

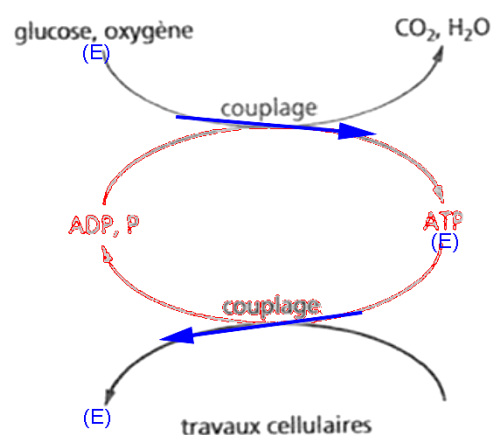
### Mise en situation et objectifs

La forme d'énergie nécessaire à la contraction cellulaire est l'**adénosine-triphosphate ou ATP**, une petite molécule dont l'hydrolyse en ADP + P libère de l'énergie et est **couplée** à des réactions chimiques qui nécessitent de l'énergie comme le passage de la myosine de sa forme basse énergie à sa forme haute énergie.

La synthèse de l'ATP à partir d'ADP + P s'appelle la **phosphorylation de l'ATP**. À l'inverse de l'hydrolyse de l'ATP, elle consomme de l'énergie. Dans nos cellules, l'énergie nécessaire à la phosphorylation provient de la **dégradation ou oxydation de nutriments organiques** comme le glucose présent dans la cellule musculaire.

On cherche à préciser comment les nutriments organiques sont oxydés dans la cellule et comment l'ATP est produite lors de ce processus.

Notre étude commencera avec un modèle simple à utiliser au laboratoire, les levures, puis nous étendrons nos conclusions à la cellule musculaire.



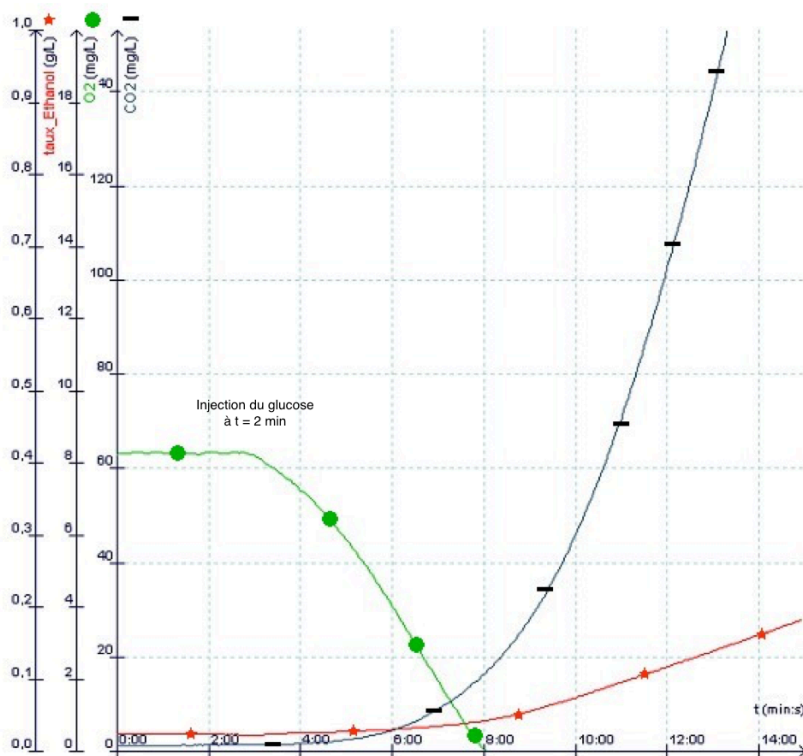
### Principe du couplage énergétique dans nos cellules.

(E) désigne dans chaque réaction l'état le plus riche en énergie

Les flèches bleues représentent le transfert d'énergie lors du couplage.

### Étapes 1 à 4 : l'oxydation de glucose : voies aérobie et anaérobie

Nous avons placé des levures dans un milieu oxygéné et enregistré les variations de la concentration de dioxygène, CO<sub>2</sub> et éthanol (alcool éthylique) dans le milieu en l'absence et en présence de glucose. Le graphique ci-dessous est un exemple de résultats obtenus



Évolutions de la concentration de dioxygène, CO<sub>2</sub> et éthanol (alcool éthylique) au cours du temps dans le milieu de vie des levures

Exploitation des résultats :

**Je vois que** l'ajout du glucose déclenche la consommation de dioxygène et le rejet de CO<sub>2</sub> par les levures. **Or je sais que** ces échanges gazeux correspondent à la respiration. **J'en déduis que** les levures dégradent (oxydent) le glucose par **respiration cellulaire** : c'est la **voie aérobie** d'oxydation du glucose couplée à la synthèse d'ATP.

**Je vois aussi que** lorsque le dioxygène est épuisé, les levures produisent encore du CO<sub>2</sub> et se mettent à produire de l'éthanol. **Or je sais d'après le document 1 p.354 que** ces productions correspondent à la fermentation, durant laquelle les levures continuent à consommer le glucose mais plus lentement qu'en présence de dioxygène. **Je peux donc penser qu'en absence de dioxygène, les levures dégradent (oxydent) le glucose par fermentation alcoolique** : c'est la **voie anaérobie** d'oxydation du glucose couplée à la synthèse d'ATP.

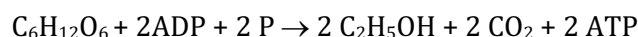
Les réactifs de la voie anaérobie sont :

- 2 ADP + 2 P
- Glucose C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>

Les produits de la voie anaérobie sont :

- CO<sub>2</sub> (nombre inconnu)
- Éthanol C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH (nombre inconnu)
- 2 ATP

On peut alors proposer un bilan de la fermentation alcoolique :



Remarque : cette écriture n'est pas une équation-bilan au sens strict, notamment parce qu'elle mélange des formules brutes et des abréviations (« ATP » n'est pas une formule brute !). Mais elle est néanmoins utile car elle reflète bien le bilan du processus.

Contrairement aux levures, nos cellules musculaires ne sont pas capables de réaliser la fermentation alcoolique ; et c'est préférable compte tenu de la toxicité de l'alcool ! Mais l'ATP peut y être obtenu sans apport de dioxygène par un processus voisin de la fermentation alcoolique, la **fermentation lactique**, dont un produit est l'acide lactique C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>3</sub>.

Équation-bilan de la fermentation alcoolique :



### Étape 5 : voies aérobie et anaérobies et synthèse d'ATP

Pendant la durée de l'expérience, en milieu anaérobie, on a mesuré que la masse des levures a augmenté de 0,45 g tandis que les levures ont consommé 45 g de glucose. La masse de levure créée par gramme de glucose consommé est donc de  $M_{\text{anaérobie}} = \frac{0,45}{45} = 0,01 \text{ g}$

Pendant la durée de l'expérience, en milieu aérobie, on a mesuré que la masse des levures a augmenté de 3,75 g tandis que les levures ont consommé 15 g de glucose. La masse de levure créée par gramme de glucose consommé est donc de  $M_{\text{aérobie}} = \frac{3,75}{15} = 0,25 \text{ g}$

**Je vois que** pour une même quantité de glucose consommé, la masse des levures augmente 25 fois plus en conditions aérobies qu'en conditions anaérobies. **Or, je sais que** l'augmentation de la masse des levures résulte de leurs mitoses qui dépendent notamment de la disponibilité de l'ATP. **Je peux donc penser que** la production d'ATP couplée à l'oxydation du glucose est environ 20 fois plus importante par la voie aérobie (respiration cellulaire) que par la voie anaérobie (fermentation alcoolique).

Cette différence de rendement entre les deux voies est également observée (et du même ordre de grandeur) dans les cellules humaines entre la respiration cellulaire et la fermentation lactique.

### Étapes 6 à 8 : localisation des étapes de la production d'ATP par voies aérobie et anaérobie

**Je vois que** dans les levures cultivées en aérobiose, les mitochondries sont plus grandes et ont des crêtes mitochondriales plus développées que dans les levures cultivées en anaérobiose. **Or je sais qu'**en anaérobiose, les levures effectuent la fermentation alcoolique. **Je peux donc penser que** les mitochondries, et plus précisément les crêtes mitochondriales, jouent un rôle important dans la respiration cellulaire, mais pas dans la fermentation alcoolique.

Les documents fournis permettent de préciser la localisation des voies aérobie et anaérobie de l'oxydation du glucose dans une cellule humaine.

- La première étape de l'oxydation du glucose, commune aux deux voies, est la **glycolyse** qui a lieu dans le cytoplasme. Ce processus produit de l'ATP et un produit de dégradation du glucose, l'**acide pyruvique**  $C_3H_4O_3$ , et des transporteurs réduits  $TH_2$ . Les **transporteurs** (notés T) sont des molécules qui prennent en charge provisoirement les électrons et les protons que les nutriments organiques perdent lors de leur oxydation.
- Dans la voie anaérobie, la seconde étape est la **fermentation lactique** au sens strict, transformation de l'acide pyruvique en acide lactique, qui permet de réoxyder les  $TH_2$ , qui transfèrent leur  $e^-$  et  $H^+$  aux molécules d'acide lactique  $C_3H_6O_3$ . Les transporteurs sous leur forme oxydée T sont de nouveau disponibles.
- Dans la voie aérobie, l'acide pyruvique (ou sa forme ionisée le pyruvate) pénètre dans la **matrice** des mitochondries où il subit une oxydation complète dans un cycle de transformations appelé **cycle de Krebs**. On constate en effet que **les mitochondries ne peuvent effectuer la respiration directement à partir du glucose, mais seulement à partir du pyruvate**.

L'oxydation du pyruvate dans le cycle de Krebs est complète. Elle libère du  $CO_2$ , produit de l'ATP et des transporteurs réduits  $TH_2$ . Comme pour la voie anaérobie, il est indispensable que les transporteurs  $TH_2$  soient réoxydés. **En étudiant séparément différentes fractions mitochondriales (doc 4 p.359)**, on constate que c'est la membrane interne des mitochondries qui effectue la réoxydation des  $TH_2$ , au niveau des **crêtes mitochondriales**, en transférant les électrons et les protons au dioxygène qui forme ainsi des molécules d'eau. Le dioxygène est donc **l'accepteur final** des électrons et des protons.

- Ce **transfert de protons** de l'espace inter-membranaire vers la matrice active des **sphères pédonculées**, complexes protéiques de la membrane interne des mitochondries capables de synthétiser de l'ATP. C'est ainsi que la respiration permet de produire bien plus d'ATP que la fermentation.

