

La cellule, unité du vivant

COURS • S01 • PREMIÈRE

Spécialité de première, programme officiel. Cours original rédigé avec une IA. Le cours de ton enseignant fait foi.

Sommaire du cours

Ce que tu dois savoir faire	1
Cours	1
Exemples résolus	9
Méthodes et pièges	11
Vers le PASS	11
Exercices	11
Corrigés	13

Ce que tu dois savoir faire

- Énoncer la théorie cellulaire et justifier que la cellule est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant.
- Situer les objets biologiques sur une échelle de tailles, du nanomètre au millimètre, et convertir les unités (mm, μm , nm).
- Calculer la taille réelle d'un objet à partir d'une image, d'un grossissement ou d'une barre d'échelle.
- Choisir le microscope adapté (optique, électronique à transmission, électronique à balayage) en raisonnant sur le pouvoir de résolution.
- Comparer une cellule procaryote et une cellule eucaryote, puis une cellule animale et une cellule végétale.
- Identifier les principaux organites sur une électronographie et relier chacun à sa fonction.
- Décrire la membrane plasmique selon le modèle de la mosaïque fluide et exploiter les expériences qui le fondent.
- Distinguer diffusion simple, osmose, diffusion facilitée, transport actif, endocytose et exocytose.
- Prévoir le comportement d'une cellule placée dans un milieu hypotonique, isotonique ou hypertonique.

Cours

1. La théorie cellulaire

Au XVIII^e siècle, Robert Hooke observe au microscope des fines tranches de liège et nomme « cellules » les petites logettes qu'il y voit ; Antoni van Leeuwenhoek décrit les premiers êtres unicellulaires. Il faut attendre le XIX^e siècle pour que ces observations soient généralisées. Matthias Schleiden (pour les végétaux, 1838) et Theodor Schwann (pour les animaux, 1839) proposent que tous les êtres vivants sont formés de cellules. Rudolf Virchow complète en 1855 : toute cellule provient d'une cellule préexistante (« omnis cellula e cellula »).

La **théorie cellulaire** s'énonce aujourd'hui en trois points :

- tout être vivant est constitué d'une ou de plusieurs cellules ;
- la **cellule** est l'unité structurale et fonctionnelle du vivant : c'est la plus petite entité capable de réaliser toutes les fonctions du vivant (nutrition, croissance, reproduction, réponse au milieu) ;
- toute cellule naît de la division d'une cellule préexistante.

On distingue les **organismes unicellulaires** (bactéries, levures, paramécies) et les **organismes pluricellulaires** (végétaux, animaux, la plupart des champignons), dans lesquels les cellules se spécialisent et s'organisent en tissus, organes et appareils. Un être humain adulte compte de l'ordre de 3×10^{13} cellules, appartenant à plus de 200 types différents, toutes issues d'une cellule unique, la cellule-œuf.

Malgré leur diversité, toutes les cellules partagent des caractères communs, ce qui témoigne d'une origine commune : une membrane plasmique qui les délimite, un cytoplasme (milieu aqueux, le **cytosol**, où se déroulent de nombreuses réactions), un matériel génétique sous forme d'ADN, des ribosomes qui fabriquent les protéines, et un métabolisme qui utilise l'ATP comme intermédiaire énergétique.

Les **virus** ne sont pas des cellules : ils n'ont ni métabolisme propre ni ribosomes et ne se multiplient qu'à l'intérieur d'une cellule hôte. Ils ne contredisent donc pas la théorie cellulaire.

2. Les échelles du vivant

Les objets étudiés en biologie cellulaire sont très petits. On utilise :

- le **millimètre** : $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$;
- le **micromètre** : $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 10^{-3} \text{ mm}$;
- le **nanomètre** : $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-3} \mu\text{m}$.

Pour passer d'une unité à l'unité mille fois plus petite, on multiplie par 1 000 : $1 \text{ mm} = 1\,000 \mu\text{m}$ et $1 \mu\text{m} = 1\,000 \text{ nm}$.

Objet	Ordre de grandeur
Atome	0,1 nm
Diamètre de la double hélice d'ADN	2 nm
Épaisseur de la membrane plasmique	7 à 8 nm
Ribosome	20 à 30 nm
Virus	20 à 300 nm
Bactérie	1 à 5 μm
Mitochondrie	1 à 2 μm de long
Chloroplaste	5 à 10 μm

Objet	Ordre de grandeur
Noyau	5 à 10 μm
Cellule animale	10 à 30 μm
Cellule végétale	20 à 100 μm
Ovocyte humain	environ 120 μm

L'œil humain ne distingue pas deux points séparés de moins de 0,1 à 0,2 mm environ : presque toutes les cellules sont donc invisibles à l'œil nu, d'où le rôle central de la microscopie.

Calcul de la taille réelle. Sur une image, le **grossissement** G est le rapport entre la taille sur l'image et la taille réelle :

$G = \text{taille sur l'image} / \text{taille réelle}$, donc $\text{taille réelle} = \text{taille sur l'image} / G$.

Quand l'image porte une **barre d'échelle** (un segment correspondant à une longueur réelle connue), on mesure la barre et l'objet, puis on utilise la proportionnalité :

$\text{taille réelle de l'objet} = (\text{longueur mesurée de l'objet} / \text{longueur mesurée de la barre}) \times \text{valeur de la barre}$.

Pour un calcul juste, il faut exprimer les deux longueurs mesurées dans la même unité, puis convertir le résultat dans l'unité la plus adaptée (μm pour une cellule, nm pour une membrane).

3. Observer les cellules : les microscopes

Le **pouvoir de résolution** (ou limite de résolution) d'un instrument est la plus petite distance séparant deux points que l'instrument permet de voir distincts. Plus elle est petite, plus l'instrument révèle de détails. Le grossissement seul ne suffit pas : agrandir une image floue ne crée pas de détails nouveaux.

- Le **microscope optique** utilise la lumière visible. Sa limite de résolution est d'environ 0,2 μm , imposée par la longueur d'onde de la lumière. Son grossissement utile atteint environ 1 000 à 1 500. Il permet d'observer des cellules vivantes ou fixées, leur noyau, la paroi végétale, les chloroplastes, la vacuole. Les préparations sont fines et souvent colorées (bleu de méthylène, rouge neutre, eau iodée, vert de méthyle acétique pour le noyau).
- Le **microscope électronique à transmission (MET)** utilise un faisceau d'électrons qui traverse une coupe ultrafine (de l'ordre de 50 à 100 nm d'épaisseur) d'un échantillon fixé et contrasté par des métaux lourds. Sa limite de résolution est de l'ordre du nanomètre (inférieure à 1 nm dans les meilleures conditions). Il révèle l'**ultrastructure** de la cellule : membranes, organites, ribosomes. L'image obtenue s'appelle une **électronographie**. On n'y observe que des cellules mortes.
- Le **microscope électronique à balayage (MEB)** balaie la surface d'un échantillon recouvert d'une fine couche métallique. Il donne une image en relief de la surface (forme des cellules, cils, microvillosités), avec une résolution de l'ordre de quelques nanomètres.

La **microscopie à fluorescence**, variante de la microscopie optique, permet de localiser une molécule précise grâce à un marqueur fluorescent (par exemple un anticorps couplé à un fluorochrome). Elle est à la base de l'expérience de Frye et Edidin (partie 6).

Le choix de l'instrument se fait sur la limite de résolution : un objet plus petit que $0,2 \mu\text{m}$ (ribosome, membrane, virus) ne peut être résolu qu'au microscope électronique.

4. Cellules procaryotes et cellules eucaryotes

Les êtres vivants se répartissent en deux grands types cellulaires selon la présence ou l'absence d'un noyau.

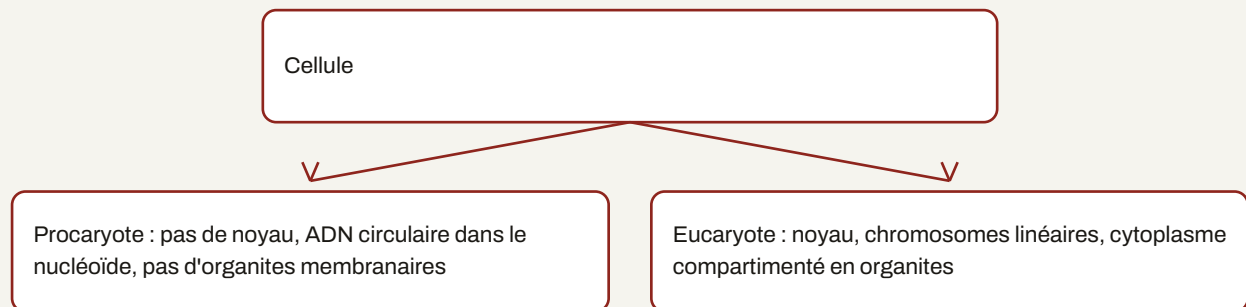
Une **cellule procaryote** (bactéries et archées) ne possède pas de noyau : son ADN, en général un **chromosome circulaire** unique, se trouve directement dans le cytoplasme, dans une zone appelée **nucléoïde**. Elle contient souvent de petites molécules d'ADN circulaire supplémentaires, les **plasmides**. Elle ne possède pas d'organites délimités par une membrane. On y trouve une membrane plasmique, une **paroi** (formée de peptidoglycane chez la plupart des bactéries), des ribosomes plus petits que ceux des eucaryotes, et parfois un flagelle, des pili ou une capsule. Sa taille est de 1 à $5 \mu\text{m}$.

Une **cellule eucaryote** (animaux, végétaux, champignons, protistes) possède un **noyau** limité par une enveloppe nucléaire, qui contient l'ADN associé à des protéines sous forme de plusieurs chromosomes linéaires. Son cytoplasme est **compartimenté** par des membranes internes qui délimitent des organites. Elle possède un cytosquelette développé. Sa taille est en général de 10 à $100 \mu\text{m}$, soit un volume de l'ordre de mille fois celui d'une bactérie.

Caractère	Procaryote	Eucaryote
Noyau	absent (nucléoïde)	présent, enveloppe nucléaire
ADN	chromosome circulaire unique, plasmides	plusieurs chromosomes linéaires associés à des protéines
Organites membranaires	absents	présents (mitochondries, RE, Golgi...)
Ribosomes	présents, plus petits	présents, plus grands
Paroi	présente (peptidoglycane chez les bactéries)	présente chez les végétaux (cellulose) et les champignons (chitine), absente chez les animaux
Taille	1 à $5 \mu\text{m}$	10 à $100 \mu\text{m}$

Cellule animale et cellule végétale. Toutes deux sont eucaryotes. La cellule végétale chlorophyllienne possède en plus une **paroi** pectocellulosique rigide, des **chloroplastes** et une grande **vacuole** qui peut occuper jusqu'à 90% du volume cellulaire. La cellule animale ne possède ni paroi, ni chloroplaste, ni grande vacuole, mais contient un **centrosome** qui organise le cytosquelette.

Deux plans d'organisation cellulaire



Deux branches distinctes • ce schéma ne relie pas les deux issues entre elles

5. Les organites de la cellule eucaryote

Un **organite** est un compartiment intracellulaire spécialisé, le plus souvent délimité par une ou deux membranes. La compartimentation permet de réaliser simultanément, dans des milieux différents, des réactions incompatibles entre elles.

- Le **noyau** contient l'ADN. Il est limité par une **enveloppe nucléaire** formée de deux membranes et percée de **pores nucléaires** qui permettent les échanges avec le cytoplasme (sortie des ARN, entrée des protéines nucléaires). On y distingue la chromatine et un ou plusieurs **nucléoles**, lieux de fabrication des ribosomes.
- Le **réticulum endoplasmique (RE)** est un réseau de sacs et de tubules membranaires en continuité avec l'enveloppe nucléaire. Le **RE rugueux** (ou granuleux) porte des ribosomes sur sa face cytosolique : il synthétise les protéines destinées à la membrane ou à la sécrétion. Le **RE lisse**, sans ribosomes, intervient dans la synthèse des lipides.
- L'**appareil de Golgi** est un empilement de saccules aplatis (les dictyosomes chez les végétaux). Il reçoit les protéines du RE, les modifie (par exemple par ajout de glucides), les trie et les expédie dans des **vésicules** vers la membrane plasmique ou vers d'autres compartiments.
- Les **lysosomes** sont des vésicules contenant des enzymes de digestion qui dégradent les molécules et les éléments cellulaires usés.
- Les **mitochondries** sont limitées par deux membranes, la membrane interne formant des replis, les **crêtes mitochondriales**. Elles sont le siège de la **respiration cellulaire**, qui produit l'essentiel de l'ATP à partir de molécules organiques et de dioxygène. Elles sont présentes dans presque toutes les cellules eucaryotes, végétales comprises.
- Les **chloroplastes**, propres aux cellules chlorophylliennes, sont limités par deux membranes et contiennent des sacs aplatis, les **thylakoïdes**, qui portent la chlorophylle. Ils sont le siège de la **photosynthèse**.
- Le **cytosquelette** est un réseau de filaments protéiques (microfilaments d'actine, microtubules, filaments intermédiaires) qui donne sa forme à la cellule, permet les mouvements et le transport intracellulaire, et forme le fuseau lors de la division.

Les mitochondries et les chloroplastes possèdent leur propre ADN, circulaire, et leurs propres ribosomes, de type procaryote. Ces caractères sont expliqués par la **théorie endosymbiotique** : ces

organites descendraient de bactéries intégrées, il y a plus d'un milliard d'années, dans une cellule ancestrale.

La **voie de sécrétion** illustre la coopération des organites : une protéine sécrétée est synthétisée par les ribosomes du RE rugueux, transportée dans des vésicules jusqu'au Golgi, modifiée et triée, puis libérée hors de la cellule par exocytose.

Voie de sécrétion d'une protéine

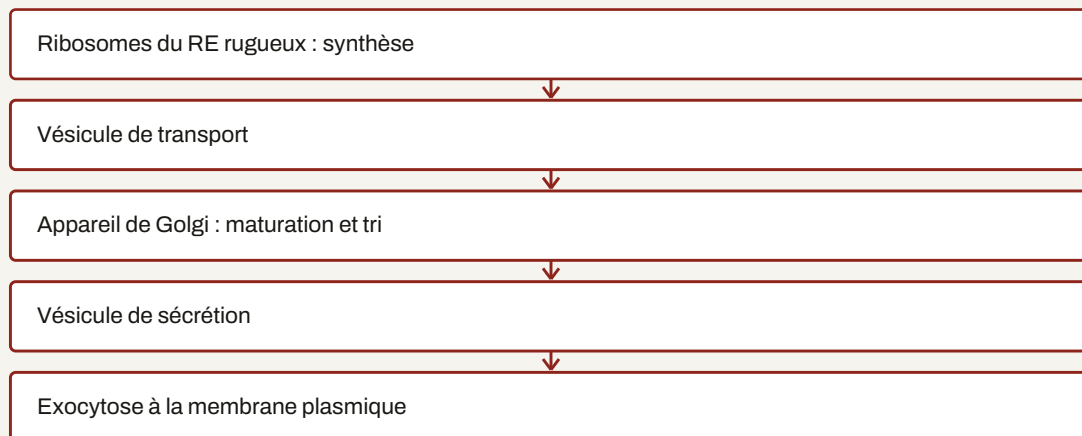


Schéma de principe original • lire les conditions et limites dans le texte

6. La membrane plasmique : le modèle de la mosaïque fluide

La **membrane plasmique** délimite la cellule et sépare le milieu intracellulaire du milieu extracellulaire. Elle mesure 7 à 8 nm d'épaisseur. Au MET, après contraste, elle apparaît comme deux lignes sombres séparées par une ligne claire (aspect tristratifié).

Les lipides membranaires. Les principaux lipides sont les **phospholipides**. Une molécule de phospholipide est **amphiphile** : elle possède une tête polaire **hydrophile** (contenant un groupement phosphate) et deux queues d'acides gras **hydrophobes**. Dans l'eau, les phospholipides s'organisent spontanément en une **bicouche** : les têtes hydrophiles sont tournées vers les milieux aqueux intracellulaire et extracellulaire, les queues hydrophobes se font face au centre. Cette organisation explique l'aspect tristratifié et le fait que la membrane soit imperméable aux ions et aux grosses molécules polaires. Chez les animaux, la membrane contient aussi du **cholestérol**, inséré entre les phospholipides.

Les protéines membranaires. Elles représentent environ la moitié de la masse de la membrane. Les **protéines intrinsèques** (ou transmembranaires) traversent la bicouche ; les **protéines extrinsèques** (ou périphériques) sont simplement associées à une face. Elles assurent des fonctions variées : transport (canaux, transporteurs, pompes), réception de signaux (récepteurs), adhérence entre cellules, activité enzymatique.

Les glucides membranaires. Ils sont fixés à des lipides (glycolipides) ou à des protéines (glycoprotéines), uniquement sur la face externe : ils forment le **glycocalyx**, qui intervient dans la reconnaissance entre cellules. La membrane est donc **asymétrique** : ses deux faces n'ont pas la même composition.

Le modèle de la mosaïque fluide. Proposé par Singer et Nicolson en 1972, il décrit la membrane comme une bicouche lipidique fluide dans laquelle des protéines sont insérées comme les pièces d'une mosaïque. « Fluide » signifie que les lipides et de nombreuses protéines se déplacent latéralement dans le plan de la membrane. En revanche, le passage d'un phospholipide d'une couche à l'autre (le basculement) est très rare.

L'expérience de Frye et Edidin (1970). Les chercheurs fusionnent une cellule de souris et une cellule humaine. Les protéines membranaires de souris sont repérées par un marqueur fluorescent vert, celles de la cellule humaine par un marqueur rouge. Juste après la fusion, chaque moitié de la cellule hybride porte une seule couleur. Après environ 40 minutes à 37 °C, les deux couleurs sont mélangées sur toute la surface. À basse température (vers 15 °C), le mélange ne se produit presque pas. L'ajout d'inhibiteurs de la production d'ATP ne l'empêche pas. On en déduit que les protéines membranaires se déplacent latéralement, que ce déplacement dépend de la fluidité de la membrane, qui diminue quand la température baisse, et qu'il ne consomme pas d'énergie cellulaire.

La **fluidité** de la membrane augmente avec la température et avec la proportion d'acides gras insaturés (dont les queues coudées s'empilent moins bien) ; le cholestérol la régule.

Constituants de la membrane plasmique

Bicouche de phospholipides amphiphiles

Protéines intrinsèques et extrinsèques

Cholestérol (cellules animales)

Glycolipides et glycoprotéines sur la face externe

Repères complémentaires, sans séquence causale

7. Les échanges à travers la membrane

La membrane plasmique est **semi-perméable** (ou à perméabilité sélective) : elle laisse passer certaines substances et en retient d'autres. On distingue les transports selon qu'ils consomment ou non de l'énergie.

Les transports passifs se font dans le sens du gradient de concentration (du milieu le plus concentré vers le moins concentré, pour un soluté non chargé) et ne consomment pas d'énergie.

- La **diffusion simple** concerne les petites molécules non polaires ou peu polaires (O_2 , CO_2 , éthanol, hormones stéroïdes), qui traversent directement la bicouche. Son débit est proportionnel à la différence de concentration.
- L'**osmose** est la diffusion de l'eau à travers une membrane semi-perméable, du milieu le moins concentré en solutés vers le milieu le plus concentré. L'eau traverse la bicouche lentement et surtout par des canaux spécifiques, les **aquaporines**.
- La **diffusion facilitée** concerne les ions et les molécules polaires (glucose, acides aminés), qui ne peuvent pas traverser la bicouche seule. Elle passe par des **protéines de transport** : des **canaux**

(pores sélectifs, par exemple les canaux à ions K^+) ou des **transporteurs** qui changent de forme (par exemple GLUT pour le glucose). Comme le nombre de transporteurs est limité, le débit atteint un maximum lorsque tous sont occupés : on parle de **saturation**, ce qui la distingue de la diffusion simple.

Le **transport actif** se fait contre le gradient de concentration et consomme de l'énergie, en général sous forme d'ATP. L'exemple type est la **pompe Na^+/K^+ -ATPase**, protéine intrinsèque qui, à chaque molécule d'ATP hydrolysée, fait sortir 3 ions Na^+ et entrer 2 ions K^+ . Elle maintient une concentration en K^+ plus forte dans la cellule et une concentration en Na^+ plus forte à l'extérieur. Si l'on bloque la production d'ATP, ce transport s'arrête.

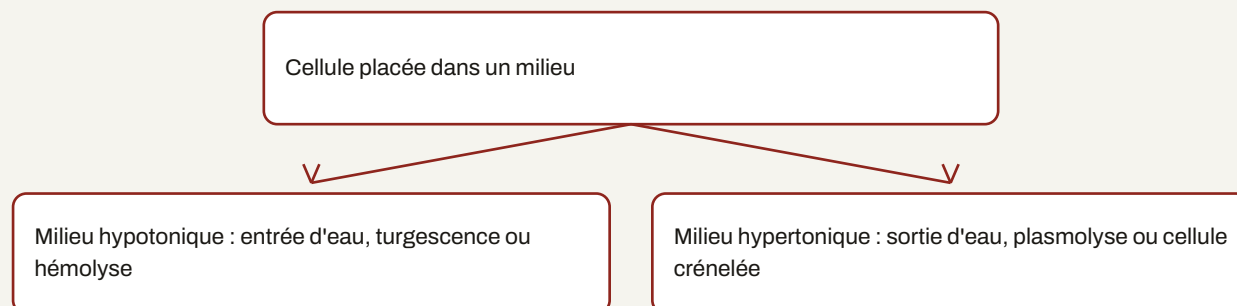
L'**endocytose** et l'**exocytose** concernent les grosses molécules et les particules. Lors de l'**endocytose**, la membrane s'invagine et forme une vésicule qui fait entrer du matériel (la phagocytose, par laquelle un globule blanc ingère une bactérie, en est une forme). Lors de l'**exocytose**, une vésicule fusionne avec la membrane plasmique et déverse son contenu à l'extérieur (sécrétion d'hormones, de neurotransmetteurs). Ces deux processus consomment de l'énergie.

Mode	Sens	Énergie	Protéine	Exemples
Diffusion simple	selon le gradient	non	aucune	O_2 , CO_2
Osmose	eau vers le milieu le plus concentré en solutés	non	aquaporines (surtout)	H_2O
Diffusion facilitée	selon le gradient	non	canal ou transporteur, saturable	glucose, ions
Transport actif	contre le gradient	oui (ATP)	pompe	Na^+ et K^+
Endocytose, exocytose	entrée ou sortie en vésicule	oui	déformation de la membrane	sécrétion, phagocytose

Comportement des cellules dans différents milieux. On compare la concentration totale en solutés du milieu extérieur à celle du cytoplasme.

- Milieu **isotonique** (même concentration) : pas de flux net d'eau, la cellule garde son volume. Pour une hématie humaine, une solution de NaCl à $9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ (soit 0,9 %) est isotonique.
- Milieu **hypotonique** (moins concentré) : l'eau entre. Une hématie, sans paroi, gonfle puis éclate : c'est l'**hémolyse**. Une cellule végétale gonfle aussi mais sa paroi résiste : elle devient **turgescence**, ce qui assure le port dressé des plantes non ligneuses.
- Milieu **hypertonique** (plus concentré) : l'eau sort. L'hématie se ratatine et prend un aspect crénelé. La cellule végétale subit une **plasmolyse** : la vacuole se rétracte et la membrane plasmique se décolle de la paroi.

Échanges d'eau par osmose



Deux branches distinctes • ce schéma ne relie pas les deux issues entre elles

Exemples résolus

Exemple 1 : calculer la taille réelle d'une mitochondrie

Énoncé. Une électronographie d'une cellule du foie porte la mention « $\times 20\,000$ ». On y mesure une mitochondrie de 30 mm de long. Sur une seconde électronographie, d'un autre organite, une barre d'échelle de 25 mm correspond à 500 nm et l'organite mesure 40 mm de diamètre. a) Calcule la longueur réelle de la mitochondrie. b) Calcule le diamètre réel du second organite et propose une identification parmi : noyau, ribosome, vésicule de sécrétion.

Résolution. a) Taille réelle = taille sur l'image / $G = 30\text{ mm} / 20\,000 = 1,5 \times 10^{-3}\text{ mm}$. Comme $1\text{ mm} = 1\,000\text{ }\mu\text{m}$, cela fait $1,5 \times 10^{-3} \times 1\,000 = 1,5\text{ }\mu\text{m}$. Cette valeur est conforme à la taille connue d'une mitochondrie (1 à 2 μm).

b) La barre de 25 mm représente 500 nm. L'organite mesure 40 mm, soit $40/25 = 1,6$ fois la barre. Diamètre réel = $1,6 \times 500\text{ nm} = 800\text{ nm}$, soit **0,8 μm** . Un ribosome (20 à 30 nm) est bien plus petit et un noyau (5 à 10 μm) bien plus grand : il s'agit vraisemblablement d'une **vésicule de sécrétion**, dont la taille est de l'ordre de quelques centaines de nanomètres.

Exemple 2 : exploiter l'expérience de Frye et Edidin

Énoncé. On fusionne des cellules de souris et des cellules humaines dont les protéines membranaires sont marquées respectivement en vert et en rouge. On compte, au cours du temps, le pourcentage de cellules hybrides dont la surface montre un mélange complet des deux couleurs. Données simplifiées :

Temps après fusion	0 min	10 min	20 min	40 min
Cellules mélangées à 37 °C	0 %	40 %	70 %	90 %
Cellules mélangées à 15 °C	0 %	0 %	2 %	5 %

Temps après fusion	0 min	10 min	20 min	40 min
À 37 °C avec un inhibiteur de la production d'ATP	0 %	38 %	68 %	88 %

Montre que ces résultats valident le modèle de la mosaïque fluide.

Résolution.

- Je constate qu'à 37 °C, la proportion de cellules à marquage mélangé augmente de 0 % à 90 % en 40 minutes.
- J'en déduis que les protéines membranaires des deux cellules se sont déplacées dans le plan de la membrane et réparties sur toute la surface : elles sont **mobiles latéralement**.
- Je constate qu'à 15 °C, le mélange reste presque nul (5 % au plus à 40 minutes).
- J'en déduis que le déplacement dépend de la température : à basse température, la bicouche lipidique est moins fluide et les protéines s'y déplacent difficilement. C'est donc la **fluidité** de la bicouche qui permet la mobilité des protéines.
- Je constate qu'avec un inhibiteur de la production d'ATP, les valeurs (88 % à 40 minutes) sont pratiquement identiques à celles du témoin (90 %).
- J'en déduis que ce déplacement **ne consomme pas d'ATP** : c'est une diffusion spontanée dans le plan de la membrane.

Conclusion : la membrane est une bicouche lipidique fluide dans laquelle les protéines, insérées comme les pièces d'une mosaïque, diffusent latéralement. Ces résultats valident le **modèle de la mosaïque fluide**.

Exemple 3 : hématies placées dans des solutions de NaCl

Énoncé. On place des hématies humaines dans des solutions de chlorure de sodium de concentrations croissantes et on mesure leur volume moyen après 10 minutes (volume normal : $90 \mu\text{m}^3$).

NaCl ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	3	6	9	12	20
Volume moyen (μm^3)	hémolyse	115	90	75	55

a) Identifie la solution isotonique. b) Explique les résultats obtenus à 3 et à $20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. c) Explique pourquoi une cellule d'épiderme d'oignon placée à $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ n'éclate pas.

Résolution. a) À $9 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, le volume reste égal au volume normal ($90 \mu\text{m}^3$) : il n'y a pas de flux net d'eau. La solution à $9 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ est **isotonique** au cytoplasme de l'hématie.

b) À $3 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, le milieu est **hypotonique** : l'eau entre dans l'hématie par osmose (vers le milieu le plus concentré en solutés, ici le cytoplasme). La cellule gonfle ; dépourvue de paroi, elle finit par éclater : c'est l'**hémolyse**. À $20 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, le milieu est **hypertonique** : l'eau sort de la cellule par osmose, et le volume chute à $55 \mu\text{m}^3$, soit une perte de $35 \mu\text{m}^3$ (environ 39 % du volume initial) ; l'hématie se ratatine.

c) La cellule d'oignon reçoit aussi de l'eau, mais elle est entourée d'une **paroi pectocellulosique** rigide qui s'oppose à l'expansion du contenu cellulaire. La cellule devient **turgescence** sans éclater.

Méthodes et pièges

- Pour un calcul de taille réelle, écris toujours la formule, convertis d'abord les longueurs dans la même unité, puis donne le résultat dans l'unité adaptée (μm pour une cellule ou un organelle, nm pour une membrane ou un ribosome).
- Ne confonds pas grossissement et pouvoir de résolution : c'est la limite de résolution ($0,2 \mu\text{m}$ au microscope optique) qui décide si un objet est visible, pas le grossissement.
- Ne dis pas qu'une cellule procaryote n'a « pas d'ADN » ou « pas de ribosomes » : elle n'a pas de noyau ni d'organites membranaires, mais elle possède un chromosome et des ribosomes.
- N'oublie pas que les cellules végétales possèdent aussi des mitochondries : les chloroplastes ne les remplacent pas.
- Dans l'osmose, raisonne sur le mouvement de l'eau, pas des solutés : l'eau va vers le milieu le plus concentré en solutés.
- Pour distinguer diffusion simple et diffusion facilitée sur un graphique, cherche la saturation : un plateau du débit indique une protéine de transport.
- Pour reconnaître un transport actif, vérifie deux critères : il va contre le gradient et il s'arrête quand on bloque la production d'ATP.
- Dans une exploitation de documents, sépare clairement ce que tu constates (valeurs chiffrées) et ce que tu en déduis, puis conclus en reliant tes déductions à la question posée.

Vers le PASS

En PASS, la cellule est étudiée à l'échelle moléculaire dans les enseignements de biologie cellulaire et de biochimie. La membrane y est décrite en détail : nature des différents phospholipides, asymétrie entre les deux feuillets, rôle du cholestérol, microdomaines appelés radeaux lipidiques, et protéines associées. Les échanges membranaires sont quantifiés : gradients électrochimiques, potentiel de membrane, transports couplés (symports et antiports) qui utilisent le gradient de Na^+ créé par la pompe Na^+/K^+ -ATPase. Le trafic vésiculaire (RE, Golgi, endocytose) et l'adressage des protéines sont également approfondis, ainsi que les méthodes d'observation (microscopie à fluorescence, fractionnement cellulaire).

Les notions de ce chapitre servent aussi en physiologie (absorption intestinale, fonctionnement du rein, influx nerveux) et en histologie, où l'on identifie des types cellulaires sur des coupes à partir de leurs organites.

Suite en PASS : Membranes : architecture, asymétrie et domaines

Exercices

Niveau 1 : s'entraîner

1. Convertis : a) $25 \mu\text{m}$ en mm ; b) $0,004 \text{ mm}$ en μm ; c) $7,5 \text{ nm}$ en μm ; d) $1,2 \mu\text{m}$ en nm.
2. Une cellule mesure 6 cm sur une photographie prise au grossissement $\times 2\,000$. Calcule sa taille réelle en μm , puis indique s'il s'agit plutôt d'une bactérie ou d'une cellule eucaryote.
3. Classe par taille croissante les objets suivants et donne leur ordre de grandeur : ovocyte humain, ribosome, bactérie, membrane plasmique (épaisseur), noyau, atome, virus.

4. Recopie et complète le tableau en indiquant présent ou absent : noyau, paroi, mitochondries, chloroplastes, ribosomes, pour une bactérie, une cellule animale et une cellule végétale chlorophyllienne.
5. Associe chaque organite à sa fonction : mitochondrie, chloroplaste, RE rugueux, appareil de Golgi, lysosome, nucléole. Fonctions : digestion intracellulaire ; respiration cellulaire ; photosynthèse ; synthèse de protéines destinées à la sécrétion ; maturation et tri des protéines ; fabrication des ribosomes.

Niveau 2 : type bac

6. Un élève veut observer, dans une cellule de feuille d'élodée : a) les chloroplastes ; b) les thylakoïdes des chloroplastes ; c) la forme en relief de la surface de la feuille. Pour chaque observation, choisis le microscope adapté et justifie par le pouvoir de résolution (taille d'un chloroplaste : $5\text{ }\mu\text{m}$; épaisseur d'un thylakoïde : environ 20 nm).
7. On mesure la vitesse d'entrée de deux substances X et Y dans des cellules en fonction de leur concentration extérieure (aucune des deux n'est présente dans la cellule au départ).
Concentration ($\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) : 1 ; 5 ; 10 ; 20 ; 40. Vitesse d'entrée de X (unités arbitraires) : 2 ; 10 ; 20 ; 40 ; 80. Vitesse d'entrée de Y (unités arbitraires) : 8 ; 25 ; 32 ; 35 ; 36. a) Décris l'évolution de chaque vitesse. b) Identifie le mode de transport de X et de Y en justifiant. c) Propose la nature possible de chaque substance parmi : dioxygène, glucose.
8. On place des fragments d'épiderme d'oignon rouge dans trois solutions de saccharose. Dans la solution A, la vacuole colorée occupe tout l'espace limité par la paroi. Dans la solution B, elle occupe un volume normal. Dans la solution C, le contenu cellulaire est rétracté et la membrane plasmique est décollée de la paroi. a) Nomme l'état des cellules dans A et dans C. b) Classe les solutions selon leur concentration par rapport au cytoplasme et explique le mouvement de l'eau. c) Explique pourquoi la paroi joue un rôle dans la solution A.
9. Des cellules sont placées dans un milieu contenant du K^+ à $5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$; leur cytoplasme en contient $140\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$. On mesure l'entrée de K^+ marqué radioactivement. a) Montre que l'entrée de K^+ ne peut pas être une diffusion. b) On ajoute du cyanure, qui bloque la respiration cellulaire : l'entrée de K^+ s'effondre en quelques minutes. Explique ce résultat. c) Nomme la protéine responsable et précise son fonctionnement.

Niveau 3 : vers le PASS

10. Une bactérie est assimilée à un cylindre de longueur $2\text{ }\mu\text{m}$ et de diamètre $1\text{ }\mu\text{m}$; une cellule de foie est assimilée à un cube de $20\text{ }\mu\text{m}$ de côté. a) Calcule le volume de chacune en μm^3 . b) Combien de fois la cellule de foie est-elle plus volumineuse que la bactérie ? c) Calcule, pour chacune, le rapport surface sur volume (la surface du cylindre comprend ses deux disques). d) Explique en quoi la compartimentation par des membranes internes compense chez l'eucaryote la diminution de ce rapport. (On prendra $\pi \approx 3,14$.)
11. On mesure la fluidité membranaire de bactéries cultivées à différentes températures, ainsi que la proportion d'acides gras insaturés dans leurs phospholipides.
Culture à $15\text{ }^\circ\text{C}$: 60 % d'acides gras insaturés ; culture à $25\text{ }^\circ\text{C}$: 45 % ; culture à $37\text{ }^\circ\text{C}$: 30 %. Mesurées toutes à la même température de $25\text{ }^\circ\text{C}$, les membranes des trois cultures ont une fluidité proche. a) Explique le rôle des acides gras insaturés dans la fluidité. b) Interprète l'ajustement observé. c) Prédise la fluidité, mesurée à $15\text{ }^\circ\text{C}$, de la membrane d'une bactérie cultivée à $37\text{ }^\circ\text{C}$ par rapport à celle d'une

bactérie cultivée à 15 °C.

12. QCM : pour chaque proposition, indique si elle est vraie ou fausse et justifie.

A. Une hématie placée dans de l'eau distillée subit une plasmolyse. B. Le MET permet d'observer les ribosomes, dont la taille est de 20 à 30 nm. C. Les glucides membranaires sont répartis à égalité sur les deux faces de la membrane. D. Le dioxygène traverse la bicouche lipidique par diffusion simple. E. L'exocytose ne consomme pas d'énergie car elle suit le gradient de concentration.

13. On cultive des cellules pancréatiques sécrétrices dans un milieu contenant un acide aminé radioactif pendant 3 minutes, puis on les transfère dans un milieu non radioactif. On repère la radioactivité par autoradiographie au MET.

À 3 min : 86 % de la radioactivité est dans le RE rugueux. À 20 min : 50 % dans l'appareil de Golgi, 20 % dans le RE. À 120 min : 80 % dans les vésicules de sécrétion et à l'extérieur de la cellule. a) Explique pourquoi on utilise un acide aminé radioactif. b) Retracer le trajet des protéines marquées et nomme le rôle de chaque compartiment. c) Explique l'intérêt du transfert dans un milieu non radioactif (principe de la « chasse »).

Corrigés

1. a) $1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ mm}$, donc $25 \mu\text{m} = 25 \times 10^{-3} \text{ mm} = 0,025 \text{ mm}$.

b) $1 \text{ mm} = 1\,000 \mu\text{m}$, donc $0,004 \text{ mm} = 0,004 \times 1\,000 = 4 \mu\text{m}$. c) $1 \text{ nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$, donc $7,5 \text{ nm} = 0,0075 \mu\text{m}$ (soit $7,5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$). d) $1 \mu\text{m} = 1\,000 \text{ nm}$, donc $1,2 \mu\text{m} = 1\,200 \text{ nm}$.

2. Taille sur l'image : $6 \text{ cm} = 60 \text{ mm} = 60\,000 \mu\text{m}$. Taille réelle = taille sur l'image / G = $60\,000 \mu\text{m} / 2\,000 = 30 \mu\text{m}$. Cette taille est 6 à 30 fois supérieure à celle d'une bactérie (1 à 5 μm) et correspond à l'intervalle des cellules eucaryotes (10 à 100 μm) : il s'agit plutôt d'une **cellule eucaryote**.

3. Ordre croissant : atome (0,1 nm) < épaisseur de la membrane plasmique (7 à 8 nm) < ribosome (20 à 30 nm) < virus (20 à 300 nm) < bactérie (1 à 5 μm) < noyau (5 à 10 μm) < ovocyte humain (environ 120 μm). Remarque : les tailles de ribosome et de petits virus se recouvrent ; on place le ribosome avant le virus car la plupart des virus sont plus grands. **Atome, membrane, ribosome, virus, bactérie, noyau, ovocyte.**

4. Tableau complété :

	Bactérie	Cellule animale	Cellule végétale chlorophyllienne
Noyau	absent	présent	présent
Paroi	présente (peptidoglycane)	absente	présente (cellulose)
Mitochondries	absentes	présentes	présentes
Chloroplastes	absents	absents	présents
Ribosomes	présents	présents	présents

Les points à retenir : les **ribosomes** sont **présents partout**, et la **cellule végétale** possède à la fois **mitochondries** et **chloroplastes**.

5. Mitochondrie : respiration cellulaire. Chloroplaste : photosynthèse. RE rugueux : synthèse de protéines destinées à la sécrétion. Appareil de Golgi : maturation et tri des protéines. Lysosome : digestion intracellulaire. Nucléole : fabrication des ribosomes.

6. a) Un chloroplaste mesure $5\text{ }\mu\text{m}$, bien plus que la limite de résolution du microscope optique ($0,2\text{ }\mu\text{m}$) : le **microscope optique** suffit, et il permet d'observer la cellule vivante.

b) Un thylakoïde mesure environ $20\text{ nm} = 0,02\text{ }\mu\text{m}$, soit dix fois moins que la limite de résolution du microscope optique : il est invisible au microscope optique. Il faut le **microscope électronique à transmission**, dont la limite de résolution est de l'ordre du nanomètre, sur une coupe ultrafine. c) Une image en relief de la surface s'obtient au **microscope électronique à balayage**, qui balaie la surface de l'échantillon métallisé.

7. a) La vitesse d'entrée de X est proportionnelle à la concentration : elle double quand la concentration double (2 pour 1, 40 pour 20, 80 pour 40), sans plateau. La vitesse d'entrée de Y augmente fortement aux faibles concentrations (de 8 à 32 entre 1 et $10\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), puis presque plus (35 puis 36) : elle atteint un plateau voisin de 36.

b) X entre par **diffusion simple** : la vitesse est proportionnelle à la différence de concentration, sans limite, ce qui indique un passage direct à travers la bicouche. Y entre par **diffusion facilitée** : le plateau traduit la **saturation** d'un nombre limité de protéines de transport. Il s'agit de transports passifs, puisque les deux substances entrent dans le sens de leur gradient (absentes de la cellule au départ). c) X : **dioxygène** (petite molécule non polaire qui traverse la bicouche). Y : **glucose** (molécule polaire qui nécessite un transporteur).

8. a) Dans A, la cellule est **turgescence** ; dans C, elle est **plasmolysée**.

b) A est **hypotonique** : l'eau entre par osmose dans la cellule et la vacuole gonfle. B est **isotonique** : pas de flux net d'eau. C est **hypertonique** : l'eau sort de la vacuole et du cytoplasme vers le milieu extérieur, plus concentré en solutés. Classement par concentration croissante : $A < B < C$. c) Dans A, l'entrée d'eau fait gonfler le contenu cellulaire, mais la **paroi pectocellulosique**, rigide, s'oppose à cette expansion : la pression exercée par le contenu sur la paroi (pression de turgescence) limite l'entrée d'eau et empêche l'éclatement, contrairement à une hématie.

9. a) Le K^+ est 28 fois plus concentré dans la cellule ($140\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) que dans le milieu ($5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$), puisque $140/5 = 28$. Une diffusion ferait sortir le K^+ de la cellule, dans le sens du gradient. Son entrée se fait **contre le gradient** : ce ne peut pas être une diffusion.

b) Le cyanure bloque la respiration cellulaire, principale source d'ATP. L'arrêt de l'entrée de K^+ montre que ce transport **consomme de l'ATP** : c'est un **transport actif**. c) C'est la **pompe Na^+/K^+ -ATPase**, protéine intrinsèque de la membrane qui, pour chaque ATP hydrolysé, fait sortir 3 Na^+ et entrer 2 K^+ , contre leurs gradients respectifs.

10. a) Bactérie : $V = \pi \times r^2 \times L = 3,14 \times (0,5)^2 \times 2 = 3,14 \times 0,25 \times 2 = 1,57\text{ }\mu\text{m}^3$. Cellule de foie : $V = 20^3 = 8\text{ }000\text{ }\mu\text{m}^3$.

b) $8\text{ }000 / 1,57 \approx 5\text{ }096$: la cellule de foie est **environ 5 100 fois** plus volumineuse. c) Bactérie : surface = surface latérale + deux disques = $2\pi \times r \times L + 2\pi \times r^2 = 2 \times 3,14 \times 0,5 \times 2 + 2 \times 3,14 \times 0,25 = 6,28 + 1,57 = 7,85\text{ }\mu\text{m}^2$. Rapport $S/V = 7,85 / 1,57 = 5\text{ }\mu\text{m}^{-1}$. Cellule de foie : $S = 6 \times 20^2 = 2\text{ }400\text{ }\mu\text{m}^2$; $S/V = 2\text{ }400 / 8\text{ }000 = 0,3\text{ }\mu\text{m}^{-1}$. Le rapport est environ 17 fois plus faible chez la cellule de foie. d) Plus la cellule est grande, plus sa surface membranaire est faible relativement à son volume, ce qui limite les échanges et les réactions associées aux membranes. Chez l'eucaryote, les **membranes internes** (RE, Golgi, enveloppe nucléaire, crêtes mitochondriales) multiplient la surface membranaire disponible et créent des compartiments spécialisés où les réactions se déroulent dans des conditions optimales.

11. a) Les acides gras insaturés possèdent des doubles liaisons qui forment des coudes dans leurs chaînes. Ces chaînes coudées s'empilent moins serré que les chaînes saturées, droites : les interactions entre elles diminuent et la bicouche est **plus fluide**.

b) À basse température, une membrane tend à se rigidifier. Les bactéries cultivées à 15 °C compensent en enrichissant leurs membranes en acides gras insaturés (60 %), tandis qu'à 37 °C elles en contiennent moins (30 %). Le résultat est une fluidité comparable : la bactérie **ajuste la composition de sa membrane pour maintenir une fluidité constante**, condition du bon fonctionnement des protéines membranaires. c) La bactérie cultivée à 37 °C a peu d'acides gras insaturés (30 %). À 15 °C, sa membrane sera **moins fluide (plus rigide)** que celle de la bactérie cultivée à 15 °C, qui en contient 60 %.

12. A. **Faux**. L'eau distillée est hypotonique : l'eau entre dans l'hématie, qui gonfle puis éclate (hémolyse). La plasmolyse concerne une cellule végétale en milieu hypertonique.

B. **Vrai**. La limite de résolution du MET est de l'ordre du nanomètre, bien inférieure à 20 nm. C. **Faux**. Les glucides sont uniquement sur la face externe (glycocalyx) : la membrane est asymétrique. D. **Vrai**. O₂ est une petite molécule non polaire qui traverse directement la bicouche, dans le sens de son gradient. E. **Faux**. L'exocytose consomme de l'énergie (formation et fusion de vésicules) et ne correspond pas à une diffusion selon un gradient.

13. a) Les protéines sont formées d'acides aminés : un acide aminé radioactif est incorporé dans les protéines synthétisées pendant les 3 minutes de marquage. Leur radioactivité permet de **suivre leur localisation** au cours du temps.

b) À 3 min, 86 % de la radioactivité est dans le RE rugueux : les protéines y sont **synthétisées** par les ribosomes associés. À 20 min, 50 % est dans l'appareil de Golgi : les protéines y sont **transportées, modifiées et triées**. À 120 min, 80 % est dans les vésicules de sécrétion et à l'extérieur : les protéines ont été **emballées en vésicules puis sécrétées par exocytose**. Trajet : **RE rugueux, appareil de Golgi, vésicules de sécrétion, milieu extérieur**. c) Après le transfert, les nouvelles protéines ne sont plus marquées. Seule la « cohorte » de protéines fabriquées pendant les 3 premières minutes reste radioactive, ce qui permet de **suivre son déplacement** sans que de nouvelles protéines marquées n'apparaissent en permanence dans le RE et ne brouillent l'interprétation.