

Séances d'aide à l'étude en biologie

Dans les activités du cours commun de biologie, huit séances d'aide à l'étude sont organisées au premier quadrimestre. Ces séances sont **obligatoires** pour les étudiants du premier bachelier 1 2 3 ...Sciences. Chaque séance est consacrée à une thématique précise, l'ensemble couvrant une bonne partie de la matière vue au cours théorique. La **8^{ème} séance** est **facultative**, elle a pour but de permettre aux étudiants d'approfondir certains thèmes avec lesquels ils ont plus de difficultés.

Les thématiques sont les suivantes :

- Composition et organisation structurale des êtres vivants
- Perméabilité membranaire et osmose
- Réplication/Transcription/Traduction
- Énergétique cellulaire 1 : les Mitochondries
- Énergétique cellulaire 2 : les Chloroplastes
- Division cellulaire et Reproduction
- Vue intégrative de la cellule
- Séance dont le thème est au choix

Ces séances permettent aux étudiants, par groupes de 25 environ, de mieux appréhender la matière par une série d'exercices et de questions de réflexion. Ces problèmes devront être résolus par les étudiants sous la supervision d'encadrants. Le bon déroulement de ces séances nécessite **la participation active des étudiants**. Ceci ne peut être réalisé que si les étudiants ont **consciencieusement préparé** avant la séance la matière traitée pendant celle-ci.

L'accès à ces séances est conditionné à la réalisation d'un **devoir** à domicile. Les étudiants n'ayant pas réalisé leur devoir se verront donc refuser l'accès à la séance.

Enfin, nous vous demandons de prendre votre **livre** et votre **syllabus d'illustrations** lors de **chaque séance**, car vous en aurez besoin pour résoudre les exercices proposés.

Répartition des étudiants en différents groupes :

Biologistes A: Groupe **1** : *Adam – Debroeck*
Groupe **2** : *Decarpentry - Hick*

Biologistes B: Groupe **3** : *Joiris - Marée*
Groupe **4** : *Mathysen – fin de la liste*

Chimistes : Groupe **5** : *Akdim - Gurso*
Groupe **6** : *Hepp - Müller*
Groupe **7** : *Nguyen - fin de la liste*

Physiciens : Groupe **8** : *Allemand -François*
Groupe **9** : *Gavrilitchenko - Oliveri*
Groupe **10** : *Pirotte - fin de la liste*

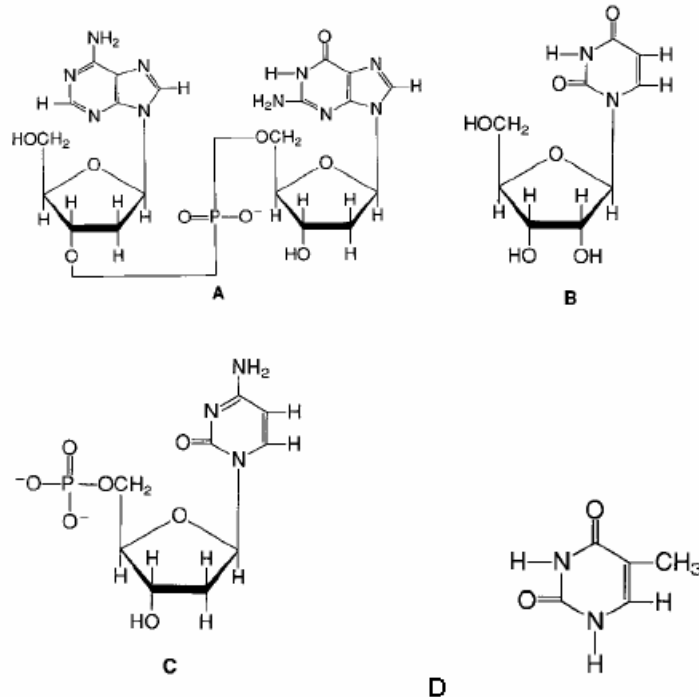
1. Composition et organisation structurale des êtres vivants

Responsable : *Nicolas Thelen* (nthelen@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitres 1 et 2, pages 9-59.
- Syllabus d'illustrations : chapitres 1 et 2, pages 1-24.

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :



Parmi les bases représentées ci-dessus, lesquelles :

- contiennent du ribose.
- contiennent du désoxyribose.
- contiennent une purine.
- contiennent une pyrimidine.
- contiennent de la guanine.
- sont des nucléosides.
- sont des nucléotides.
- se trouvent dans l'ARN.
- se trouvent dans l'ADN.

Horaire pour les différentes sections : Semaine 3

Lundi 29/09	13h30-15h15	Phys	S.34 (B5b) R.22 (B6d) S.38 (B6d)	Groupe 8 Groupe 9 Groupe 10
Mardi 30/09	13h30-15h15	Bio A	R.24 (B6d) S.38 (B6d)	Groupe 1 Groupe 2
Judi 02/10	08h30-10h15	Chim	R.24 (B6d) R.26 (B6d) S.38 (B6d)	Groupe 5 Groupe 6 Groupe 7
Judi 02/10	15h45-17h30	Bio B	R.26 (B6d) S.40 (B6d)	Groupe 3 Groupe 4

2. Perméabilité membranaire et osmose

Responsable : *Marielle Lebrun* (mlebrun@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitre 3, pages 61-92.
- Syllabus d'illustrations : chapitre 3, pages 25-38.

Remarque concernant la 2^{ème} séance :

À l'aide de différents documents, vous serez amené à répondre à une série de questions sur les notions essentielles de chimie et sur la perméabilité membranaire et l'osmose.

Ce travail sera réalisé au cours d'une après-midi de préparation qui se déroulera dans la grande salle de TP de l'Institut de Zoologie (I1) :

- Vendredi 26/09 (13.30-15.30) : Chimistes + Physiciens
- Vendredi 03/10 (13.30-15.30) : Biologistes (A+B)

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :

Pour pouvoir accéder à la séance, il vous faudra apporter le dossier ci-dessous complété. Dans ce dossier, vous trouverez une série de questions auxquelles il vous faudra répondre à l'aide :

- Du texte que vous trouverez juste après le dossier ;
- De votre livre de Biologie Cellulaire ;
- De votre syllabus d'illustrations.

Horaire pour les différentes sections : Semaines 2 + 3 + 4

Vendredi 26/10	13h30-15h30	Chim	Salle TP (I1)	Groupes 5-6-7
		Phys	Salle TP (I1)	Groupes 8-9-10
Vendredi 03/10	13h30-15h30	Bio A	Salle TP (I1)	Groupes 1-2
		Bio B	Salle TP (I1)	Groupes 3-4
Mardi 07/10	13h15-15h00	Bio B	R.26 (B6d)	Groupe 3
			S.40 (B6d)	Groupe 4
Judi 09/10	08h30-10h15	Chim	R.24 (B6d)	Groupe 5
			R.26 (B6d)	Groupe 6
			S.38 (B6d)	Groupe 7
	15h45-17h30	Phys	R.24 (B6d)	Groupe 8
			R.26 (B6d)	Groupe 9
			S.38 (B6d)	Groupe 10
Vendredi 10/10	15h15-17h00	Bio A	S.38 (B6d)	Groupe 1
			S.40 (B6d)	Groupe 2

**Travail Autodidactique 1 : Transport de solutés et d'eau au travers de la
membrane cellulaire.**

Partie I : Transport passif

Rappel

Les membranes biologiques permettent un échange contrôlé de molécules. Cette fonction de transport n'a pas seulement une importance vitale pour la cellule elle-même, mais aussi pour les organites qui se trouvent dans le cytoplasme. Les membranes biologiques sont des barrières sélectives qui gardent les compositions de fluides intra- et extracellulaires constants, mais différents. Les nutriments sont prélevés, les déchets métaboliques sont éliminés et les molécules de sécrétion sont sécrétées d'une face de la membrane plasmique vers l'autre. Le transport de molécules peut se faire de différentes manières :

- a) D'un côté à l'autre, mais pas au travers de la membrane, par endocytose
- b) Par transport passif qui se fait soit par diffusion passive de solutés non-chargés au travers de la bicouche lipidique, soit par diffusion facilitée à travers différents types de protéines membranaires
- c) Par transport actif

Dans les cas b), le transport se fait toujours dans le sens du gradient de concentration et dans le cas c) dans le sens opposé au gradient de concentration du soluté, ce qui requiert de l'énergie.

Dans la Partie I de ce travail autodidactique, nous étudierons les transports passifs.

Buts

Après ce travail autodidactique

- vous connaissez le processus de diffusion de molécules au travers d'une bicouche lipidique, vous savez définir la diffusion.
- vous comprenez pourquoi la diffusion de molécules liposolubles (non-polaires) diffère de la diffusion de molécules hydrosolubles (polaires).
- vous connaissez la signification du transport facilité.

Instructions

Pour trouver les réponses aux questions ci-dessous, aidez-vous du document en annexe et du cours de Mr Thiry. Écrivez les réponses pour chaque question, vous en aurez besoin durant la séance de travail. Avant de commencer, lisez bien toutes les instructions.

Lisez les pages 1 à 6 du document en annexe ainsi que le chapitre 3 du livre et du syllabus d'illustrations.

1. Répondez par vrai ou faux et expliquez votre réponse.

La diffusion :

- a. Résulte d'un mouvement de solutés d'une région peu concentrée en eau vers une région fortement concentrée en eau.
- b. Dépend d'un mouvement « aléatoire » de molécules.
- c. Des molécules non-polaires au travers de la membrane cellulaire est meilleure que celle des molécules polaires.

2. De quelle manière les substances hydrophiles migrent-elles passivement au travers de la membrane cellulaire ?

3. Quelles sont les différences entre un pore membranaire, un canal membranaire et une protéine de transport ? Donnez un exemple pour chaque.

4. Répondez par vrai ou faux et expliquez votre réponse.

Le transport facilité, permettant le passage de substances au travers de la membrane plasmique, :

- a. requiert la présence d'au moins une protéine de transport dans la membrane cellulaire.
- b. est nécessaire, surtout pour le transport de molécules polaires.
- c. est utilisé pour transporter le glucose et les acides aminés à l'intérieur de la cellule, parce qu'ils ne diffusent que très lentement au travers de la membrane plasmique.

Travail Autodidactique 1 : Transport de solutés et d'eau au travers de la membrane cellulaire.

Partie II : Transport actif primaire et secondaire

Le transport facilité permet le transport de substances selon leurs gradients de concentration pour équilibrer les concentrations de part et d'autre de la membrane tandis que le transport actif « pompe » une substance à l'encontre de son gradient de concentration ou d'énergie.

Buts

Après ce travail autodidactique

- vous avez les connaissances des différents types de transports et de protéines de transport dans les membranes cellulaires et vous comprenez leurs modes de fonctionnement.
- vous comprenez les différences entre le transport passif et le transport actif, entre le transport actif primaire et secondaire, et vous savez donner des exemples de chaque.
- vous savez expliquer le principe et l'importance des ATPases, des protéines de cotransport et d'antiport et vous savez donner un exemple de chaque.
- vous connaissez comment les ions Ca^{++} , Na^+ , K^+ , H^+ , le glucose et les acides aminés peuvent être transportés.
- vous connaissez la fonction du gradient de concentration dans le cotransport et l'antiport.
- vous savez comment les concentrations des ions dans la cellule sont maintenues constantes.

Instructions

Lisez les pages 7 à 12 du document en annexe. Écrivez les réponses pour chaque question, vous en aurez besoin durant la séance de travail.

1. Vrai ou faux ? Expliquez votre réponse.

- a. Les ions calcium peuvent bouger au travers de la membrane cellulaire via
 - i. une diffusion passive au travers de canaux ioniques
 - ii. une diffusion passive au travers de la membrane cellulaire
 - iii. un transport actif primaire
 - iv. un transport actif secondaire
- b. La concentration en calcium libre dans le cytosol de la cellule est 10.000 fois plus petite que la concentration en dehors du cytosol.

2. En relation avec le transport de sodium et de potassium, qu'est-ce qui est vrai ? Expliquez votre réponse.

a. La concentration intracellulaire en K^+ peut être maintenue basse et la concentration extracellulaire en Na^+ peut être maintenue haute grâce à un transport actif de Na^+ et de K^+ .

b. La Na^+/K^+ -ATPase transporte les ions sodium et les ions potassium sur une base « un pour un ».

3. Comparez le transport facilité avec le transport actif secondaire et donnez un exemple.

4. Répondez par vrai ou faux et expliquez votre réponse.

a. Dans un transport actif secondaire où les ions sodium sont utilisés par les transporteurs

i. de l'ATP est consommé par les transporteurs.

ii. les ions Na^+ seront toujours transportés vers intérieur de la cellule, en même temps que la substance à transporter.

iii. les ions Na^+ seront toujours transportés en accord avec son gradient de concentration.

b. Le glucose

- i. entre dans la majorité des cellules par simple diffusion.
- ii. peut aussi être incorporé grâce à un transport actif secondaire.
- iii. peut traverser passivement la membrane dans le cas du transport facilité.

c. Dans une cellule en état stationnaire (équilibre), la concentration d'une molécule non-chargée A est plus grande à l'intérieur de la cellule qu'à l'extérieur. Cette différence de concentration pourrait être due à :

- i. l'accumulation de A via diffusion de A au travers la membrane cellulaire.
- ii. la synthèse de A par la cellule, sachant que la membrane cellulaire est imperméable aux molécules de A.
- iii. l'accumulation de A via un transport facilité.
- iv. Un transport actif.

Travail autodidactique 2 : Régulation de la concentration intracellulaire en ions et du volume cellulaire

Rappel

Les cellules animales, contrairement aux cellules végétales, ne possèdent pas de paroi cellulaire rigide. Cette paroi permet de maintenir le volume cellulaire constant, dans certaines limites. De plus, la membrane des cellules animales a tendance à être très perméable aux molécules d'eau, de telle sorte que de faibles différences de concentrations osmotiques vont entraîner un déplacement d'eau, occasionnant un changement de volume des cellules.

Diverses fonctions cellulaires sont dépendantes du volume cellulaire : la structure et la fonction de macromolécules comme les enzymes sont influencées par le degré d'hydratation, de même que l'intégrité de la membrane cellulaire et du cytosquelette qui serait compromise en cas de modifications excessives du volume des cellules. L'importance de maintenir un volume cellulaire constant est évidente quand on sait que le cerveau est enfermé dans une boîte dure, le crâne, qui ne peut se dilater ou se contracter. Le gonflement des cellules à l'intérieur du crâne pourrait avoir des conséquences catastrophiques pour la circulation du cerveau en raison de la pression sur les vaisseaux sanguins (en termes techniques : compression extravasculaire).

En général, les fluctuations de concentrations intra- et extracellulaires des solutés vont générer des mouvements d'eau, entraînant un changement de volume des cellules. Les cellules possèdent des senseurs qui détectent des changements de volumes ou des changements de force ionique intracellulaire. Enfin, les cellules possèdent également des mécanismes pour rétablir leur volume initial.

Dans ce travail autodidactique, nous étudierons certains mécanismes importants que les cellules utilisent pour conserver leurs volumes constants, dans certaines limites.

Buts

Après ce travail autodidactique

- vous savez expliquer les termes osmolarité, tonicité et les utiliser pour comparer des solutions
- vous comprenez comment se passent les mouvements de solutés et de solvant au travers d'une membrane synthétique séparant deux compartiments.
- vous savez prédire comment le volume cellulaire va évoluer en fonction des concentrations en solutés perméables et imperméables présents en solution.

Instructions Partie 1

Lisez les pages 13 à 17 du document annexé.

1. Quels transporteurs sont importants pour maintenir les concentrations en Na^+ , K^+ , H^+ et Ca^{++} ?

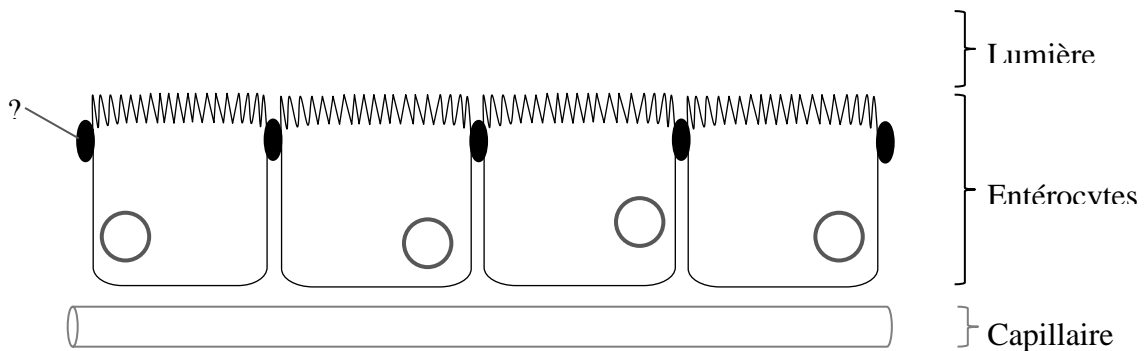
2. Comment la concentration intracellulaire en Na^+ est-elle maintenue faible comparée à la concentration extracellulaire ? Pourquoi ce maintien de concentration est-il si important ?

3. Le glucose, issu de la dégradation des glucides de notre alimentation, est absorbé au niveau de l'intestin grêle. Le glucose est transporté de la lumière intestinale vers les capillaires sanguins sous-muqueux, par l'intermédiaire des cellules intestinales (aussi appelés entérocytes). La concentration en glucose dans la lumière de l'intestin est généralement plus faible que la concentration en glucose dans le cytoplasme des entérocytes. De plus, la concentration en glucose dans les capillaires sanguins est elle aussi plus faible que celle dans les entérocytes.

a. Le glucose peut-il traverser facilement la bicouche phospholipidique délimitant les entérocytes ?

b. À l'aide de vos connaissances sur les protéines membranaires de transport, imaginez un mécanisme qui permettrait aux entérocytes de réaliser le transport du glucose, de la lumière intestinale vers les capillaires sanguins sous-jacents. Annotez le schéma ci-dessous en y plaçant les différents transporteurs que vous avez choisi d'utiliser et nommez-les.

Rappel : la concentration en ion sodium est très faible à l'intérieur des entérocytes.



c. Expliquez chacune des étapes de votre mécanisme de transport du glucose.

d. Ce transport doit-il nécessairement consommer de l'énergie, à long terme ? Justifiez.

e. Que représentent les structures noires pointées sur le schéma ? Sont-elles indispensables pour que le transport fonctionne ? Justifiez.

Instructions Partie 2

Lisez les pages 13 à 17 du document annexé.

1.

- a. Sans calculatrice, via un calcul écrit, effectuez la division suivante : $85,5/342$

- b. Vérifiez que vous avez obtenu la réponse correcte à l'aide d'une calculatrice. Si vous n'avez pas la bonne réponse, lisez le rappel « calcul écrit » du document annexé. Ensuite, réessayez en divisant 33,25 par 95. Nous ne serez pas autorisé à avoir votre calculatrice avec vous lors de l'interro de TP ou de l'examen, vous devrez donc réaliser vos calculs par écrit, il est donc primordial que vous sachiez les faire avant d'aller plus loin dans cette partie.

2. Quelle est la concentration molaire d'une solution aqueuse contenant 5,4% en glucose ? (Masse molaire du glucose = 180 g/mole)

3. Répondez par vrai ou faux et justifiez votre réponse: L'osmolarité d'une solution

- i. Est une valeur relative, elle dépend toujours d'une autre solution et de la membrane qui sépare les deux compartiments

- ii. Tient compte du facteur de dissociation des espèces en solution

- iii. Se calcule en additionnant les concentrations massiques de tous les constituants de la solution, en n'oubliant pas le facteur de dissociation.

4. Calculez l'osmolarité de la solution suivante : Lactose 0,2 M, $MgCl_2$ 8,55 g/L et urée 1,2% (masse molaire des différentes espèces : lactose=342 g/mole ; $MgCl_2$ =95 g/mole et urée=60 g/mole)

5. Deux compartiments A et B sont séparés par une membrane qui est perméable aux ions Na^+ et Cl^- , mais imperméable au composé X.

A	B
$[\text{NaCl}]_A = 110 \text{ mM}$ $[\text{X}]_A = 35 \text{ mM}$	$[\text{NaCl}]_B = 145 \text{ mM}$

Répondez par vrai ou faux et expliquez votre réponse.

- le flux net des ions Na^+ est de A vers B.
 - le flux net des ions Cl^- est de B vers A.
 - Il n'y a pas de mouvement net d'eau dans cette expérience.
6. Quelle est la différence entre l'osmolarité totale et effective ? Quelle est celle qui entraîne le transport d'eau ? Comment est appelée l'osmolarité effective en d'autres termes ?

7. Un récipient est divisé en deux compartiments A et B par une membrane qui est imperméable aux ions, mais perméable à tous les autres solutés présents en solution. Dans le compartiment A, on place 0,2l d'une solution de NaCl 0,15 M et de glucose 0,9 M. En B, on place 0,6l d'une solution de CaCl₂ 0,2 M et de lactose 0,4 M. La dimension des deux compartiments est telle qu'en début d'expérience, le niveau du liquide est le même dans les deux compartiments.

- a. Quelle est l'osmolarité de la solution initiale dans le compartiment A ?

- b. Quelle est l'osmolarité de la solution initiale dans le compartiment B ?

- c. Au début de l'expérience, la solution A est-elle hypo-, iso- ou hypertonique par rapport à la solution B ?

- d. À l'équilibre, quel est le niveau du liquide dans le compartiment A comparé à celui dans le compartiment B ?

- e. À l'équilibre, quelle est la concentration molaire de glucose dans le compartiment A ?

- f. À l'équilibre, quelle est la concentration molaire de lactose dans le compartiment A ?

8. Des hématies sont placées dans une solution mixte de glycine 0.8M, de NaCl 4.35g/L et d'un composé X 0.3 M entre lame et lamelle. Par observation sous un microscope, nous constatons que les cellules subissent une plasmolyse, suivie d'une déplasmolyse partielle. Si on dilue 2 fois cette solution mixte dans de l'eau distillée avant d'y placer les hématies, on observe une légère plasmolyse initiale, suivie d'une déplasmolyse et enfin une turgescence. Que pouvez-vous en conclure ?

Rappel :

- Tout se passe comme si la membrane plasmique était imperméable aux ions. La membrane plasmique est considérée comme perméable aux molécules non chargées de masse molaire <math>< 100 \text{ g/mole}</math> ;
- Une solution isotonique pour les hématies a une osmolarité (concentration osmotique) de 0.3 OsM;
- Les masses moléculaires (MM) des composés sont :
 - MM glycine = 75 g/mol
 - MM NaCl = 58,5 g/mol
 - MM saccharose = 342 g/mol
 - MM KCl = 74 g/mol
 - MM urée = 60 g/mol

a. Vrai ou faux ? Expliquez votre réponse.

i. la glycine est un composé non-diffusible.

ii. l'eau diffuse plus lentement que la glycine.

b. Le composé X est (entourez la réponse correcte) :

i. Non-diffusible.

ii. Diffusible.

iii. Impossible à savoir.

c. Le composé X pourrait être (entourez la ou les réponses correcte(s)) :

- i. du saccharose.
- ii. du NaCl.
- iii. de l'urée.
- iv. du KCl.
- v. aucune de ces quatre propositions.

d. Quel serait le comportement d'une cellule animale pour lequel l'isotonie correspondrait à 0,625 OsM ?

i. dans la solution non diluée ?

ii. dans la solution diluée ?

Transport de solutés et d'eau

Les cellules du corps sont maintenues dans un environnement liquide finement régulé. Le liquide à l'intérieur des cellules, le liquide intracellulaire, occupe ce qui est appelé le **compartiment intracellulaire**, le liquide à l'extérieur des cellules, le liquide extracellulaire, occupe le **compartiment extracellulaire**. La barrière qui sépare ces deux compartiments est la membrane cytoplasmique. Pour se maintenir en vie, le corps doit réguler de façon rigoureuse le volume et la composition des compartiments intra- et extracellulaires. Dans une large mesure, cette régulation résulte des transports à travers la membrane plasmique. Dans ce chapitre, nous allons aborder comment les membranes cellulaires régulent la répartition des ions et de l'eau entre les compartiments intra- et extracellulaires.

Tous les fluides corporels ont approximativement la même osmolarité :

Malgré les différences de composition en solutés entre le milieu intracellulaire, le liquide interstitiel et le plasma, ils ont tous approximativement la même osmolarité. L'osmolarité représente la concentration totale des **particules libres** présentes dans la solution. Elle tient donc en compte la **dissociation** de certaines molécules lorsqu'elles sont placées en solution. Une molécule de glucose contribue pour une particule alors qu'une molécule de NaCl, entièrement dissociée en 2 ions (Na^+ et Cl^-), contribue pour 2 particules.

I. TRANSPORT DE SOLUTÉS AU TRAVERS DES MEMBRANES PLASMIQUES

La cellule possède toute une série de mécanismes distincts pour réguler sa composition interne. La première, dont nous ne parlerons pas ici, concerne les phénomènes d'endo- et d'exocytose. Pour les autres, on peut les placer dans deux catégories, le **transport passif**, qui permettra toujours le passage des solutés dans le sens de leur gradient de concentration et le **transport actif** qui permet d'accumuler des solutés contre leur gradient de concentration et qui nécessite un apport d'énergie.

I.1. Le transport passif

Dans le **transport passif**, non couplé, à travers une membrane perméable, le soluté se déplace selon son gradient électrochimique. Il tend à équilibrer sa concentration de part et d'autre de la membrane.

Nous connaissons tous le principe des vases communicants selon lequel l'eau peut s'écouler d'un côté à l'autre d'une digue, si les niveaux d'eau sont différents de part et d'autre de la digue et si une brèche dans la digue permet le passage de l'eau. D'une façon assez similaire, une substance peut passivement se déplacer au travers d'une membrane qui sépare deux compartiments lorsqu'il y a à la fois une force motrice favorable et une ouverture à travers laquelle la force motrice peut exercer son effet.

Lorsqu'une voie existe pour le transfert d'un soluté à travers une membrane, la membrane est dite **perméable** à ce soluté. La force motrice qui régule le transport passif de solutés à travers la membrane est le gradient électrochimique (ou la différence d'énergie potentielle électrochimique) de ce soluté entre les deux compartiments. Si le soluté est non chargé, cette différence d'énergie potentielle électrochimique correspond au gradient de concentration du soluté entre les deux compartiments (la différence d'énergie potentielle chimique). Si le soluté est chargé, un autre paramètre entre en compte dans le calcul de la force motrice. Il s'agit de la concentration globale en charges positives et négatives présente dans les milieux intra- et extracellulaires et qui génère un potentiel de membrane.

Prenons l'exemple d'un soluté X, capable de franchir la membrane plasmique. Quelle est donc la force motrice pour le mouvement net de X ? Clairement, si la concentration en X dans le compartiment extracellulaire ($[X]_o$) est plus élevée que la concentration en X du compartiment intracellulaire ($[X]_i$), en supposant qu'il n'y a pas de différence de potentiel entre les deux compartiments, le gradient de concentration agira comme la force motrice conduisant au déplacement net de X à travers la membrane de l'extérieur vers l'intérieur (fig1).

Puisque le déplacement de X via un tel mécanisme n'est pas directement couplé au mouvement d'un autre soluté ou couplé à aucune réaction chimique, le gradient électrochimique pour X est la seule force motrice qui contribue au transport de X et donc le transport de X par un mécanisme passif non couplé se fera toujours dans le sens du gradient électrochimique c.-à-d. du compartiment où l'énergie potentielle électrochimique de X est plus élevée vers le compartiment où l'énergie potentielle électrochimique de X est moins élevée. Pour un soluté non chargé, c'est facile à comprendre, X se déplacera du compartiment où il est le plus concentré vers le compartiment où il est le moins concentré.

En réalité, ce type de déplacement répond au **principe général de la diffusion** selon lequel un soluté tend toujours à se répartir uniformément dans le volume de solvant et à former une solution homogène. Lorsqu'on place un morceau de sucre dans un verre d'eau, il va se dissoudre progressivement et, au bout d'un certain temps, sans mélanger et sans chauffer, on obtiendra une solution homogène de sucre. Si le verre comprend deux compartiments séparés par une membrane perméable au sucre et qu'on place le morceau de sucre dans l'un des deux compartiments, à l'équilibre, la concentration en sucre sera identique dans les deux compartiments. Ce principe universel d'homogénéisation des solutions repose sur le mouvement brownien des molécules et le déplacement aléatoire qui en découle.

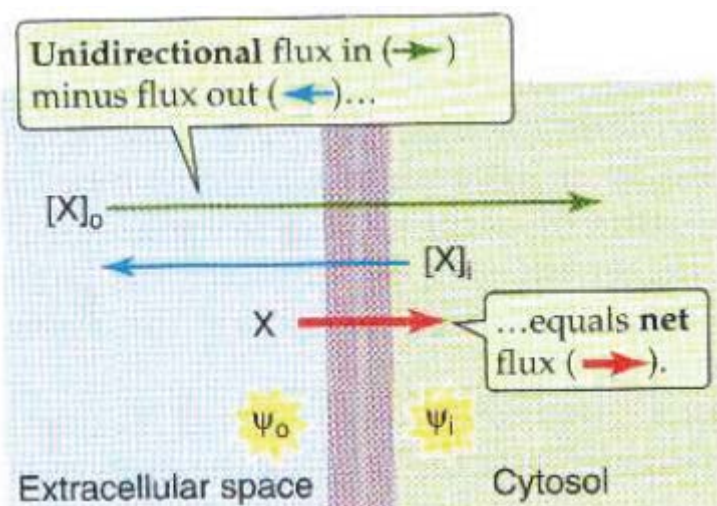


Figure 1 : transport non couplé d'un soluté à travers une membrane plasmique. Le déplacement passif net d'un soluté (X) dépend de la différence de concentration entre l'intérieur ($[X]_i$) et l'extérieur de la cellule ($[X]_o$).

Peu importe comment X traverse passivement la membrane, soit par diffusion simple à travers la bicouche lipidique, soit par diffusion facilitée à travers une protéine membranaire, la direction de la force motrice globale qui agit sur X détermine la direction du transport net. Dans l'exemple de la figure 1, la force motrice globale favorise le transport net de l'extérieur vers l'intérieur de la cellule (influx). Cependant, X est toujours capable de se déplacer de l'intérieur vers l'extérieur (efflux). Le mouvement de X à travers la membrane dans une direction est appelé flux unidirectionnel. La somme algébrique des deux flux unidirectionnels est le flux net, ou la vitesse de transport nette. Un transport net est détectable uniquement lorsque les flux unidirectionnels sont inégaux. Dans la figure 1, la force motrice provoque un influx unidirectionnel plus élevé que l'efflux unidirectionnel, ce qui résulte en un influx net.

Lorsque aucune force motrice n'agit sur X, on dit que X est à l'équilibre de part et d'autre de la membrane. Cependant, même quand X est à l'équilibre, il peut y avoir, et il y a habituellement, des mouvements de X à travers la membrane dans les deux directions, mais ces mouvements sont équivalents. Il s'agit de ce qu'on appelle un équilibre dynamique.

L'équilibre est en fait un cas spécial d'un état stationnaire. Dans un état stationnaire, par définition, les conditions relatives à X ne changent pas au cours du temps. Donc, un système de transport est à l'état stationnaire lorsqu'à la fois les forces motrices agissant sur ce transport et la vitesse de transport sont constantes au cours du temps. L'équilibre est un état stationnaire particulier dans lequel il n'y a pas de force motrice nette et donc pas de transport net.

Comment maintenir un état stationnaire avec une concentration d'un soluté diffusible X qui n'est pas à l'équilibre ? Si on revient à nos vases communicants et notre analogie de la digue, le passage d'eau vers le compartiment qui a le niveau le plus bas peut être maintenu constant uniquement au moyen d'un appareillage, comme une pompe, qui maintiendrait constante la différence de niveau d'eau entre les 2 compartiments. Une cellule peut maintenir un état stationnaire déséquilibré pour X uniquement lorsqu'un système, par exemple un mécanisme pour transporter activement X, peut compenser le déplacement passif de X et empêcher que les concentrations intracellulaire et extracellulaire en X ne s'équilibrent au cours du temps. Cette combinaison d'une pompe et d'une fuite maintient à la fois les concentrations en X et le flux passif de X.

I.I.I. Les 3 types diffusion facilitée

Puisque la plupart des ions et des solutés hydrophiles d'intérêt biologique sont très peu liposolubles, la simple **diffusion passive** de ces solutés à travers la portion lipidique de la membrane est négligeable. Le transport non couplé à travers la membrane plasmique requiert généralement des voies spécialisées qui permettent à des solutés particuliers de traverser la bicouche lipidique. Dans tous les cas connus, de telles voies dépendent de protéines intégrées dans la membrane, on appelle ce type de transport, la **diffusion facilitée**. Trois types distincts de mécanismes existent :

- 1) La protéine membranaire forme un **pore** ouvert en permanence (Fig. 2A). Les exemples physiologiques de tels pores comportent les porines dans la membrane externe des mitochondries, les protéines formant des pores cytotoxiques comme les perforines, et peut-être aussi les aquaporines. Un équivalent physique serait un tube, droit, ouvert en permanence, au travers duquel on peut toujours apercevoir la lumière qui vient de l'autre côté.
- 2) La protéine membranaire forme un **canal** qui est alternativement ouvert ou fermé car il est équipé d'une barrière amovible ou d'une porte (Fig. 2B). Parmi les exemples physiologiques se trouvent virtuellement tous les canaux à ions, comme ceux qui permettent au Na^+ , Cl^- , K^+ et Ca^{++} de traverser la membrane. Le processus d'ouverture et de fermeture des portes peut être contrôlé de différentes manières. Donc un canal est un pore à ouverture contrôlée, et un pore est un canal sans ouverture contrôlée. Un équivalent physique est un tube avec un obturateur proche d'une des extrémités. En regardant à travers ce tube, on voit la lumière de l'autre côté clignoter à chaque fois que l'obturateur s'ouvre et se ferme.
- 3) La protéine membranaire forme un **transporteur** qui entoure un conduit qui n'offre jamais un passage transmembranaire continu parce qu'il est équipé d'au moins deux barrières qui ne sont jamais ouvertes en même temps (Fig. 2C). Entre les deux portes se trouve un compartiment qui peut contenir un ou plusieurs site(s) de liaison pour le soluté. Quand les deux portes sont fermées en même temps, une (ou plusieurs) des particules en transit est emprisonnée ou bloquée dans ce compartiment. Les exemples physiologiques comprennent les transporteurs qui interviennent dans le processus de diffusion facilitée, qui sera discutée dans la section suivante. Un équivalent physique serait un tube avec un obturateur aux deux extrémités. Lorsqu'on regarde à travers ce tube, on ne voit jamais la lumière de l'autre côté car les deux obturateurs ne sont jamais ouverts simultanément.

Les canaux à ouverture contrôlée, qui s'ouvrent et se ferment de façon alternée, permettent aux ions de traverser passivement la membrane :

Les canaux à ouverture contrôlée consistent en une ou plusieurs sous-unité(s) protéique(s) contenant des segments transmembranaires en hélice α . Ces canaux ont plusieurs composants fonctionnels (Fig. 2B). La première est la porte qui détermine si le canal est ouvert ou fermé, chacun des deux états reflétant une conformation distincte de la protéine membranaire. De plus, le canal a généralement un ou plusieurs senseurs répondant à un ou plusieurs types de signaux : (1) changement de potentiel membranaire ; (2) des systèmes de messagers secondaires qui agissent du côté de la face cytosolique de la protéine membranaire ou (3) la présence de ligands, tels les neurotransmetteurs agonistes, qui se lient sur la face externe de la protéine transmembranaire. Ces signaux régulent les transitions entre les états ouvert et fermé. Un troisième élément fonctionnel est un filtre sélectif, qui détermine la classe d'ions (cations ou anions) ou l'ion particulier (Na^+ , K^+ ou Ca^{++}) qui peut accéder au canal. Le quatrième composant est le canal proprement dit (Fig. 2B). Chaque fois que le canal se trouve dans la conformation ouverte, il constitue une voie continue entre les deux côtés de la membrane permettant aux ions de traverser passivement par diffusion jusqu'à ce que le canal se ferme à nouveau. À chaque ouverture du canal, une grande quantité d'ions vont s'écouler à travers le pore du canal, habituellement un nombre suffisant grand pour détecter un petit courant électrique via des techniques de mesure ultra sensibles.

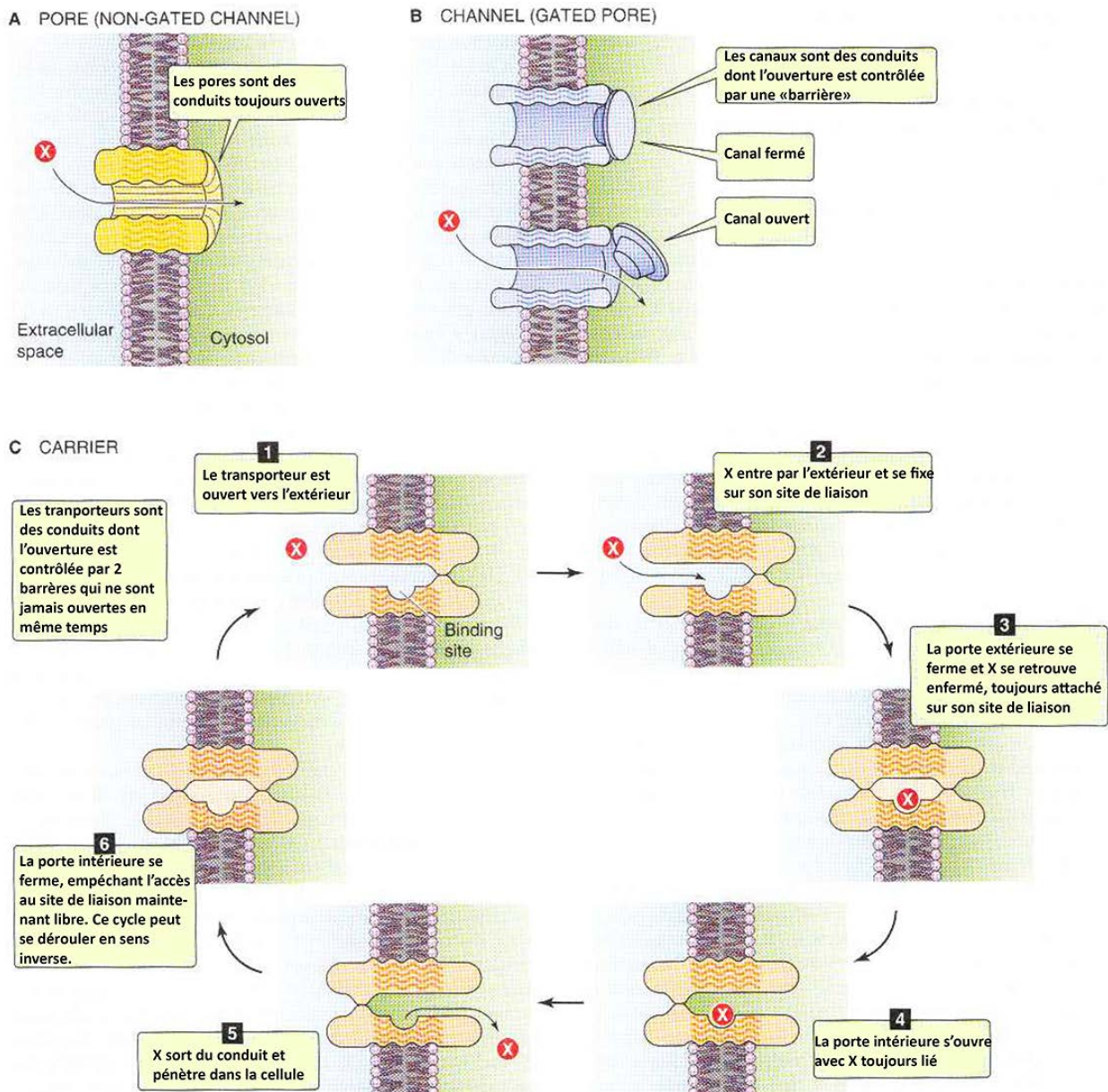


Figure 2: Trois types de transport passif non couplé à travers des protéines intégrées dans la membrane.

Certains transporteurs facilitent la diffusion passive de petits solutés comme le glucose :

Les systèmes de diffusion facilitée via un transporteur sont responsables du transfert à travers la membrane plasmique d'une large gamme d'ions et de solutés organiques. Chaque protéine de transport a une affinité spécifique pour un nombre limité de solutés. Le cas le plus simple de diffusion facilitée via un transporteur est celui où un seul soluté est transporté. Plus loin, nous introduirons le cotransport (transport de 2 ou plusieurs solutés dans la même direction) et l'antiport (les solutés sont déplacés en sens inverse).

Les systèmes de transfert via un transporteur se comportent selon le schéma de cinétique décrit pour la diffusion facilitée comme c'est présenté à la figure 2C. Ce modèle illustre comment, en 6 étapes, un transporteur peut déplacer passivement un soluté X à l'intérieur de la cellule.

Ce mécanisme ne peut conduire qu'au transport passif de X, c.-à-d. uniquement du compartiment où X est le plus concentré vers le compartiment où X est le moins concentré. C'est pourquoi ce type de transport est appelé diffusion facilitée. Lorsque [X] est égale des deux côtés de la membrane, aucun transport net de X ne se produira, même si des flux unidirectionnels de X opposés et équivalents peuvent avoir lieu.

	Pores	Canaux	transporteurs
Exemple	Aquaporine (AQP1)	Canal à K ⁺	Transporteur du glucose (GLUT1)
Conduit à travers la membrane	Toujours ouvert	Ouvert de façon intermittente	Jamais ouvert
Événement suite au déclencheur	Aucun (toujours ouvert)	ouverture	Cycle de changements conformationnels
Particules transférées par "événement"	-	6x10 ⁴	1-5
Particules transférées par seconde	Jusqu'à 2x10 ⁹	De 10 ⁶ à 10 ⁸ quand il est ouvert	200-50.000

La structure physique des pores, canaux et transporteurs est assez similaire :

Les pores, canaux à ions et transporteurs ont tous des segments transmembranaires multiples qui forment un conduit perméable au soluté. De plus, certains canaux possèdent aussi des sites de liaison dans ces conduits perméables, ce qui rend le transport saturable en fonction de la concentration en ions. Cependant, pores, canaux et transporteurs sont fondamentalement distincts du point de vue cinétique (table 1). Les pores, continuellement ouverts, permettent à un nombre très élevé de particules de traverser la membrane. Aucun élément ne suggère que les pores peuvent se trouver dans des états conformationnels distincts.

Les canaux subissent des changements conformationnels entre les états « ouvert » et « fermé ». Lorsqu'ils sont ouverts, ils sont ouverts simultanément vers les milieux extra- et intracellulaires. Donc à chaque ouverture, le canal permet le passage d'une grande quantité d'ions, peut-être des millions, de traverser la membrane. Puisque le temps pendant lequel un canal particulier reste ouvert varie d'une fois à l'autre, le nombre d'ions qui traverse la membrane à chaque événement d'ouverture n'est pas fixé.

Les transporteurs possèdent des voies de passage qui ne sont virtuellement jamais ouvertes simultanément vers les solutions intra- et extracellulaire. Alors que l'événement de base pour un canal est son ouverture, l'événement de base pour un transporteur consiste en un cycle complet de changements conformationnels. Parce que les sites de liaison du transporteur pour le substrat sont limités, seul un petit nombre bien déterminé de particules est déplacé par le transporteur à chaque cycle. Donc le nombre de particules qui traversent la membrane par seconde via un transporteur est généralement de plusieurs ordres de magnitude inférieur que celui via un canal.

I.II. Le transport actif

Nous avons vu comment les transporteurs peuvent permettre la diffusion facilitée du glucose, ce qui est un processus passif. Cependant, les transporteurs peuvent aussi permettre des modes de transports couplés. La suite de cette section sera consacrée à ce type de transporteurs, qui fonctionnent comme des pompes, des cotransporteurs et des échangeurs.

Le **transport actif** est un processus qui permet de transférer un soluté à travers une membrane, **contre son gradient de concentration** (ou contre sa différence d'énergie potentielle électrochimique). Dans le **transport actif primaire**, la force motrice nécessaire pour provoquer le transfert net d'un soluté à l'encontre de son gradient électrochimique provient d'un changement énergétique favorable associé à une réaction chimique exergonique, telle que l'hydrolyse de l'ATP. Dans le **transport actif secondaire**, la force motrice est fournie par un couplage de ce transport contre le gradient de concentration de ce soluté avec le déplacement d'un ou de plusieurs autre(s) soluté(s) dans le sens du gradient de concentration. Un exemple physique serait d'utiliser un treuil motorisé pour soulever un poids lourd (transport actif primaire) et d'ensuite transférer ce poids à l'extrémité d'une bascule à l'autre bout de laquelle se trouve un enfant, dont le poids est inférieur. L'énergie potentielle qui est stockée dans le poids maintenu dans les airs par le treuil permettra de soulever l'enfant sur la balançoire à bascule (transport actif secondaire). Pour les transporteurs, c'est fréquemment le gradient électrochimique en Na^+ dirigé vers l'intérieur de la cellule (la concentration en Na^+ est plus élevée à l'extérieur qu'à l'intérieur), qui est lui-même maintenu grâce à un transporteur actif primaire (la pompe Na^+/K^+) qui permet le transport actif secondaire d'autres solutés. Dans cette section, nous allons voir les transporteurs actifs primaires, appelés régulièrement les pompes. Les pompes dont nous allons parler tirent toutes leur énergie à partir de l'hydrolyse de l'ATP et sont donc des ATPases.

Le transport actif primaire

La pompe Na^+/K^+ , le plus important transporteur actif primaire dans les cellules animales, utilise de l'énergie sous forme d'ATP pour faire sortir le Na^+ et faire entrer le K^+ .

L'exemple type de transporteur actif primaire est la quasiment ubiquitaire pompe Na/K (ou Na, K-ATPase, NKA). Elle fut la première enzyme identifiée comme une pompe à ions, une découverte qui valut au Pr. Jens Skou un prix Nobel de chimie en 1997. La pompe Na/K est localisée dans la membrane plasmique et possède deux sous-unités, α et β (Fig. 3). La sous-unité α qui possède 10 segments transmembranaires est la sous-unité catalytique qui permet le transport actif. La sous-unité β , possédant un seul segment transmembranaire, est essentielle pour l'assemblage correct et l'adressage membranaire de la pompe Na/K. Quatre isoformes α et 2 isoformes β ont été décrites. Ces isoformes ont un pattern d'expression dépendant du tissu et du stade de développement et possèdent des propriétés cinétiques distinctes.

À chaque cycle de transfert, la pompe couple l'export de 3 ions Na^+ et l'import de deux ions K^+ avec l'hydrolyse d'une molécule d'ATP du côté intracellulaire. En elles-mêmes, les étapes d'échange d'ions dans cette direction sont énergétiquement défavorables, si bien que, si la pompe n'était pas une ATPase, le transport fonctionnerait en sens inverse, avec du Na^+ entrant dans la cellule et du K^+ sortant de la cellule. Et, effectivement, sous certaines conditions expérimentales extrêmes, on peut forcer la pompe Na/K à fonctionner en sens inverse et à générer de l'ATP. Cependant, en conditions physiologiques, l'hydrolyse d'une molécule d'ATP libère tellement plus d'énergie qu'il n'est en réalité nécessaire pour faire se déplacer 3 Na^+ et 2 K^+ à l'encontre de leur gradient électrochimique respectif que la pompe permet un échange actif net des ions dans la direction désirée.

Bien que les cellules animales puissent avoir d'autres pompes dans leur membrane plasmique, la pompe Na/K constitue le seul processus de transport actif primaire du Na^+ . La pompe Na/K constitue aussi le plus important mécanisme de transport actif primaire pour le K^+ . Dans toutes les cellules du corps, la pompe Na/K est responsable du maintien d'une faible concentration en Na^+ et une forte concentration en K^+ à l'intérieur des cellules, comparé au fluide extracellulaire. Dans la plupart des cellules épithéliales, la présence de la pompe Na/K est limitée aux côtés basolatéraux de la cellule.

Puisque chaque cycle d'hydrolyse d'une molécule d'ATP est couplé à l'export de 3 Na^+ et l'import de 2 K^+ , la stœchiométrie de la pompe n'est pas de 1:1, et chaque cycle de fonctionnement de la pompe est associée à l'extrusion d'une charge positive en dehors de la cellule. Donc la pompe Na/K est électrogène.

A Na-K PUMP

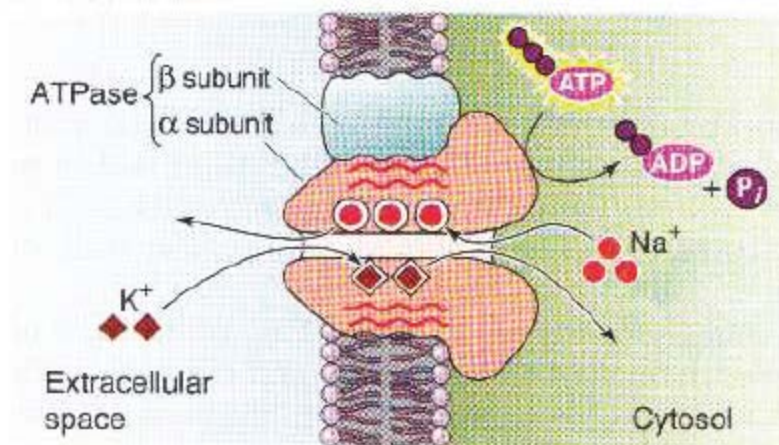


Figure 3 : schéma de la pompe à sodium.

La pompe Na/K appartient à la famille ATPase de type P donc tous les membres partagent une certaine similarité de séquence avec la sous-unité α de la pompe Na/K. Cette famille contient plusieurs sous-familles parmi lesquelles :

- Les pompes H^+/K^+
- Les pompes à Ca^{++} ;
- L'ATP synthase de la membrane interne de la mitochondrie.

Le transport actif secondaire

Comme les pompes, les transporteurs actifs secondaires peuvent déplacer un soluté contre son gradient électrochimique (contre son gradient de concentration pour les espèces non chargées). Cependant, à l'inverse des pompes, qui tirent l'énergie nécessaire de l'hydrolyse de l'ATP, les transporteurs actifs secondaires utilisent le **couplage** avec le **transport d'autres solutés dans le sens de leur gradient électrochimique**. Les deux classes majeures de transporteurs actifs secondaires sont les cotransporteurs (ou symporteurs) et les échangeurs (ou antiporteurs).

1. Le SYMPORT (ou COTRANSPORT)

Les **cotransporteurs** sont des protéines membranaires qui vont déplacer le soluté « conducteur » (celui pour lequel le transport passif dans le sens du gradient de concentration fournit de l'énergie) et le soluté « passager » (celui qui est déplacé contre son gradient de concentration) dans la **même direction**.

Les cotransporteurs tirent le plus souvent leur énergie à partir du gradient de Na^+ (concentration plus élevée à l'extérieur de la cellule).

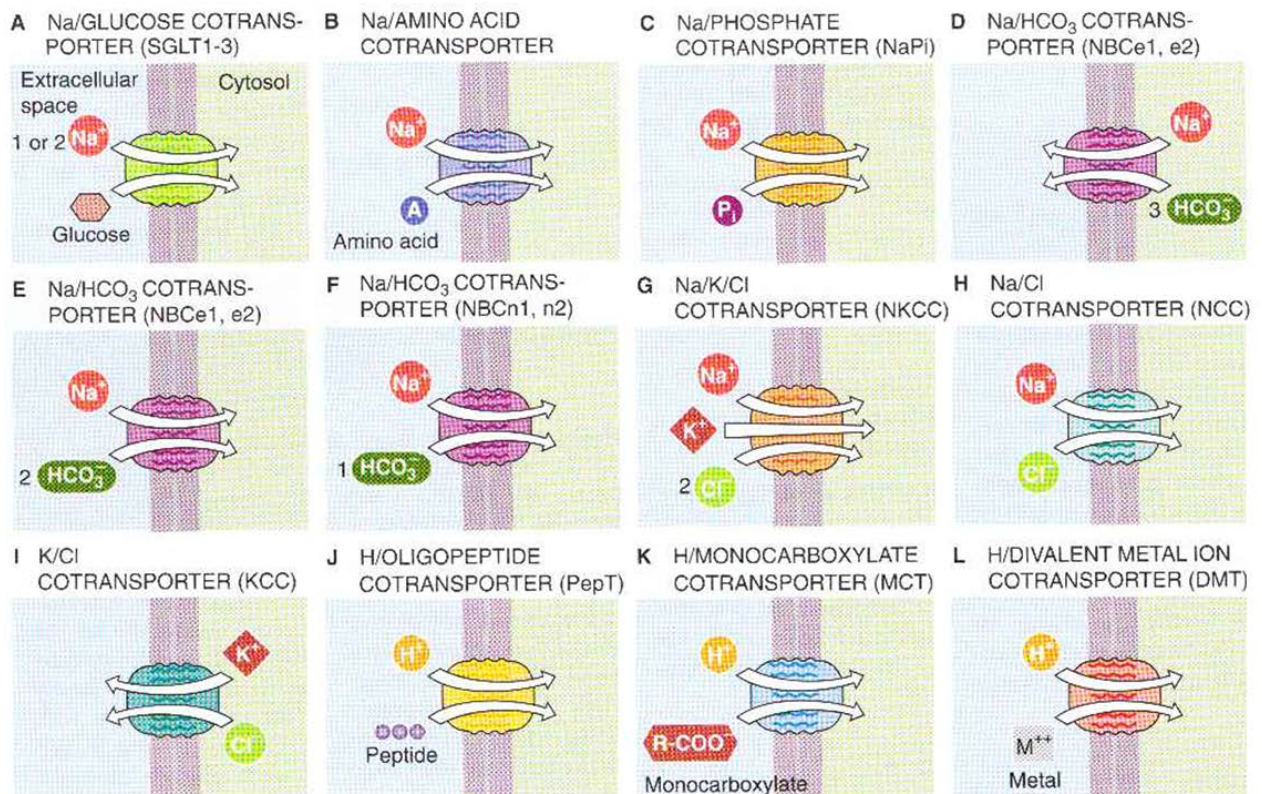


Figure 4: Cotransporteurs représentatifs.

Il existe toute une série de cotransporteurs :

- Les cotransporteurs à solutés organiques propulsés par le Na^+ ;
- Les cotransporteurs $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$;
- Les cotransporteurs aux autres anions inorganiques propulsés par le Na^+ ;
- Le cotransporteur $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Cl}^-$;
- Le cotransporteur Na^+/Cl^- ;
- Le cotransporteur K^+/Cl^- ;
- Les cotransporteurs propulsés au H^+

- **le cotransporteur Na^+ /Glucose** : Le cotransporteur Na^+ /glucose (SGLT) est situé du côté apical des cellules épithéliales de l'intestin grêle, mais aussi des cellules épithéliales des tubules proximaux dans le rein. La force motrice provient du gradient de Na^+ très énergétiquement favorable et permet l'accumulation du glucose présent dans la lumière de l'intestin ou dans la lumière des tubules rénaux proximaux à l'intérieur de la cellule, contre le gradient de concentration en glucose.

2. L'ANTIORT (ou l'échange)

L'autre classe principale de transporteurs actifs secondaires est la classe des échangeurs ou antiporteurs. Les échangeurs sont des protéines membranaires qui déplacent un ou plusieurs solutés « conducteur » dans une direction, permettant le déplacement du ou des soluté(s) « passager » dans la direction opposée. En général, ces transporteurs échangent des cations contre des cations et des anions contre des anions.

Il existe toute une série d'échangeurs :

- Les échangeurs $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$: Ils permettent l'échange de trois Na^+ contre un Ca^{++} (Fig.5). Cet échangeur est électrogène et accumule des charges positives du côté de la membrane où le Na^+ est déplacé. Dans la plupart des circonstances, le gradient électrochimique de Na^+ dirigé vers l'intérieur de la cellule (et maintenu grâce à la pompe Na/K) permet l'expulsion de Ca^{++} à l'extérieur des cellules. Donc, de concert avec la pompe à Ca^{++} présente dans la membrane plasmique, ce système de transport permet de maintenir une forte différence d'énergie potentielle électrochimique en Ca^{++} qui est d'ordinaire présente entre les deux côtés de la membrane plasmique de toutes les cellules. L'échangeur se sert du gradient électrochimique en Na^+ pour générer un efflux actif de Ca^{++} .
- L'échangeur Na^+/H^+ ;
- L'échangeur $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ propulsé au Na^+ ;
- L'échangeur $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$;
- Autres échangeurs d'anions.

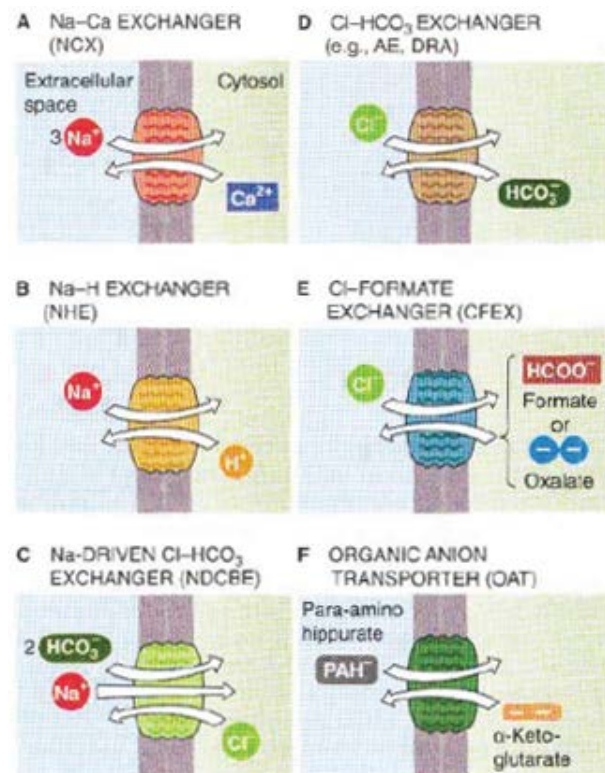


Figure 5: Echangeurs représentatifs.

II. RÉGULATION DE LA CONCENTRATION INTRACELLULAIRE EN IONS

La figure 7 illustre les outils qu'une cellule « prototype » possède pour réguler son contenu intracellulaire. Les cellules présentes dans les différents tissus et même parfois différents types cellulaires au sein du même tissu possèdent un set distinct de canaux et transporteurs, ce qui explique pourquoi elles peuvent posséder des compositions ioniques (et en composés organiques et inorganiques particuliers) légèrement différentes. Notons aussi que les cellules épithéliales et les neurones peuvent accumuler des canaux et transporteurs spécifiques à différents niveaux de leur membrane plasmique (pôle apical versus pôle basolatéral pour les cellules épithéliales, axones versus dendrites ou corps cellulaire pour les neurones).

La pompe Na^+/K^+ maintient une concentration intracellulaire basse en Na^+ et élevée en K^+ .

Les plus importants gradients de part et d'autre de la membrane plasmique sont ceux du Na^+ et du K^+ . Le sodium est le cation prédominant dans le liquide extracellulaire, où il est présent à une concentration de $\pm 145\text{mM}$ (Fig. 6). Le Na^+ est très peu présent à l'intérieur des cellules où sa concentration y est 10 fois plus faible. Ce gradient en Na^+ est maintenu principalement grâce à l'intervention de la pompe Na^+/K^+ (Fig. 6.1). À l'inverse, la concentration en potassium à l'extérieur des cellules est faible ($\pm 4,5\text{ mM}$) mais c'est le cation prédominant dans le compartiment intracellulaire où il y est 20 à 30 fois plus concentré. À nouveau, ce gradient est la conséquence directe de l'action de la pompe Na^+/K^+ qui importe activement du K^+ et exporte activement du Na^+ . Si on inhibe cette pompe avec une substance chimique (l'ouabaïne), la $[\text{Na}^+]$ intracellulaire augmente et $[\text{K}^+]$ diminue.

Le fort gradient de concentration en Na^+ génère un fort gradient électrochimique de Na^+ dirigé vers l'intérieur de la cellule fortement en faveur de l'entrée passive de Na^+ . Étant donné l'incroyable quantité d'énergie dépensée par la cellule pour générer ce gradient (la pompe Na^+/K^+ consomme de l'ATP !!), on s'attend à ce que la cellule ne permette l'entrée de Na^+ qu'exclusivement dans des voies qui sont au service d'intérêts physiologiques importants. La simple entrée passive de Na^+ à travers des canaux ioniques, sans se servir de cette entrée de Na^+ à des fins physiologiques, résulterait en un cycle de réactions inutile et consommateur d'énergie.

- **la pompe $\text{Ca}^{++}/\text{H}^+$ et l'échangeur $\text{Na}^+/\text{Ca}^{++}$ maintiennent la $[\text{Ca}^{++}]$ intracellulaire beaucoup plus faible que la $[\text{Ca}^{++}]$ extracellulaire;**
- **Dans la plupart des cellules, la $[\text{Cl}^-]$ n'est que modestement plus élevée à l'extérieur des cellules car l'import via l'échangeur $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ et le cotransporteur $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Cl}^-$ contrebalance l'efflux passif à travers les canaux à Cl^- ;**
- **Le maintien du pH et de la $[\text{HCO}_3^-]$ intracellulaire dépendent de l'échangeur Na^+/H^+ et de l'échangeur $\text{Cl}^-/\text{HCO}_3^-$ propulsé au Na^+ ;**

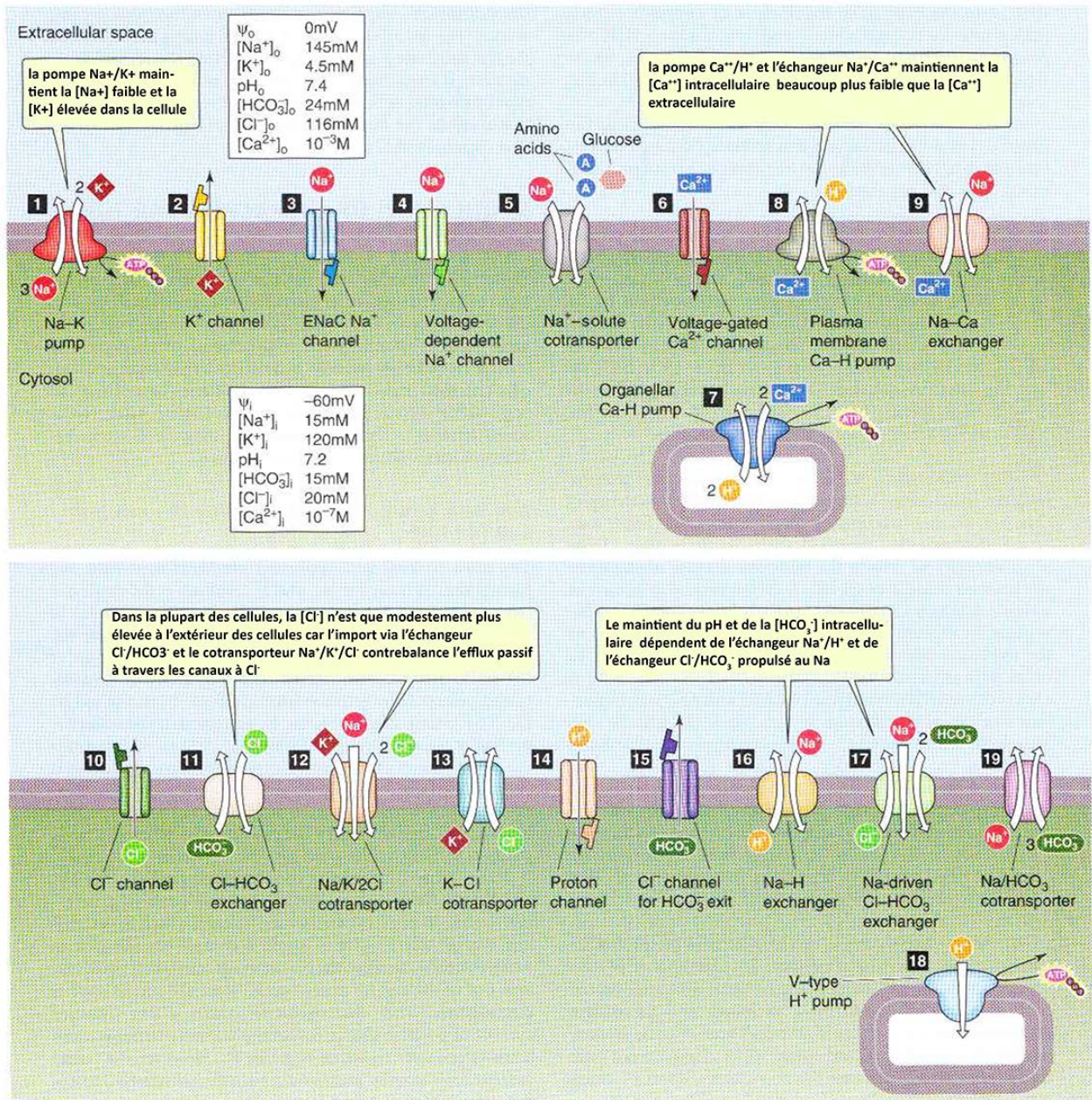


Figure 6: Gradients ioniques, canaux et transporteurs dans une cellule typique.

III. DIFFUSION DE L'EAU ET RÉGULATION DU VOLUME CELLULAIRE

Le transport de l'eau est régulé par les différences de pressions osmotiques et hydrostatiques de part et d'autre des membranes.

Le passage de l'eau à travers les membranes biologiques est toujours passif. Aucune pompe à eau n'a jamais été décrite. Dans une certaine mesure, les molécules d'eau peuvent se dissoudre dans les bicouches lipidiques et donc traverser les membranes plasmiques à vitesse lente par simple diffusion. La facilité avec laquelle l'eau diffuse à travers la bicouche lipidique dépend principalement de la composition de cette bicouche. Les membranes qui ont une faible fluidité, c'est-à-dire celles dont les phospholipides possèdent de longues chaînes d'acides gras saturés présentent une perméabilité à l'eau plus basse. L'addition d'autres lipides diminuant la fluidité de la membrane (comme le cholestérol par exemple) peut encore réduire la perméabilité à l'eau. C'est pourquoi il n'est pas surprenant que les membranes plasmiques de beaucoup de types cellulaires contiennent des pores à eau spécialisés, appelés aquaporines, qui servent de conduits passifs pour le passage de l'eau. La présence des aquaporines (AQP) augmente fortement la perméabilité membranaire à l'eau. Dans

certaines cellules, comme les érythrocytes ou les cellules épithéliales des tubules rénaux proximaux, AQP1 est présente en permanence au niveau membranaire. Les cellules des canaux collecteurs du rein régulent la perméabilité à l'eau de leur membrane apicale grâce à la présence dans cette membrane apicale de AQP2, une aquaporine sous le contrôle de l'hormone antidiurétique vasopressine (la présence de l'hormone dans le sang induit l'expression du gène AQP2 et également induit la fusion avec la membrane plasmique de vésicules présentes dans le cytoplasme et dont la membrane est enrichie en AQP2, ces deux phénomènes conduisent à une plus grande quantité d'aquaporines sur le pôle apical et une entrée d'eau largement facilitée).

Le transport d'eau à travers une membrane appelé l'OSMOSE est toujours un processus constant, non saturable et qui ne dépend que de la force motrice nette. La direction d'un transport passif net d'un soluté non chargé est toujours dans le sens du gradient d'énergie potentielle chimique. L'eau se déplace du compartiment où elle est la plus concentrée vers le compartiment où elle est la moins concentrée. Notons que dans les solutions physiologiques considérées, l'eau est toujours la molécule présente en plus grande quantité, elle représente ce qui est appelé le solvant. Sa concentration molaire dans les solutions est donc toujours très très élevée et la calculer serait très imprécis. C'est pourquoi, afin de définir le sens de passage de l'eau, il est beaucoup plus pratique de considérer la concentration des solutés en présence.

RAPPELS DE CHIMIE :

Une **solution** est un mélange dans lequel les molécules d'une ou de plusieurs substances appelées **solutés** sont réparties de manière homogène au sein d'une autre substance, généralement liquide, appelée **solvant**. En biologie, on s'intéresse essentiellement aux solutions aqueuses (où le solvant est l'eau). L'unité de volume usuelle est le litre (L ou l), équivalant à un dm^3 et ses sous-unités le millilitre (mL ou 10^{-3} L) et le microlitre (μL ou 10^{-6} L).

La quantité de matière s'exprime le plus souvent en **moles** (symbole **mol**) ou en **grammes** (symbole **g**). Une **mole** d'un atome ou d'une molécule correspond à $\sim 6 \times 10^{23}$ entités. Cette quantité de matière a été créée car les atomes et molécules sont tellement petits que si on devait les peser sur une balance, on obtiendrait des quantités en gramme extrêmement petites. Une mole d'hydrogène pesant 1g, un seul atome d'hydrogène pèse $1/6 \times 10^{23}$ g.

La masse molaire d'un atome ou d'une molécule correspond donc au nombre de grammes que pèse une mole de cet atome ou molécule, elle s'exprime en **g/mol**.

La **concentration** caractérise la teneur d'un mélange en un de ses constituants. La **concentration d'un soluté** est la quantité **n** (en moles, grammes...) de soluté par unité de volume (L) de la solution. Elle est obtenue en divisant la quantité de soluté contenue dans la solution par le volume de la solution.

$$C = n/V$$

La concentration peut s'exprimer de plusieurs manières :

M : moles par litre mol / L ou mol.L⁻¹ : de solution (on dit aussi **molaire**). C'est ce qu'on appelle la concentration molaire ou **molarité**. Exemple : 0,3 M ou 0,3 mol.L⁻¹.

g/L : ou g.L⁻¹, grammes par litre de solution.

% : au sens strict : grammes pour 100 grammes de solution.

En pratique : grammes pour 100 mL de solution ; d'usage courant pour les solutions aqueuses diluées dont la densité est voisine de 1, la différence étant alors négligeable.

Pour passer de la concentration massique à la concentration molaire, il suffit de diviser la concentration massique par la masse molaire de l'espèce considérée.

$$\frac{\text{Concentration massique}}{\text{Masse molaire}} : \frac{\frac{\text{g}}{\text{l}}}{\frac{\text{g}}{\text{mole}}} = \frac{\text{g}}{\text{l}} \times \frac{\text{mole}}{\text{g}} \implies \frac{\cancel{\text{g}}}{\text{l}} \times \frac{\text{mole}}{\cancel{\text{g}}} = \frac{\text{mole}}{\text{l}} = \text{Concentration molaire}$$

La molarité d'une solution mixte correspond à la somme des molarités des espèces en présence.

Notons que pour définir s'il y aura un passage d'eau entre deux compartiments, il faudra calculer l'osmolarité de la solution présente dans les deux compartiments. L'osmolarité tient compte de la dissociation de certaines espèces chimiques lorsqu'elles sont en solution. Les sels sont toujours dissociés en solution, si bien qu'une solution 1 M en NaCl contiendra 1 M de Na⁺ et 1 M de Cl⁻, au total, 2 OsM (Osmolaire ou osmole/L). L'osmolarité est une valeur intrinsèque d'une solution (par exemple, sa couleur ou sa température), sa valeur ne dépend que de sa composition chimique.

Lorsqu'on joue avec des récipients divisés en deux compartiments par une membrane semi-peméable, il n'est pas rare de devoir calculer la concentration à l'équilibre d'un soluté donné. Pour les solutés diffusibles, il s'agit en réalité d'une simple dilution. Effectivement, la quantité absolue de soluté ne changera pas au cours de l'expérience. On obtiendra simplement à l'équilibre un plus grand volume d'une solution plus diluée en ce soluté. Une formule simple relie la concentration initiale et finale en fonction du volume initial et final :

$$\mathbf{C1 \times V1 = C2 \times V2}$$

Pour les solutés non diffusibles, la concentration à l'équilibre n'est en général pas calculable car elle dépendra de la quantité d'eau qui passe d'un compartiment à l'autre.

Rappelons que selon le principe de la diffusion, si un soluté est capable de franchir la membrane plasmique, il équilibrera ses concentrations de part et d'autre de la membrane. **Pour observer un phénomène de diffusion du solvant (ou Osmose), il faut qu'il y ait au moins un soluté non diffusible en présence.** L'osmose se produira lorsque l'osmolarité en solutés osmotiquement actifs est différente dans les deux compartiments. Le compartiment possédant la plus forte osmolarité en solutés non diffusibles est appelé le compartiment hypertonique, celui qui contient la plus faible osmolarité en espèces non diffusibles est le compartiment hypotonique. L'eau se déplacera toujours du compartiment hypotonique vers le compartiment hypertonique. Si aucune autre force ou pression n'entre en jeu, le mouvement net d'eau s'arrêtera lorsque les deux compartiments deviennent isotoniques. La tonicité d'une solution est TOUJOURS une valeur relative, elle compare deux solutions l'une par rapport à l'autre et surtout, elle dépend des propriétés de perméabilité de la membrane qui sépare ces deux solutions.

Le gradient de tonicité –ou d'osmolarité effective- détermine le flux osmotique d'eau à travers une membrane cellulaire.

La totalité de l'eau présente dans le corps est répartie entre le plasma sanguin, le liquide interstitiel, le liquide intracellulaire et les fluides transcellulaire (liquide synovial, céphalo-rachidien...). Les mécanismes par lesquels l'eau s'échange entre ces différents fluides reposent sur les principes que nous venons d'évoquer. Si on augmente subitement l'osmolarité en solutés non diffusibles dans le liquide interstitiel, en ajoutant par exemple du mannitol, ce compartiment deviendra hypertonique par rapport au milieu intracellulaire, ce qui va causer un déplacement d'eau de l'intérieur de la cellule vers l'extérieur. Les cellules se racrapotent jusqu'à équilibre des pressions osmotiques. On appelle ce phénomène **la plasmolyse**.

Que se passe-t-il si on augmente subitement l'osmolarité en urée du liquide extracellulaire, sachant que l'urée est un soluté diffusible ? L'urée traverse rapidement les membranes plasmiques par diffusion facilitée à travers un pore membranaire, membre de la famille UT. Parce que l'urée diffuse plus lentement que l'eau, l'effet initial sur les cellules sera identique à ce qui est observé suite à l'ajout de mannitol, c.-à-d. une plasmolyse, l'eau sort des cellules (Fig.7). Cependant, au fur et à mesure que l'urée équilibre progressivement sa concentration de part et d'autre de la membrane, l'osmolarité (tout type de soluté confondu) intracellulaire devient supérieure à celle du milieu extérieur et l'eau retourne dans les cellules qui reprennent alors leur forme initiale. Donc des changements de volumes cellulaires stables dans le temps ne s'observent qu'avec un changement de concentration d'un soluté non diffusible. Seuls les composés non diffusibles sont osmotiquement actifs.

La différence entre l'effet de l'ajout de mannitol et d'urée sur le volume cellulaire à l'équilibre illustre bien le besoin de distinguer l'osmolarité totale qui prend en compte toutes les espèces en présence et l'osmolarité effective qui ne tient compte que des espèces non diffusibles (et qui correspond à la tonicité).

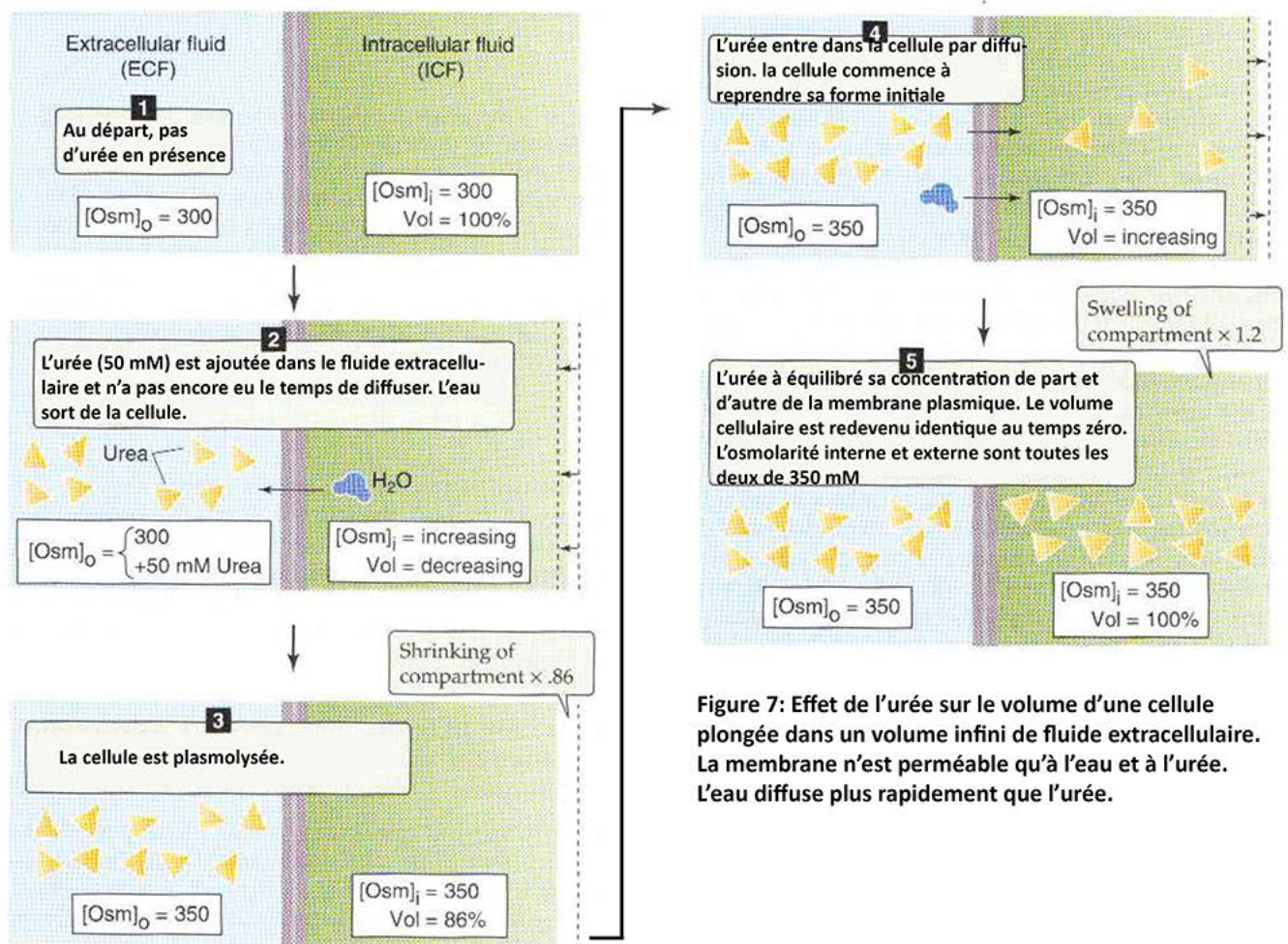


Figure 7: Effet de l'urée sur le volume d'une cellule plongée dans un volume infini de fluide extracellulaire. La membrane n'est perméable qu'à l'eau et à l'urée. L'eau diffuse plus rapidement que l'urée.

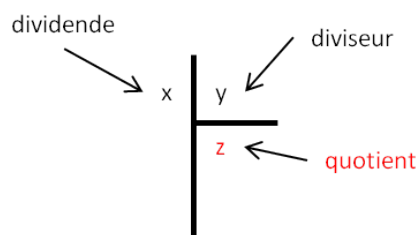
Dans le corps humain, les deux solutés majeurs qui contribuent à la tonicité du liquide extracellulaire sont le Na⁺ et le glucose. Dans certaines situations cliniques, l'injection de solutés non perméables, tels que les agents de contrastes pour la radiographie ou du mannitol, peut aussi contribuer à la tonicité du fluide extracellulaire. L'osmolarité effective (en solutés non diffusibles) normale du plasma sanguin est de 290mM (dans les exercices, par souci de simplification, on arrondit à 0,3 OsM). Cette situation correspond à l'isotonie pour les cellules animales. Les solutions d'osmolarité effective supérieure à 0,3 OsM représentent un milieu hypertonique, celles avec une osmolarité inférieure à 0,3 OsM sont hypotoniques.

Les déplacements d'eau entre les compartiments intra- et extracellulaire résultent de changements de tonicité du liquide extracellulaire. Du point de vue clinique, de tels changements de tonicité sont habituellement causés par une diminution de la concentration en Na⁺ (hyponatrémie), une augmentation de la concentration en Na⁺ (hypernatrémie) ou une augmentation de la concentration en glucose (hyperglycémie). Des changements de concentration d'un soluté diffusible tel l'urée, qui s'accumule chez les patients en cas de défaillance du rein, n'ont pas d'effet sur le volume cellulaire et ne modifie pas la tonicité du plasma ou du liquide interstitiel.

Comme mentionné ci-dessus, lorsque les cellules sont plongées dans un milieu **hypertonique**, elles vont perdre de l'eau, on dit qu'elles sont **plasmolysées**. Lorsqu'elles sont plongées dans un milieu **hypotonique**, l'eau va rentrer dans les cellules, les cellules vont gonfler. Ce phénomène s'appelle la **turgescence**. Chez les cellules végétales, la membrane plasmique est entourée d'une paroi rigide, perméable à tous les solutés en présence, qui limite l'entrée d'eau. Dans ce cas particulier, l'entrée d'eau s'arrête non pas lorsque les pressions osmotiques intra- et extracellulaire sont égales mais lorsque la pression de la paroi sur la membrane plasmique contrebalance la différence de pression osmotique entre les milieux intra- et extracellulaire. Une cellule végétale n'explose pas lorsqu'elle est plongée dans de l'eau distillée. Ce n'est pas le cas des cellules animales qui vont exploser si elles sont plongées dans de l'eau distillée ou un milieu très hypotonique.

Rappel de secondaire sur le calcul écrit

Comment faire pour diviser un nombre x par un nombre y ? $x \div y = z$



Prenons un exemple simple où $x=138$ et $y=3$

D'abord, disposer correctement l'opération:

$$\begin{array}{r}
 138 \\
 - 12 \\
 \hline
 18 \\
 - 18 \\
 \hline
 0
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 3 \overline{) 138} \\
 \underline{0} \\
 46
 \end{array}$$

Première étape: pour obtenir le premier chiffre du quotient, je dois savoir

« combien de fois puis-je mettre 3 dans le 1 de 138? »

La réponse est « 0 », que je ne suis pas obligé d'écrire

Donc, directement on se pose la question: « combien de fois puis-je mettre 3 dans le 13 de 138? »

La réponse est 4, j'écris 4.

Deuxième étape: Le produit de 4×3 vaut 12

J'écris « 12 » en dessous du 13 de 138 et je fais une **SOUSTRACTION**. Le résultat de cette soustraction est 1, j'écris 1

Troisième étape: on fait « descendre » le chiffre suivant du dividende, ici « 8 »

retour à la première étape: « combien de fois puis-je mettre 3 dans 18? »

La réponse est 6, j'écris 6. Le produit de 6×3 équivaut à 18, je soustrais 18 à 18, ce qui fait « 0 », le quotient est donc 46, un chiffre entier dans ce cas précis.

3. Réplication/Transcription/Traduction

Responsable : *Marielle Lebrun* (mlebrun@ulg.ac.be)

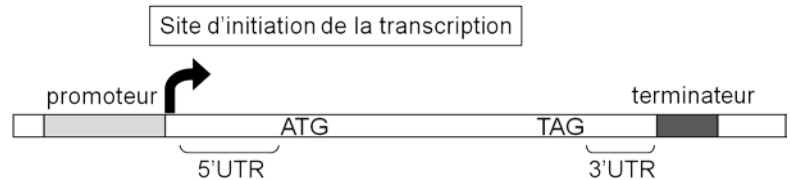
Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitres 4 et 5, pages 93-148.
- Syllabus d'illustrations : chapitres 4 et 5, pages 39-61.

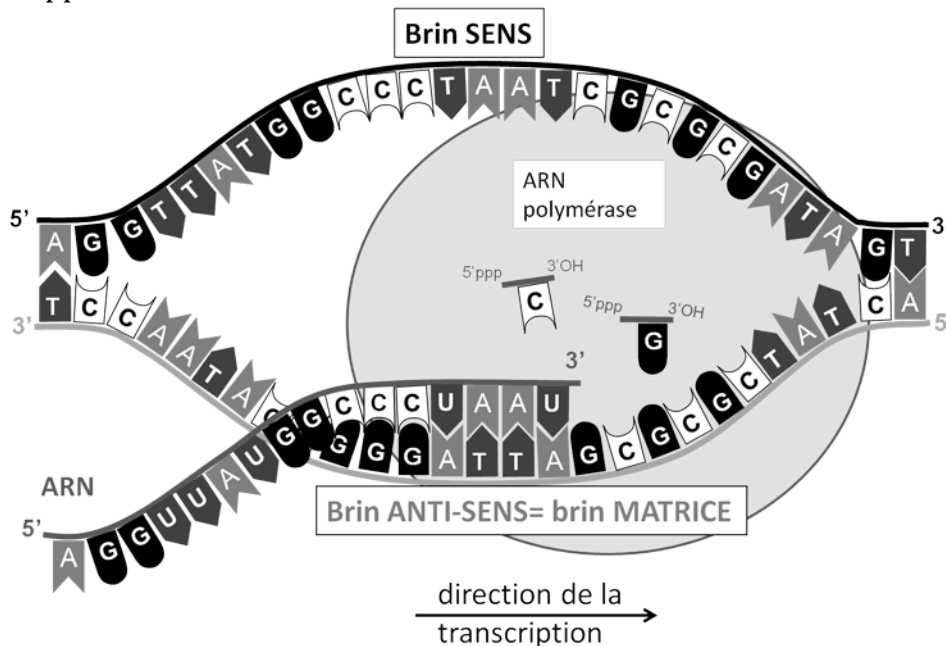
Rappel théorique pour cette séance :

Avant chaque division cellulaire, afin de conserver le patrimoine génétique de génération en génération, l'ADN est répliqué par une ADN polymérase. Cette **réplication** donnera naissance, à partir d'une molécule d'ADN bicaténaire parentale, à 2 molécules d'ADN double brin, chacune contenant un brin d'origine (le brin parental qui sert de matrice à l'ADN polymérase) et un brin nouvellement synthétisé.

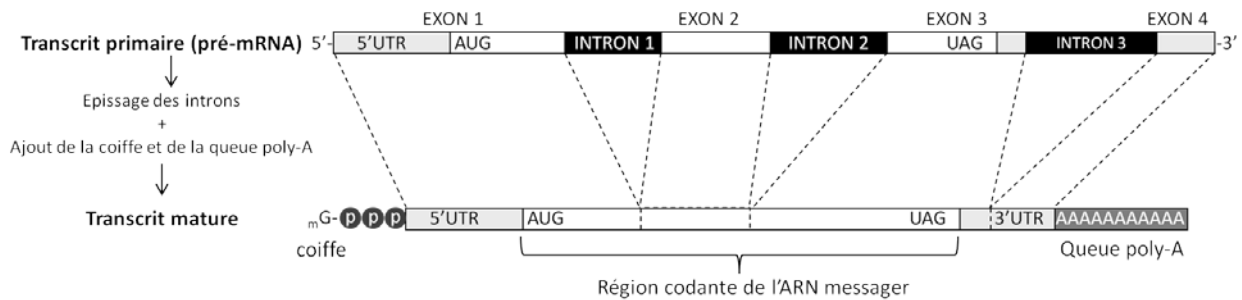
Un gène est une séquence d'ADN qui, par une étape de **transcription**, donnera naissance à une séquence d'ARN. Il y a plusieurs classes de transcrits parmi lesquels, ARN ribosomiques, ARN de transfert et ARN messagers.



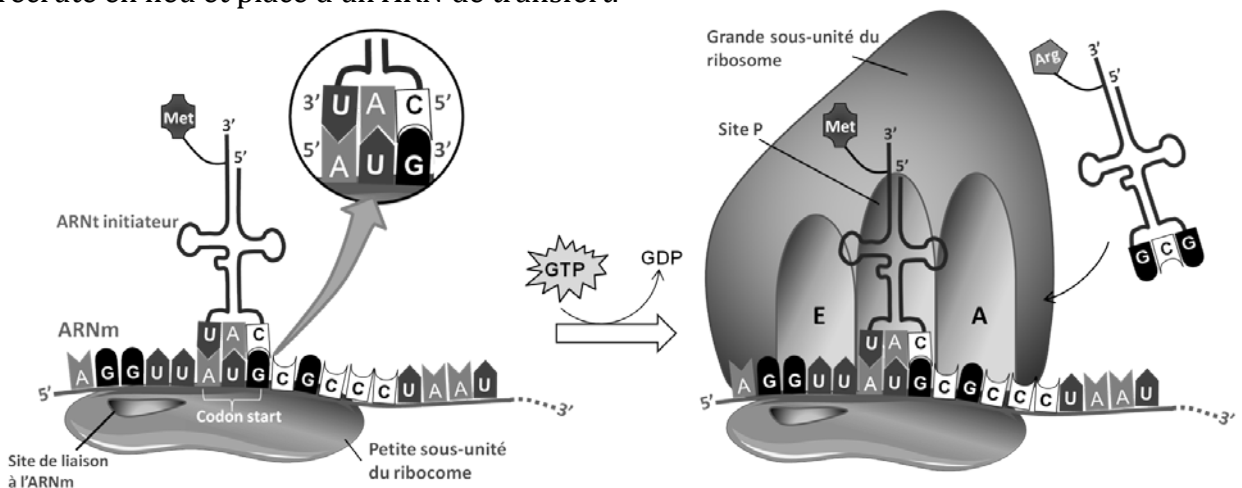
La transcription est réalisée par une **ARN polymérase** qui se fixe sur le promoteur et débute la transcription au niveau du **site d'initiation de la transcription**. L'ARN polymérase se fixe sur un des deux brins d'ADN qui est appelé le **brin matrice** et se déplace sur ce brin de 3' vers 5'. Elle synthétise un brin d'ARN qui est anticomplémentaire au brin matrice. L'ARN est ainsi toujours **synthétisé de 5' vers 3'** et sera, dans le même sens de lecture, similaire au brin d'ADN qui est apparié au brin matrice dans le double brin d'ADN. La seule différence est que les T sont devenus des U. Ce brin est appelé le **brin sens**.



Chez les **Eucaryotes**, la terminaison de la transcription est couplée au processus de maturation du transcrit primaire. En effet, les extrémités de l'ARN seront modifiées juste après la transcription. A l'extrémité 5' de l'ARN, une guanosine méthylée, appelée la **coiffe** est ajoutée assez rapidement après le début de la transcription. Du côté 3', un longue série de résidus adénine, appelée la **queue poly-A**, sera ajoutée par une enzyme spécifique. Cette longue série de A n'a donc pas de série correspondante de T sur le brin matrice. Chez les eucaryotes il est à noter aussi que la plupart des transcrits primaires contiennent des séquences non codantes, appelées **introns**, qui seront retirées lors du phénomène d'**épissage** assemblant bout à bout les **exons** formant ainsi un transcrit mature.



Pour le cas particulier des gènes qui codent pour des protéines, le produit fini n'est pas un ARN mais un polypeptide. C'est par l'étape de **traduction**, réalisée par une structure appelée le **ribosome**, que sera produit ce polypeptide. L'initiation de la traduction d'un ARN messager dépend de la présence dans la région 5' d'une séquence de liaison pour la petite sous-unité du ribosome qui va « scanner » le brin d'ARN messager par son extrémité 5' jusqu'à arriver à une séquence **5'-AUG-3'**. Cette séquence particulière est appelée le **codon initiateur** et, dans le code génétique, correspond à un résidu **méthionine**. La région qui est en amont du codon initiateur est appelée la région 5' non traduite (en anglais 5'-UTR). C'est par l'intermédiaire des ARN de transferts que sont « décryptés » les codons successifs. Ces petits ARN possèdent une séquence de 3 nucléotides appelée l'**anticodon** qui vient se fixer sur le codon correspondant de l'ARN messager, par complémentarité de base et de façon antiparallèle (le côté 3' de l'anticodon en face du côté 5' du codon) et sont chacun associé à un acide aminé particulier. A partir du codon initiateur, les nucléotides, groupés 3 par 3, forment des mots de 3 lettres auxquels correspondent des acides aminés particuliers qui seront liés bout à bout. Le processus s'arrête lorsque le ribosome arrive à une séquence STOP (5'-UAG-3', 5'-UAA-3' ou 5'-UGA-3'), au niveau de laquelle un facteur de terminaison sera recruté en lieu et place d'un ARN de transfert.



En aval du codon STOP se trouve la région 3' non traduite.

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :

Soit le fragment d'ADN suivant codant pour un petit peptide et situé entre deux promoteurs dans le génome d'un être vivant donné :

5' -TTCGGCTAGCTACTAGGCCAGATTGATCGCTCTCATAAATCCG- 3'
3' -AAGCCGATCGATGATCCGGTCTAACTAGCGAGAGTATTTAGGC- 5'

- Identifiez le brin matrice.
- Ecrivez la séquence de l'ARN messager.
- En vous aidant du code génétique du syllabus, écrivez la séquence peptidique correspondante.
- La structure tridimensionnelle de ce peptide pourrait-elle dépendre de la présence de liaisons covalentes ?
- Si vous inversez les sigles 5' et 3' des deux brins d'ADN dans l'énoncé, le fragment d'ADN code-t-il toujours pour un peptide ? Si oui, quelle est la séquence en acides aminés de ce peptide ? Si non, pourquoi ?

Horaire pour les différentes sections : Semaine 5

Mardi 14/10	15h30-17h15	Chim	R.24 (B6d)	Groupe 5
			R.26 (B6d)	Groupe 6
			S.38 (B6d)	Groupe 7
Jeudi 16/10	08h30-10h15	Phys	R.24 (B6d)	Groupe 8
			R.26 (B6d)	Groupe 9
			S.38 (B6d)	Groupe 10
Vendredi 17/10	13h30-15h15	Bio A	S.38 (B6d)	Groupe 1
			S.40 (B6d)	Groupe 2
			S.40 (B6d)	Groupe 3
Vendredi 17/10	15h15-17h00	Bio B	R.26 (B6d)	Groupe 3
			S.40 (B6d)	Groupe 4

4. Energétique cellulaire 1 : les Mitochondries

Responsable : *Philippe Compère* (pcompere@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitre 9, pages 193-218.
- Syllabus d'illustrations : chapitre 9, pages 75-78.

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :

1) Schématisez une mitochondrie.

2) Parmi les éléments proposés ci-dessous, placez ceux qui conviennent sur votre schéma :

membrane externe, membrane interne, paroi, matrice, stroma, crêtes, grana, espace intramembranaire, espace intermembranaire, replis membranaires, ARN, ADN, ribosomes, cytoplasme, cytosol, ATP-synthétases, Rubisco (Ribulose Bisphosphate Carboxylase), complexe succinate déshydrogénase.

3) Quels sont les compartiments de la mitochondrie ?

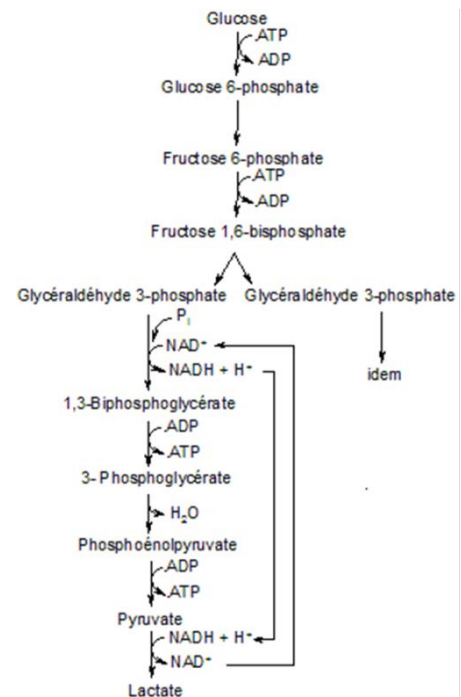
4)

a) Identifiez la suite de réactions ci-contre et situez-la précisément dans la cellule (et sur votre schéma ci-dessus)

b) Nommez-en les étapes en remplaçant les noms de réactions suivants là où elles ont lieu (en se référant à chaque fois au substrat (sucre) qui subit la transformation:

Clivage – condensation – déphosphorylation – isomérisation – oxydoréduction – phosphorylation

c) Identifiez les produits finaux et donnez leur lieu d'utilisation dans la cellule



Horaire pour les différentes sections : Semaine 6

Mardi 21/10	13h15-15h00	Chim	R.24 (B6d) R.26 (B6d) S.38 (B6d)	Groupe 5 Groupe 6 Groupe 7
Judi 23/10	08h30-10h15	Phys	R.24 (B6d) R.26 (B6d) S.38 (B6d)	Groupe 8 Groupe 9 Groupe 10
	10h30-12h15	Bio A	S.40 (B6d) 2.71 (B6c)	Groupe 1 Groupe 2
Vendredi 24/10	10h30-12h15	Bio B	R.26 (B6d) S.40 (B6d)	Groupe 3 Groupe 4

5. Energétique cellulaire 2 : les Chloroplastes

Responsable : *Alain Hambuckers* (Alain.Hambuckers@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitre 10, pages 219-242.
- Syllabus d'illustrations : chapitre 10, pages 79-83.
- Guide de travaux pratiques : séance 3, pages 51-64.

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :

1) Représenter un chloroplaste et annoter ou localiser les éléments suivants :

membrane externe, membrane interne, grana , thylakoïde inter-granaire, stroma, espace intra-thylakoïdien, espace inter-membranaire, photosystèmes, ATP-synthétases, RUBISCO

2) Schématiser un photosystème en montrant la capture d'un photon par une molécule de pigment accessoire et le transfert de l'excitation passant par les molécules de chlorophylle-antenne vers le centre réactionnel.

Horaire pour les différentes sections : Semaine 7

Mardi 28/10	13h15-15h00	Bio B	R.26 (B6d) S.40 (B6d)	Groupe 3 Groupe 4
Jeudi 30/10	08h30-10h15	Chim	R.24 (B6d) R.26 (B6d) S.38 (B6d)	Groupe 5 Groupe 6 Groupe 7
	13h30-15h15	Phys	R.26 (B6d) S.38 (B6d) S.40 (B6d)	Groupe 8 Groupe 9 Groupe 10
Vendredi 31/10	10h30-12h15	Bio A	S.38 (B6d) S.40 (B6d)	Groupe 1 Groupe 2

6. Division cellulaire et Reproduction

Responsable : *Véronique Goosse* (V.Goosse@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitres 11, 13 et 14, pages 243-264 et 287-344.
- Syllabus d'illustrations : chapitres 11, 13 et 14, pages 84-90 et 96-117.

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :

1) Dessinez de manière très schématique, une spermatogonie (en interphase, avant la phase S) en imaginant qu'elle possède un noyau à 4 chromosomes. Représentez les chromosomes sous forme condensée. Utilisez la même couleur pour les chromosomes de même origine parentale.

2) Sur base des mêmes conventions, dessinez les phases suivantes des deux divisions méiotiques :

- Spermatocyte 1° en métaphase de méiose I
- Spermatocytes 2° à l'issue de la méiose I
- Spermatocytes 2° en métaphase de méiose II
- Spermatides

3) Précisez pour chaque situation le nombre de compléments d'ADN.

Horaire pour les différentes sections : Semaine 8

Mardi 04/11	13h15-15h00	Bio B	R.26 (B6d)	Groupe 3
			S.40 (B6d)	Groupe 4
Mercredi 05/11	10h45-12h30	Bio A	S.22 (B5b)	Groupe 1
			S.24 (B5b)	Groupe 2
Judi 06/11	15h45-17h30	Phys	R.24 (B6d)	Groupe 8
			R.26 (B6d)	Groupe 9
			S.38 (B6d)	Groupe 10
Vendredi 07/11	10h30-12h15	Chim	R.24 (B6d)	Groupe 5
			S.28 (B5b)	Groupe 6
			2.71 (B6c)	Groupe 7

7. Vue intégrative de la cellule

Responsable : Pierre Rigo (pierre.rigo@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : tous les chapitres.
- Syllabus d'illustrations : tous les chapitres.
- Guide de travaux pratiques : toutes les séances.

Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance :

Citez un point commun entre mouvement musculaire et mitose.

Conseil : étudiez les molécules qui entrent en jeux dans les deux processus et relevez celles en commun.

Horaire pour les différentes sections : Semaine 10

Jeudi 20/11	10h30-12h15	Bio A	R.22 (B6d) S.32 (B5b)	Groupe 1 Groupe 2
	15h45-17h30	Chim	R.24 (B6d)	Groupe 5
			R.26 (B6d)	Groupe 6
2.71 (B6c)			Groupe 7	
Vendredi 21/11	10h30-12h15	Phys	R.24 (B6d)	Groupe 8
	13h30-15h15		R.26 (B6d)	Groupe 9
			S.38 (B6d)	Groupe 10
Bio B		R.26 (B6d)	Groupe 3	
	S.40 (B6d)	Groupe 4		

8. Thème au choix

Responsable : *Pierre Rigo* (pierre.rigo@ulg.ac.be)

Matière à préparer avant la séance :

- Livre : tous les chapitres.
- Syllabus d'illustrations : tous les chapitres.
- Guide de travaux pratiques : toutes les séances.

Remarque concernant la 8^{ème} séance :

Cette séance est **facultative**, mais elle sera très utile aux étudiants qui souhaitent approfondir un thème avec lequel ils sont moins à l'aise, parmi les thèmes qui pose le plus souvent problème. Les étudiants qui désirent participer à cette séance devront **choisir un thème** particulier (un seul) parmi les trois suivants :

- Perméabilité membranaire et osmose
- Réplication/Transcription/Traduction
- Énergétique cellulaire (Mitochondries et Chloroplastes)

Ce choix doit nous parvenir au plus tard pour le **lundi 24 novembre** (deux semaines avant la séance 8). La bonne réception du choix du thème fera office d'**inscription** à la séance.

Aucun devoir ne sera demandé pour cette séance.

Durant la séance, nous vous proposerons des **exercices** d'application qui ont été demandés aux **examens** des années précédentes. Nous insisterons sur la méthode de réflexion et la façon de répondre à ce genre de question, en fonction du thème choisi.

Horaire pour les différentes sections : Semaine 13

Mardi 09/12	08h30-10h15	Bio A	S.38 (B6d)	Groupe 1
			S.40 (B6d)	Groupe 2
	15h45-17h30	Phys	R.24 (B6d)	Groupe 8
			R.26 (B6d)	Groupe 9
Mercredi 10/12	10h45-12h30	Chim	S.38 (B6d)	Groupe 10
			R.43 (B6a)	Groupe 5
	15h45-17h30	Bio B	R.46 (B6a)	Groupe 6
			S.38 (B6d)	Groupe 7
			R.26 (B6d)	Groupe 3
			S.40 (B6d)	Groupe 4