédiaires métaboliques
- Produit H_2O, CO_2, NH_3 + libération d'énergie

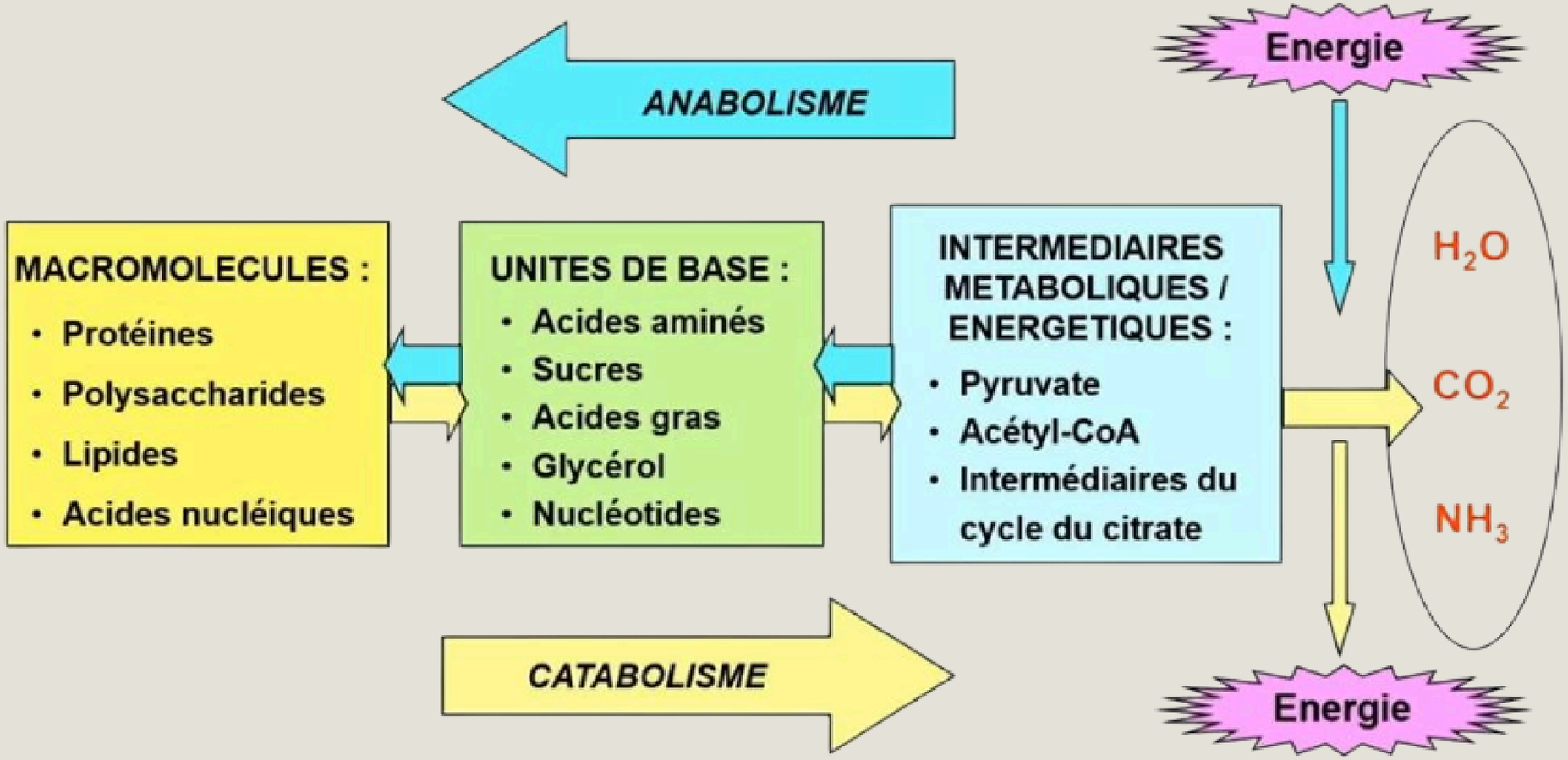
2) Anabolisme :

- Synthèse de macromolécules à partir de molécules simples
- Consomme l'énergie libérée par le catabolisme

+++ Catabolisme → libère de l'énergie → Anabolisme utilise cette énergie +++

01 - Introduction

E - Métabolisme = Anabolisme + Catabolisme



QCM 1 — Concernant le métabolisme, quelles propositions sont exactes ?

A. Le catabolisme correspond à la dégradation des molécules

B. L'anabolisme correspond à la synthèse de molécules

C. Les cellules animales sont autotrophes

D. Le catabolisme et l'anabolisme constituent ensemble le métabolisme

E. Toutes les propositions précédentes sont fausses

A. VRAI — Le catabolisme correspond à la dégradation des molécules

B. VRAI — L'anabolisme correspond à la synthèse, c'est-à-dire à la construction de molécules

C. FAUX — Les cellules animales sont hétérotrophes : elles utilisent des nutriments provenant de leur environnement

D. VRAI — À retenir : Catabolisme + Anabolisme = Métabolisme

QCM 2 — Concernant les réactions exergoniques et endergoniques, quelles propositions sont exactes ?

A. Une réaction exergonique libère de l'énergie

B. Une cellule est un système fermé qui n'échange pas de matière ni d'énergie avec son environnement

C. Les réactions exergoniques peuvent permettre le déroulement de réactions endergoniques

D. L'ATP peut participer au couplage énergétique entre ces réactions

E. Toutes les propositions précédentes sont fausses

A. VRAI — Une réaction exergonique libère de l'énergie

B. FAUX — Une cellule est un système ouvert : elle échange continuellement de la matière et de l'énergie avec son environnement

C. VRAI — L'énergie libérée par une réaction exergonique peut permettre le déroulement d'une réaction endergonique

D. VRAI — L'ATP joue un rôle essentiel dans le transfert et le couplage de l'énergie

Bioénergétique et thermodynamique



02 - Bioénergétique et thermodynamique

A - Généralités+ Définitions

Les réactions métaboliques obéissent aux lois de la thermodynamique

La thermodynamique explique les transferts de matière et d'énergie

- entre l'organisme et son environnement
- au sein de l'organisme

Bioénergétique = application des lois de la thermodynamique aux réactions biochimiques.

02 - Bioénergétique et thermodynamique

A - Généralités+ Définitions

Premier principe de la thermodynamique

« L'énergie totale de l'univers demeure constante »

Elle ne peut jamais être créée ou détruite mais elle peut être transférée et transformée

02 - Bioénergétique et thermodynamique

A - Généralités+ Définitions

Second principe de la thermodynamique

« L'entropie de l'univers augmente »

Chaque transfert ou transformation d'énergie est associée à des réactions passant d'un état ordonné à un état désordonné (=entropie)

L'état désordonné est toujours plus probable

02 - Bioénergétique et thermodynamique

B - Relation de Gibbs

- La relation de Gibbs relie 3 grandeurs : énergie libre (G), enthalpie (H) et entropie (S)
- Elle permet de prévoir le sens et l'importance d'une réaction chimique
- ΔG (delta G) = énergie libre : c'est l'énergie réellement disponible pour faire un travail. C'est LA valeur qui dit si une réaction va se produire toute seule ou pas.
- ΔH (delta H) = enthalpie : l'énergie totale contenue dans les molécules.
- ΔS (delta S) = entropie : le désordre du système.
- T = température (en Kelvin)

02 - Bioénergétique et thermodynamique

B - Relation de Gibbs

$$\Delta G = \Delta H - T\,\Delta S$$

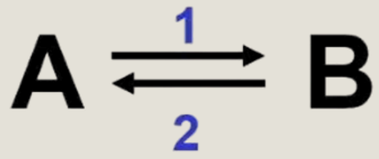
- ΔG permet de prédire le sens et la spontanéité d'une réaction
- Les systèmes tendent naturellement vers un état d'**équilibre**, qui est le plus **stable**

- **ΔG = 0** → Équilibre : pas de travail utile possible.
- **ΔG < 0** → Réaction exergonique : réaction spontanée, libère de l'énergie.
- **ΔG > 0** → Réaction endergonique : nécessite un apport d'énergie pour se produire.

➡️ **Plus un système est proche de l'équilibre, moins il peut fournir d'énergie utile**

02 – Bioénergétique et thermodynamique

Soit un système composé de A et B et représenté par la réaction suivante :



3 situations peuvent se présenter (réaction dans le sens 1) :

si $\Delta G < 0$ $G_B < G_A$, la réaction est *exergonique* : elle peut se faire spontanément dans le sens 1

si $\Delta G > 0$ $G_B > G_A$, la réaction est *endergonique* : elle ne peut se faire dans le sens 1 que si l'on fournit de l'énergie extérieure au système

si $\Delta G = 0$ $G_B = G_A$, la réaction est à l' équilibre et le processus est réversible

02 - Bioénergétique et thermodynamique

C - Notion d'état standard

- Pour comparer l'énergie libre de différentes réactions, on utilise un état standard de référence
- L'énergie libre dans cet état est notée $\Delta G°$
- L'état standard correspond aux conditions où un élément ou composé est le plus stable
- Il sert de point de référence pour comparer les réactions

02 – Bioénergétique et thermodynamique

C - Notion d'état standard

- $\Delta G = 0 \rightarrow$ la réaction est à l'équilibre
- À l'équilibre, les concentrations de A et B sont stabilisées
- ⚠️ **Équilibre ≠ concentrations égales**
- Les concentrations de A et B peuvent être différentes, mais elles ne varient plus

A l'équilibre : $\Delta G = 0$ $[B]_i = [B]_{eq}$ et $[A]_i = [A]_{eq}$

+++ Attention : Une réaction à l'équilibre ne signifie pas que les concentrations sont égales +++

02 - Bioénergétique et thermodynamique

D - Conditions physiologiques de l'état standard



- Milieu aqueux avec un pH = 7
- Concentration des composants = 1 M *(sauf l'eau)*
- Température = 25 °C
- Pression = 1 atm

+++ ⚠️ En biochimie, le pH 7 est utilisé au lieu du pH 0 de l'état standard chimique ⚠️ +++

QCM 1 — Concernant les principes de la thermodynamique et la relation de Gibbs, quelles propositions sont exactes ?

A. L'énergie peut être créée ou détruite au cours d'une réaction

B. L'entropie correspond au degré de désordre ou de hasard d'un système

C. La relation de Gibbs est $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

D. La variation de l'énergie libre ΔG permet de prédire le sens énergétique favorable d'une réaction

E. Toutes les propositions précédentes sont fausses

A. FAUX — D'après le premier principe de la thermodynamique, l'énergie ne peut être ni créée ni détruite elle peut seulement être transférée ou transformée

B. VRAI — L'entropie correspond au degré de désordre ou de hasard d'un système

C. VRAI — La relation de Gibbs est bien $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$

D. VRAI — C'est ΔG qui permet de prédire le sens de la réaction le plus favorable sur le plan énergétique

QCM 2 — Concernant la variation d'énergie libre ΔG, quelles propositions sont exactes ?

A. Si ΔG < 0, la réaction est exergonique et spontanée

B. Si ΔG > 0, la réaction est endergonique et nécessite un apport d'énergie

C. À l'équilibre, ΔG = 0 et les concentrations des réactifs et des produits sont forcément égales

D. Une réaction à l'équilibre signifie que le système est dans son état le plus stable

E. Toutes les propositions précédentes sont fausses

A. VRAI — Si ΔG < 0, la réaction est exergonique et spontanée

B. VRAI — Si ΔG > 0, la réaction est endergonique et nécessite un apport d'énergie

C. FAUX — À l'équilibre, ΔG = 0, mais cela ne signifie pas que les concentrations des réactifs et des produits sont égales

D. VRAI — À l'équilibre, le système est dans son état le plus stable

Bioénergétique et métabolisme



03 - Bioénergétique et métabolisme

Voie métabolique = succession de réactions biochimiques

- Le produit d'une réaction devient le substrat de la réaction suivante
- Les enzymes permettent et contrôlent ces réactions
- Leur activité est régulée pour maintenir l'homéostasie (=équilibre de l'organisme)

➡️ Selon les besoins de l'organisme, certaines voies métaboliques sont activées ou ralenties

03 - Bioénergétique et métabolisme

A - Les réactions couplées

- Une réaction endergonique nécessite un apport d'énergie pour se produire
- Elle peut être couplée à une réaction exergonique qui libère de l'énergie
- Pour que le couplage fonctionne :

énergie libérée ≥ énergie nécessaire

03 - Bioénergétique et métabolisme

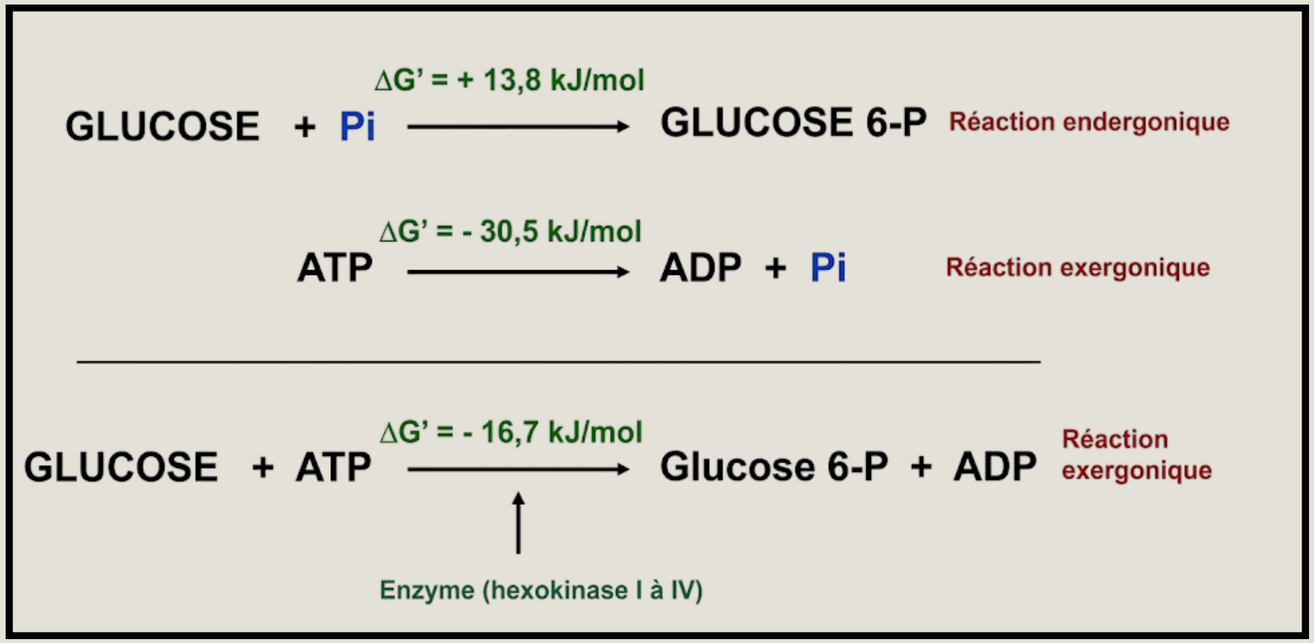
A - Les réactions couplées

Exemple : phosphorylation du glucose → G6P

Hydrolyse de l'ATP → ADP + Pi : **exergonique** (ΔG' < 0)

Glucose → glucose-6-phosphate : **endergonique** (ΔG' > 0)

Le couplage des deux réactions donne un **ΔG' global < 0** → la réaction peut avoir lieu

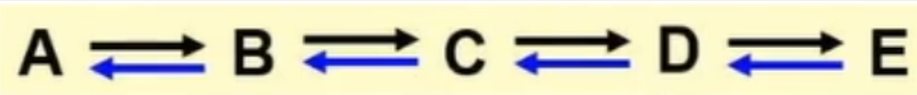


03 - Bioénergétique et métabolisme

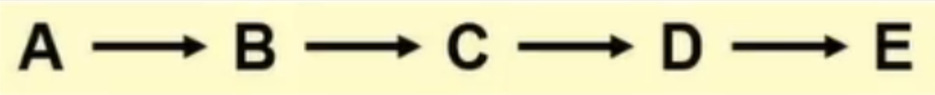
B - Etat d'équilibre stationnaire

Deux situations :

- État d'équilibre → les concentrations de A, B, C, D et E sont constantes



- État stationnaire → les concentrations de B, C et D restent constantes, tandis que A diminue et E augmente



➡️ **État stationnaire ≠ équilibre : certaines concentrations évoluent encore**

03 - Bioénergétique et métabolisme

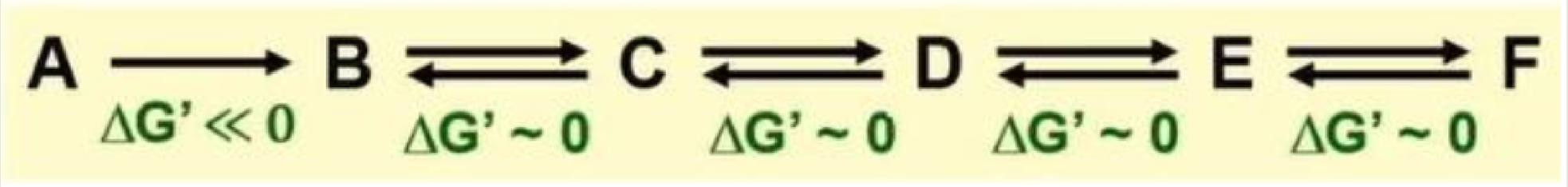
B - Etat d'équilibre stationnaire

Loi de Lechatelier : « Toute modification d'un facteur d'un équilibre chimique réversible provoque, si elle se produit seule, un déplacement de l'équilibre dans un sens qui tend à s'opposer à la variation du facteur considéré » +++

03 - Bioénergétique et métabolisme

B - Etat d'équilibre stationnaire

- A → B : réaction irréversible car ΔG' ≪ 0.
- Les réactions suivantes ont un ΔG' ≈ 0 → elles sont réversibles
- Si A augmente → production de B → cascade de réactions → formation du produit final F.
- La réaction irréversible est l'étape limitante et joue un rôle clé dans la régulation de la voie



+++ ⚠️ thermodynamiquement les voies métaboliques ne sont pas réversibles MAIS physiologiquement elles le sont ⚠️ +++

QCM 1 — Concernant les réactions couplées, quelles propositions sont exactes ?

A. Une réaction endergonique peut être rendue possible grâce au couplage avec une réaction exergonique

B. Pour que le couplage soit possible, le ΔG cumulé des deux réactions doit être négatif

C. L'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi est une réaction endergonique

D. La phosphorylation du glucose en glucose-6-phosphate est endergonique lorsqu'elle est considérée seule

E. Toutes les propositions précédentes sont fausses

A. VRAI — Une réaction endergonique peut être rendue possible grâce au couplage avec une réaction exergonique

B. VRAI — Le ΔG cumulé doit être négatif pour que la réaction couplée puisse se dérouler spontanément

C. FAUX — L'hydrolyse de l'ATP est une réaction exergonique : elle libère de l'énergie

D. VRAI — La phosphorylation du glucose en glucose-6-phosphate est endergonique lorsqu'elle est considérée seule et ne se déroule donc pas spontanément

Molécules impliquées dans la bioénergétique



04 - Molécules impliquées dans la bioénergétique

- L'énergie peut être stockée dans certaines liaisons chimiques
- Les plus importantes sont les liaisons +**phosphoanhydrides** + entre deux phosphates

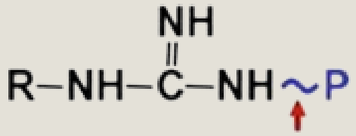
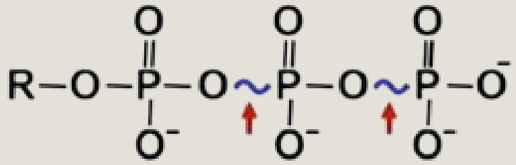
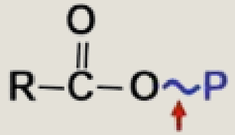
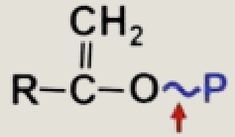
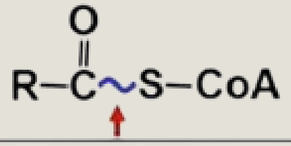
On les retrouve notamment dans les nucléotides phosphatés :

- ATP, UTP, ADP, UDP

La rupture de ces liaisons permet de **libérer** de l'énergie utilisable par la cellule !

04 - Molécules impliquées dans la bioénergétique

Molécules contenant des liaisons riches en énergie

LIAISONS	FORMULES	EXEMPLES
AMIDINE-PHOSPHATES		Créatine Phosphate
PHOSPHOANHYDRES		XTP et XDP (X = A, G, C, U)
ACYL-PHOSPHATES		1,3 diphosphoglycérate
ENOL-PHOSPHATES		Phosphoénolpyruvate
ACYL-THIOESTERS		Acétyl-CoA

04 - Molécules impliquées dans la bioénergétique

A - Généralités sur l'ATP

Adénine — Ribose — α — β — γ

- ATP = Adénine + Ribose + 3 phosphates : α, β et γ.
- Phosphate α + ribose → liaison phosphoester, **pauvre en énergie**
- Phosphates α-β et β-γ → liaisons phosphoanhydrides, **riches en énergie**
- L'hydrolyse de l'ATP au niveau des liaisons entre phosphates libère de l'énergie

+++ C'est l'hydrolyse de l'ATP au niveau des groupes phosphates béta et gamma qui libère de l'énergie +++

04 - Molécules impliquées dans la bioénergétique

A - Généralités sur l'ATP

Chiffres à retenir :

- **ATP cellulaire : 1–10 mmol/kg de tissu**
- **À l'état basal : 10 ATP pour 1 ADP**
- **Dans l'organisme : environ 75 g d'ATP, mais jusqu'à 45 kg synthétisés/jour**

04 - Molécules impliquées dans la bioénergétique

B - Hydrolyse de l'ATP

- ATP ATP → ADP + Pi → libère **−32 kJ/mol**
- ADP → AMP + Pi → libère **−32 kJ/mol**
- ATP → AMP + PPi → libère **−45 kJ/mol**
- PPi → 2 Pi → libère **−15 kJ/mol**

- Mg^{2+} stabilise l'ATP et facilite le transfert d'énergie

- L'ATP est thermodynamiquement instable → il s'hydrolyse facilement

⭐ Rôle essentiel : l'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP permet de **rendre possibles les réactions endergoniques**

QCM 1 — Concernant l'ATP, quelles propositions sont exactes ?

A. L'ATP est constitué d'une adénine, d'un ribose et de trois groupements phosphates

B. La liaison entre le ribose et le phosphate α est une liaison phosphoanhydride riche en énergie

C. Les liaisons entre les phosphates α-β et β-γ sont des liaisons phosphoanhydrides riches en énergie

D. L'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi libère de l'énergie

E. Toutes les propositions précédentes sont fausses

- ***A. VRAI → L'ATP = adénine + ribose + 3 phosphates (α, β, γ)***
- ***B. FAUX → La liaison ribose–phosphate α est une liaison phosphoester, donc pauvre en énergie***
- ***C. VRAI → Les liaisons α-β et β-γ sont des liaisons phosphoanhydrides, riches en énergie***
- ***D. VRAI → L'hydrolyse de l'ATP libère ADP + Pi et de l'énergie (ΔG ≈ -32 kJ·mol⁻¹)***

Bravooooo ❤️

