

2ème PARTIE – Exercice 2 (Enseignement de spécialité). 5 points.

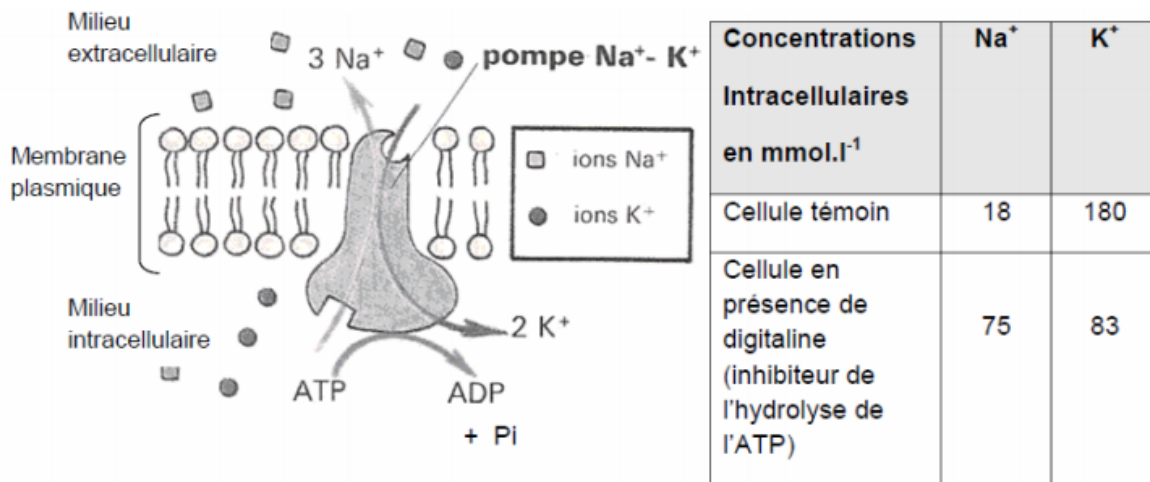
ÉNERGIE ET CELLULE VIVANTE

Énergie et cellules vivantes

Le cytoplasme des cellules est plus riche en ions K^+ et plus pauvre en ions Na^+ que le milieu extracellulaire. Ces différences de concentrations participent au potentiel de repos membranaire de -70 mV de la cellule nerveuse.

A partir de l'exploitation des documents et de l'utilisation des connaissances, expliquer les mécanismes énergétiques qui assurent le maintien des différences de concentrations ioniques pour une cellule nerveuse.

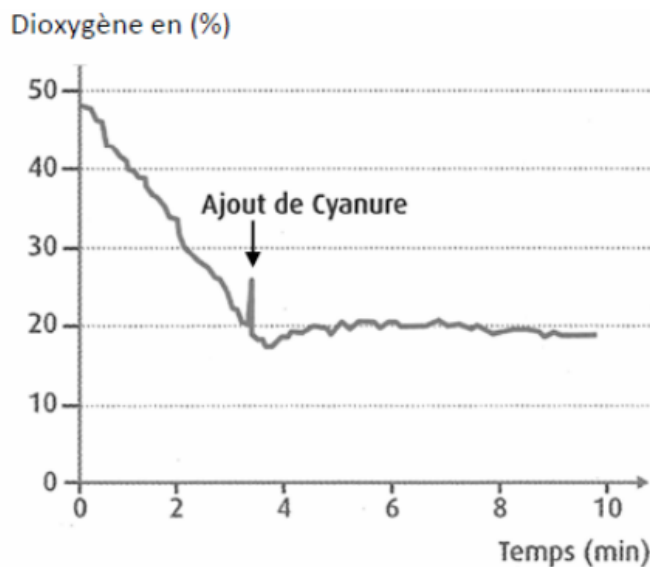
Document 1 : Fonctionnement de la pompe sodium-potassium (représentation schématique) et concentrations intracellulaires en ions



La pompe permet d'échanger les ions sodium (Na^+) issus du milieu intracellulaire avec les ions potassium (K^+) issus du milieu extracellulaire dans un rapport précis ($3 Na^+ / 2 K^+$).

Document 2 : Effets du cyanure sur la consommation en dioxygène du neurone

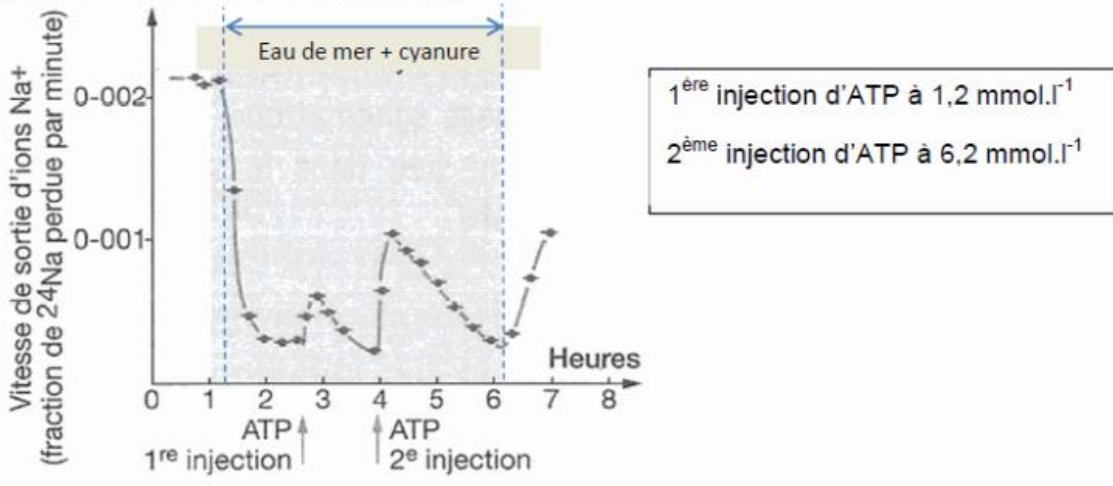
On suit l'évolution de la teneur en dioxygène du milieu de culture dans lequel sont placés des neurones, avant et après ajout de cyanure. Ce dernier traverse facilement les membranes cellulaires.



Document 3 : Effets du cyanure et de l'ATP sur des neurones de calmar

Caldwell et Keynes ont placé des neurones de calmar contenant des ions $^{24}\text{Na}^+$ radioactifs dans de l'eau de mer. Ils ont mesuré la vitesse de sortie de ces ions dans trois conditions différentes :

- eau de mer,
- eau de mer additionnée de cyanure,
- injection d'ATP dans le neurone en présence de cyanure



De l'ATP ajouté à l'eau de mer mais non injecté dans le neurone n'a aucun effet.

D'après <http://www.didier-pol.net/6SET696.html>

Document 4 : Mesures de concentrations intracellulaires en ions Na^+ et K^+ pour un neurone dans différents milieux de culture.

Composition du milieu	Na^+ en mmol.l^{-1}	K^+ en mmol.l^{-1}
sans glucose	77	85
avec glucose	15	150
avec glucose + inhibiteur de la glycolyse	64	93
avec pyruvate	18	148
avec pyruvate + inhibiteur de la glycolyse	23	117

D'après <http://ddata.over-blog.com/>

Rappel : le pyruvate est le produit final de la glycolyse

Corrigé

Les cellules nerveuses sont caractérisées par un potentiel de repos de -70mV qui résulte d'une différence de concentration en ions entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire. Cette différence de potentiel consomme de l'énergie.

On cherche donc à expliquer quels sont les mécanismes qui fournissent cette énergie.

D'après le document 1, un schéma nous montre le fonctionnement d'une pompe Na-K qui est à l'origine d'une différence de concentration en ions entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire d'une cellule nerveuse. Cette pompe, présente dans la membrane plasmique, permet la sortie de 3 Na^+ pour l'entrée de 2 K^+ . Cette activité est couplée à la consommation d'ATP : une mole d'ATP consommée fournit de l'ADP et P_i .

⇒ On peut en déduire qu'il s'agit ici de l'hydrolyse de l'ATP. C'est cette hydrolyse, réaction exoénergétique, qui fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement de la pompe Na-K .

Cette déduction est confirmée par les résultats d'une expérience fournis dans un tableau. Pour une cellule témoin, les concentrations intracellulaires de Na^+ et K^+ sont respectivement de 18 mmol/L et 180 mmol/L soit 10 fois plus de K^+ que de Na^+ .

⇒ Ces différences s'expliquent par le fonctionnement de la pompe Na-K (rapport de 3 Na^+ sortant pour 2 K^+ entrant).

Cependant, en présence de digitaline, inhibiteur de l'hydrolyse de l'ATP, les concentrations intracellulaires sont de 75 mmol/L pour Na^+ et 83 mmol/L.

- ⇒ On peut en déduire, en comparant avec les résultats obtenus avec la cellule témoin, que l'hydrolyse de l'ATP est indispensable pour maintenir une concentration en K^+ intracellulaire 10 fois supérieure à celle de Na^+ .

Ce document nous montre donc l'importance de la molécule d'ATP dans le maintien d'une différence de concentration en ions K^+ et Na^+ de part et d'autre de la membrane plasmique. Il s'agit maintenant de montrer comment la cellule nerveuse produit de l'énergie nécessaire à la synthèse d'ATP. L'hypothèse qui va être testée est celle de la respiration cellulaire.

Le document 2 présente les effets du cyanure sur la consommation en dioxygène de neurones placés dans un milieu de culture. On précise que le cyanure traverse facilement les membranes cellulaires.

On observe qu'avant l'ajout de cyanure le pourcentage de dioxygène diminue dans le milieu passant de 50 à 20% :

- ⇒ les neurones consomment du dioxygène, ils respirent.

En revanche, en présence de cyanure, le pourcentage de dioxygène dans le milieu reste constant (20%) :

- ⇒ les neurones ne consomment plus de dioxygène ; le cyanure, en pénétrant dans les cellules, a bloqué la respiration.

On cherche à montrer maintenant que la respiration permet le renouvellement de l'ATP.

Le document 3 montre les effets du cyanure et de l'ATP sur des neurones de calmar contenant des ions Na^+ radioactifs et placés dans de l'eau de mer. On mesure la sortie des ions $^{24}\text{Na}^+$ radioactifs en fonction du temps dans différentes conditions.

On observe que la fraction des ions Na^+ perdue est de l'ordre de 0,002 par minute en l'absence de cyanure alors qu'elle diminue en moins d'une heure en présence de cyanure.

- ⇒ On en déduit que le cyanure, en bloquant la respiration cellulaire, empêche la sortie de Na^+ et donc le fonctionnement de la pompe Na-K qui assure normalement la sortie des ions Na^+ .

Puis, en présence de cyanure, on injecte alors de l'ATP dans les neurones. On observe, à la suite d'une injection de 1,2 mmol/L, puis 6,2 mmol/L d'ATP, une augmentation de la vitesse de Na^+ d'autant plus importante que la concentration en ATP injecté est élevée. Toutefois, l'effet est transitoire en présence de cyanure puisque la vitesse de sortie diminue pour revenir en une à deux heures à une vitesse de sortie est faible.

- ⇒ On en déduit que l'ATP est indispensable à la sortie de Na^+ : l'hydrolyse de l'ATP fournit l'énergie au fonctionnement de la pompe Na-K. Cependant, l'ATP est consommé rapidement et en présence de cyanure il n'y a pas de renouvellement de l'ATP. Ainsi, en bloquant la respiration cellulaire, le cyanure empêche la régénération d'ATP.

D'autre part, le document précise que le cyanure traverse les membranes cellulaires.

- ⇒ On peut en déduire que le cyanure passe la membrane plasmique et émettre l'hypothèse qu'il passe aussi la double membrane des mitochondries. Le cyanure bloquerait alors la respiration mitochondriale.

On cherche à mettre en évidence les substrats organiques indispensables à la respiration cellulaire et donc au renouvellement de l'ATP.

Le document 4 présente les concentrations intracellulaires en ions Na^+ et K^+ dans un neurone placé dans différents milieux de culture.

On observe qu'en présence de glucose, expérience qui peut servir de témoin, les concentrations en ions Na^+ et K^+ sont respectivement de 15 mmol/L et 150 mmol/L alors qu'en l'absence de glucose elles sont de 77 et 85 mmol/L.

- ⇒ On en déduit que le glucose est une molécule indispensable pour permettre le maintien d'une différence de concentration en ions Na^+ et K^+ dans le milieu intracellulaire comme dans la cellule témoin du document 1. La pompe Na-K fonctionne.

Par contre, en présence de glucose et d'un inhibiteur de la glycolyse, on observe que les concentrations respectives en Na^+ et K^+ sont respectivement de 64 et 93 mmol/L.

- ⇒ Par rapport au témoin avec glucose, on en déduit que la glycolyse est indispensable pour maintenir une différence de concentration intracellulaire entre les deux ions. La pompe Na-K ne fonctionne plus.

On observe qu'en présence de pyruvate les concentrations respectives en Na^+ et K^+ sont de 18 et 148 mmol/L, comme dans l'expérience témoin.

⇒ On en déduit que la pompe Na-K fonctionne dans ces conditions. Le pyruvate, produit de la glycolyse, permet le renouvellement de l'ATP.

De plus, en présence d'un inhibiteur de la glycolyse et de pyruvate, les concentrations en Na⁺ et K⁺ sont respectivement de 23 et 117 mmol/L.

⇒ Par conséquent, le déséquilibre de concentrations entre les deux ions est maintenu, ce qui suggère un fonctionnement de la pompe Na-K. C'est donc bien l'utilisation du pyruvate qui permet le fonctionnement de la pompe Na-K.

Ce document permet de montrer que la glycolyse est une étape importante de la respiration cellulaire car il permet la formation de pyruvate à partir de glucose ; le pyruvate est ensuite utilisé et assure par sa transformation un renouvellement de l'ATP.

Synthèse :

Le potentiel de repos d'un neurone est assuré par le fonctionnement d'une pompe Na-K présente dans la membrane plasmique du neurone. Cette pompe, alimentée en énergie grâce à l'hydrolyse de l'ATP, **réaction exoénergétique**, assure une différence de concentration intracellulaire en ions Na⁺ et K⁺ (doc.1).

Cependant, l'ATP est consommé rapidement par les neurones (doc.3) et il doit être renouvelé. Le neurone est une cellule qui effectue la respiration cellulaire (doc.2). La respiration cellulaire assure le renouvellement de l'ATP. En effet, le cyanure, qui bloque la respiration, empêche ce renouvellement et donc empêche la sortie des ions Na⁺ et donc le fonctionnement de la pompe (doc.2-3).

Enfin, le substrat organique consommé par la cellule nerveuse est du glucose. **En présence de dioxygène, le glucose est oxydé selon l'équation bilan : $C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O$** . La consommation de glucose permet le fonctionnement de la pompe Na-K (doc.4). Avec du pyruvate, la pompe fonctionne également (doc.4). Le pyruvate est le produit de la glycolyse (doc.4) : le glucose est oxydé en pyruvate dans le cytosol de la cellule nerveuse.

On sait que ce pyruvate passe ensuite dans les mitochondries où il subit une succession de transformations (dans la matrice par le cycle de Krebs qui permet ensuite le fonctionnement de la chaîne respiratoire au niveau des crêtes mitochondriales). Ces réactions chimiques (faisant intervenir de nombreuses réactions d'oxydo-réduction) sont suffisamment exoénergétiques pour permettre le renouvellement de l'ATP dans la cellule nerveuse (pour une mole de glucose consommé lors de la respiration, 36 moles d'ATP sont produites). Ce renouvellement va permettre d'assurer le fonctionnement de la pompe Na-K.

Remarque :

- *en italique, les transitions permettant de marquer la démarche (j'ai vu dans ce doc que et maintenant on va chercher...)*
- **En rouge, une rapide présentation du doc (on sait de quoi vous allez parler...)**
- **en bleu => l'exploitation des documents, les observations, les comparaisons (parfois, il faut s'appuyer sur les témoins), les valeurs chiffrées**
- les flèches => indiquent les étapes de déductions, explications, interprétations, les hypothèses éventuelles.
- **En gras, les apports de connaissances.**

Il faut considérer que quelqu'un qui n'a pas vu les doc. est capable de comprendre votre démarche.