



PHYSIOLOGIE CELLULAIRE

Cellule • Membrane • Transports • Communication

PARCOURS : Préparation EIDE

AUTEUR : Anaïs – Daranjo - IDE

DATE : Juin 2026

Chapitre 3 — Physiologie cellulaire générale

- Objectifs du chapitre

À la fin de ce chapitre, tu dois être capable de :

- expliquer pourquoi la cellule est l'unité fonctionnelle du vivant ;
- décrire les grandes structures cellulaires : membrane plasmique, cytoplasme, organites, noyau et ADN ;
- comprendre le rôle général du métabolisme cellulaire ;
- expliquer l'organisation de la membrane plasmique ;
- distinguer bicouche phospholipidique, protéines membranaires, récepteurs, canaux, transporteurs et pompes ;
- différencier les principaux modes de transport membranaire ;
- comprendre la diffusion simple, la diffusion facilitée, l'osmose, le transport actif, l'endocytose et l'exocytose ;
- expliquer la notion de potentiel de membrane ;
- comprendre le rôle de la pompe sodium-potassium ;
- définir potentiel de repos, dépolarisation, repolarisation et hyperpolarisation ;
- connaître les grands modes de communication cellulaire ;
- comprendre la différence entre communication endocrine, paracrine, autocrine et synaptique ;
- expliquer le rôle des récepteurs et des seconds messagers.

Introduction générale

La physiologie du corps humain commence par la physiologie cellulaire.

Le corps entier fonctionne parce que ses cellules fonctionnent.

Chaque organe dépend de l'activité de ses cellules.

Chaque système dépend de la coordination entre des millions ou milliards de cellules.

Une cellule n'est pas un simple "petit sac vivant". C'est une unité organisée, dynamique, capable de recevoir des informations, produire de l'énergie, fabriquer des molécules, échanger avec son environnement, répondre à des signaux et maintenir son propre équilibre interne.

Exemples :

- un neurone transmet un message électrique ;
- une cellule musculaire se contracte ;
- une cellule bêta du pancréas sécrète de l'insuline ;
- une cellule rénale réabsorbe du sodium et de l'eau ;
- une cellule immunitaire reconnaît un agent étranger ;
- une hématie transporte l'oxygène ;
- un hépatocyte transforme, stocke et détoxifie des substances.

La physiologie cellulaire permet donc de comprendre les bases de toutes les fonctions du corps : contraction musculaire, influx nerveux, sécrétion hormonale, absorption intestinale, filtration rénale, immunité, coagulation, cicatrisation, métabolisme et mort cellulaire.

3.1. La cellule comme unité fonctionnelle

- Définition de la cellule

La cellule est l'unité structurale et fonctionnelle fondamentale du vivant.

Cela signifie que :

- tous les tissus sont composés de cellules ;
- tous les organes fonctionnent grâce aux cellules ;
- les grandes fonctions du corps reposent sur des mécanismes cellulaires ;
- la maladie commence souvent par une perturbation cellulaire.

Une cellule est capable de :

- maintenir son équilibre interne ;
 - produire de l'énergie ;
 - synthétiser des protéines ;
 - échanger des substances avec son environnement ;
 - recevoir et interpréter des signaux ;
 - se spécialiser ;
 - se diviser pour certaines cellules ;
 - mourir de manière programmée ou accidentelle.
- Cellules spécialisées

Toutes les cellules humaines possèdent une organisation de base commune, mais elles ne font pas toutes le même travail. Elles sont spécialisées.

Type cellulaire	Fonction principale
Neurone	transmettre un message nerveux
Cellule musculaire	se contracter
Hématie	transporter l'oxygène
Leucocyte	défendre l'organisme
Cellule épithéliale	protéger, absorber ou sécréter
Hépatocyte	métaboliser, stocker, détoxifier
Cellule rénale tubulaire	réabsorber et sécréter des substances
Cellule endocrine	produire des hormones
Cellule osseuse	former, maintenir ou résorber l'os

La spécialisation cellulaire permet au corps humain de réaliser des fonctions complexes.

- Organisation générale d'une cellule

Une cellule humaine typique comprend :

- une membrane plasmique ;
- un cytoplasme ;
- des organites ;
- un noyau, sauf exceptions comme l'hématie mature ;
- du matériel génétique ;
- des protéines ;
- des enzymes ;
- un cytosquelette ;
- des systèmes de transport et de communication.

Chaque élément possède un rôle précis.

Membrane plasmique

- Définition

La membrane plasmique est l'enveloppe qui délimite la cellule.

Elle sépare le milieu intracellulaire du milieu extracellulaire.

Elle n'est pas une simple barrière passive. C'est une structure active, sélective et dynamique.

Elle permet :

- de protéger la cellule ;
- de maintenir la composition interne ;
- de contrôler les entrées et sorties ;
- de recevoir des signaux ;
- de reconnaître d'autres cellules ;
- de permettre l'adhérence cellulaire ;
- de créer des gradients ioniques ;
- de participer à l'activité électrique de certaines cellules.

- Rôle physiologique de la membrane

La membrane plasmique est indispensable à l'homéostasie cellulaire.

Elle contrôle ce qui entre et sort de la cellule.

Elle permet à la cellule de garder une composition différente du milieu extérieur.

Exemple :

- le potassium est plus concentré à l'intérieur de la cellule ;
- le sodium est plus concentré à l'extérieur ;
- le calcium libre est très faible dans le cytoplasme ;
- les protéines sont nombreuses dans le milieu intracellulaire.

Ces différences sont essentielles pour le fonctionnement des neurones, des muscles, du cœur, des cellules rénales et de nombreuses cellules sécrétrices.

Cytoplasme

- Définition

Le cytoplasme correspond à l'ensemble du contenu cellulaire situé entre la membrane plasmique et le noyau.

Il comprend :

- le cytosol ;
- les organites ;
- le cytosquelette ;
- des enzymes ;
- des réserves ;
- des molécules dissoutes.

Le cytosol est la partie liquide du cytoplasme.

C'est dans le cytoplasme que se déroulent de nombreuses réactions métaboliques.

- Rôle du cytoplasme

Le cytoplasme permet :

- les réactions chimiques ;
- le transport intracellulaire ;
- la synthèse de certaines molécules ;
- la dégradation de certaines substances ;
- l'organisation des organites ;
- la communication interne de la cellule ;
- la mobilité cellulaire dans certaines cellules.

Le cytoplasme n'est donc pas un liquide inerte. C'est un espace très organisé.

Organites

- Définition

Les organites sont des structures spécialisées présentes à l'intérieur de la cellule.

Chaque organite assure une fonction particulière.

Ils peuvent être comparés à des "petits organes" intracellulaires.

- Principaux organites cellulaires

Organite	Rôle principal
Mitochondries	production d'ATP
Réticulum endoplasmique rugueux	synthèse des protéines destinées à la sécrétion ou aux membranes
Réticulum endoplasmique lisse	synthèse des lipides, détoxification, stockage du calcium selon cellule
Appareil de Golgi	modification, tri et adressage des protéines
Lysosomes	digestion intracellulaire
Peroxisomes	dégradation de certaines molécules, gestion du stress oxydatif
Ribosomes	synthèse des protéines
Cytosquelette	forme, soutien, transport, mouvement
Centrosome	organisation des microtubules et division cellulaire
Noyau	stockage et expression de l'information génétique

- Mitochondries

Les mitochondries sont les organites spécialisés dans la production d'énergie.

Elles produisent l'ATP, principalement grâce à la respiration cellulaire.

L'ATP est la molécule énergétique directement utilisable par la cellule.

Les cellules qui consomment beaucoup d'énergie possèdent beaucoup de mitochondries.

Exemples :

- cellules musculaires ;
- cellules cardiaques ;
- neurones ;
- cellules rénales tubulaires ;
- hépatocytes.

Les mitochondries interviennent aussi dans :

- le métabolisme ;
- la production de chaleur ;
- l'apoptose ;
- la gestion de certains radicaux libres.
- Réticulum endoplasmique rugueux

Le réticulum endoplasmique rugueux porte des ribosomes à sa surface.

Il participe à la synthèse des protéines :

- sécrétées par la cellule ;
- intégrées aux membranes ;
- destinées à certains organites.

Il est très développé dans les cellules qui fabriquent beaucoup de protéines.

Exemple :

Les plasmocytes produisent des anticorps. Ils possèdent donc un réticulum endoplasmique rugueux développé.

- Réticulum endoplasmique lisse

Le réticulum endoplasmique lisse ne porte pas de ribosomes.

Il intervient dans :

- synthèse des lipides ;
- métabolisme des stéroïdes ;
- détoxification de certaines substances ;
- stockage du calcium dans certaines cellules, notamment musculaires.

Dans les cellules musculaires, une forme spécialisée appelée réticulum sarcoplasmique stocke le calcium nécessaire à la contraction.

- Appareil de Golgi

L'appareil de Golgi modifie, trie et emballe certaines protéines et lipides.

Il prépare les molécules pour :

- la sécrétion ;
- la membrane plasmique ;
- les lysosomes ;
- d'autres destinations intracellulaires.

On peut le voir comme un centre de tri et d'expédition cellulaire.

- Lysosomes

Les lysosomes contiennent des enzymes capables de dégrader des molécules.

Ils participent à :

- digestion intracellulaire ;
- recyclage de composants cellulaires ;
- destruction de certains agents ingérés ;
- élimination de déchets cellulaires.

Ils sont importants dans certaines cellules immunitaires, notamment les macrophages.

- Cytosquelette

Le cytosquelette est un réseau de filaments protéiques qui donne à la cellule sa forme et son organisation.

Il comprend notamment :

- microfilaments d'actine ;
- filaments intermédiaires ;
- microtubules.

Il permet :

- soutien mécanique ;
- mouvements intracellulaires ;
- déplacement de vésicules ;
- division cellulaire ;
- contraction dans certaines cellules ;
- mobilité cellulaire.

Noyau

- Définition

Le noyau est l'organite qui contient la majorité du matériel génétique de la cellule.

Il est entouré par une enveloppe nucléaire.

Il contient :

- ADN ;
- chromosomes ;
- nucléole ;

- protéines associées à l'ADN.

Le noyau contrôle l'activité cellulaire en régulant l'expression des gènes.

Toutes les cellules humaines nucléées possèdent un noyau.

Exception importante :

L'hématie mature n'a pas de noyau. Cela lui permet de laisser plus de place à l'hémoglobine.

- Rôle du noyau

Le noyau permet :

- stockage de l'information génétique ;
- protection de l'ADN ;
- transcription de l'ADN en ARN ;
- régulation de la synthèse protéique ;
- contrôle de la division cellulaire ;
- transmission de l'information génétique aux cellules filles.

Le noyau est donc le centre de contrôle génétique de la cellule.

ADN

- Définition

L'ADN, ou acide désoxyribonucléique, est la molécule qui contient l'information génétique.

Il est organisé en gènes.

Un gène est une séquence d'ADN qui contient une information permettant de produire un ARN, souvent utilisé ensuite pour fabriquer une protéine.

Les protéines déterminent une grande partie de la structure et du fonctionnement cellulaire.

- ADN, ARN et protéines

Le fonctionnement génétique simplifié peut être résumé ainsi :

ADN → ARN → protéine

Ce principe est appelé dogme central de la biologie moléculaire.

Étapes :

- transcription : l'ADN est copié en ARN ;
- traduction : l'ARN messager est utilisé pour fabriquer une protéine.

Les protéines peuvent être :

- enzymes ;
- récepteurs ;
- canaux ;
- transporteurs ;
- hormones ;
- anticorps ;
- protéines structurales ;
- protéines contractiles.

- Importance physiologique de l'ADN

L'ADN détermine en partie les capacités fonctionnelles de la cellule.

Une mutation génétique peut modifier une protéine.

Si cette protéine est essentielle, une maladie peut apparaître.

Exemples :

- anomalie d'une protéine membranaire ;
- anomalie d'une enzyme ;
- anomalie d'un canal ionique ;
- anomalie de l'hémoglobine ;
- anomalie d'un récepteur.

La physiologie cellulaire est donc liée à la génétique.

Métabolisme cellulaire

- Définition

Le métabolisme cellulaire correspond à l'ensemble des réactions chimiques qui se déroulent dans la cellule.

Il comprend deux grandes catégories :

- catabolisme ;

- anabolisme.

Le catabolisme dégrade des molécules pour libérer de l'énergie.

L'anabolisme utilise de l'énergie pour fabriquer des molécules.

- Catabolisme

Le catabolisme correspond aux réactions de dégradation.

Exemples :

- dégradation du glucose ;
- dégradation des acides gras ;
- dégradation des acides aminés selon contexte ;
- production d'ATP.

Le catabolisme libère de l'énergie.

Cette énergie est utilisée pour produire de l'ATP.

- Anabolisme

L'anabolisme correspond aux réactions de construction.

Exemples :

- synthèse des protéines ;
- synthèse des lipides ;
- synthèse de l'ADN ;
- stockage du glucose sous forme de glycogène ;
- réparation cellulaire ;
- croissance.

L'anabolisme consomme de l'énergie.

- ATP

L'ATP, ou adénosine triphosphate, est la principale molécule énergétique directement utilisable par la cellule.

Elle est utilisée pour :

- transport actif ;
- contraction musculaire ;
- synthèse de molécules ;
- mouvements cellulaires ;
- maintien des gradients ioniques ;
- sécrétion ;
- division cellulaire.

Sans ATP, les cellules ne peuvent pas maintenir leur fonctionnement.

La pompe sodium-potassium, par exemple, dépend directement de l'ATP.

- Schémas à insérer

Images conseillées :

Schéma général d'une cellule avec membrane plasmique, cytoplasme, noyau, mitochondries, réticulum endoplasmique, appareil de Golgi et lysosomes.

Schéma simple : ADN ARN protéine fonction cellulaire.

3.2. Membrane plasmique

- Définition générale

La membrane plasmique est une structure fine, souple et dynamique qui entoure la cellule.

Elle est constituée principalement :

- de phospholipides ;
- de protéines ;
- de cholestérol ;
- de glucides membranaires.

Elle forme une barrière sélective entre le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire.

Sélective signifie qu'elle laisse passer certaines substances facilement, d'autres difficilement, et certaines seulement grâce à des protéines spécialisées.

Bicouche phospholipidique

- Définition

La membrane plasmique est organisée en bicouche phospholipidique.

Un phospholipide possède :

- une tête hydrophile ;
- deux queues hydrophobes.

Hydrophile signifie "qui aime l'eau".

Hydrophobe signifie "qui fuit l'eau".

Dans la membrane :

- les têtes hydrophiles sont orientées vers les milieux aqueux ;
- les queues hydrophobes se font face au centre de la membrane.

Cette organisation crée une barrière lipidique.

- Conséquence physiologique

La bicouche phospholipidique laisse passer facilement certaines molécules, mais pas toutes.

Passent plutôt facilement :

- petites molécules liposolubles ;
- oxygène ;
- dioxyde de carbone ;
- certaines hormones stéroïdes.

Passent difficilement sans aide :

- ions ;
- glucose ;
- acides aminés ;
- grosses molécules ;
- molécules chargées.

Les ions comme Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Cl^- ne traversent pas librement la bicouche. Ils ont besoin de canaux ou de transporteurs.

- Cholestérol membranaire

Le cholestérol est présent dans les membranes cellulaires.

Il participe à la fluidité et à la stabilité de la membrane.

Il évite que la membrane soit trop rigide ou trop fluide selon les conditions.

Il est donc important pour les propriétés mécaniques de la membrane.

Protéines membranaires

- Définition

Les protéines membranaires sont des protéines insérées dans la membrane ou associées à elle.

Elles assurent la plupart des fonctions spécialisées de la membrane.

On distingue :

- protéines intégrales ;
- protéines périphériques.

Les protéines intégrales traversent ou s'insèrent profondément dans la membrane.

Les protéines périphériques sont associées à une face de la membrane.

- Rôles des protéines membranaires

Les protéines membranaires peuvent jouer plusieurs rôles.

Type de protéine	Rôle
Récepteur	reçoit un signal
Canal ionique	laisse passer des ions
Transporteur	déplace une molécule
Pompe	transporte activement avec énergie
Enzyme	catalyse une réaction
Protéine d'adhérence	attache les cellules entre elles
Protéine de reconnaissance	identification cellulaire

La membrane est donc un centre d'échange, de communication et de reconnaissance.

Récepteurs

- Définition

Un récepteur est une protéine capable de reconnaître un signal spécifique.

Le signal peut être :

- hormone ;
- neurotransmetteur ;
- cytokine ;
- facteur de croissance ;
- médicament ;
- molécule locale.

Quand le signal se fixe au récepteur, la cellule peut modifier son activité.

Exemple :

L'insuline se fixe sur son récepteur à la surface de certaines cellules. Cela déclenche une réponse permettant notamment l'entrée du glucose.

- Spécificité récepteur-ligand

La molécule qui se fixe au récepteur s'appelle un ligand.

Un récepteur reconnaît certains ligands de manière spécifique.

Image simple :

ligand = clé

récepteur = serrure

réponse cellulaire = ouverture d'un programme d'action

Une cellule ne répond à une hormone que si elle possède le récepteur correspondant.

Canaux ioniques

- Définition

Les canaux ioniques sont des protéines membranaires qui laissent passer des ions à travers la membrane.

Ils peuvent être sélectifs pour certains ions :

- sodium ;
- potassium ;
- calcium ;
- chlore.

Les canaux permettent un passage rapide des ions.

Ils sont essentiels dans les cellules excitables :

- neurones ;
- cellules musculaires ;
- cellules cardiaques.

- Types de canaux

Les canaux peuvent s'ouvrir ou se fermer selon différents stimuli.

Type de canal	Stimulus d'ouverture
Canal voltage-dépendant	variation du potentiel électrique
Canal ligand-dépendant	fixation d'un ligand
Canal mécano-dépendant	étirement ou pression
Canal de fuite	ouvert au repos de manière variable

Exemple :

Les canaux sodiques voltage-dépendants sont essentiels au potentiel d'action des neurones.

Transporteurs

- Définition

Un transporteur est une protéine membranaire qui déplace une molécule d'un côté à l'autre de la membrane.

Contrairement à un canal, il ne forme pas un simple pore ouvert.

Il change de forme pour déplacer la molécule.

Les transporteurs peuvent fonctionner :

- selon le gradient ;
- contre le gradient avec aide énergétique directe ou indirecte.
- Exemple : transporteur du glucose

Le glucose ne traverse pas librement la membrane plasmique.

Il utilise des transporteurs.

Exemples :

- GLUT : transport facilité du glucose ;
- SGLT : cotransport sodium-glucose, notamment dans l'intestin et le rein.

Le type de transporteur dépend du tissu et du rôle de la cellule.

Pompes membranaires

- Définition

Une pompe membranaire est une protéine qui transporte des substances contre leur gradient de concentration ou électrochimique.

Elle nécessite de l'énergie, souvent sous forme d'ATP.

Les pompes maintiennent les différences de composition entre intérieur et extérieur cellulaire.

- Exemple : pompe sodium-potassium

La pompe sodium-potassium ATPase est essentielle.

Elle fait sortir 3 ions sodium de la cellule et fait entrer 2 ions potassium dans la cellule.

Elle consomme de l'ATP.

Elle maintient :

- sodium élevé à l'extérieur ;
- potassium élevé à l'intérieur ;
- potentiel de membrane ;
- volume cellulaire ;
- excitabilité des neurones et muscles.

Sans cette pompe, les gradients ioniques disparaissent progressivement.

- Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma de membrane plasmique avec bicouche phospholipidique, cholestérol, récepteur, canal ionique, transporteur et pompe sodium-potassium.

3.3. Transport membranaire

- Définition

Le transport membranaire correspond au passage de substances à travers la membrane plasmique.

La cellule doit faire entrer :

- eau ;
- ions ;
- glucose ;
- acides aminés ;
- oxygène ;
- nutriments ;
- signaux.

Elle doit faire sortir :

- déchets ;
- CO₂ ;
- molécules sécrétées ;
- ions selon les besoins.

Les transports membranaires peuvent être passifs ou actifs.

- Transport passif et actif

Type de transport	Énergie nécessaire ?	Sens du transport
Transport passif	non	selon le gradient
Transport actif	oui, directement ou indirectement	souvent contre le gradient

Un gradient est une différence entre deux zones.

Il peut être :

- gradient de concentration ;
- gradient électrique ;
- gradient électrochimique.

Diffusion simple

- Définition

La diffusion simple est le passage direct d'une molécule à travers la bicouche phospholipidique, selon son gradient de concentration, sans protéine de transport et sans dépense d'énergie.

La molécule va d'une zone où elle est plus concentrée vers une zone où elle est moins concentrée.

- Molécules concernées

La diffusion simple concerne surtout :

- petites molécules non chargées ;
- molécules liposolubles ;
- gaz respiratoires.

Exemples :

- O_2 ;
- CO_2 ;
- hormones stéroïdes ;
- certaines molécules liposolubles.

- Exemple physiologique

Dans les poumons, l'oxygène diffuse des alvéoles vers le sang, car sa pression partielle est plus élevée dans l'air alvéolaire que dans le sang veineux arrivant aux poumons.

Le CO_2 diffuse en sens inverse, du sang vers les alvéoles.

Diffusion facilitée

- Définition

La diffusion facilitée est un transport passif qui utilise une protéine membranaire.

Elle se fait selon le gradient de concentration ou électrochimique.

Elle ne consomme pas directement d'ATP.

Elle concerne des molécules qui ne peuvent pas traverser seules la bicouche lipidique.

- Deux formes principales

La diffusion facilitée peut utiliser :

- des canaux ;
- des transporteurs.

Les canaux permettent surtout le passage rapide des ions.

Les transporteurs déplacent des molécules comme le glucose.

- Exemple : GLUT

Les transporteurs GLUT permettent l'entrée du glucose dans certaines cellules selon son gradient.

GLUT4, par exemple, est présent dans le muscle et le tissu adipeux.

Sous l'effet de l'insuline, davantage de GLUT4 est inséré dans la membrane, ce qui augmente l'entrée du glucose dans la cellule.

Osmose

- Définition

L'osmose est le déplacement de l'eau à travers une membrane semi-perméable.

L'eau se déplace vers le compartiment le plus concentré en solutés efficaces.

Elle est indispensable à l'équilibre du volume cellulaire.

- Aquaporines

Les aquaporines sont des canaux membranaires spécialisés dans le passage de l'eau.

Elles permettent un transport rapide de l'eau à travers certaines membranes.

Exemple :

Dans le rein, l'ADH augmente l'insertion d'aquaporines dans les tubes collecteurs, ce qui favorise la réabsorption d'eau.

- Effet sur les cellules

Selon la tonicité du milieu extracellulaire :

- en milieu hypotonique, l'eau entre dans la cellule ;
- en milieu isotonique, le volume cellulaire reste stable ;
- en milieu hypertonique, l'eau sort de la cellule.

La tonicité influence donc directement le volume cellulaire.

Transport actif primaire

- Définition

Le transport actif primaire utilise directement l'énergie de l'ATP pour transporter une substance contre son gradient.

Il est réalisé par des pompes membranaires.

- Exemple : pompe sodium-potassium ATPase

La pompe sodium-potassium ATPase transporte :

- 3 Na⁺ vers l'extérieur ;
- 2 K⁺ vers l'intérieur.

Elle consomme 1 ATP à chaque cycle.

Elle est essentielle pour :

- potentiel de repos ;
- volume cellulaire ;
- excitabilité nerveuse ;
- contraction musculaire ;
- transport secondaire ;
- fonction rénale ;
- absorption intestinale.
- Autres pompes importantes

Pompe	Rôle
Pompe Ca ²⁺ ATPase	maintient le calcium intracellulaire bas
Pompe H ⁺ /K ⁺ ATPase	sécrétion acide gastrique
Pompes à protons	acidification de certains compartiments
Transporteurs ABC	transport de diverses molécules, médicaments, lipides

Transport actif secondaire

- Définition

Le transport actif secondaire n'utilise pas directement l'ATP au niveau du transporteur.

Il utilise l'énergie stockée dans un gradient ionique, souvent le gradient de sodium.

Ce gradient a été créé auparavant par une pompe utilisant de l'ATP, notamment la pompe sodium-potassium.

- Cotransport et échangeur

Il existe deux grands types.

Type	Principe
Symport / cotransport	deux substances vont dans le même sens
Antiport / échangeur	deux substances vont en sens opposé

- Exemple : cotransport sodium-glucose

Le cotransporteur sodium-glucose utilise l'entrée du sodium dans la cellule pour faire entrer le glucose contre son gradient.

Il est important dans :

- intestin ;
- rein.

Dans l'intestin, il permet l'absorption du glucose alimentaire.

Dans le rein, il permet la réabsorption du glucose filtré.

- Exemple : échangeur sodium-calcium

L'échangeur sodium-calcium utilise le gradient de sodium pour expulser du calcium hors de la cellule.

Il est important notamment dans les cellules cardiaques.

Il participe à la régulation du calcium intracellulaire, donc à la contraction et à la relaxation.

Endocytose

- Définition

L'endocytose est un mécanisme par lequel la cellule fait entrer une substance en l'enveloppant dans une vésicule formée à partir de la membrane plasmique.

Elle permet l'entrée de grosses molécules, de particules ou de fragments cellulaires.

- Types d'endocytose

Type	Description
Phagocytose	ingestion de grosses particules ou microbes

Type	Description
Pinocytose	ingestion de liquide extracellulaire
Endocytose médiée par récepteur	entrée spécifique d'une molécule liée à un récepteur

- Phagocytose

La phagocytose est utilisée par certaines cellules immunitaires.

Exemples :

- macrophages ;
- neutrophiles.

Elle permet d'englober et détruire :

- bactéries ;
- débris cellulaires ;
- particules étrangères.
- Endocytose médiée par récepteur

Cette endocytose est très spécifique.

Une molécule se fixe à son récepteur, puis l'ensemble est internalisé dans la cellule.

Exemple :

L'entrée du cholestérol LDL dans certaines cellules se fait par endocytose médiée par récepteur.

Exocytose

- Définition

L'exocytose est le mécanisme inverse de l'endocytose.

Une vésicule intracellulaire fusionne avec la membrane plasmique et libère son contenu vers l'extérieur de la cellule.

- Rôles de l'exocytose

L'exocytose permet la sécrétion de :

- hormones ;
- neurotransmetteurs ;
- enzymes digestives ;
- mucus ;
- protéines ;
- anticorps ;
- médiateurs inflammatoires.

Elle permet aussi d'ajouter des protéines ou lipides à la membrane plasmique.

- Exemple : neurotransmission

Dans une synapse, le potentiel d'action arrive au bouton synaptique.

Cela provoque une entrée de calcium.

Le calcium déclenche la fusion de vésicules avec la membrane.

Les neurotransmetteurs sont libérés par exocytose dans la fente synaptique.

- Tableau récapitulatif des transports

Transport	Énergie ?	Protéine ?	Sens
Diffusion simple	non	non	selon gradient
Diffusion facilitée	non	oui	selon gradient
Osmose	non	souvent aquaporines	eau vers milieu concentré
Transport actif primaire	oui, ATP direct	pompe	contre gradient
Transport actif secondaire	énergie indirecte	cotransporteur/échangeur	utilise gradient ionique
Endocytose	oui	vésicules	entrée de grosses substances
Exocytose	oui	vésicules	sortie/sécrétion

- Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma comparatif des transports membranaires : diffusion simple, canal, transporteur, pompe ATPase, cotransport, endocytose, exocytose.

3.4. Potentiel de membrane

- Définition

Le potentiel de membrane est une différence de charge électrique entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

L'intérieur de la cellule est généralement plus négatif que l'extérieur.

Cette différence électrique est due à une répartition inégale des ions de part et d'autre de la membrane.

Elle est essentielle pour les cellules excitables :

- neurones ;
- cellules musculaires ;
- cellules cardiaques ;
- certaines cellules endocrines.

Répartition des ions

- Ions principaux

Les ions les plus importants pour le potentiel de membrane sont :

- sodium Na^+ ;
- potassium K^+ ;
- calcium Ca^{2+} ;
- chlore Cl^- ;
- protéines intracellulaires chargées négativement.

- Répartition intra/extracellulaire

Ion	Concentration principale
Na^+	surtout extracellulaire
K^+	surtout intracellulaire
Ca^{2+}	très faible dans le cytoplasme, plus élevé à l'extérieur et dans certains stocks
Cl^-	surtout extracellulaire
Protéines négatives	surtout intracellulaires

Cette répartition crée des gradients chimiques et électriques.

Les ions se déplacent selon un gradient électrochimique, qui dépend :

- du gradient de concentration ;
- du gradient électrique.

Pompe sodium-potassium

- Rôle fondamental

La pompe sodium-potassium ATPase maintient les gradients de sodium et de potassium.

Elle expulse 3 Na^+ hors de la cellule et fait entrer 2 K^+ dans la cellule.

Elle consomme de l'ATP.

Elle est électrogène, car elle sort plus de charges positives qu'elle n'en fait entrer.

Elle contribue donc à rendre l'intérieur cellulaire plus négatif.

- Importance physiologique

La pompe sodium-potassium est indispensable pour :

- potentiel de repos ;
- volume cellulaire ;
- activité nerveuse ;
- activité musculaire ;
- fonctionnement cardiaque ;
- transport actif secondaire ;
- réabsorption rénale ;
- absorption intestinale.

Si elle s'arrête, les gradients ioniques s'effondrent progressivement.

Cela peut entraîner un dysfonctionnement cellulaire grave.

Potentiel de repos

- Définition

Le potentiel de repos est le potentiel de membrane d'une cellule au repos.

Dans un neurone, il est souvent proche de -70 mV.

Cette valeur varie selon les cellules.

Le signe négatif signifie que l'intérieur de la cellule est plus négatif que l'extérieur.

- Origine du potentiel de repos

Le potentiel de repos dépend surtout :

- de la perméabilité de la membrane au potassium ;
- des gradients ioniques ;
- de la pompe sodium-potassium ;
- des protéines intracellulaires négatives ;
- des canaux de fuite.

Au repos, la membrane est souvent plus perméable au potassium qu'au sodium.

Le potassium a tendance à sortir de la cellule par des canaux de fuite, laissant l'intérieur plus négatif.

- Importance du potentiel de repos

Le potentiel de repos permet aux cellules excitables de répondre rapidement à un stimulus.

C'est une réserve d'énergie électrique.

Sans potentiel de repos, il n'y aurait pas de potentiel d'action normal.

Les neurones, les muscles et le cœur dépendent donc de cette différence électrique.

Dépolarisation

- Définition

La dépolarisation correspond à une diminution de la différence de charge entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule.

L'intérieur devient moins négatif, voire positif dans certaines situations.

Elle est souvent liée à l'entrée d'ions positifs dans la cellule.

Exemple :

- entrée de sodium dans un neurone ;
- entrée de calcium dans certaines cellules cardiaques ou endocrines.
- Dépolarisation et potentiel d'action

Dans un neurone, si la dépolarisation atteint un seuil, elle déclenche un potentiel d'action.

Les canaux sodiques voltage-dépendants s'ouvrent.

Le sodium entre massivement.

La membrane se dépolarise rapidement.

Le message électrique se propage.

Repolarisation

- Définition

La repolarisation correspond au retour du potentiel de membrane vers une valeur négative après une dépolarisation.

Elle est souvent liée à :

- fermeture ou inactivation des canaux sodiques ;
- ouverture des canaux potassiques ;
- sortie de potassium.

La repolarisation permet à la cellule de retrouver un état compatible avec un nouveau signal.

- Exemple

Dans un neurone :

- entrée de Na^+ : dépolarisation ;
- inactivation des canaux Na^+ ;
- sortie de K^+ : repolarisation ;
- retour progressif au potentiel de repos.

Hyperpolarisation

- Définition

L'hyperpolarisation correspond à une augmentation de la négativité interne de la cellule.

Le potentiel devient plus négatif que le potentiel de repos.

Elle peut être due à :

- sortie excessive de K^+ ;
- entrée de Cl^- ;
- ouverture prolongée de certains canaux.

Une cellule hyperpolarisée est souvent moins excitable.

Il faut un stimulus plus fort pour atteindre le seuil de déclenchement.

- Importance physiologique

L'hyperpolarisation intervient dans :

- freinage neuronal ;
- modulation de l'excitabilité ;
- inhibition synaptique ;
- régulation du rythme de décharge ;
- retour au calme après un potentiel d'action.

- Potentiel de membrane et clinique

Les troubles ioniques peuvent perturber le potentiel de membrane.

Exemples :

- hyperkaliémie : perturbe l'excitabilité cardiaque ;
- hypokaliémie : favorise faiblesse et troubles du rythme ;
- hypocalcémie : augmente l'excitabilité neuromusculaire ;
- hypercalcémie : peut diminuer l'excitabilité ;
- troubles du sodium : peuvent provoquer des signes neurologiques.

Les cellules nerveuses, musculaires et cardiaques sont particulièrement sensibles aux électrolytes.

- Schéma à insérer

Image conseillée :

Schéma du potentiel d'action : potentiel de repos, dépolarisation, repolarisation, hyperpolarisation, retour au repos.

Deuxième image conseillée :

Schéma de la pompe Na^+/K^+ ATPase : 3 Na^+ sortent, 2 K^+ entrent, consommation d'ATP.

3.5. Communication cellulaire

- Définition

La communication cellulaire correspond à l'ensemble des mécanismes par lesquels les cellules échangent des informations.

Une cellule doit savoir ce qui se passe autour d'elle.

Elle doit recevoir des signaux pour :

- se diviser ;
- se différencier ;
- sécréter ;
- se contracter ;
- se déplacer ;
- se défendre ;
- mourir si nécessaire ;
- modifier son métabolisme ;
- activer ou freiner certains gènes.

La communication cellulaire permet la coordination du corps entier.

- Les étapes générales d'une communication cellulaire

Une communication cellulaire comprend souvent :

- production d'un signal ;
- libération du signal ;
- transport ou diffusion du signal ;
- fixation du signal sur un récepteur ;
- transduction du signal ;
- réponse cellulaire.

La transduction correspond à la transformation du signal extérieur en réponse intracellulaire.

Communication endocrine

- Définition

La communication endocrine utilise des hormones libérées dans le sang.

L'hormone est produite par une cellule ou une glande endocrine.

Elle circule dans le sang et agit à distance sur des cellules cibles.

- Caractéristiques

Caractéristique	Communication endocrine
Distance	longue distance
Transport	sang
Vitesse	souvent lente à modérée
Durée d'effet	souvent prolongée
Exemple	insuline, cortisol, hormones thyroïdiennes

- Exemple : insuline

Après un repas, la glycémie augmente.

Les cellules bêta du pancréas sécrètent de l'insuline.

L'insuline circule dans le sang.

Elle agit sur :

- foie ;
- muscles ;
- tissu adipeux.

Elle favorise l'utilisation et le stockage du glucose.

Communication paracrine

- Définition

La communication paracrine correspond à une communication locale.

Une cellule sécrète une molécule qui agit sur des cellules voisines.

Le signal ne passe pas principalement par la circulation générale.

- Exemples

Exemples de communication paracrine :

- médiateurs de l'inflammation ;
- facteurs de croissance ;
- prostaglandines ;
- histamine ;
- monoxyde d'azote ;
- certaines cytokines.

- Exemple : inflammation locale

Lors d'une lésion tissulaire, des cellules libèrent des médiateurs locaux.

Ces médiateurs agissent sur les vaisseaux voisins et les cellules immunitaires proches.

Ils provoquent :

- vasodilatation ;
- augmentation de perméabilité ;
- douleur ;
- recrutement de leucocytes.

C'est une réponse paracrine locale.

Communication autocrine

- Définition

La communication autocrine correspond à une situation où une cellule sécrète un signal qui agit sur elle-même.

La cellule possède le récepteur du signal qu'elle produit.

- Rôle

La communication autocrine permet :

- auto-amplification ;
- auto-régulation ;
- survie cellulaire ;
- prolifération ;
- modulation de l'activité cellulaire.

Elle est importante en immunologie et en cancérologie.

- Exemple

Un lymphocyte activé peut sécréter certaines cytokines qui agissent sur lui-même pour renforcer sa prolifération ou son activation.

Certaines cellules tumorales peuvent aussi produire des facteurs de croissance qui stimulent leur propre croissance.

Communication synaptique

- Définition

La communication synaptique est une communication spécialisée entre un neurone et une autre cellule.

Cette autre cellule peut être :

- un autre neurone ;
- une cellule musculaire ;
- une cellule glandulaire.

Elle se fait au niveau d'une synapse.

- Synapse chimique

Dans une synapse chimique :

- un potentiel d'action arrive au bouton présynaptique ;
- des canaux calciques s'ouvrent ;
- le calcium entre dans le neurone ;
- des vésicules fusionnent avec la membrane ;
- un neurotransmetteur est libéré ;
- il diffuse dans la fente synaptique ;
- il se fixe sur des récepteurs postsynaptiques ;
- la cellule cible répond.

- Exemples de neurotransmetteurs

Neurotransmetteur	Rôle général
Acétylcholine	jonction neuromusculaire, système autonome
Noradrénaline	vigilance, sympathique
Dopamine	motivation, mouvement, récompense
Sérotonine	humeur, sommeil, douleur, digestion
GABA	inhibition principale du SNC
Glutamate	excitation principale du SNC
Glycine	inhibition dans moelle et tronc cérébral

- Jonction neuromusculaire

La jonction neuromusculaire est une synapse entre un neurone moteur et une fibre musculaire squelettique.

Le neurotransmetteur est l'acétylcholine.

L'acétylcholine déclenche une dépolarisation de la membrane musculaire.

Cela conduit à la contraction musculaire.

Récepteurs membranaires

- Définition

Les récepteurs membranaires sont des protéines situées dans la membrane plasmique.

Ils reconnaissent des signaux extracellulaires.

Ces signaux peuvent être :

- hormones hydrosolubles ;
- neurotransmetteurs ;
- cytokines ;
- facteurs de croissance ;
- molécules immunitaires ;
- médicaments.

Quand le ligand se fixe au récepteur, la cellule modifie son activité.

- Types de récepteurs membranaires

On distingue plusieurs grandes familles.

Type de récepteur	Principe
Récepteur canal	l'ouverture du canal dépend du ligand
Récepteur couplé aux protéines G	active des voies intracellulaires via protéines G
Récepteur enzymatique	possède ou active une activité enzymatique
Récepteur associé à une kinase	active une cascade de phosphorylation

- Récepteurs canaux

Un récepteur canal s'ouvre lorsqu'un ligand se fixe.

Cela permet le passage d'ions.

Exemple :

Le récepteur nicotinique à l'acétylcholine à la jonction neuromusculaire laisse passer des ions, ce qui déclenche une dépolarisation.

- Récepteurs couplés aux protéines G

Les récepteurs couplés aux protéines G sont très fréquents.

Ils sont impliqués dans de nombreux systèmes :

- hormones ;
- neurotransmetteurs ;
- odorat ;
- vision ;
- régulation cardiovasculaire ;
- pharmacologie.

Quand le ligand se fixe, le récepteur active une protéine G, qui déclenche ensuite une cascade intracellulaire.

- Récepteurs à activité enzymatique

Certains récepteurs possèdent une activité enzymatique ou activent des enzymes.

Exemple :

Le récepteur de l'insuline est un récepteur à activité tyrosine kinase.

Quand l'insuline se fixe, le récepteur déclenche des cascades intracellulaires qui modifient le métabolisme du glucose.

Seconds messagers

- Définition

Un second messenger est une molécule intracellulaire qui transmet le signal reçu par un récepteur.

Le premier messenger est le signal extracellulaire, comme une hormone ou un neurotransmetteur.

Le second messenger relaie le message à l'intérieur de la cellule.

- Principaux seconds messagers

Second messenger	Rôle général
AMPC	active des protéines kinases, modifie activité cellulaire
GMPC	signalisation vasculaire et autres voies
IP3	libération de calcium intracellulaire
DAG	activation de protéines kinases
Ca ²⁺	contraction, sécrétion, signalisation
NO	vasodilatation, signalisation locale

- Exemple : AMPC

Une hormone se fixe sur un récepteur membranaire.

Le récepteur active une protéine G.

La protéine G active l'adénylate cyclase.

L'adénylate cyclase produit de l'AMPC.

L'AMPC active des protéines kinases.

Ces kinases modifient l'activité de protéines cellulaires.

La cellule répond au signal.

- Exemple : calcium comme second messenger

Le calcium intracellulaire est maintenu très bas au repos.

Une augmentation du calcium cytoplasmique peut déclencher :

- contraction musculaire ;
- exocytose ;
- activation enzymatique ;
- sécrétion hormonale ;
- modification de l'activité cellulaire.

Le calcium est donc un messenger intracellulaire majeur.

- Réponse cellulaire

Après réception et transduction du signal, la cellule peut répondre de plusieurs façons.

Exemples de réponses :

- ouverture d'un canal ;
- modification du métabolisme ;
- sécrétion ;
- contraction ;
- division cellulaire ;
- migration ;
- expression de gènes ;
- inhibition d'une fonction ;
- mort cellulaire programmée.

La même molécule peut avoir des effets différents selon la cellule cible, car les récepteurs et les voies intracellulaires varient.

Exemple :

L'adrénaline peut augmenter la fréquence cardiaque, dilater les bronches, mobiliser du glucose et modifier le tonus vasculaire selon les récepteurs présents dans les tissus.

- Communication cellulaire et médicaments

Beaucoup de médicaments agissent sur la communication cellulaire.

Ils peuvent :

- activer un récepteur ;
- bloquer un récepteur ;
- inhiber une enzyme ;
- ouvrir ou bloquer un canal ;
- modifier un transporteur ;
- empêcher la recapture d'un neurotransmetteur ;
- mimer une hormone ;
- bloquer une voie de signalisation.

Exemples :

- bêtabloquants : bloquent certains récepteurs adrénergiques ;
- insuline : remplace ou complète une hormone ;
- inhibiteurs de pompe à protons : agissent sur la pompe H^+/K^+ gastrique ;
- anesthésiques locaux : bloquent des canaux sodiques ;
- antidépresseurs ISRS : modifient la disponibilité de la sérotonine.

Comprendre les récepteurs et la signalisation cellulaire prépare donc à la pharmacologie.

- Schéma à insérer

Images conseillées :

Schéma des quatre types de communication : endocrine, paracrine, autocrine, synaptique.

Schéma d'un récepteur membranaire avec ligand, activation intracellulaire, second messenger et réponse cellulaire.

Synthèse du chapitre

La cellule est l'unité fonctionnelle du vivant. Chaque fonction du corps repose sur l'activité coordonnée des cellules.

La membrane plasmique sépare le milieu intracellulaire du milieu extracellulaire. Elle est formée d'une bicouche phospholipidique contenant des protéines membranaires, du cholestérol et des glucides. Elle permet les échanges, la communication, la reconnaissance et le maintien des gradients ioniques.

Le cytoplasme contient les organites et les molécules nécessaires aux réactions cellulaires. Les mitochondries produisent l'ATP. Le réticulum endoplasmique et l'appareil de Golgi participent à la synthèse, la modification et l'adressage des protéines et lipides. Le noyau contient l'ADN, qui permet la production des protéines.

Le transport membranaire permet aux substances d'entrer et sortir de la cellule. La diffusion simple et la diffusion facilitée suivent les gradients. L'osmose concerne l'eau. Le transport actif primaire utilise directement l'ATP. Le transport actif secondaire utilise l'énergie d'un gradient ionique. L'endocytose fait entrer de grosses substances, et l'exocytose permet la sécrétion.

Le potentiel de membrane repose sur une répartition inégale des ions, notamment sodium, potassium, calcium et chlore. La pompe sodium-potassium maintient les gradients ioniques. Le potentiel de repos permet l'excitabilité cellulaire. La dépolarisation, la repolarisation et l'hyperpolarisation sont essentielles au fonctionnement des neurones, des muscles et du cœur.

Les cellules communiquent par des signaux endocrines, paracrines, autocrines et synaptiques. Les récepteurs membranaires reconnaissent des ligands et déclenchent des réponses intracellulaires, souvent grâce à des seconds messagers comme l'AMPc, le calcium, l'IP3 ou le DAG.

La physiologie cellulaire est donc la base de la physiologie nerveuse, musculaire, endocrinienne, cardiovasculaire, rénale, digestive, immunitaire et pharmacologique.

À retenir absolument

Notion	Définition courte
Cellule	unité fonctionnelle du vivant
Membrane plasmique	barrière sélective et communicante
Cytoplasme	contenu cellulaire hors noyau
Organites	structures spécialisées intracellulaires
Noyau	contient l'ADN
ADN	support de l'information génétique
Métabolisme	ensemble des réactions chimiques cellulaires
ATP	énergie directement utilisable par la cellule
Bicouche phospholipidique	base structurale de la membrane
Récepteur	reconnaît un signal spécifique
Canal ionique	laisse passer rapidement des ions
Transporteur	déplace une molécule à travers la membrane
Pompe	transporte contre un gradient avec énergie
Diffusion simple	passage direct selon gradient
Diffusion facilitée	passage selon gradient avec protéine
Osmose	déplacement de l'eau
Transport actif primaire	utilise directement l'ATP
Transport actif secondaire	utilise un gradient ionique
Endocytose	entrée par vésicule
Exocytose	sortie/sécrétion par vésicule
Potentiel de repos	différence électrique au repos
Dépolarisation	intérieur cellulaire devient moins négatif
Repolarisation	retour vers le potentiel de repos
Hyperpolarisation	intérieur devient plus négatif que le repos
Communication endocrine	hormone dans le sang, action à distance
Communication paracrine	signal local vers cellules voisines
Communication autocrine	signal agit sur la cellule qui l'a produit
Communication synaptique	signal nerveux par neurotransmetteur
Second messenger	relais intracellulaire d'un signal

Mini-évaluation

Réponds aux questions suivantes :

- Pourquoi dit-on que la cellule est l'unité fonctionnelle du vivant ?
- Quels sont les grands éléments d'une cellule humaine ?
- Quel est le rôle de la membrane plasmique ?
- Que contient le cytoplasme ?
- Quel organite produit principalement l'ATP ?
- Quel est le rôle du réticulum endoplasmique rugueux ?
- Quel est le rôle de l'appareil de Golgi ?
- Quel est le rôle du noyau ?
- Quelle est la relation simplifiée entre ADN, ARN et protéine ?
- Qu'est-ce que le métabolisme cellulaire ?
- Quelle est la différence entre catabolisme et anabolisme ?
- De quoi est formée la membrane plasmique ?
- Pourquoi la bicouche phospholipidique bloque-t-elle les ions ?
- Quels sont les grands rôles des protéines membranaires ?
- Qu'est-ce qu'un récepteur ?

- Qu'est-ce qu'un canal ionique ?
- Quelle est la différence entre canal, transporteur et pompe ?
- Qu'est-ce que la diffusion simple ?
- Qu'est-ce que la diffusion facilitée ?
- Qu'est-ce que l'osmose ?
- Qu'est-ce que le transport actif primaire ?
- Pourquoi la pompe sodium-potassium est-elle importante ?
- Qu'est-ce que le transport actif secondaire ?
- Quelle est la différence entre endocytose et exocytose ?
- Qu'est-ce que le potentiel de membrane ?
- Quels ions sont importants pour le potentiel de membrane ?
- Que fait la pompe sodium-potassium ?
- Qu'est-ce que le potentiel de repos ?
- Qu'est-ce qu'une dépolarisation ?
- Qu'est-ce qu'une repolarisation ?
- Qu'est-ce qu'une hyperpolarisation ?
- Quels sont les quatre grands types de communication cellulaire ?
- Quelle est la différence entre communication endocrine et paracrine ?
- Qu'est-ce qu'une communication autocrine ?
- Qu'est-ce qu'une synapse chimique ?
- Qu'est-ce qu'un second messenger ?
- Cite trois seconds messagers importants.
- Pourquoi la physiologie cellulaire est-elle importante pour comprendre la pharmacologie ?