

Membrane et énergie

Introduction

La membrane est la limite des cellules : c'est un édifice moléculaire universel, de nature globalement hydrophobe.

Elle délimite deux milieux de composition et propriétés généralement différentes. Elle a un rôle de barrière sélective : c'est le siège des transferts de matière et d'énergie.

Les bactéries ne possèdent qu'une membrane plasmique les séparant du milieu extérieur. Les cellules eucaryotes possèdent également une membrane plasmique mais aussi des endomembranes, qui délimitent des compartiments internes spécialisés appelés organites, comme le reticulum, la mitochondrie...

L'énergie est contenue dans la cellule sous différentes formes :

- chimique : sous la forme de molécules à potentiel chimique comme l'ATP ($\Delta rG^\circ = -30,5 \text{ kJ.mol}^{-1}$)
- rédox : sous la forme de composés susceptibles de céder des électrons, comme le NADH, H^+ dont le potentiel très bas permet la réduction de substances oxydées ;
- osmotique : sous la forme d'une différence de concentration et de charges de part et d'autres de la membrane, comme le gradient électrochimique de l'ion Na^+ dans le cas des cellules animales ;
- mécanique ou thermique.

Les différentes formes sont interconvertibles. L'énergie initiale de la grande majorité des écosystèmes est la lumière : les radiations solaires sont reçues à la surface de la Terre et converties en formes exploitables par les êtres vivants.

Nous allons rechercher les liens entre les membranes et l'énergie en l'envisageant dans les deux sens.

Nous verrons tout d'abord que la présence, l'organisation et le maintien des membranes nécessite une dépense d'énergie de la part des cellules.

Les cellules qui sont capables de capter l'énergie lumineuse sont appelées phototrophes : l'énergie des photons est absorbée par des molécules particulières, les pigments, de nature le plus souvent hydrophobes et donc intégrées dans des membranes. Il y a donc une implication des membranes dans la conversion de l'énergie lumineuse : nous chercherons dans un deuxième temps d'autres conversions énergétiques ayant lieu dans les membranes et permettant d'assurer l'approvisionnement des cellules en énergie.

Enfin, nous aborderons la dépense énergétique liée aux flux de matière à travers les membranes. Certaines substances traversent spontanément la membrane alors que d'autres consomment de l'énergie pour franchir la membrane contre leur gradient électrochimique.

1. Les membranes sont des édifices stables dont le maintien consomme de l'énergie

1.1. Les membranes sont des mosaïques stables de molécules amphiphiles

Association non covalente de molécules amphiphiles

Association spontanée par exclusion de l'eau : **la membrane est l'état énergétique le plus bas**

1.2. Les constituants membranaires sont renouvelés, ce qui consomme de l'énergie

a) Synthèse des composants membranaires et dépense d'énergie

La synthèse des phospholipides consomme ATP et NADPH, H⁺.

La synthèse des protéines est très coûteuse en énergie.

b) Acheminement des constituants membranaires vers leur lieu d'activité

- La membrane se déforme en formant des vésicules de transport.

Exemple de la dynamine qui consomme un GTP lors de la fission membranaire (ou protéine COP).

- Les vésicules sont déplacées grâce à des protéines marcheuses.

Exemple de la kinésine en déplacement sur les microtubules avec dépense énergétique (ATP hydrolysé).

- Les membranes fusionnent : non détaillé car pas de lien avec l'énergie.
- Bilan = membrane entretenue et maintenue fonctionnelle : gros coût énergétique.

Transition : d'où vient toute cette énergie ? énergie originelle = énergie lumineuse mais comment est-elle convertie ?

2. Les membranes sont le siège de conversions énergétiques

2.1. La perception de l'énergie lumineuse est réalisée dans des photosystèmes membranaires

Description d'un photosystème et fonctionnement : l'oxydation de la chlorophylle a du centre réactionnel.

Énergie utilisée = pas tous les photons : longueurs d'onde bleues et rouges exploitées.

Une part de l'énergie est transmise ou réfléchi => rendement énergétique de 1%

2.2. La membrane est le siège de chaînes de transport d'électrons à l'origine d'un gradient de protons

Le cas du chloroplaste : formation de pouvoir réducteur NADPH, H⁺ grâce à une chaîne d'électrons permise par l'énergie lumineuse. Mise en place d'un gradient de protons entre lumen et stroma.

Le cas de la mitochondrie ou de *Nitrobacter* : conversion d'un pouvoir réducteur en gradient osmotique de protons. Cité sans détail.

Bilan : conversions variées : lumineux à chimique (photochimique) et chimio-osmotique.

Imperméabilité de la membrane aux ions H⁺ essentielle

3. Les transports membranaires consomment ou libèrent de l'énergie selon les gradients électrochimiques

La membrane est une barrière sélective. Les substances polaires et chargées ne traversent pas spontanément la bicouche de phospholipides mais empruntent des protéines membranaires qui sont contrôlées (leur présence, leur ouverture...).

Bien expliquer la notion de gradient électrochimique et sa modélisation énergétique avec formule du ΔrG°

3.1. L'exploitation des gradients : une source d'énergie chimique

a) Exemple des ATP synthases et exploitation des gradients de protons

L'ATP synthase décrite avec précision.

Conversion osmo-chimique avec énergie mécanique intermédiaire (rotation de la tige γ).

b) Exemple des cotransports

Cas d'un entérocyte et symport H^+ /glucose.

Transport actif secondaire.

3.2. De l'énergie dépensée pour forcer le passage de substances à travers la membrane

Les pompes : Na^+/K^+ /ATPase ou autre : transport actif primaire.

Bien montrer l'hydrolyse de l'ATP.

Autre exemple possible : pompe à protons des lysosomes, pompe à Ca^{2+} ...

Cela induit la formation de gradients. Des gradients étaient aussi possibles grâce aux chaînes rédox.

3.3. Des transporteurs membranaires qui exportent les formes d'énergie

Antiport ATP/ADP de la membrane interne des mitochondries

Perméase à GAP pour le chloroplaste

Exportation de saccharose vers les cellules puits

Conclusion

Les membranes sont des édifices moléculaires dont la mise en place nécessite un coût énergétique pour la cellule : les constituants membranaires sont renouvelés, les membranes sont déplacées, déformées... et tout ceci consomme de l'énergie chimique (notamment de l'ATP).

Certaines membranes sont spécialisées dans la conversion d'énergie : il s'agit notamment des membranes des thylakoïdes (dans les chloroplastes) et des mitochondries, ainsi que les membranes plasmiques de certaines bactéries comme *Nitrobacter*. Ces membranes sont capables de convertir de l'énergie :

- les chloroplastes et bactéries photosynthétiques ont des membranes capables de convertir l'énergie lumineuse en formes chimiques exploitables par le stroma ou la bactérie : ATP et coenzymes réduits.
- les mitochondries convertissent l'énergie chimique (coenzymes réduits) issue de l'oxydation de la matière organique en ATP, exporté vers le cytoplasme des cellules.

Enfin, nous avons montré que la membrane sépare deux milieux dont les compositions diffèrent. De l'énergie peut alors être :

- récupérée en dissipant des gradients électrochimiques : c'est le cas des ATP synthases qui exploitent le gradient de protons issu de la chaîne rédox ou le cas des cotransports
- utilisée lors de la formation d'un gradient : c'est le cas dans l'expulsion des ions Ca^{2+} ou Na^+ hors du cytosol, à l'aide de pompes, des transporteurs hydrolysant de l'ATP.

La membrane est donc un milieu réactionnel vital pour les cellules. Ses constituants, notamment protéiques, assurent l'essentiel des actions : ils sont les cibles privilégiés des principes actifs des médicaments.

DS6 – Membrane et énergie

NOM

NOTIONS ATTENDUES		
La membrane		
Composition : mosaïque non covalente		2
État énergétique stable, association spontanée des amphiphiles		2
Synthèse des lipides (ATP et NADPH, H ⁺ consommés) et des protéines (ATP)		2
Mise en place de la membrane : formation et transport des vésicules		2
Membranes et conversion d'énergie		
La lumière, énergie initiale des phototrophes		
Composition particulière de la membrane des thylakoïdes		2
Effet de la lumière sur un pigment		3
Organisation et fonctionnement : antenne collectrice et centre réactionnel		2
Énergie de certaines longueurs d'onde convertie en oxydation de la chlorophylle a		1
Les chaînes rédox		
Un transport des électrons bien décrit : mitochondrie ou thylakoïde ou <i>Nitrobacter</i>		3
Donneur et accepteur des électrons bien précisés pour chaque cas		1
Discussion des énergies : transport spontané (mitochondrie) ou non (thylakoïde)		1
Mise en place du gradient de protons associé, bien décrit, conséquences sur le pH		3
Précision de la notion de couplage chimio-osmotique		1
Transports de substances à travers la membrane et énergie		
Exploitation de gradients et production d'énergie chimique		
Notion de couplage osmo-chimique : ATP synthase bien détaillée		4
Exploitation de gradients et transferts contre le gradient électrochimique		2
Gradient électrochimique formalisé : ΔrG , transport passif ou actif, Nernst		3
Cotransports bien décrits (symport Na ⁺ /glucose ou autre)		1
Importance pour la vie cellulaire (nutrition par exemple)		
Utilisation d'énergie et formation d'un gradient électrochimique		
Exemple d'une pompe (au choix : Na ⁺ /K ⁺ /ATPase ou pompe à protons, à Ca ²⁺ ...)		3
Hydrolyse d'ATP bien décrite (phosphorylation du transporteur)		1
Autre couplage chimio-osmotique, chaîne des électrons		1
Importance pour la vie cellulaire (contrôle du volume ou potentiel de repos...)		1
Exportation des formes d'énergie		
Antiport ATP/ADP (mitochondrie), perméase à GAP... tout transporteur permettant d'exporter des formes d'énergie chimique potentielle, systèmes navettes...		2
Idée bonus éventuelle		bonus
TOTAL NOTIONNEL		43

COMPÉTENCES

<i>Introduction</i> : définition claire de membrane et énergie – problématique claire – plan annoncé		3
<i>Conclusion</i> : résumé des idées clés et ouverture		2
Traitement de la problématique : sujet bien délimité sans hors-sujet		1
Exposé complet et répondant au sujet		1
Une argumentation (avec expérience ou observation décrite) au moins		1
Enchaînement des idées et unité des paragraphes (une idée par paragraphe)		1
Clarté et concision des propos		2
Rigueur scientifique des termes employés et des descriptions		2
Pertinence des schémas et adaptation des schémas au propos		2
Qualité graphique, soin		1
Rédaction : orthographe, grammaire		1
TOTAL DES COMPÉTENCES		17
TOTAL		60
NOTE		20