

## 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<sup>ème</sup> 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 : la respiration cellulaire
- Énergétique cellulaire 2 : la photosynthèse
- 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** : *Akkoca – Delmeulle*  
Groupe **2** : *Delrée – Huet*

Biologistes B: Groupe **3** : *Jadoul – Nys*  
Groupe **4** : *Partoune – fin de la liste*

Chimistes : Groupe **5** : *Amar – Hourant*  
Groupe **6** : *Jaamann – fin de la liste*

Physiciens : Groupe **8** : *Akdag – Franssen*  
Groupe **9** : *Gaiganis – Noville*  
Groupe **10** : *Orlando – fin de la liste*

# 1. Composition et organisation structurale des êtres vivants

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

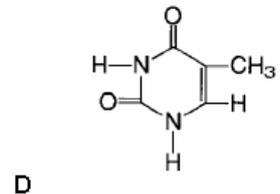
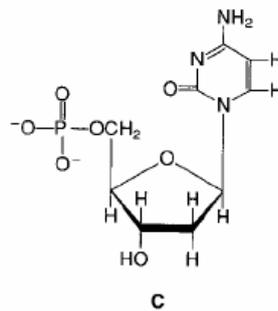
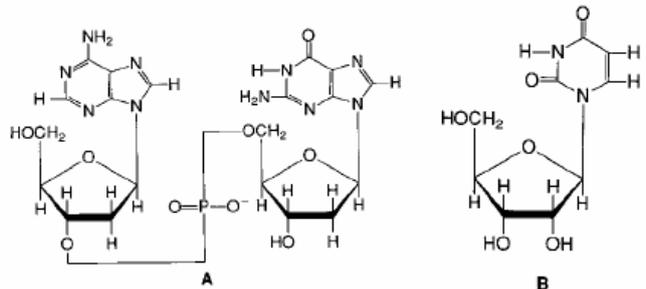
## Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitres 1 et 2, pages 9-60.
- 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 2

Lundi 26/09	15h45-17h45	Bio B	R.24 (B6d) R.26 (B6d)	<b>Groupe 3</b> <b>Groupe 4</b>
Jeudi 29/09	13h30-15h30	Bio A	S.05 (B7a)	<b>Groupe 1</b>
			3.70 (B6c)	<b>Groupe 2</b>
Vendredi 30/09	15h45-17h45	Chim	S.03 (B7a)	<b>Groupe 5</b>
			S.01 (B7a)	<b>Groupe 6</b>
		Phys	S.04 (B7a)	<b>Groupe 8</b>
			S.02 (B7a) S.03 (B7a)	<b>Groupe 9</b> <b>Groupe 10</b>

## 2. Perméabilité membranaire et osmose

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

### Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitre 3, pages 61-93.
- Syllabus d'illustrations : chapitre 3, pages 25-38.

### Remarque concernant la 2<sup>ème</sup> séance :

Cette séance sera divisée en deux parties : une séance de préparation et une séance de travail.

Dans un premier temps durant la séance de préparation, vous serez amené à répondre à une série de questions sur les notions essentielles de chimie et sur la perméabilité membranaire et l'osmose, à l'aide de différents documents (ci-annexés). L'horaire de la séance de préparation est repris ci-dessous.

Dans un second temps, durant la séance de travail, une mise en commun de vos réponses sera réalisée et comparée avec les réponses attendues. Différentes pistes de réponses et de méthodologie vous seront également proposées. L'horaire de la séance de travail est également repris ci-dessous.

### Horaire pour les différentes sections (Séance de préparation) : Semaine 3

Lundi 03/10	13h30-15h30	Phys	S.74 (B4)	<b>Groupes 8-9-10</b>
Mercredi 05/10	13h30-15h30	Bio	C.26 (B6d)	<b>Groupes 1-2-3-4</b>
Judi 06/10	08h15-10h15	Chim	S.74 (B4)	<b>Groupes 5-6</b>

### Devoir à préparer pour pouvoir accéder à la séance de travail :

Pour pouvoir accéder à la séance de travail, 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 « Biologie Cellulaire : Exercices et Méthodes » ;
- De votre syllabus d'illustrations.

### Horaire pour les différentes sections (Séance de travail) : Semaine 4

Lundi 10/10	15h45-17h45	Bio B	R.24 (B6d) R.26 (B6d)	<b>Groupe 3</b> <b>Groupe 4</b>
Judi 13/10	08h15-10h15	Chim	R.22 (B6d) R.24 (B6d)	<b>Groupe 5</b> <b>Groupe 6</b>
	13h30-15h30	Bio A	S.01 (B7a) 3.70 (B6c)	<b>Groupe 1</b> <b>Groupe 2</b>
	15h45-17h45	Phys	S.01 (B7a) S.02 (B7a) S.03 (B7a)	<b>Groupe 8</b> <b>Groupe 9</b> <b>Groupe 10</b>

***Transport de solutés et d'eau au travers de la membrane cellulaire.***

***Partie I : Transport passif***

**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 3 du document en annexe.

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

La diffusion simple:

- a. Diffère de la diffusion facilitée car elle ne nécessite pas d'apport d'énergie
- b. Est toujours plus rapide que la diffusion facilitée car elle ne nécessite aucun transporteur

2. Répondez par vrai ou faux et expliquez votre réponse :

- a. Un canal est un l'équivalent d'un pore dont la barrière serait toujours ouverte
- b. Le nombre de particules qu'un transporteur est capable de transférer d'un côté à l'autre de la membrane plasmique en une seconde est beaucoup plus petit que celui d'un canal
- c. Ce sont des changements conformationnels qui déclenchent l'ouverture d'un canal
- d. Le nombre de particules qu'un transporteur transfère d'un côté à l'autre de la membrane plasmique à chaque cycle de changements conformationnels dépend du temps pendant lequel le transporteur est ouvert
- e. C'est la présence ou l'absence d'un ligand qui détermine l'état ouvert ou fermé d'un pore ligand-dépendant.

## ***Transport de solutés et d'eau au travers de la membrane cellulaire.***

### Partie II : Transport actif primaire et secondaire

#### **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 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 3 à 6 du document en annexe. Écrivez les réponses pour chaque question, vous en aurez besoin durant la séance de travail.

4. Vrai ou faux ? Expliquez votre réponse.

- a. Les ions sodium peuvent se déplacer au travers de la membrane cellulaire via
  - a. une diffusion simple au travers de canaux ioniques
  - b. une diffusion passive au travers de la membrane cellulaire
  - c. un transport actif primaire
  - d. un transport actif secondaire
- b. En ce qui concerne le transport de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{K}^+$  :
  - i. La concentration extracellulaire en  $\text{K}^+$  peut être maintenue basse et la concentration intracellulaire en  $\text{Na}^+$  peut être maintenue haute grâce à un transport actif de  $\text{Na}^+$  et de  $\text{K}^+$ .
  - ii. La pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  est la seule qui est influée sur la concentration intracellulaire de potassium.
  - iii. La  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase est dite « électrolyte » car elle transporte 3  $\text{Na}^+$  contre 2  $\text{K}^+$ , son fonctionnement conduit donc à l'accumulation de charges positives à l'extérieur des cellules.

- iv. La pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  est le seul système pour faire sortir du sodium d'une cellule.
    - c. Dans un transport actif secondaire qui utilise le gradient de  $\text{Na}^+$  comme force motrice :
      - i. de l'ATP est consommé par les transporteurs.
      - ii. Le  $\text{Na}^+$  sera toujours déplacé vers l'intérieur de la cellule.
      - iii. Le potentiel membranaire est toujours modifié
    - d. 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 :
      - a. l'accumulation de A via diffusion de A au travers la membrane cellulaire.
      - b. la synthèse de A par la cellule, sachant que la membrane cellulaire est perméable aux molécules de A.
      - c. l'accumulation de A à travers un canal.
      - d. L'accumulation de A à l'intérieur de la cellule couplé à l'export de Sodium vers l'extérieur de la cellule.
- 5. Dans une cellule type, quels sont les transporteurs actifs impliqués dans le maintien de la concentration intracellulaire en  $\text{Cl}^-$  ?

## **Régulation de la concentration intracellulaire en ions et du volume cellulaire**

### **Rappel**

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 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.

### **Buts :**

Après ce travail autodidactique

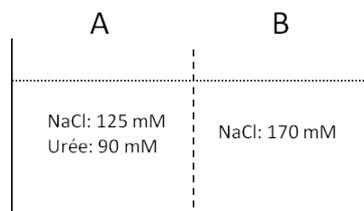
- vous savez expliquer les termes osmolarité, tonicité et les utiliser pour comparer des solutions
- vous comprenez comment se passent les mouvements de solutés et de solvant au travers d'une membrane synthétique séparant deux compartiments.
- vous savez prédire comment le volume cellulaire va évoluer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

### **Instructions**

Lisez les pages 7 à 9 du document annexé.

1. Sans calculatrice, via un calcul écrit, effectuez la division suivante :  $90,63/342$
  
2. 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 (page 10). Ensuite, réessayez en divisant 21,375 par 95. Vous 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.
  
3. Quelle est la concentration molaire d'une solution aqueuse contenant 8,1% en glucose ? (Masse molaire du glucose=180 g/mole)

4. Répondez par vrai ou faux et justifiez votre réponse: L'osmolarité effective d'une solution :
- est une valeur relative, elle dépend toujours de la membrane qui sépare les deux compartiments
  - est toujours plus grande ou égale à la molarité de cette solution
  - se calcule en additionnant les concentrations molaires de tous les constituants de la solution, en n'oubliant pas le facteur de dissociation.
5. Combien y a-t-il de gramme de  $\text{CaCl}_2$  dans 300 ml d'une solution aqueuse de  $\text{CaCl}_2$  d'osmolarité 0,6 OsM (MM  $\text{CaCl}_2$  : 110 g/mole) ?
6. Calculez l'osmolarité de la solution suivante : NaCl 0,2 M,  $\text{MgCl}_2$  8,55 g/L et urée 0,9 % (masse molaire des différentes espèces : NaCl=58,5 g/mole ;  $\text{MgCl}_2$ =95 g/mole et urée=60 g/mole)
7. Combien faut-il ajouter d'eau à 300 mL d'une solution de KI à 124,5 g/L M pour obtenir une solution à 0,25 M (MM KI : 166 g/mole)
8. Deux compartiments A et B de volume identique sont séparés par une membrane qui est imperméable aux ions, mais perméable à l'urée. Au temps zéro, une solution contenant du NaCl et de l'urée est placée en A et une solution de NaCl est placée en B



Répondez par vrai ou faux et expliquez votre réponse. :

- Au temps zéro, l'osmolarité totale de A est la même que celle de B
- Il n'y aura pas de mouvement net d'eau dans cette expérience
- A l'équilibre, la concentration en urée sera de 90 mM en A et en B
- A l'équilibre, il y aura une moins grande quantité d'urée en A qu'en B
- Au temps zéro, la solution A est isotonique par rapport à la solution B

9. Un récipient est partagé en 2 compartiments A et B par une membrane perméable aux molécules et aux ions de taille inférieure à 300 g/mole. En A, on place 0,5 litre d'une solution dont la composition est: glucose 81g/L, NaCl 0,15M et lactose 205,2g/L. En B, on place 1 litre d'une solution dont la composition est: saccharose 3,42%, urée 18 g/l et un composé X à 0,3M. Au temps zéro, le niveau de liquide est le même dans les deux compartiments. A l'équilibre, le niveau est plus élevé dans le compartiment B que dans le compartiment A.

NB : Les masses moléculaires de ces différentes substances sont: glucose: 180- saccharose: 342 - lactose: 342 - NaCl: 58,5 - urée: 60

- i. La solution B, en début d'expérience est-elle hypo-, iso- ou hypertonique par rapport à la solution A ? Justifiez.
- ii. Quelle est l'osmolarité de la solution A, en début d'expérience ?
- iii. La concentration en saccharose dans le compartiment B, à l'équilibre est (entourez la réponse correcte):
  - i. inférieure ou égale à 0,05 M
  - ii. comprise entre 0,05 et 0,1 M
  - iii. égale à 0,1 M
  - iv. supérieure à 0,1 M
- d. La concentration en saccharose dans le compartiment A, à l'équilibre, est :
  - i. égale à 0
  - ii. comprise entre 0,05M et 0,1 M
  - iii. égale à 0,1 M
  - iv. supérieure à 0,1 M
- e. La masse molaire du composé X est :
  - i. supérieure à 300 g/mole
  - ii. inférieure à 300 g/mole
  - iii. on ne peut pas le savoir
- f. A l'équilibre, quelle est la concentration en glucose dans le compartiment B ?
- g. A l'équilibre, la concentration en urée dans le compartiment B est :
- h. Le composé X est :
  - i. dissocié en minimum 2 molécules ou ions
  - ii. non dissocié
  - iii. on ne peut pas le savoir
- i. Si on plonge des hématies dans une solution identique à la solution A, elles seront : (NB : la membrane plasmique est considérée comme perméable aux molécules NON chargées de masse molaire inférieure à 100 g/mole)
  - i. hémolysées totalement
  - ii. partiellement hémolysées
  - iii. normales
  - iv. plasmolysées
- j. Si on considère que la membrane plasmique des globules rouges est perméable au composé X, quel serait l'état osmotique des globules rouges plongés dans une solution identique à la solution B :
  - i. état normal, en condition d'isotonie
  - ii. les cellules seraient en turgescence avec une hémolyse partielle
  - iii. les cellules seraient complètement hémolysées
  - iv. les cellules seraient en plasmolyse

10. Des cellules d'épiderme d'oignons sont placées entre lame et lamelle dans une solution mixte contenant 0,3 M de glycine et 0,4 M d'un composé X inconnu. Par observation avec un microscope, on peut observer une forte plasmolyse initiale, suivie d'une déplasmolyse partielle (isotonie des cellules végétales = 0,4 OsM). Si on dilue 2 fois cette solution mixte avant d'y placer le morceau d'épiderme d'oignon, on observe une plasmolyse initiale mais, à l'équilibre, les cellules ont repris leur forme initiale.

Que pouvez-vous en conclure ? (entourez la réponse correcte)

NB : le volume extracellulaire est considéré comme infiniment grand par rapport au volume interne des cellules.

- a. A propos des propriétés de perméabilité de la membrane :
- la glycine et le composé X sont tous les deux diffusibles
  - la glycine est non diffusible et le composé X est diffusible
  - la glycine est diffusible et le composé X est non diffusible
  - la glycine et le composé X sont tous les deux non diffusibles
- b. A propos de la plasmolyse initiale :
- elle se produit car de l'eau diffuse vers l'intérieur des cellules
  - elle se produit car la glycine diffuse plus rapidement que l'eau
  - elle se produit car le composé X diffuse plus lentement que l'eau
  - elle ne se produirait pas en absence du composé X
- c. L'état osmotique des cellules à l'équilibre dans la solution non diluée:
- démontre que la solution dans laquelle est plongé le morceau d'épiderme d'oignon est une solution isotonique.
  - démontre que la glycine et le composé X sont tous les deux diffusibles
  - nécessite la présence de la paroi pour se produire car en son absence, les cellules éclateraient.
  - démontre que le soluté X est dissocié en solution
- d. A propos de l'osmolarité interne des cellules végétales à l'équilibre dans la solution non diluée:
- elle est  $>0,4$  OsM et  $<0,8$  OsM puisque de l'eau est sortie de la cellule
  - elle n'a pas changé par rapport au temps initial
  - elle est égale à 0,8 OsM
  - elle est égale à 1,1 OsM
- e. En supposant que la membrane plasmique des cellules d'épiderme d'oignon possède les mêmes propriétés de perméabilité que la membrane plasmique des hématies, le composé X pourrait être :
- du saccharose
  - de l'urée
  - du NaCl ou du  $MgCl_2$
  - du NaCl
  - du saccharose ou du NaCl

# Transport de solutés et d'eau

## 1. Définition

Le **transport membranaire** est le passage d'une molécule ou d'un ion au travers d'une membrane séparant deux compartiments et dont la composition influe sur ce transport. Les membranes cellulaires ont la propriété d'être **semi-perméables**, laissant passer certains éléments, mais pas d'autres. Les gaz (CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>...) et l'eau peuvent par exemple diffuser librement au travers des biomembranes, alors que les grosses molécules polaires (acides aminés, glucose...) et les ions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>...) nécessitent un complexe de transfert membranaire. Il existe donc plusieurs types de transport membranaire. Le transport membranaire est vu dans le cadre de la membrane plasmique, mais il s'applique également à toute biomembrane composée d'une bicouche lipidique.

## 2. Transports passif et actif

Le passage d'une molécule au travers de la membrane peut se faire de deux façons différentes : sans dépense énergétique (transport passif), les substances se déplaçant naturellement pour rééquilibrer les concentrations, ou avec dépense énergétique (transport actif), contre le gradient de concentration.

### 2.1. Le transport passif

Le **transport passif** permet le passage de composés au travers de la membrane sans consommation d'énergie, selon leur gradient de concentration. Il est conditionné par la différence de concentration de part et d'autre de la membrane, mais également par la taille des molécules, ainsi que par le degré de liposolubilité de la substance (Tableau 3.1). Il existe de ce fait deux sortes de transport passif. La diffusion simple qui se fait directement au travers de la bicouche lipidique et la diffusion facilitée qui se réalise grâce à une protéine de transport. Un cas particulier de diffusion est celui de l'eau dans le cadre de l'osmose.

#### • La diffusion simple

La **diffusion simple** est la diffusion naturelle d'une molécule au travers d'une biomembrane qui lui est perméable. Le transfert se fait dans le sens des concentrations fortes vers les concentrations faibles, jusqu'à équilibre des concentrations de part et d'autre de la membrane. Ce passage n'est possible que si la molécule est soluble dans la membrane phospholipidique ou si elle est suffisamment petite (Tableau 1). Ce mécanisme est lent par rapport à la diffusion facilitée.

Molécule	Perméabilité
Gaz et molécules hydrophobes (benzène, O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> , NO...)	Elevée
Petites molécules polaires non chargées (H <sub>2</sub> O, urée, éthanol, glycérol...)	Moyenne
Grosses molécules polaires non chargées (glucose, saccharose...)	Très faible
Molécules polaires chargées (acides aminés, ATP...)	Imperméabilité
Ions minéraux (H <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> ...)	Imperméabilité

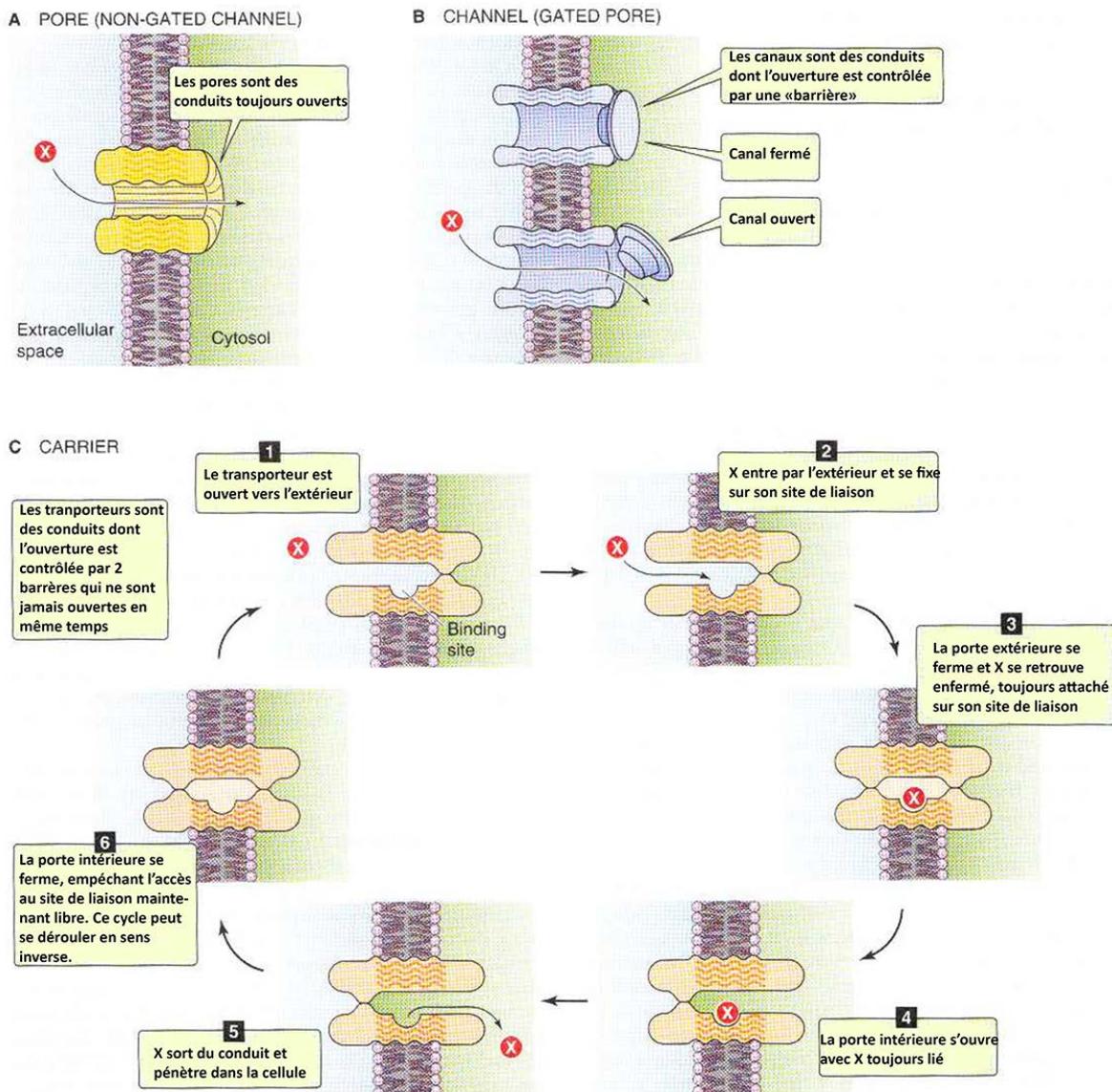
Tableau 1. Perméabilité de diverses molécules au travers de la membrane plasmique

#### • La diffusion facilitée

La pénétration de certaines substances au travers des biomembranes nécessite un processus plus complexe, appelé **diffusion facilitée**, impliquant l'intervention de constituants protéiques de la membrane qui assurent un rôle de transporteur spécifique ou **perméase**. Le moteur du transport est le gradient de concentration de part et d'autre de la membrane.

La **perméase** est une protéine (ou un complexe protéique) membranaire qui peut s'organiser en trois structures distinctes :

Les **pores**, continuellement ouverts, permettent à un nombre très élevé de particules de traverser la membrane. 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. Les aquaporines sont des exemples de pores, perméables aux molécules d'eau mais empêchant les ions de pénétrer dans la cellule. Elles sont particulièrement présentes dans les cellules impliquées dans les échanges hydriques (comme les cellules tubulaires rénales). Elles permettent le transfert d'eau par osmose.



Les **canaux** sont alternativement ouverts ou fermés, car ils sont équipés d'une barrière amovible (sorte de « bouchon » ou d' « obturateur »). Un canal est donc un pore à 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 cote clignoter à chaque fois que l'obturateur s'ouvre et se ferme. Les canaux ioniques sont des exemples de canaux, chacun possédant un filtre sélectif, qui détermine la classe d'ions (cations ou anions) ou l'ion particulier ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  ...) qui peut être transféré. Ce sont des changements conformationnels qui déterminent l'état ouvert ou fermé du canal et plusieurs types de signaux peuvent déclencher l'ouverture du canal : un changement de potentiel membranaire (canaux potentiel-dépendants), la présence de ligands (canaux ligand-

dépendants) comme les neurotransmetteurs... Chaque fois que le canal s'ouvre, il constitue une voie continue entre les deux côtés de la membrane, permettant aux ions de traverser passivement par diffusion (en grande quantité), jusqu'à ce que le canal se ferme à nouveau. 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 fixe.

Les **transporteurs** n'offrent jamais un passage transmembranaire continu parce qu'ils sont équipés d'au moins deux barrières qui ne sont jamais ouvertes en même temps. Entre les deux 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. 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 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, comme le glucose ou les acides aminés. Le passage d'un côté à l'autre de la membrane se fait grâce à un cycle complexe de changements conformationnels. Les sites de liaison du transporteur pour le substrat étant limités, seul un petit nombre bien déterminé de particules est déplacé par le transporteur à chaque cycle.

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

Tableau 2 : Comparaison des propriétés des Pores, Canaux et Transporteurs

## 2.2. Le transport actif

Le **transport actif** s'effectue contre le gradient de concentration de l'élément transporté et se déroule aussi grâce à l'intervention d'une perméase, processus consommateur d'énergie. On distingue deux types de transport actif.

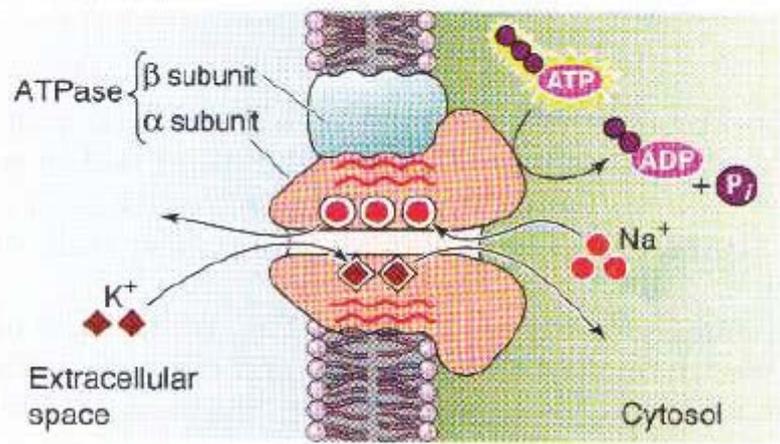
Le **transport actif primaire**, où la source d'énergie est l'hydrolyse d'une molécule riche en énergie, comme l'ATP. La perméase est alors une enzyme de type ATPase, souvent appelée « pompe ». L'exemple type de transport actif primaire est la **pompe Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>**. A chaque cycle de transfert, la pompe couple l'export de trois ions Na<sup>+</sup> et l'import de deux ions K<sup>+</sup> avec l'hydrolyse d'une molécule d'ATP.

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<sup>+</sup> entrant dans la cellule et du K<sup>+</sup> sortant de la cellule. Et, effectivement, sous certaines conditions expérimentales extrêmes, on peut forcer la pompe Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> et 2 K<sup>+</sup> à l'encontre de leur gradient électrochimique respectif que la pompe permet un échange actif net des ions dans la direction désirée.

Ce transport permet de maintenir une faible concentration en  $\text{Na}^+$  et une forte concentration en  $\text{K}^+$  à l'intérieur des cellules, comparé au fluide extracellulaire. Dans la plupart des cellules épithéliales, la présence de la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  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  $\text{Na}^+$  et l'import de 2  $\text{K}^+$ , la stœchiométrie de la pompe n'est pas de 1:1, et chaque cycle de fonctionnement de la pompe est associé à l'extrusion d'une charge positive en dehors de la cellule. Donc la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  est électrogène.

A Na-K PUMP



Le **transport actif secondaire**, où la source d'énergie est fournie par la dissipation d'un gradient électrochimique d'un ou plusieurs autres solutés. Il existe donc un couplage entre un transport contre le gradient de concentration d'un soluté et le déplacement d'un ou de plusieurs autre(s) soluté(s) dans le sens de leur gradient de concentration.

Dans la plupart des cas, c'est le gradient électrochimique en  $\text{Na}^+$  (dirigé vers l'intérieur de la cellule, la concentration en  $\text{Na}^+$  étant plus élevée à l'extérieur qu'à l'intérieur), qui est utilisé pour le transport actif secondaire. Ce gradient est lui-même maintenu grâce à un transporteur actif primaire (la pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ). Il existe deux classes majeures de transports actifs secondaires : le symport et l'antiport

#### a. 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**.

Il existe toute une série de cotransporteurs (fig. 3):

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

**Le cotransporteur  $\text{Na}^+/\text{Glucose}$ :** Le cotransporteur  $\text{Na}^+/\text{glucose}$  (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  $\text{Na}^+$  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.

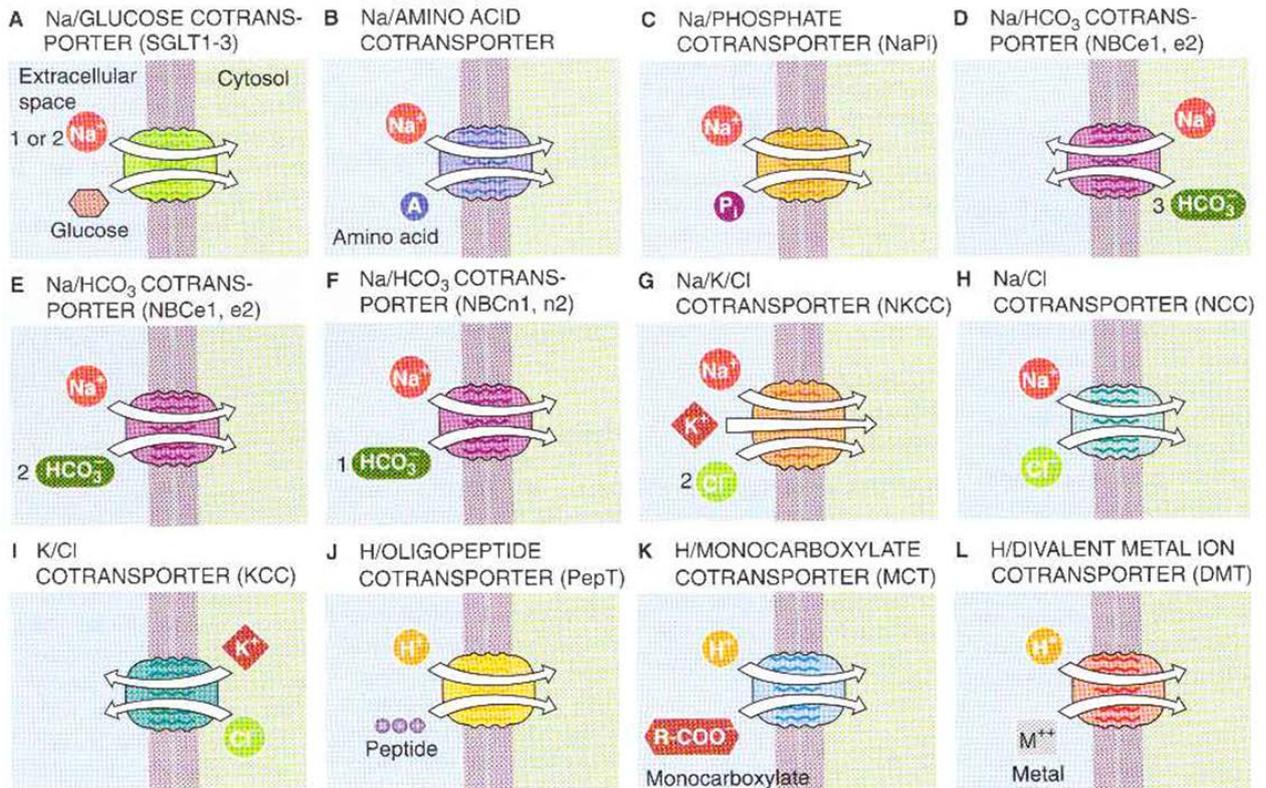


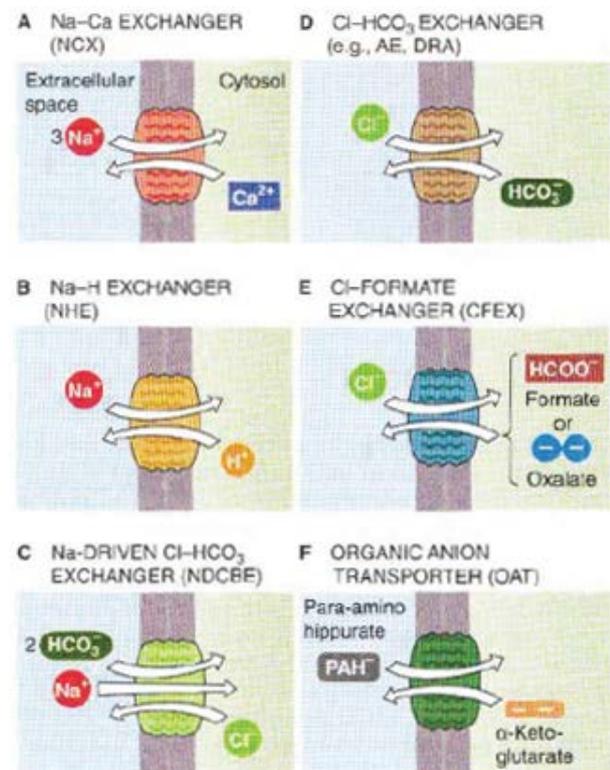
Figure 3. cotransporteurs représentatifs

### b. 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  $\text{Na}^+$  contre un  $\text{Ca}^{++}$  (Fig.4). Cet échangeur est électrogène et accumule des charges positives du côté de la membrane où le  $\text{Na}^+$  est déplacé. Dans la plupart des circonstances, le gradient électrochimique de  $\text{Na}^+$  dirigé vers l'intérieur de la cellule permet l'expulsion de  $\text{Ca}^{++}$  à l'extérieur des cellules. Donc, de concert avec la pompe à  $\text{Ca}^{++}$  présente dans la membrane plasmique, ce système de transport permet de maintenir une forte différence de concentration en  $\text{Ca}^{++}$  qui est d'ordinaire présente entre les deux côtés de la membrane plasmique de toutes les cellules.
- L'échangeur  $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ ;
- L'échangeur  $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$  propulsé au  $\text{Na}^+$ ;
- L'échangeur  $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ ;



### 3. Régulation de la concentration cellulaire en ions

La figure ci-dessous 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 dendrite ou corps cellulaire pour les neurones).

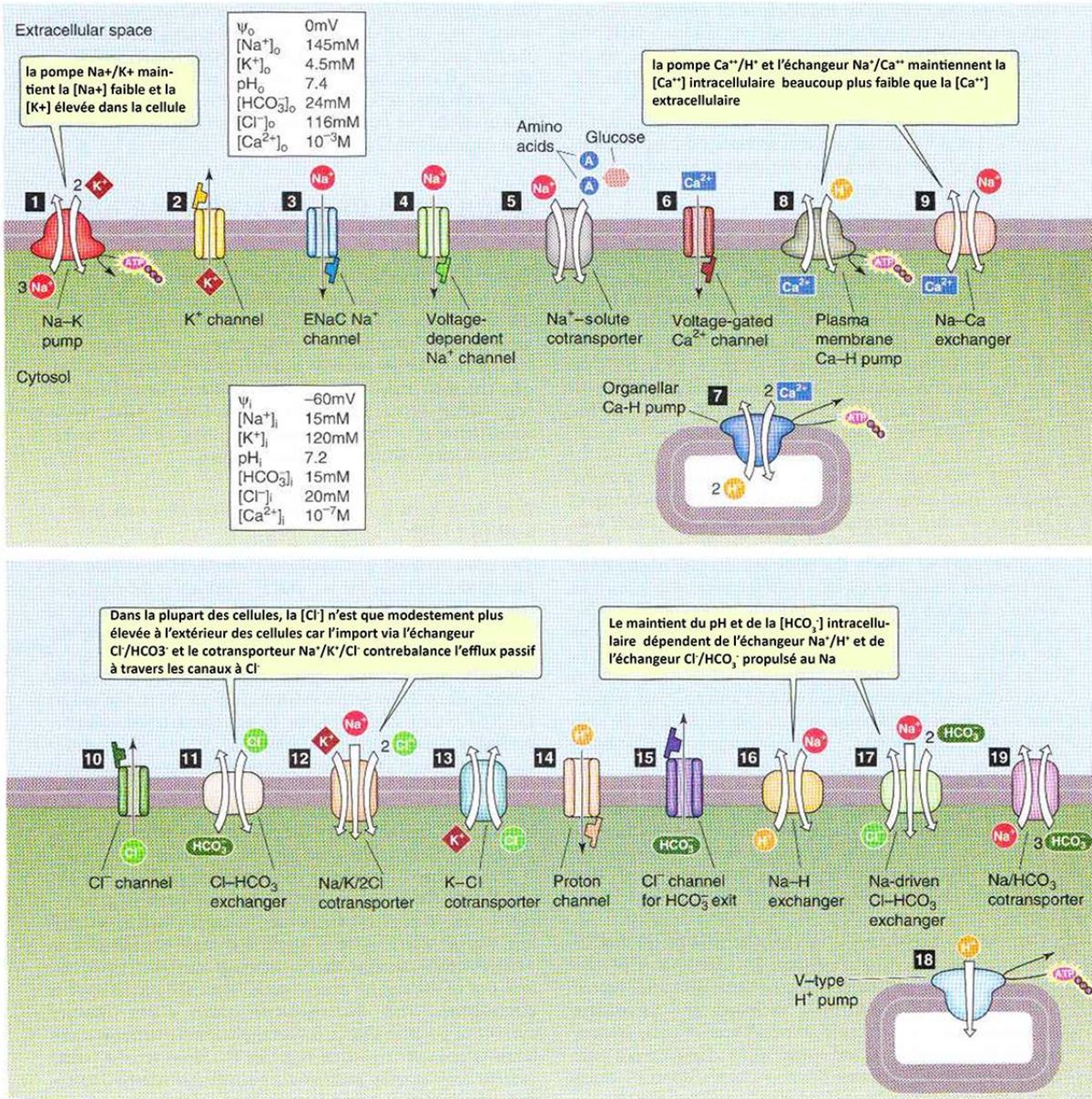


Figure 6: Gradients ioniques, canaux et transporteurs dans une cellule typique.

## 4. L'osmose et la régulation du volume cellulaire

Les cellules du corps sont maintenues dans un environnement liquide finement contrôlé. Pour se maintenir en vie, le corps doit réguler de façon rigoureuse le volume et la composition des compartiments intra- et extracellulaires.

Comme on l'a vu ci-dessous, la membrane plasmique est perméable à un certain nombre de solutés présents et imperméable à d'autres.

Selon le **principe universel de la diffusion**, si un soluté est capable de franchir une membrane (qu'elle soit physique ou biologique), il équilibrera ses concentrations de part et d'autre de la membrane. A l'équilibre, la concentration en ce soluté sera donc identique des deux côtés de la membrane. Notons que chaque soluté équilibrera sa concentration, indépendamment de la présence d'autres solutés et que le déplacement d'un soluté n'entraîne aucune variation de volume des compartiments considérés.

Un phénomène de diffusion du solvant, appelé **OSMOSE** peut, lui, se produire lorsqu'on a en présence un ou des soluté(s) non diffusible(s) (la membrane est imperméable à ce soluté) et que la concentration totale en solutés non diffusibles est différente des deux côtés de la membrane. Avant d'aller plus loin, quelques 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  $\text{dm}^3$  et ses sous-unités le millilitre (mL ou  $10^{-3}$  L) et le microlitre ( $\mu\text{L}$  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  $\text{mol.L}^{-1}$  : de solution (on dit aussi **molaire**). C'est ce qu'on appelle la concentration molaire ou **molarité**. Exemple : 0,3 M ou  $0,3 \text{ mol.L}^{-1}$ .

**g/L :** ou  $\text{g.L}^{-1}$ , 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.

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

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

L'**osmolarité**, représentant le nombre de particules libres (molécules ou ions) par unité de volume, tient compte de la dissociation de certaines espèces chimiques lorsqu'elles sont en solution. Elle s'exprime toujours en Osmolaire (OsM)

Les sels, par exemple, sont toujours dissociés en solution, si bien qu'une solution 1 M en NaCl contiendra 1 M de Na<sup>+</sup> et 1 M de Cl<sup>-</sup>, 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.

L'osmolarité d'une solution mixte correspond à la somme des molarités des espèces en présence.

Lorsqu'on joue avec des récipients divisés en deux compartiments par une membrane semi-perméable, 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 :

$$C1 \times V1 = C2 \times V2$$

L'osmose se produira lorsque l'osmolarité en solutés osmotiquement actifs est différente dans les deux compartiments. Il convient donc de distinguer l'**osmolarité totale** d'une solution (la somme des osmolarités de toutes les espèces en présence) de l'**osmolarité effective** qui ne tient en compte que les solutés non diffusibles. Le compartiment possédant la plus forte osmolarité effective est appelé le compartiment **hypertonique**, celui qui contient la plus faible osmolarité effective 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** (= caractère hypo-, iso- ou hypertonique) 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.

La **pression osmotique** d'une solution correspond à la pression qu'il faudrait exercer pour empêcher le passage du solvant vers la solution hypertonique.

**Le gradient de tonicité –ou d'osmolarité effective- détermine le flux osmotique d'eau à travers une membrane et donc, dans le cas particulier des cellules, va influencer sur le VOLUME cellulaire.**

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. Les biomembranes ne sont pas toutes perméables à l'eau. La perméabilité peut d'ailleurs varier selon les conditions physiologiques dans lesquelles se trouve une membrane. La perméabilité à l'eau des cellules épithéliales de la vessie est, par exemple, différente en présence ou en absence d'hormone antidiurétique. Sous l'effet de cette hormone, des protéines intrinsèques de la membrane se regroupent et forment les aquaporines qui permettent la sortie des molécules d'eau.

La totalité de l'eau présente dans le corps est répartie entre le plasma sanguin, le liquide interstitiel, le liquide intracellulaire et les fluides transcellulaires (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. Dans le corps humain, les deux solutés majeurs qui contribuent à la tonicité du liquide extracellulaire sont le Na<sup>+</sup> et le glucose. Dans certaines situations cliniques, l'injection de solutés non diffusibles, tels que les agents de contrastes pour les radiographies ou du mannitol, peuvent aussi contribuer à la tonicité du fluide extracellulaire.

**L'osmolarité effective 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 effective inférieure à 0,3 OsM sont hypotoniques. 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 l'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. 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'est-à-dire une plasmolyse, l'eau sort des cellules. Cependant, au fur et à mesure que l'urée équilibre progressivement sa concentration de part et d'autre de la membrane, l'eau ré-entre 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 solutés non diffusibles sont osmotiquement actifs**.

Les déplacements d'eau entre les compartiments intra- et extracellulaires stables dans le temps résultent donc 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  $\text{Na}^+$  (hyponatrémie), une augmentation de la concentration en  $\text{Na}^+$  (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 modifient 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 qui vont gonfler. Ce phénomène s'appelle la **turgescence**.

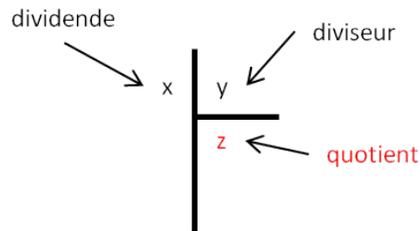
Dans le cas des **cellules animales**, aucune autre pression n'entre en jeu, l'entrée d'eau s'arrêtera lorsque les milieux intra et extracellulaires deviennent isotoniques. Cela entraîne qu'elle peut mener à la lyse cellulaire.

Chez les **cellules végétales et les bactéries**, la membrane plasmique est entourée d'une paroi rigide 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 extracellulaires. 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.

Dans les **systèmes artificiels** avec des récipients divisés en compartiments par une membrane semi-perméable, le transport de l'eau est également régulé par les différences de pressions osmotiques et hydrostatiques de part et d'autre des membranes. La quantité d'eau qui passe d'un compartiment à l'autre est donc impossible à calculer, ce qui explique pourquoi on ne peut connaître avec précision la concentration, à l'équilibre, des solutés non diffusibles.

## 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:

$$\begin{array}{r} 138 \\ - 12 \\ \hline 18 \\ - 18 \\ \hline 0 \end{array} \quad \begin{array}{r} 3 \\ \hline 046 \end{array}$$

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  $4 \times 3$  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  $6 \times 3$  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)

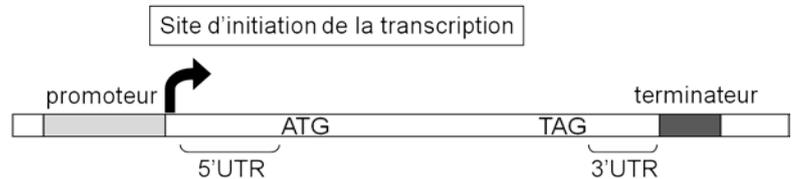
#### Matière à préparer avant la séance :

- Livre : chapitres 4 et 5, pages 94-148.
- Syllabus d'illustrations : chapitres 4 et 5, pages 39-61.

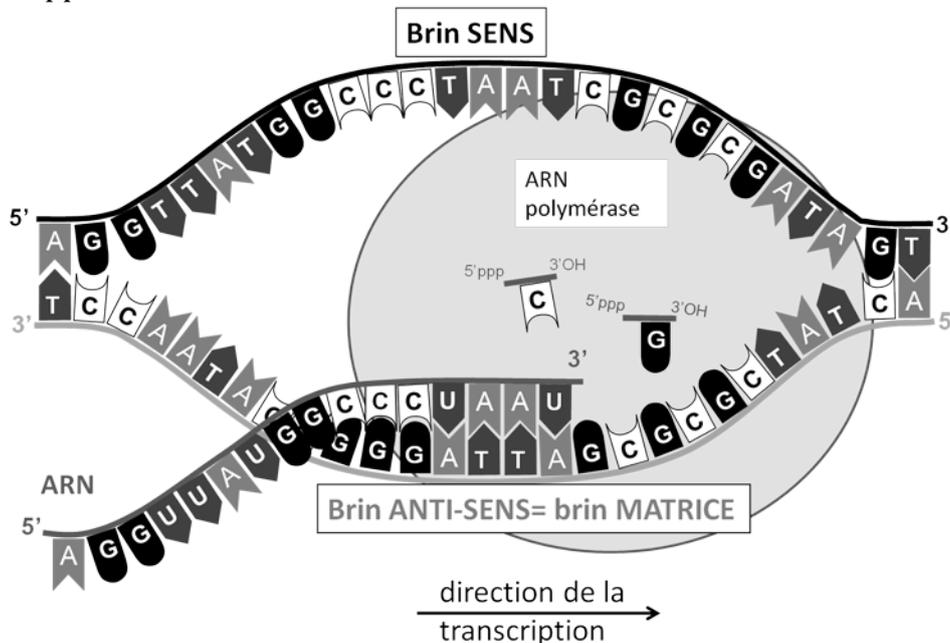
#### Rappel théorique pour cette séance :

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.

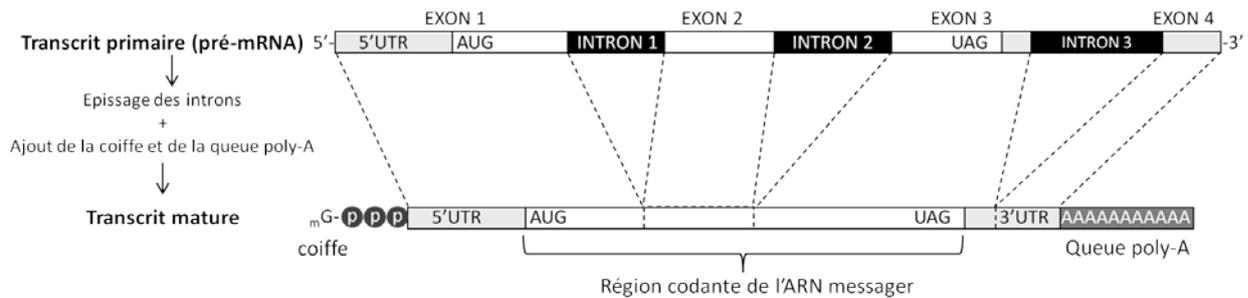
Un gène est une séquence d'ADN qui, par une étape de **transcription**, donnera naissance à une séquence d'ARN. Il y a plusieurs classes de transcrits parmi lesquels, ARN ribosomiques, ARN de transfert et ARN messagers.



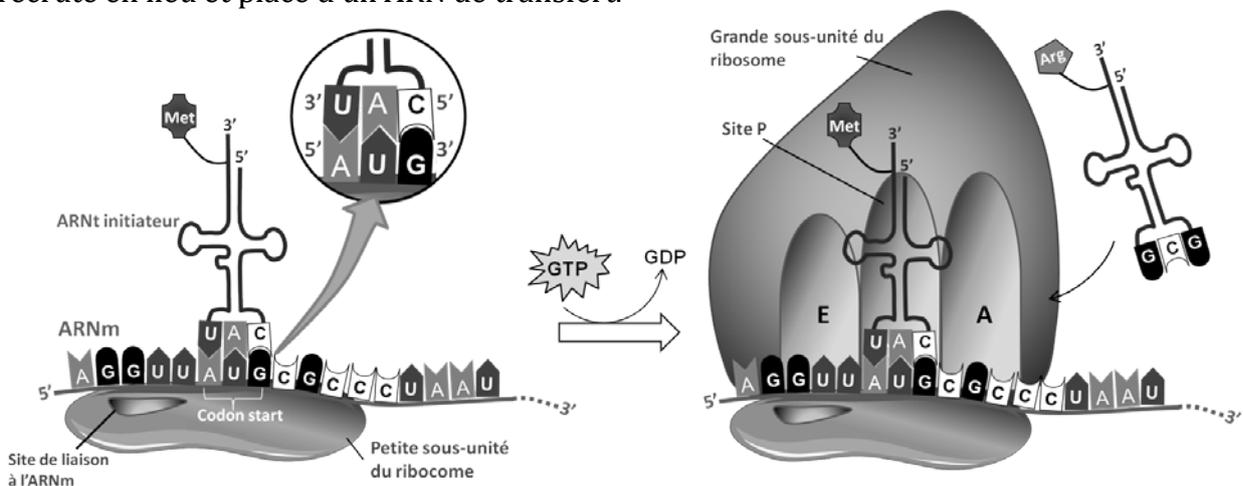
La transcription est réalisée par une **ARN polymérase** qui se fixe sur le promoteur et débute la transcription au niveau du **site d'initiation de la transcription**. L'ARN polymérase se fixe sur un des deux brins d'ADN qui est appelé le **brin matrice** et se déplace sur ce brin de 3' vers 5'. Elle 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. À 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', une 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. À 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 :**

La séquence d'ADN ci-dessous est celle du brin anti-sens ou brin matrice d'un gène codant un peptide. Les 5 questions suivantes concernent cette séquence.

**5'-A T G T C A C T C A C T C G G C G A G G C A G T C A A T C A T A A T C -3'**

- a) Quelle est la séquence du cadre de lecture de l'ARNm ?
  
- b) Quelle est la séquence d'acides aminés de ce peptide?
  
- c) La structure tertiaire de ce peptide peut-elle dépendre d'un pont disulfure ? Pourquoi ?
  
- d) A pH 7, ce peptide sera-t-il chargé positivement, négativement ou neutre ? Pourquoi ?
  
- e) Un mutant a subi la délétion du nucléotide encadré dans la séquence de brin matrice. Quelles sont les conséquences de cette délétion ?

**Horaire pour les différentes sections : Semaine 5**

Lundi 17/10	15h45-17h45	Bio A	S.05 (B7a) 3.70 (B6c)	<b>Groupe 1</b> <b>Groupe 2</b>
Mardi 18/10	15h45-17h45	Chim	R.22 (B6d) R.24 (B6d)	<b>Groupe 5</b> <b>Groupe 6</b>
Jeudi 20/10	15h45-17h45	Phys	S.01 (B7a) S.02 (B7a) S.03 (B7a)	<b>Groupe 8</b> <b>Groupe 9</b> <b>Groupe 10</b>
Vendredi 21/10	15h45-17h45	Bio B	R.24 (B6d) R.26 (B6d)	<b>Groupe 3</b> <b>Groupe 4</b>

## 4. Énergétique cellulaire 1 : la respiration cellulaire

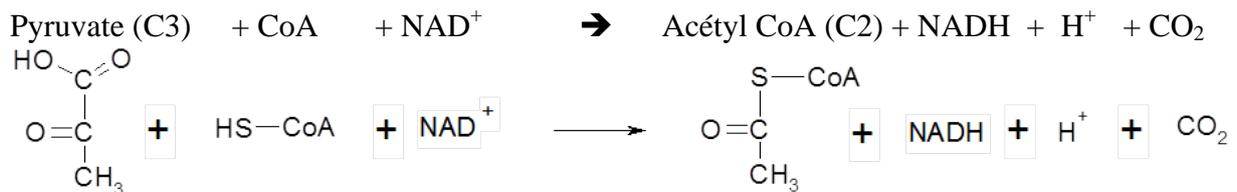
Responsable : Philippe Compère ([pcompere@ulg.ac.be](mailto:pcompere@ulg.ac.be))

### 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 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-dessous et situez- la précisément dans la cellule (et sur votre schéma ci-dessus).



b. S'agit-il d'une réaction de (entourez la(les) réponse(s) correcte(s)) et justifiez vos réponses:

*Décarboxylation – déshydrogénation – sulfoxydation – condensation – ionisation – isomérisation – oxydoréduction – déshydratation – clivage – acide/base*

c. D'où proviennent le pyruvate, l'acétyl CoA et que devient le NADH ?

d. Y voyez-vous un transfert d'électron ? Si oui, entourez les atomes (ou molécules) concernés.

e. D'où vient le CO<sub>2</sub> ?

### Horaire pour les différentes sections : Semaine 6

Mardi 25/10	13h30-15h30	Bio B	R.24 (B6d)	<b>Groupe 3</b>
			R.26 (B6d)	<b>Groupe 4</b>
	15h45-17h45	Phys	S.01 (B7a)	<b>Groupe 8</b>
			S.02 (B7a)	<b>Groupe 9</b>
Jeudi 27/10	10h30-12h30	Bio A	S.03 (B7a)	<b>Groupe 10</b>
			R.46 (B6a)	<b>Groupe 1</b>
			2.71 (B6c)	<b>Groupe 2</b>
Vendredi 28/10	15h45-17h45	Chim	R.22 (B6d)	<b>Groupe 5</b>
			R.24 (B6d)	<b>Groupe 6</b>

## 5. Énergétique cellulaire 2 : la photosynthèse

Responsable : *Alain Hambuckers* ([Alain.Hambuckers@ulg.ac.be](mailto: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 :

a) 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*

b) Indiquer sur votre schéma où se réalisent les réactions suivantes :

*capture de photons, photolyse de l'eau, synthèse d'ATP, synthèse de glucose, pompage de protons, synthèse de NADPH*

### Horaire pour les différentes sections : Semaines 7-8

Jeudi 03/11	08h15-10h15	Chim	R.22 (B6d)	<b>Groupe 5</b>
			R.24 (B6d)	<b>Groupe 6</b>
	13h30-15h30	Bio A	S.02 (B7a)	<b>Groupe 1</b>
			3.70 (B6c)	<b>Groupe 2</b>
	15h45-17h45	Phys	S.01 (B7a)	<b>Groupe 8</b>
			S.02 (B7a)	<b>Groupe 9</b>
			S.03 (B7a)	<b>Groupe 10</b>
Lundi 07/11	15h45-17h45	Bio B	R.24 (B6d)	<b>Groupe 3</b>
			R.26 (B6d)	<b>Groupe 4</b>

## 6. Division cellulaire et Reproduction

Responsable : *Véronique Goosse* ([V.Goosse@ulg.ac.be](mailto: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

4. Combien de spermatozoïdes de composition chromosomique différente obtient-on au terme de cette méiose?

### Horaire pour les différentes sections : Semaines 9-10

Mercredi 16/11	13h30-15h30	Bio A	S.05 (B7a) 3.70 (B6c)	<b>Groupe 1</b> <b>Groupe 2</b>
Lundi 21/11	15h15-17h15	Chim	R.22 (B6d) R.24 (B6d)	<b>Groupe 5</b> <b>Groupe 6</b>
Mardi 22/11	10h30-12h30	Phys	R.22 (B6d) R.26 (B6d) R.24 (B6d)	<b>Groupe 8</b> <b>Groupe 9</b> <b>Groupe 10</b>
Mercredi 23/11	13h30-15h30	Bio B	R.24 (B6d) R.26 (B6d)	<b>Groupe 3</b> <b>Groupe 4</b>

## 7. Vue intégrative de la cellule

Responsable : *Pierre Rigo* ([pierre.rigo@ulg.ac.be](mailto: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 jeu dans les deux processus et relevez celles en commun.*

### Horaire pour les différentes sections : Semaine 11

Mardi 29/11	13h30-15h30	Bio B	R.24 (B6d)	<b>Groupe 3</b>
			R.26 (B6d)	<b>Groupe 4</b>
	15h45-17h45	Phys	S.01 (B7a)	<b>Groupe 8</b>
			S.02 (B7a)	<b>Groupe 9</b>
Mercredi 30/11	10h30-12h30	Bio A	S.03 (B7a)	<b>Groupe 10</b>
			S.05 (B7a)	<b>Groupe 1</b>
			3.70 (B6c)	<b>Groupe 2</b>
Jeudi 01/12	15h45-17h45	Chim	S.01 (B7a)	<b>Groupe 5</b>
			S.03 (B7a)	<b>Groupe 6</b>

## 8. Thème au choix

Responsable : *Pierre Rigo* ([pierre.rigo@ulg.ac.be](mailto: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<sup>ème</sup> 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 posent le plus souvent problème. Les étudiants qui désirent participer à cette séance devront **choisir un thème** particulier (un seul) parmi les trois suivants :

- Thème 1 : Perméabilité membranaire et osmose
- Thème 2 : Réplication/Transcription/Traduction
- Thème 3 : Énergétique cellulaire (Mitochondries et Chloroplastes)

Ce choix doit nous parvenir au plus tard pour le **lundi 23 novembre** (deux semaines avant la séance 8). La bonne réception du choix du thème fera office d'**inscription** à la séance.

En fonction du thème choisi, les groupes seront **remaniés** afin que les étudiants ayant choisi un même thème soient dans la même salle. La répartition des nouveaux groupes (de A à I) vous sera communiquée la semaine avant la séance 8.

**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

Lundi 12/12	15h45-17h45	Chim	R.22 (B6d)	Thème 1 <b>Groupe A</b>
			R.24 (B6d)	Thème 2 <b>Groupe B</b>
			R.26 (B6d)	Thème 3 <b>Groupe C</b>
Mardi 13/12	13h30-15h30	Phys	S.04 (B7a)	Thème 1 <b>Groupe D</b>
			S.02 (B7a)	Thème 2 <b>Groupe E</b>
			S.03 (B7a)	Thème 3 <b>Groupe F</b>
	15h45-17h45	Bio		Thème 1 <b>Groupe G</b>
				Thème 2 <b>Groupe H</b>
				Thème 3 <b>Groupe I</b>