

Chapitre 18 :

La production d'ATP dans les cellules

Introduction

Les cellules de l'organisme humain consomment environ **50 kg d'ATP par jour**, alors que chaque cellule n'en contient que quelques nanogrammes. L'ATP (Adénosine TriPhosphate) est la molécule énergétique indispensable aux travaux cellulaires, qu'ils soient **mécaniques** (comme la contraction musculaire), **chimiques** (réactions métaboliques) ou **ioniques** (transmission des potentiels d'action). Sa production doit donc être **continue et adaptée** aux besoins de la cellule.

Problématique :

Comment les cellules produisent-elles de l'ATP, aussi bien en présence qu'en absence de dioxygène ?

I. Les réactions anaérobies : glycolyse et fermentation

1. L'ATP, une molécule énergétique

L'ATP est composé d'**adénosine** (un nucléotide) et de **trois groupements phosphate**. L'hydrolyse de la liaison entre les deux derniers phosphates libère **30,5 kJ par mole d'ATP**, fournissant l'énergie nécessaire aux réactions cellulaires.

2. La glycolyse

Dans les années 1930, les scientifiques Meyerhof, Embden et Lohmann ont décrit la **glycolyse**, une série de 10 réactions chimiques qui transforment le **glucose** (6 carbones) en **deux pyruvates** (3 carbones chacun). Cette voie métabolique, qui se déroule dans le **cytoplasme**, produit :

- **2 ATP** (bilan net, car 2 ATP sont consommés au début du processus).
- **2 NADH, H⁺**, des transporteurs d'électrons et d'ions H⁺, essentiels pour les réactions métaboliques ultérieures.

Équation bilan de la glycolyse :



3. La fermentation lactique

En **absence de dioxygène (O₂)**, le pyruvate issu de la glycolyse est transformé en **acide lactique**. Cette réaction permet de **réoxyder le NADH, H⁺ en NAD⁺**, évitant ainsi le blocage de la glycolyse. Le bilan énergétique reste limité à **2 ATP par molécule de glucose**.

Remarques :

- L'acide lactique est souvent associé aux **courbatures**, bien que celles-ci soient principalement causées par des microlésions musculaires.
- D'autres voies anaérobies existent, comme la **fermentation alcoolique** (réalisée par les levures), qui produit de l'**éthanol** et du **CO₂**.

II. La production d'ATP en conditions aérobies : la respiration cellulaire

1. Utilisation du pyruvate par la mitochondrie

En présence d'**O₂**, le pyruvate entre dans la **mitochondrie**, où il subit la **respiration cellulaire**. Ce processus se déroule en deux étapes :

- **Le cycle de Krebs** (dans la matrice mitochondriale).
- **La chaîne respiratoire** (dans la membrane interne).

Le bilan global de la respiration cellulaire est de **36 ATP par molécule de glucose**, ce qui en fait une voie bien plus efficace que la fermentation.

2. Décarboxylation oxydative et cycle de Krebs

Le pyruvate est oxydé dans la matrice mitochondriale lors du **cycle de Krebs**. Ce cycle produit :

- **2 ATP**.
- **10 NADH, H⁺ et 2 FADH₂**, des transporteurs d'électrons.
- **6 CO₂**, rejetés comme déchets.

Équation bilan du cycle de Krebs :



3. Phosphorylation oxydative et chaîne respiratoire

La **chaîne respiratoire**, située dans la membrane interne de la mitochondrie, utilise les **NADH**, **H⁺** et **FADH₂** pour réduire l'**O₂** en **H₂O**. Ce processus génère un **gradient de protons (H⁺)** entre l'espace intermembranaire et la matrice, qui active l'**ATP synthase**. Cette enzyme produit **32 ATP** à partir d'ADP et de Pi.

Équation bilan de la phosphorylation oxydative :



Réaction	Respiration	Fermentation lactique	Fermentation alcoolique
Substrat	Glucose	Glucose	Glucose
O ₂ utilisé	Oui	Non	Non
Oxydation	Totale	Partielle	Partielle
CO ₂ rejeté	Oui	Non	Oui
Déchets	CO ₂	Lactate	Éthanol + CO ₂
ATP produits	36	2	2
NADH, H ⁺	12	2	2

III. Production d'énergie et santé

1. Type d'effort et métabolisme

La durée et l'intensité de l'effort influencent le métabolisme énergétique :

- **Phase anaérobie alactique** (quelques secondes) : Utilisation de la **créatine phosphate**, une molécule énergétique stockée dans les muscles.
- **Phase anaérobie lactique** (10 secondes à 1 heure) : La fermentation domine, produisant de l'acide lactique.
- **Phase aérobie** (efforts prolongés) : La respiration cellulaire devient la source principale d'ATP.

2. Types de fibres musculaires et entraînement

Les muscles s'adaptent à l'effort grâce à deux types de fibres :

- **Fibres de type I (rouges)** : Riches en myoglobine, elles privilégient la **respiration cellulaire** et sont adaptées aux efforts **endurants**.

- **Fibres de type II (blanches)** : Spécialisées dans la **fermentation**, elles permettent des efforts **rapides et intenses**, mais peu durables.

3. Dopage et produits interdits

Certains sportifs utilisent des substances pour améliorer leurs performances, comme :

- **La créatine phosphate** : Améliore les efforts courts, mais peut surcharger les reins à haute dose.
- **Les stéroïdes anabolisants** : Augmentent la masse musculaire.
- **L'EPO** : Stimule la production de globules rouges, améliorant l'oxygénation des muscles.
- **GW1516 et Aicar** : Stimulent la multiplication des mitochondries, mais sont interdits en compétition.

Conclusion

L'ATP est produit principalement par la **glycolyse** et la **respiration cellulaire**, selon les conditions d'oxygénation. La **respiration cellulaire** est bien plus efficace, mais nécessite un apport continu en O₂. L'entraînement permet d'optimiser la production d'ATP en adaptant les fibres musculaires à l'effort. Cependant, le **dopage** perturbe ces mécanismes naturels et présente des risques majeurs pour la santé.