Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

Lycée Valentine LABBÉ
41 rue Paul DOUMER – BP 20226
59563 LA MADELEINE CEDEX
CLASSE PRÉPARATOIRE TB
(Technologie & Biologie)

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°

Partie 1. Organisation fonctionnelle de la cellule eucaryote
>> Cours <<

Chapitre 2 : Proposition de fiche à compléter

Les membranes biologiques et leurs fonctions

Objectifs : extraits du programme

Connaissances clefs à construire	Commentaires, capacités exigibles
1.2 Membranes et échanges membranaires	
1.2.1 Organisation et propriétés des membranes cellulaires Les membranes cellulaires sont des associations non covalentes de protéines et de lipides assemblés en bicouches asymétriques. Les propriétés de fluidité, de perméabilité sélective, de spécificité et de communication de la membrane dépendent de cette organisation.	- présenter en l'argumentant le modèle de mosaïque fluide - présenter et analyser les différents types de localisation des protéines membranaires - en discuter les conséquences en termes de mobilité
1.2.2. Membranes et interrelations structurales Des interactions entre membranes, matrices extracellulaires et cytosquelettes conditionnent les propriétés mécaniques des cellules et les relations mécaniques entre cellules au sein des tissus.	- reconnaître les grands types de jonction et les relier à leurs fonctions - connaître la nature moléculaire des filaments d'actine, des microtubules et de la kératine afin d'argumenter leur fonction structurale au sein de la cellule - décrire l'organisation du collagène, l'architecture d'une matrice animale (on se limite à l'exemple d'un conjonctif) et d'une paroi pecto-cellulosique
Les matrices extracellulaires forment une interface fonctionnelle entre la cellule et son milieu.	- relier la densité et les propriétés intrinsèques des réseaux de filaments aux propriétés mécaniques des matrices (consistances de gel plus ou moins fluides) - expliquer le principe de la rigidification d'une matrice par imprégnation de lignine ou de substance minérale **Remarque** : Aucun exemple particulier de cellule n'est exigible. Cependant, celui d'une cellule épithéliale est particulièrement propice à la présentation de ces interactions. **Limites** : Pour les matrices extracellulaires, on se limite à deux exemples : - pour les végétaux, la paroi pecto-cellulosique ; - pour l'architecture d'une matrice animale, un conjonctif. *On ne fait que mentionner les parois bactériennes dont l'architecture n'est pas au programme.*
1.2.3. Membranes et échanges	
Il existe différentes modalités de flux de matière entre compartiments.	- définir un compartiment
Des transferts de matière sont réalisés entre compartiments par des phénomènes de bourgeonnement ou de fusion de vésicules (dont les phénomènes d'endocytose et d'exocytose). Les mécanismes reposent sur les propriétés des membranes et l'implication de protéines.	- présenter un exemple de formation d'une vésicule d'endocytose et de fusion d'une vésicule d'exocytose
L'eau et les solutés peuvent traverser une membrane par transferts passifs, par transport actif primaire ou secondaire. Ces transferts sont régis par des lois thermodynamiques (gradients chimiques ou électrochimiques, sens de transfert). Des modèles de mécanismes moléculaires permettent de rendre compte de ces différents types de flux. Ces échanges ont des fonctions diverses en liaison entre autres, avec la nutrition des cellules, leur métabolisme mais aussi avec des fonctions informationnelles à l'échelle de la cellule ou de l'organisme. Plus précisément : - la cinétique des flux transmembranaires peut être linéaire (diffusion simple au travers de la phase lipidique), ou hyperbolique (diffusion facilitée par les transporteurs ou les canaux la cinétique de ces derniers étant cependant linéaires dans les conditions cellulaires) ; - un gradient transmembranaire (chimique ou électrochimique) est une forme d'énergie que l'on peut évaluer sous forme d'une variation molaire d'enthalpie libre.	- présenter de façon cohérente les différentes grilles d'analyse des flux transmembranaires en reliant les aspects dynamiques, thermodynamiques aux modèles moléculaires associés - présenter ces échanges dans la perspective de leurs fonctions biologiques - évaluer la liposolubilité d'une espèce chimique par son coefficient de partition huile/eau - relier une cinétique de passage à une modalité de passage - évaluer une différence de potentiel électrochimique - exprimer une différence de potentiel électrochimique sous forme d'une tension transmembranaire (« force ion-motrice») - relier l'existence d'un gradient aux aspects énergétiques des transferts - relier les caractéristiques des protéines, leur localisation et leur fonction dans les échanges **Lien** : 1.4 [chapitre 5. Dynamiques métaboliques des cellules eucaryotes] **Lien Biotechnologies** : 3.1.2

1.2.4 Membrane et différence de potentiel électrique : potentiel de repos, d'action et transmission synaptique Les membranes établissent et entretiennent des gradients chimiques et électriques. Les flux ioniques transmembranaires instaurent un potentiel électrique appelé potentiel de membrane. Le potentiel d'équilibre d'un ion est le potentiel de membrane pour lequel le flux net de l'ion est nul. La présence de canaux ioniques sensibles à la tension électrique rend certaines cellules excitables. Le potentiel d'action neuronal s'explique par les variations de conductance de ces canaux. Dans les neurones, l'influx nerveux se propage de façon régénérative le long de l'axone. Le diamètre des fibres affecte leur conductivité et donc la vitesse des influx, de même que la gaine de myéline. La synapse permet la transmission d'information d'une cellule excitable à une autre en provoquant une variation de potentiel transmembranaire.	- définir la notion de potentiel électrochimique d'un ion et expliciter le calcul de son potentiel d'équilibre (loi de Nernst) - relier la variation du potentiel membranaire aux modifications de conductances - analyser des enregistrements de patch-clamp pour argumenter un modèle moléculaire de fonctionnement d'un canal voltage-dépendant - expliquer la propagation axonique par régénération d'un potentiel d'action L'explication des montages permettant de mesurer les courants ioniques transmembranaires n'est pas exigible. - expliquer, dans un fonctionnement synaptique, le trajet de l'information supportée par les signaux successifs : nature du signal, nature du codage, extinction du signal - relier ces étapes aux modèles de mécanismes moléculaires qui les sous-tendent - relier sur un exemple le fonctionnement des récepteurs ligands-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines (site, allostérie, hydropathie et localisation...) **Limites** : On se limite à un exemple qui peut être celui de la synapse neuromusculaire ou d'une synapse neuro-neuronique. On limite les précisions sur les mécanismes moléculaires à ce qui est strictement nécessaire à la compréhension du modèle. Aucun exemple spécifique n'est exigible, mais le choix d'un support permettant d'intégrer endocytose, exocytose et de comparer canaux voltages et ligands dépendants peut être pratique. Les mécanismes producteurs des potentiels post-synaptiques, de leur propagation et de leur intégration ne sont pas au programme. **Lien** : 2.3 [chapitre 10. La circulation chez les Mammifères, une fonction intégrée dans l'organisme]

Introduction

Membranes biologiques :

→ ***Limites*** *(⇒ contrôle de la* ***comp° des compartiments*** *et des* ***cellules****)*
→ ***Surfaces d'échanges*** *(****matière****,* ***énergie****,* ***information****)*
→ ***Interfaces mécaniques*** *(****liens*** *entre* ***compartiments****, et surtout* ***entre cellule et extérieur*** *⇒* ***cohésion*** *des* ***tissus****)*

NB **Membrane plasmique** (= **cytoplasmique** = **cellulaire**) = **le plasmalemme**.

Comment les caractéristiques structurales et fonctionnelles des membranes biologiques leur permettent-elles d'être à la fois des barrières, des interfaces d'échanges et des interfaces mécaniques entre cellules ou entre compartiments ?

I. Les membranes biologiques, des mosaïques fluides délimitant les cellules et les compartiments cellulaires

Capacités exigibles	✓ **Présenter** en l'argumentant, le modèle de la mosaïque fluide. ✓ **Présenter** et **analyser** les différents types de localisation des protéines membranaires. ✓ En **discuter** les conséquences en termes de mobilité

A. La structure en mosaïque des membranes

1. Une représentation initiale : le modèle trilamellaire

2. Mise en évidence de la structure en mosaïque des membranes par cryofracture-cryodécapage

Étapes (SINGER & NICHOLSON, 1972) :

-

-

-

-

-

-

-

Exceptionnellement, les clichés obtenus au **MET** ont une ***allure en trois dimensions***, à cause de **l'ombrage métallique** réalisé. Mais c'est bien du **MET** non du ~~MEB~~ !

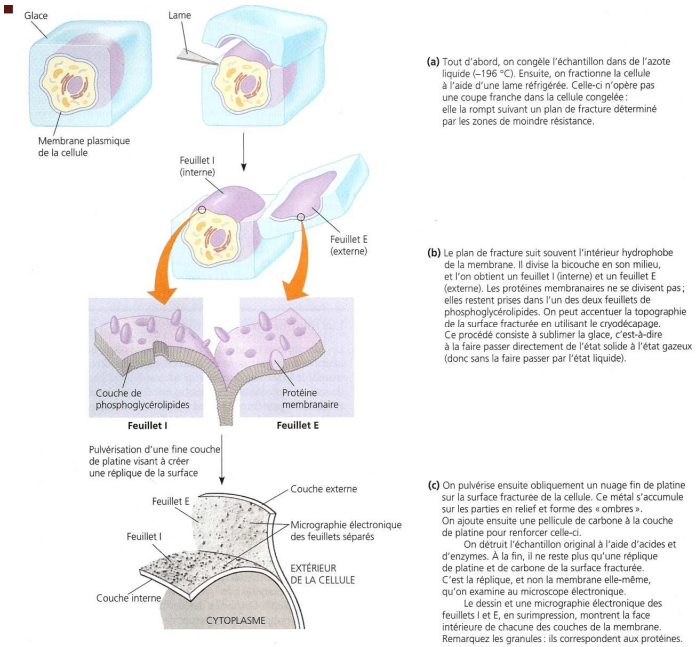


FIGURE 2. Cryofracture et cryodécapage. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

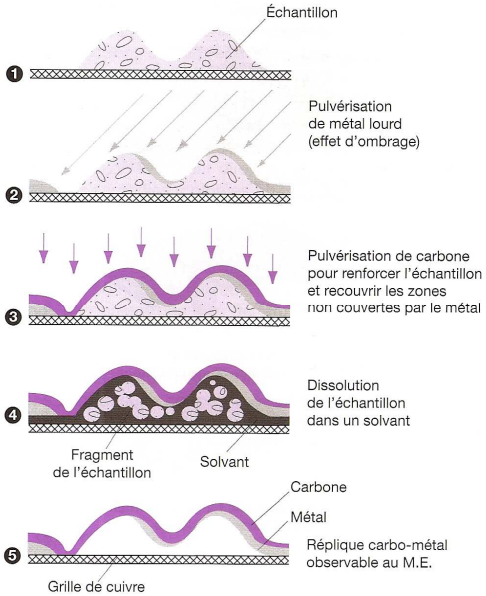


FIGURE 3. Technique de l'ombrage métallique. D'après BREUIL (2007).

3. Organisation et composition des membranes biologiques

FIGURE 4. Une membrane biologique : la membrane plasmique. D'après RAVEN *et al.* (2007).

Constituants :

- **Lipides** :

>

>

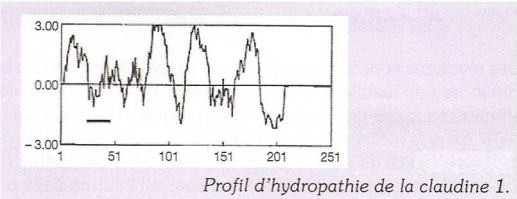
- **Protéines** :

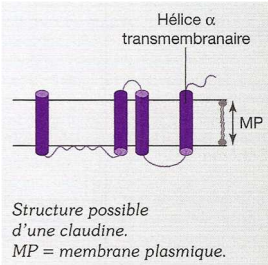
>

>

Domaines transmembranaires *= souvent* ***hélices alpha*** *→ détection par des* ***profils d'hydropathie (= d'hydrophobicité)***

- **Glucides** :





FIGURES 5-6. Profil d'hydropathie d'une claudine et son interprétation.
D'après DENŒUD *et al.* (2013).

4. Principales fonctions des protéines membranaires

- **Transporteurs** → *passage de substances*
- **Enzymes** →
- **Récepteurs** →
- **Protéines de jonctions** →
- Protéines de **fixation au cytosquelette**
- **Marqueurs** →

FIGURE 7. Principales fonctions des protéines membranaires.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

B. La fluidité et l'asymétrie membranaires

1. Mise en évidence de la fluidité membranaire

FIGURE 8. Mise en évidence de la fluidité membranaire avec la formation d'un hétérocaryon.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

FIGURE 9. Mise en évidence de la fluidité membranaire par *photoblishing*.
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

2. Mécanismes et modulabilité de la fluidité membranaire

- ***Mouvements latéraux*** *+* ***flip-flop*** *(bascule entre feuillets //* ***rare*** *!)*
- ***Fluidité*** *augmentée par les* ***insaturations***
- ***Fluidité*** *diminuée par les* ***stérols*** *(dont cholestérol)*
  [les ***stérols*** *abaissent toutefois le* ***point de congélation****]*
- ***Stabilisation d'une zone membranaire*** *possible par des* ***radeaux lipidiques*** *(riches en* ***sphingolipides****)*

3. L'asymétrie membranaire

Asymétrie membranaire :

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **membranes cellulaires** sont des **associations non covalentes** de **protéines** et de **lipides** assemblés en **bicouches asymétriques**. ✓ Les **propriétés** de **fluidité**, de **perméabilité sélective**, de **spécificité** et de **communication** de la **membrane** dépendent de cette **organisation** (voir les parties suivantes du cours).

II. Membrane plasmique, matrice extracellulaire et interrelations structurales entre cellules, ou entre cellule et matrice : la cohésion tissulaire

A. La cohésion des tissus, une fonction assurée par une coopération entre jonctions, matrice et cytosquelette

Tissu :

Cohésion des tissus : **liens mécaniques** entre **cellules** + **maintien** de la **forme cellulaire**
⇒ **Coopération** entre trois entités :

Jonctions intercellulaire (incl. jonctions cellule-matrice) :
Cytosquelette :
Matrice extracellulaire : *(!) Paroi → rôle squelettique*

B. Dans les cellules animales : l'importance des jonctions intercellulaires (et des jonctions cellule-matrice)

Capacité exigible	✓ **Reconnaître** les grands types de jonctions et les relier à leurs fonctions.

*À représenter ci-contre (5) : **jonctions étanches** = **serrées** ; **ceinture d'adhérence** ; **jonctions gap** ; **desmosomes** ; **hémidesmosomes**.*
(!) Nom des protéines importantes à préciser.

FIGURE. Jonctions intercellulaires animales. D'après SEGARRA *et al.* (2014).
*S'inspirer des **nombreuses figures** du cours mais aussi et surtout des **schémas produits dans le TP 1.2.***

1. Des jonctions cellule-cellule

Jonctions serrées = étanches *(tight junctions, zonula occludens)* **[étanchéité] :**
Jonctions lacunaires *(= **gap junctions**)* **[communication des cytosols] :** *(!)* ***Ouverture** / **fermeture** par **changement de conformation** (**contrôlable**)*
Ceintures d'adhérence *(zonula adherens)* **[ancrage] :**
Desmosomes *(macula adherens)* **[ancrage] :**

Ne pas confondre laminines (dans la **matrice**) et **lamines** (composant la **lamina** dans le noyau) !

2. Des jonctions cellule-matrice : les hémidesmosomes

Hémidesmosomes [ancrage] :

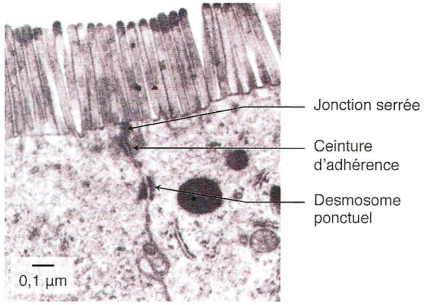
3. Existence de jonctions transitoires, notamment impliquées dans les communications intercellulaires et le développement

*Jonctions **cellule-cellule** → **migrations cellulaires**, **reconnaissance** entre cellules (**juxtacrinie**)*
*Jonctions **cellule-matrice** → **migrations cellulaires***

Encadré A Allure de quelques complexes jonctionnels au MET

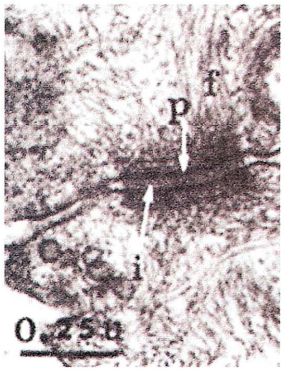
D'après SEGARRA *et al.* (2014)
Voir **surtout le TP 1.2** !

Jonctions entre deux cellules épithéliales (MET)



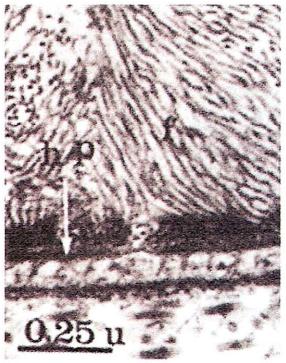
Jonctions au pôle apical de l'épithélium intestinal d'un mammifère (x 30 000) (Mukherjee T. M. et al. (1967) *J. Cell Biol.* **34**, 447-461)

Au pôle apical des cellules, donc juste en dessous des microvillosités, une jonction serrée rend l'épithélium étanche. Les deux membranes sont suffisamment rapprochées pour qu'on ne les distingue plus à cette échelle. Plus bas sont visibles une portion de la ceinture d'adhérence (desmosomes ceinturants), ainsi qu'un desmosome classique.



Structure d'un desmosome (Douglas W. H. et al. (1970) *J. Cell Biol.* **1**, 211-215)

Le desmosome laisse apparaître clairement les plaques protéiques (p) présentes dans chaque cellule, juste sous les membranes. C'est ce qui fait que les membranes apparaissent artificiellement épaissies à ce niveau. Ces plaques contiennent les protéines qui font la jonction entre les cadhérines et les filaments intermédiaires (f). La zone grisée (i) entre les membranes plasmiques est occupée par de nombreuses cadhérines en interaction homophile.



Structure d'un hémidesmosome (Douglas W. H. et al. (1970) *J. Cell Biol.* **1**, 211-215)

L'hémidesmosome relie la cellule épithéliale à la lame basale sous-jacente, MEC caractéristique des épithéliums, constituée de laminine, collagène, fibronectine…
Les filaments intermédiaires (f) viennent s'ancrer par leur extrémité au niveau de la plaque protéique (p) analogue à celle qui est rencontrée dans les desmosomes.
La structure d'un hémidesmosome est clairement asymétrique.

4. Et chez les cellules végétales ? Le cas litigieux des plasmodesmes

Plasmodesmes [communication entre cytosols → symplasme] :

FIGURE 20. Plasmodesmes. D'après BREUIL (2007) et PEYCRU *et al.* (2010a).

C. Une cohésion tissulaire impliquant le cytosquelette, notamment dans les cellules animales où il est associé aux jonctions

Capacité exigible	✓ **Connaître** la nature moléculaire des filaments d'actine, des microtubules et de la kératine afin d'argumenter leur fonction structurale au sein de la cellule.

1. Des constituants variés : microtubules, filaments intermédiaires (ex. kératine), microfilaments d'actine [rappels]

Revoir les fonctions dans le chapitre 1.

a) Microtubules :

FIGURE. Représentation schématique d'un microtubule.
D'après PEYCRU *et al.* (2013). Utiliser la figure 23.

Revoir aussi :
- ***COMT*** *(centre organisateur des microtubules)*
  Cellules ***animales*** *:* ***centrosome (2 centrioles)*** *+* ***matériel péricentriolaire***
  Cellules ***végétales*** *: pas de ~~centrosome~~*
- ***Extrémités (+) et (-)*** *des microtubules*
  (!) ***Extrémité (-) au contact du COMT***

b) Filaments intermédiaires :

Ex. **kératines** ; **neurofilaments** ; **lamines nucléaires***…
* seuls filaments intermédiaires des cellules végétales

FIGURE 23bis. Focus sur un filament intermédiaire. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

c) Microfilaments d'actine :

FIGURE. Représentation schématique d'un microfilament.
D'après PEYCRU *et al.* (2013). Utiliser la figure 23.

TABLEAU III. Le cytosquelette : structure et fonction (à connaître !).
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

	Microtubules	Filaments intermédiaires	Microfilaments
Structure			
Diamètre			
Sous-unités protéiques			
Fonctions principales			

2. Un ancrage cytosquelettique des jonctions cellulaires

D. Des cellules associées à une matrice extracellulaire

Capacités exigibles	✓ **Décrire** l'organisation du collagène, l'architecture d'une matrice animale (on se limite à l'exemple d'un conjonctif) et d'une paroi pecto-cellulosique. ✓ **Relier** la densité et les propriétés intrinsèques des réseaux de filaments aux propriétés mécaniques des matrices (consistance de gels plus ou moins fluides) ✓ **Expliquer** le principe de la rigidification d'une matrice par imprégnation de lignine ou du substance minérale.

1. Notion de matrice extracellulaire

TABLEAU V. Composition des matrices extracellulaires. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

COMPOSÉS BIOCHIMIQUES DES MEC ANIMALES.

Nature biochimique des composants	Noms des molécules et fonction
Protéines	Collagène (constitution de fibres) Élastine (constitution de fibres) Fibronectine et laminine (molécules d'adhésion)
Glucides (en association avec des protéines au sein des protéoglycanes)	Glycosaminoglycanes ou GAG : acide hyaluronique, chondroïtine sulfate... (constitution de gels)

LES CONSTITUANTS DES PAROIS VÉGÉTALES.

Classe moléculaire	Type de molécule	Caractères
Glucides	Cellulose (de 30 à 90 % selon les parois)	Homopolymère (1-4 β-glucose) Organisation en fibrilles de 10 à 30 nm de diamètre - Résistance à la traction
	Hémicelluloses (de 20 à 50 %)	Polyosides ramifiés Revêtement des fibrilles de cellulose
	Pectines (de 20 à 30 %)	Acides polygalacturoniques partiellement méthylés - Polyanions hydrophiles en gels
Protéines	Extensine (de 5 à 10 %)	Glycoprotéine riche en hydroxyproline Pontage des polyosides
	Hydrolases (exocellulases, exopectinases), expansine...	Enzymes mises en jeu dans l'élongation cellulaire ou dans la lignification
Métabolites secondaires	Lignine (30 % au mieux)	Cimentation de certaines parois

2. La lame basale, un exemple de matrice extracellulaire animale (MECA)

Lame basale :

Production par : ***fibroblastes = fibrocytes***

a. Constitution et organisation des matrices extracellulaires animales typiques

FIGURE 24. Matrice extracellulaire animale. D'après CAMPBELL & REECE (2004).
S'inspirer du chapitre 1 (schéma à la main).

Composition typique :

-

-

-

-

FIGURE 25. Tropocollagène et fibrille de collagène. D'après BREUIL (2007).

Pour bien comprendre :

- Le **tropocollagène** est fait de **3 chaînes polypeptidiques enroulées chacunes en hélice alpha** (et aussi de **sucres** : glucoses, galactoses ; c'est donc une **glycoprotéine** rigoureusement). Il se forme des **liaisons covalentes** entre **hydroxylysines** et entre **hydroxyprolines**, ainsi que des **liaisons H**, tout cela maintenant l'ensemble associé. Le tropocollagène est donc une **protéine de structure IV**.
- Ce **tropocollagène** s'associe, par des **liaisons covalentes intercahînes** (surtout entre hydroxylysines, mais aussi entre hydroxyprolines) et forme alors des **fibrilles** de **10-30 nm de diamètre** ;
- et ces **fibrilles** s'assemblent en **fibres** de **0,5 à 3 µm** de diamètre.

Il existe de **nombreux types de collagènes** ; ceux-ci constituent les **protéines (ou assemblages protéiques) les plus abondants du règne animal**.

FIGURE 26. Réseau d'élastine. D'après SEGARRA *et al.* (2014).

FIGURE. Glycosaminoglycanes (GAG) et protéoglycanes.
Utiliser le complément 2.

b. Des matrices extracellulaires animales produites par des fibroblastes

Exocytose *des* ***constituants matriciels*** *par des* ***fibroblastes = fibrocytes***

c. Des matrices animales pouvant subir une imprégnation minérale : exemple de l'os

Tissu osseux *:* ***consolidation du tissu*** *par incrustation de* ***phosphate de calcium*** $CaPO_4$ *(figure 28).*

FIGURE 28. Calcification osseuse. D'après SEGARRA *et al.* (2014).

3. La paroi, matrice extracellulaire végétale

a. Composition et organisation

Paroi primaire :

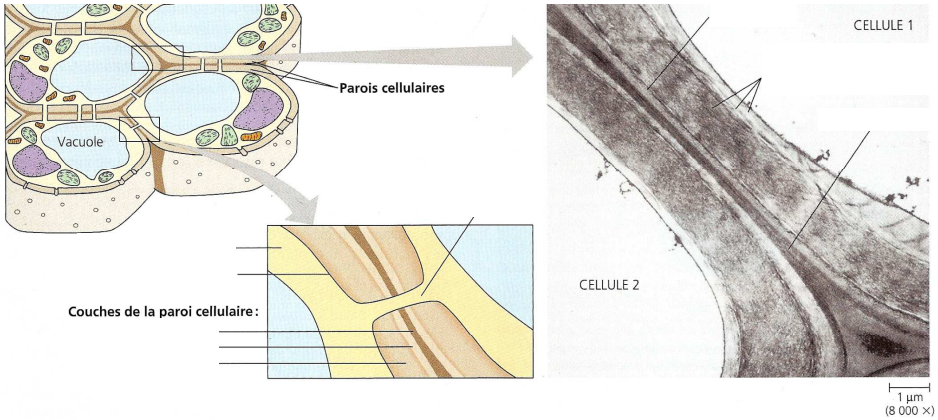
-

-

-

-

-



Paroi cellulaire végétale. Les cellules immatures commencent par élaborer une paroi primaire. Au terme de leur croissance, elles érigent une paroi secondaire, plus résistante, entre la paroi primaire et la membrane plasmique. Une lamelle moyenne adhésive cimente les cellules adjacentes. Les parois cellulaires ne sont pas étanches : des canaux appelés plasmodesmes les traversent et établissent un lien entre les cytoplasmes de cellules voisines (MET).

FIGURE 29. Organisation de la paroi. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

FIGURE 30. Organisation des constituants pariétaux.
D'après BREUIL (2007) et *Wikipédia*. *S'inspirer du chapitre 1 (schéma à la main).*

TABLEAU Vbis. Les principaux constituants pariétaux.
D'après ALBERTS *et al.* (2004)

POLYMÈRE	COMPOSITION	FONCTIONS
Cellulose	Polymère linéaire du glucose	Les fibrilles confèrent à toutes les parois une résistance élastique à la tension
Glycanes de liaisons croisées	Xyloglycanes, glucuronoarabinoxylanes et mannanes	Relient les fibrilles de cellulose en des réseaux résistants
Pectine	Homogalacturonanes et rhamnogalacturonanes	Forme des réseaux de charge négative, hydrophiles, qui donnent une résistance compressive aux parois primaires ; adhésion cellule-cellule
Lignine	Alcools de coumaryl, coniféryl et sinapyl formant des liaisons croisées	Forme des polymères résistants étanches qui renforcent les parois cellulaires secondaires
Protéines et glycoprotéines	Enzymes, protéines riches en hydroxyprolines	Responsables du renouvellement de la paroi et de son remodelage, facilitent la défense contre les germes pathogènes

Refaire les schémas du complément 2 :

⮝ **FIGURE. Cellulose.**

⮝ **FIGURE. Hémicelluloses.**

⮝ **FIGURE. Pectines.**

b. Synthèse et mise en place des constituants pariétaux

α. Mise en place précoce : édification du phragmoplaste par fusion de vésicules golgiennes pectiques et hémicellulosiques

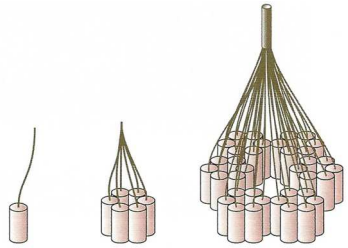
⮝ **FIGURE 31. Mise en place du phragmoplaste lors de la cytodiérèse au sein des cellules méristématiques.** D'après BREUIL (2007).

Plaque cellulaire = phragmoplaste* :

** (!) Le **phragmoplaste** peut aussi désigner, pour certains auteurs (ex. figure 31), le **réseau de microtubules acheminant les vésicules golgiennes**.*

β. La mise en place des celluloses

i. Une mise en place à partir d'UDP-glucose assurée par les celluloses synthases



⮝ **FIGURE 32. Organisation des celluloses synthases.** D'après TAIZ & ZEIGER (2010).

FIGURE 33. Fonctionnement d'un complexe de cellulose synthases.
D'après TAIZ & ZEIGER (2010), traduit.

(!) Localisation membranaire

ii. Une mise en place guidée par les microtubules corticaux

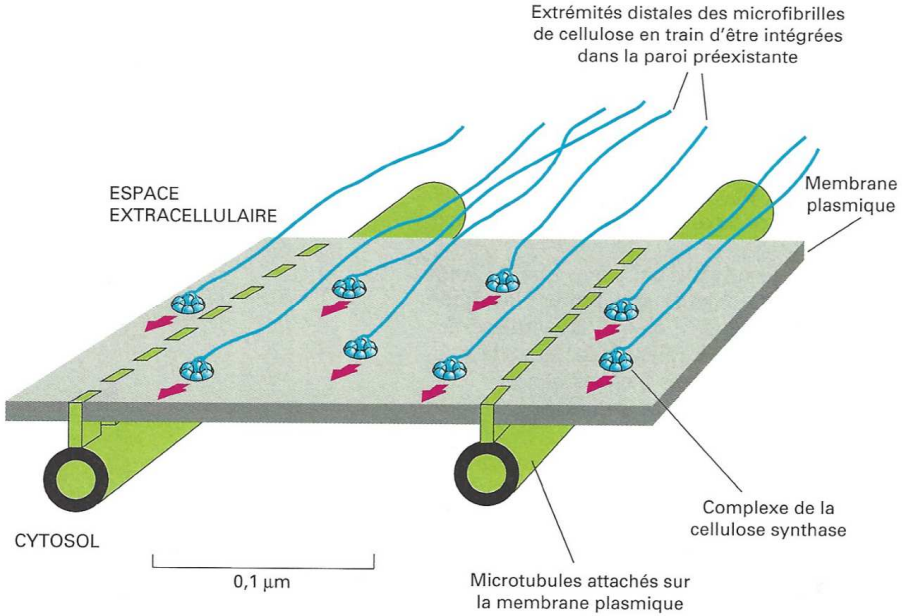


FIGURE 34. Rôle des microtubules dans l'orientation de la synthèse de cellulose.
D'après ALBERTS *et al.* (2004).

γ. Apport des constituants non cellulosiques aux parois par exocytose

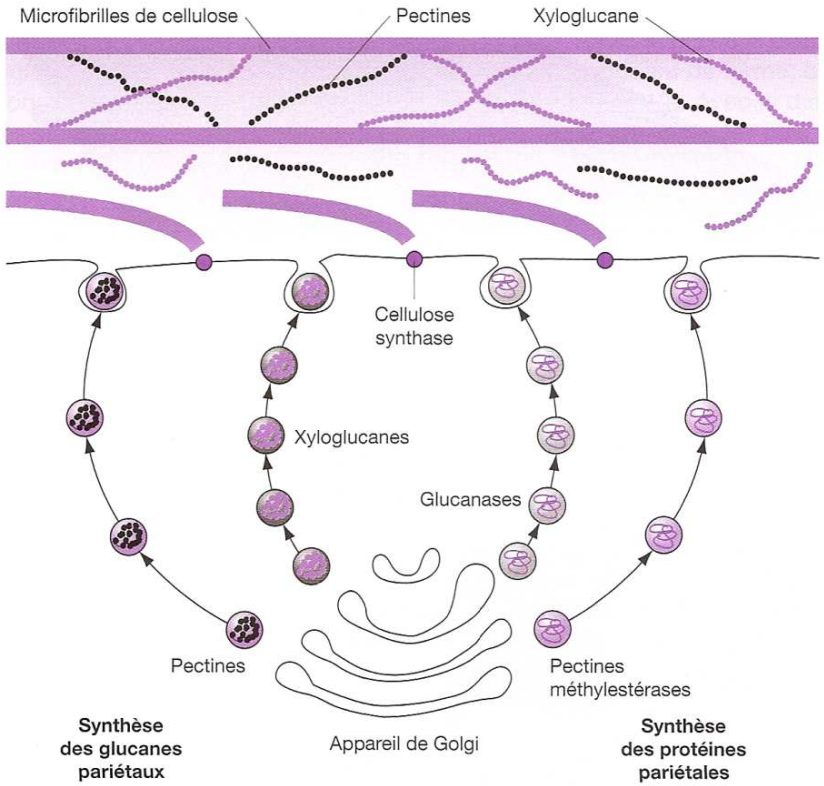
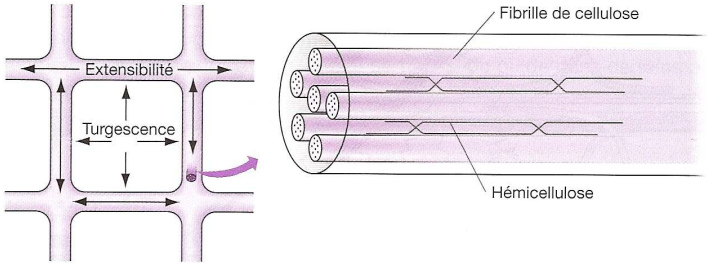


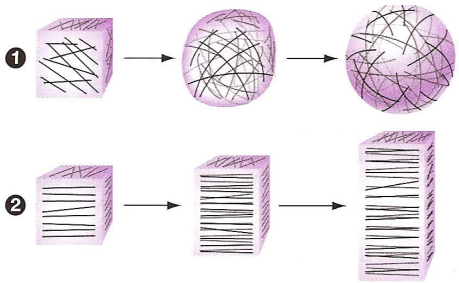
FIGURE 35. Importance de l'exocytose dans la mise en place des constituants pariétaux.
D'après BREUIL (2007).

δ. Une paroi primaire qui peut autoriser l'élongation

Voir chapitre sur le développement végétal (chapitre 18)



Mécanismes d'élongation de la paroi primaire



Influence de l'orientation des microfibrilles de cellulose sur le sens de la croissance cellulaire

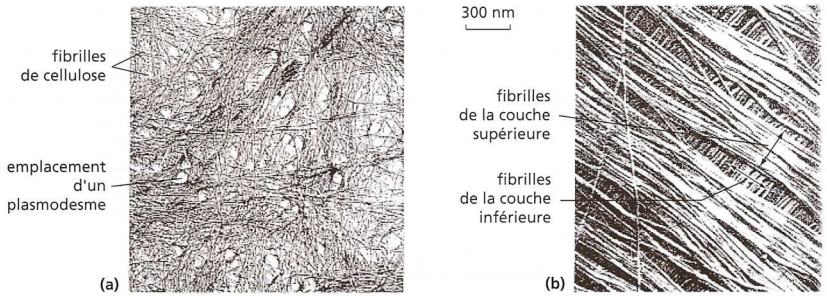
FIGURE 36. Élongation de la paroi primaire. D'après BREUIL (2007).

Intussusception :

c. Mise en place de la paroi secondaire, une paroi inextensible et différenciée

α. Notions de paroi primaire et paroi secondaire

Paroi primaire :
Paroi secondaire :



Paroi primaire **(a)** et paroi secondaire **(b)** au MEB (x 30 000).

FIGURE 37. Paroi primaire et paroi secondaire. D'après PEYCRU *et al.* (2010a).

β. Une différenciation de la paroi en paroi secondaire qui repose sur deux processus

i. L'épaississement pariétal par ajout de couches de cellulose

- Exemple de tissu typiquement constitué d'épaississement cellulosiques : le **collenchyme**.

ii. La modification de la composition pariétale par imprégnation de molécules variées (exemple : lignines)

- Voir figures 40-41.
- L'imprégnation de lignines (figures 40-41) (encadré C) a notamment un **effet rigidifiant**.

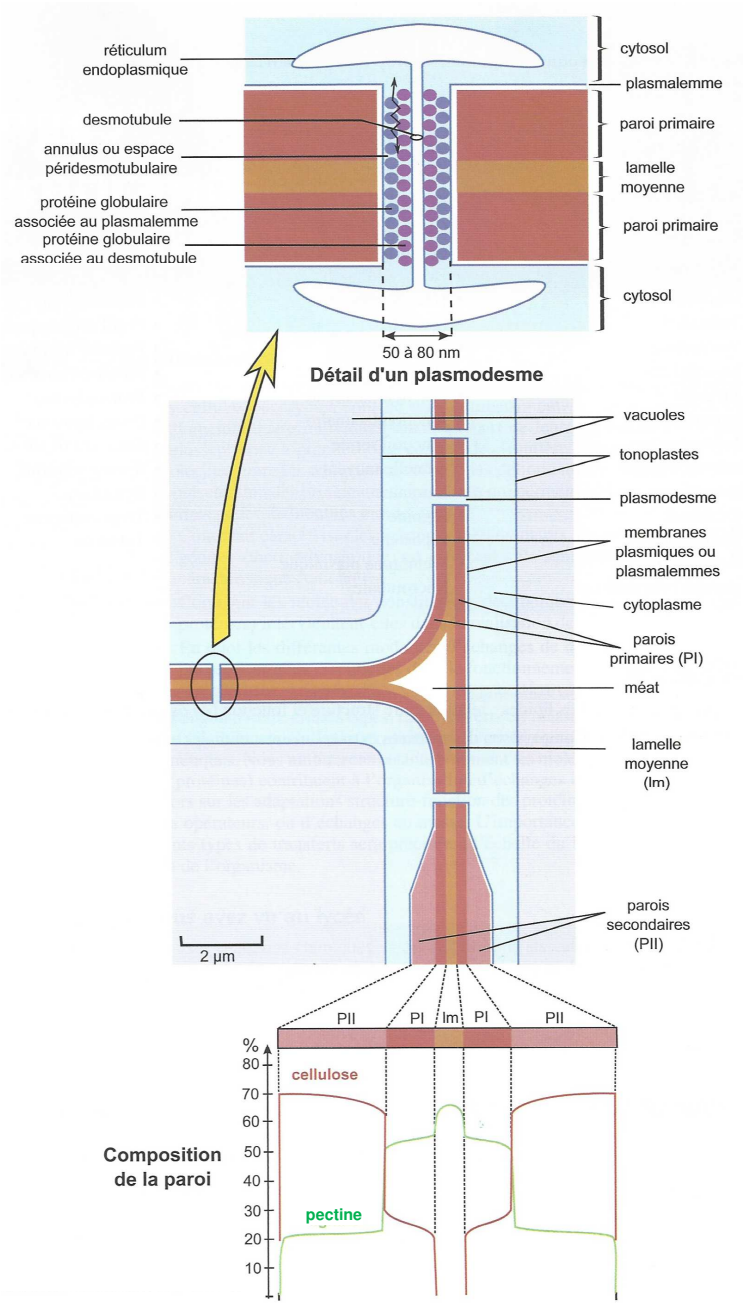
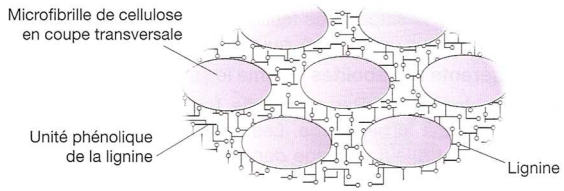


FIGURE 38. Paroi primaire et paroi secondaire. D'après PEYCRU *et al.* (2010a), corrigé.

Les parois de certaines cellules végétales, comme les cellules des tissus de revêtement, sont imprégnées de différentes substances hydrophobes (cires, cutine, subérine) qui leur confèrent de nouvelles propriétés (imperméabilité notamment).



Polymérisation des lignines entre les microfibrilles de cellulose

FIGURE 40. Imprégnation de la paroi lors de sa différenciation : exemple de la lignification. D'après BREUIL (2007).

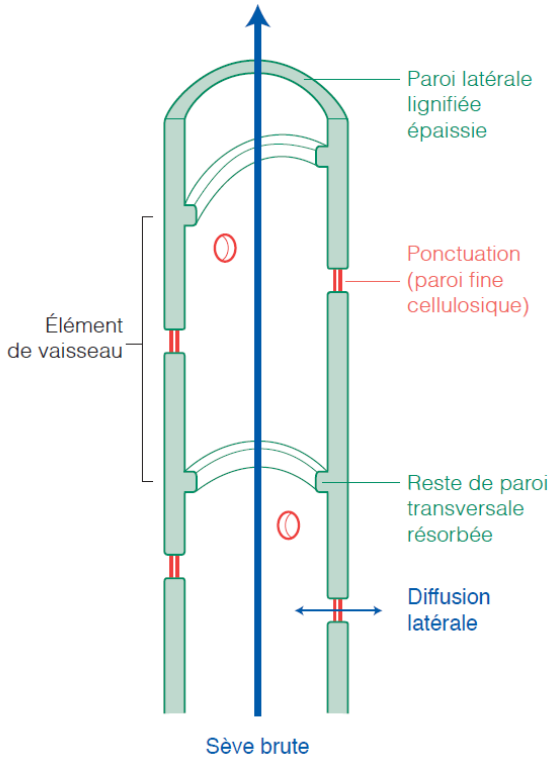


FIGURE 41. Un élément de vaisseau (paroi très différenciée). D'après SEGARRA *et al.* (2014).

4. Comparaison des matrices extracellulaires animales et végétales

FIGURE 42. Comparaison MECA-paroi végétale. D'après SEGARRA *et al.* (2014), modifié.

Bilan (adapté du programme)	✓ Des **interactions** entre **membranes**, **matrices extracellulaires** et **cytosquelette** conditionnent les **propriétés mécaniques des cellules** et les **relations mécaniques entre les tissus**. ✓ Les **matrices extracellulaires** forment une **interface fonctionnelle** entre la **cellule** et son **milieu**.

TABLEAU VI. Comparaison des matrices extracellulaires. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

	Matrice animale	Matrice végétale = paroi
Fibrilles		
Gel		
Adhérence / Cohésion		
Fonctions principales		

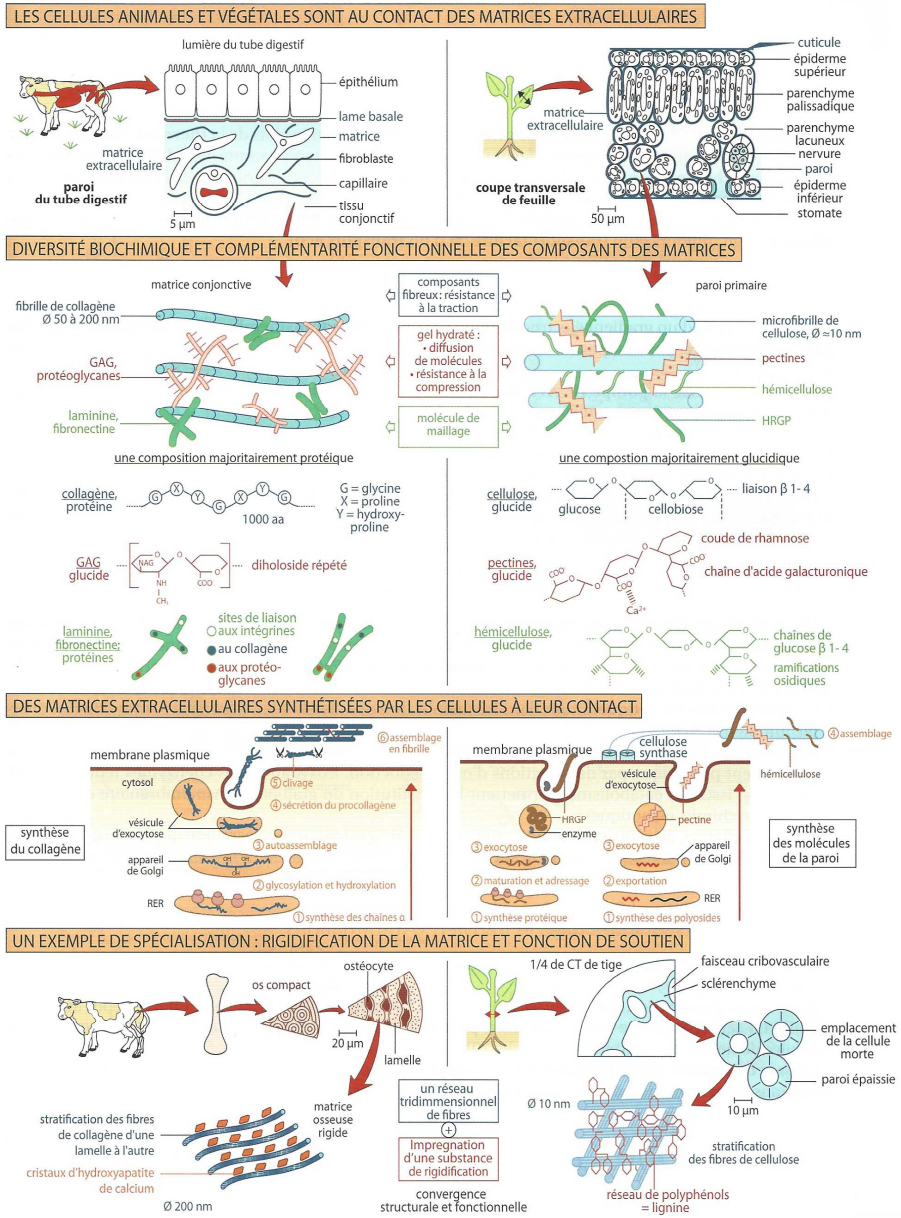


FIGURE 43. Vue d'ensemble sur les matrices extracellulaires eucaryotes.
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017).

III. Des membranes impliquées dans les flux de matière

Capacités exigibles	✓ **Présenter** un exemple de formation d'une vésicule d'endocytose et de fusion d'une vésicule d'exocytose. ✓ **Définir** un compartiment.

A. Des membranes qui permettent le déplacement de compartiments : le trafic vésiculaire

Trafic vésiculaire :
Compartiment cellulaire :

1. Des déplacements permis par des protéines motrices et le cytosquelette

Moteurs moléculaires = protéines motrices = nanomoteurs : Ex. **Dynéine** (vers pôle - des MT) // **Kinésine** (vers pôle + des cellules)

FIGURE 44. Flux vésiculaire et cytosquelette (cas des cellules animales).
D'après SEGARRA *et al.* (2014) [schéma du haut suffisant]

2. L'exocytose, fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique

Exocytose :

FIGURE 45. Exocytose. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

3. L'endocytose, formation d'une vésicule par invagination de la membrane plasmique

Endocytose :

*(!) En fonction de la **taille des particules endocytées** :*
***phagocytose** → **grosse particules voire cellules entières** (déformation de la cellule endocytaire)*
pinocytose** → **petits volumes extracellulaires

- Phénomène pouvant être **spontané** et **régulier** = **endocytose constitutive**
- OU **phénomène contrôlé** = **endocytose contrôlée** :
  > par des **molécules signal** (hormones, seconds messagers…) [revoir CAP – chapitre 1]
  > par ***fixation de la molécule d'intérêt sur des récepteurs membranaires*** = **endocytose par récepteurs interposés** (ex. **LDL** – figure 46)

Devenir fréquent des **endosomes** : **fusion** avec **lysosome primaire** (→ **lysosome secondaire**) puis **digestion** du contenu.

FIGURE 46. Endocytose par récepteurs interposés : cas des LDL.
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

4. La notion de bourgeonnement

Bourgeonnement :

Ex. bourgeonnement de vésicule à partir du GOLGI

Bilan (adapté du programme)	✓ Il existe **différentes modalités** de **flux de matière** entre **compartiments**. ✓ Des **transferts de matière** sont réalisés entre **compartiments** par des phénomènes de **bourgeonnement** ou de **fusion** de **vésicules** (dont les phénomènes d'**endocytose** et d'**exocytose**). ✓ Les mécanismes reposent sur les **propriétés des membranes** et l'implication de **protéines**.

B. Des membranes qui autorisent des flux traversants de matière : les échanges transmembranaires

1. Définition

Échanges transmembranaires :

2. Une perméabilité sélective des membranes due à une liposolubilité variable des substances

Capacité exigible	✓ **Évaluer** la liposolubilité d'une espèce chimique par son coefficient de partition huile/eau.

Perméabilité membranaire :

Évaluation expérimentale :

-

-

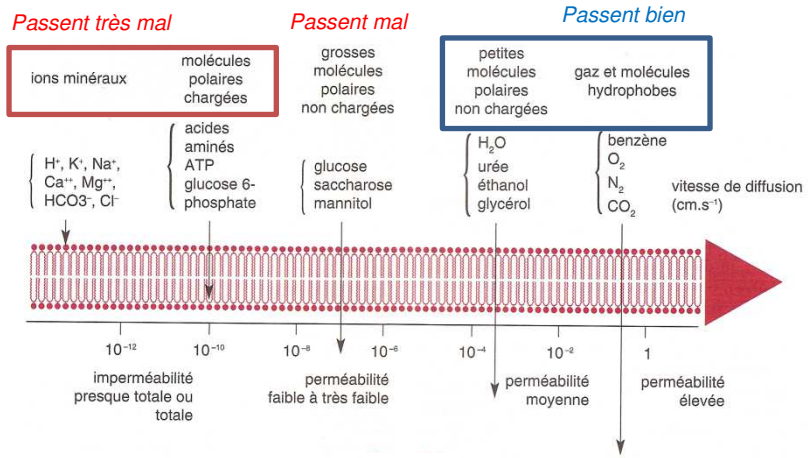


Diagramme montrant l'étendue des valeurs des coefficients de perméabilité (cm.s^{-1}) pour le passage de diverses catégories de molécules et d'ions à travers les bicouches lipidiques artificielles

FIGURE 47. Perméabilité de la bicouche lipidique. D'après CALLEN (2005).

3. Typologie des transports transmembranaires

Capacités exigibles	✓ **Présenter** de façon cohérente les différentes grilles d'analyse des flux transmembranaires en reliant les aspects dynamiques, thermodynamiques aux modèles moléculaires associés. ✓ **Présenter** ces échanges dans la perspective de leurs fonctions biologiques. ✓ **Relier** une cinétique de passage à une modalité de passage. ✓ **Évaluer** une différence de potentiel électrochimique. ✓ **Exprimer** une différence de potentiel électrochimique sous forme d'une tension membranaire (« force ion-motrice »). ✓ **Relier** l'existence d'un gradient aux aspects énergétiques des transferts. ✓ **Relier** les caractéristiques des protéines, leur localisation et leur fonction dans les échanges.

Transports passifs :

Exergonique

Osmose (cas de transport passif) **:**

Transport actif :

Endergonique > couplage à une activité exergonique

4. L'énergie de GIBBS et le caractère endergonique ou exergonique d'un travail

Énergie de GIBBS = enthalpie libre (G) :

Travail endergonique ($\Delta G > 0$) :

Travail exergonique ($\Delta G < 0$) :

Travail = ***la modification d'un système physico-chimique***

En pratique, en biologie, on utilise l'**enthalpie libre standard** notée **$\Delta G^{0'}$** ou **$\Delta_r G^{0'}$** qui correspond à des ***conditions biologiques standard (pression de 1 atm, température d'environ 25 °C) pour des réactifs et produits initialement concentrés à 1 mol/L***.

Gradient chimique = gradient de concentration :

5. Les transports passifs de solutés

a. Notion de transport passif

- On appelle **transport passif** le ***transport d'une substance au travers d'une membrane sans apport d'énergie, selon son gradient de concentration (= du compartiment où le soluté est le plus concentré vers le compartiment où il est le moins concentré)*** (figure 48).

b. Typologie des transports passifs

-

-

>

>

FIGURE 48. Mobilité des phospholipides dans les membranes.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Canaux :

Cinétique linéaire en conditions biologiques

Perméases :

Cinétique de saturation

c. Cinétique des transports passifs

α. La diffusion simple et la diffusion facilitée par canal présentent une cinétique linéaire en conditions physiologiques et obéissant à la loi de Fick

Première loi de FICK :

F = flux (mol / s), *D* : coefficient de diffusibilité de la substance (dépend de la substance, la matière à traverser, *etc.*), *S* : surface de diffusion, *x* : distance de diffusion, Δ*C* : différence de concentration de la substance entre les deux compartiments (mol / L).

- *Un **transport passif** est d'autant plus important que la **substance diffuse facilement (D)**, la **surface d'échange** est **importante (S)**, la **surface à traverser** est **petite (x)** et le **différentiel de concentration (ΔC)** entre les compartiments est **important**.*

FIGURE 49. Allure cinétique de la diffusion simple et de la diffusion facilitée par canal d'une substance *X*. Modifié d'après SEGARRA *et al.* (2014)

(!) **2 types de canaux** :
- **ouverture contrôlée** (← **changement de conformation**) : **chimio-dépendants** (= **ligand-dépendants**) ; **voltage-dépendants** ; **mécano-dépendants**.
- **ouverture permanente** = **canaux de fuite**.

β. La diffusion facilitée par perméase présente une cinétique saturable

(!) ***Changement de conformation*** *⇒ vitesse max ⇒* ***saturabilité***

FIGURE 50. Changement de conformation du transporteur GLUT2, une perméase au glucose située par exemple sur la membrane basale de l'entérocyte. D'après SEGARRA *et al.* (2014)
Cette protéine permet le passage du glucose de l'entérocyte vers le sang.

FIGURE 51. Cinétique de saturation par perméase (transport du glucose).
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

6. Les déplacements transmembranaires d'eau : l'osmose

a. Définition

b. Sens de déplacement de l'eau

Osmolarité basse → Osmolarité élevée
Potentiels hydriques décroissants
(= de plus en plus négatifs)

FIGURE 52. Osmose : principe.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Il est à noter que l'osmose (mouvements d'eau) s'effectue à la fois par diffusion simple et par diffusion facilitée (par des aquaporines) : les deux phénomènes se superposent et cohabitent dans les cellules.

c. Un déplacement suivant des potentiels hydriques décroissants

Voir formulaire

d. Conséquences biologiques de l'osmose en conditions hypo-, iso- et hypertoniques

α. Définitions de ces conditions

β. Conséquences sur les cellules animales

γ. Conséquences sur les cellules végétales

Voir **TP 1.1.** : **plasmolyse / turgescence** des cellules végétales

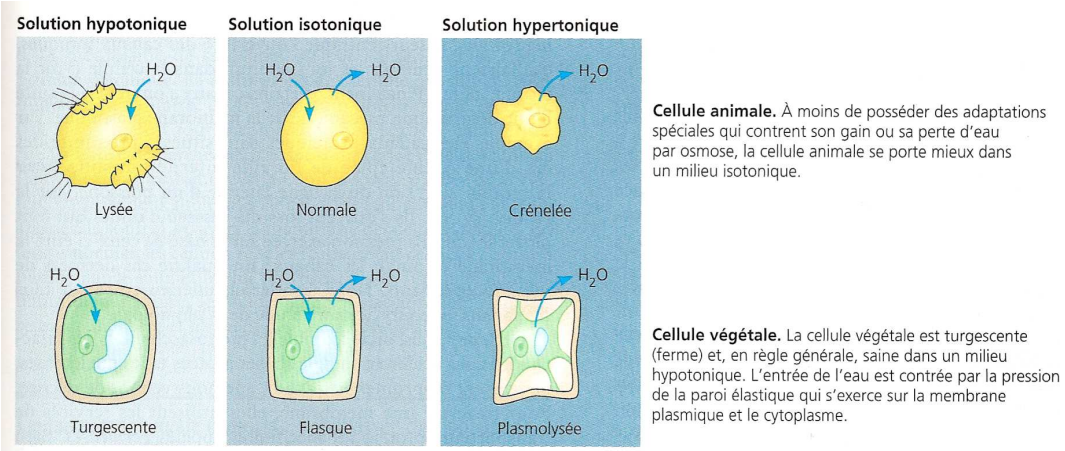


FIGURE 54. Conséquences de l'osmolarité ambiante sur les cellules.
D'après CAMPBELL & REECE (2004)

7. Les transports actifs de solutés

a. Notion de transport actif et cinétique de saturation

(!) ***Contre le gradient*** *⇒ entretien d'un* ***déséquilibre*** *⇒* ***endergonique*** *(nécessité d'un* ***couplage****)*
Toujours par des ***protéines****, avec* ***changement de conformation*** *→ cinétique de* ***saturation***

b. Typologie des transports actifs

Transport actif primaire [couplage chimosmotique] **:** ***Uniport*** *ou* ***cotransport***
Transport actif secondaire [couplage osmo-osmotique] **:** *Toujours* ***cotransport***

Symport :
Antiport :

FIGURE 56. Principes des transports actifs.
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

Pompe Na^+/K^+ (ATPase) : ***Cotransport****... mais transport* ***primaire*** *!*

Potentiel de repos = potentiel de membrane

FIGURE 57. Modèle de fonctionnement simplifié de la pompe sodium/potassium, un transport actif primaire. D'après SEGARRA *et al.* (2014)

FIGURE 58. Transport actif secondaire du glucose au niveau de l'entérocyte.
D'après SEGARRA *et al.* (2014)

8. Des transferts transmembranaires insérés dans le fonctionnement global des cellules : exemple de l'entérocyte

FIGURE 59. Les échanges transmembranaires au niveau de l'entérocyte.
D'après PEYCRU *et al.* (2013)

Bilan (adapté du programme)	✓ **L'eau** et les **solutés** peuvent **traverser une membrane** par **transferts passifs**, par **transport actif primaire** ou **secondaire**. Ces transferts sont **régis par des lois thermodynamiques** (**gradients chimiques ou électrochimiques**, **sens de transfert**). ✓ Des **modèles de mécanismes moléculaires** permettent de rendre compte de ces **différents types de flux**. Ces échanges ont des **fonctions diverses** en liaison entre autres, avec la **nutrition des cellules**, leur **métabolisme** mais aussi avec des **fonctions informationnelles** à l'échelle de la **cellule** ou de **l'organisme**. ✓ Plus précisément : - la **cinétique des flux transmembranaires** peut être **linéaire** (**diffusion simple** au travers de la **phase lipidique**), ou **hyperbolique** (**diffusion facilitée** par les **perméases** ou les **canaux** la cinétique de ces derniers étant cependant linéaire dans les conditions cellulaires) ; - un **gradient transmembranaire** (**chimique** ou **électrochimique**) est une **forme d'énergie** que l'on peut évaluer sous forme d'une **variation molaire d'enthalpie libre**.

C. Bilan sur le rôle des membranes dans les flux de matière

TABLEAU VII. Les principaux transferts transmembranaires : vue d'ensemble.
D'après PEYCRU *et al.* (2013)

CLASSIFICATION SIMPLIFIÉE DES PRINCIPAUX TRANSPORTS.

Transports individuels transmembranaires		Empruntant la **bicouche lipidique**. **Diffusion simple** à cinétique linéaire (loi de Fick)	
	$\Delta G' < 0$ selon le gradient chimique ou électrochimique (passif)	Empruntant une **protéine membranaire** **Diffusion facilitée**	Protéine canal non saturable dans les conditions physiologiques
			Protéine porteuse saturable
	$\Delta G' > 0$ contre le gradient chimique ou électrochimique (actif)	Empruntant une **protéine membranaire** porteuse saturable à cinétique hyperbolique	
Transports en masse par vésicules closes	Transports cytotiques : endocytose, exocytose et transcytose Leur mise en œuvre requiert toujours une dépense énergétique.		

TABLEAU VIII. Les principaux phénomènes de transferts de matière impliquant les membranes. D'après PEYCRU *et al.* (2013)

LES DIFFÉRENTES MODALITÉS DE TRANSFERTS.

Transports à travers la membrane (transports transmembranaires)	**Transports passifs** (selon un gradient chimique ou électrochimique $\Delta G' < 0$)	À travers la **bicouche lipidique**	**Diffusion simple** (Loi de Fick)	O_2, CO_2, acides gras, alcools et **substances lipophiles** en général (molécules apolaires)
		Protéine membranaire porteuse non saturable	**Diffusion facilitée** (Loi de Fick)	**Eau**, par phénomène d'osmose, grâce aux **aquaporines** (canaux à eau)
				Ions par les **canaux ioniques** : – canaux de fuite (à ouverture permanente) – canaux voltage-dépendants (ouverture réglée par la tension) – canaux chimio-dépendants (ouverture réglée par un ligand) – canaux mécano-dépendants
		Protéine membranaire porteuse saturable = perméase	**Diffusion facilitée** (cinétique michaelienne)	Sucres simples, acides aminés **(Petites molécules hydrophiles)**
	Transports actifs (contre un gradient chimique ou électrochimique $\Delta G' > 0$)	**Protéine membranaire** porteuse saturable	**Transports actifs primaires :** Couplage chimioosmotique (hydrolyse d'ATP) **Transports actifs secondaires :** Couplage osmoosmotique (énergie de gradient)	**Pompes membranaires** : – Antiport (Na^+/K^+ -ATPase) – Uniport (Ca^{2+} -ATPase, H^+-ATPase)
				Symport (Na^+ et glucose chez l'entérocyte) ou **antiport** selon les cas

Cytoses (transports par vésicules closes)	– **Exocytose** (sécrétions), – **Endocytose** (avec récepteurs, sans récepteurs), – **Transcytose**

Communications directes	Par ouvertures associant 2 plasmalemmes – **Plasmodesmes** des cellules végétales (symplasme) – **Jonctions communicantes** des cellules animales

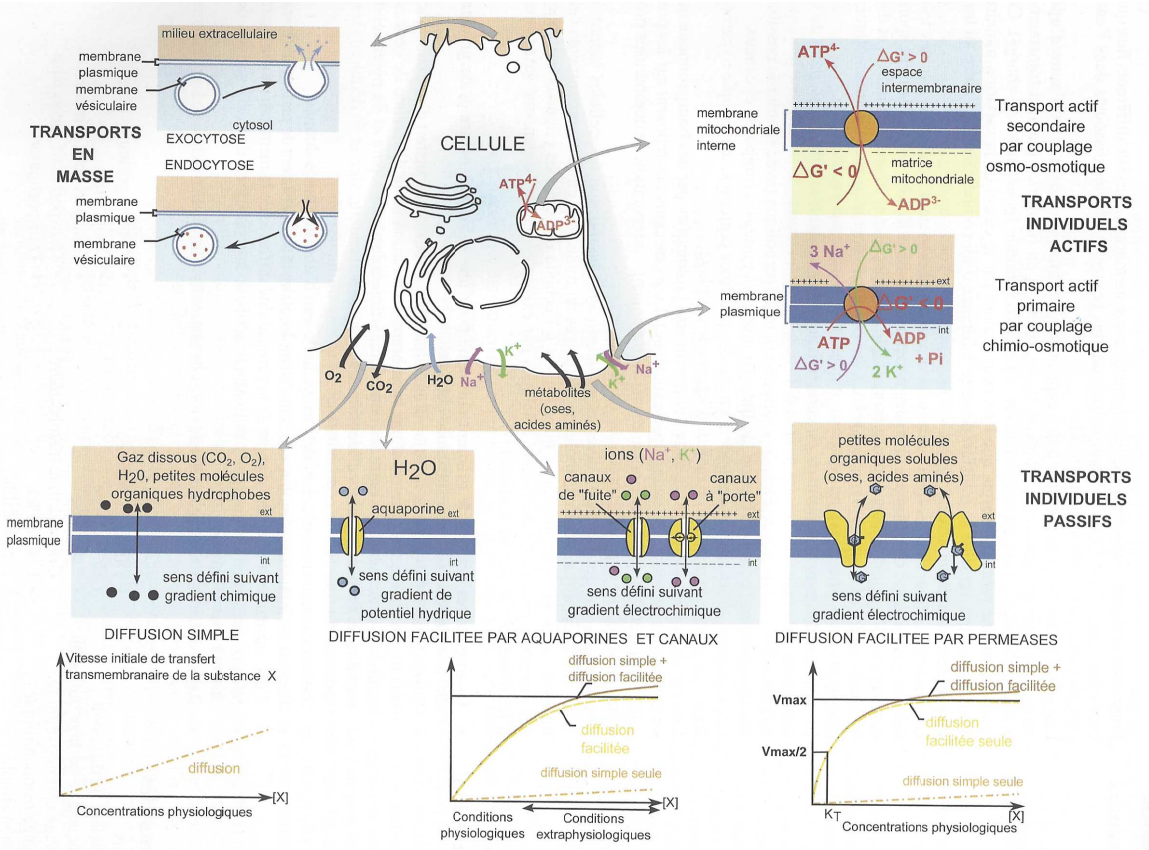


FIGURE 60. Les principaux phénomènes de transferts de matière impliquant les membranes. D'après PEYCRU *et al.* (2013)

FIGURE DE SYNTHÈSE Échanges et membranes chez une cellule eucaryote.
Le schéma s'appuie sur l'exemple d'une cellule pancréatique exocrine de mammifère qui produit et libère vers la lumière des canalicules pancréatiques des précurseurs d'enzymes.

IV. Membrane plasmique et ddp électrique : potentiel de repos, potentiel d'action, transmission synaptique

A. Potentiel de repos et caractère dépolarisable de certaines cellules

Capacité exigible	✓ **Définir** la notion de potentiel électrochimique d'un ion et expliciter le calcul de son potentiel d'équilibre (loi de NERNST).

1. Le potentiel de repos : un déséquilibre ionique entretenu par des transports actifs

a. Le potentiel de repos, une ddp entre milieu extracellulaire et cytosol (et entre compartiments) dans toutes les cellules

- *Concerne **toutes les cellules***
- ***Variable** (tissu, espèce, moment…)*

Cellules végétales : de **– 100** à **– 300 mV**.

Mammifères : **– 70 mV** (à savoir !) pour **la plupart des cellules** (dont les **neurones**).
– 90 mV dans les **cellules musculaires** striées squelettiques ou cardiaques).

Voltage-clamp **:**
Patch-clamp **:**

b. Une ddp existant malgré des fuites d'ions

c. Une ddp permise par des transports actifs agissant en permanence au niveau de la membrane plasmique

(!) Équation de NERNST à connaître et savoir appliquer :
Voir formulaire et exercices.

d. Le potentiel de repos dans une cellule animale : vue d'ensemble des principaux mécanismes

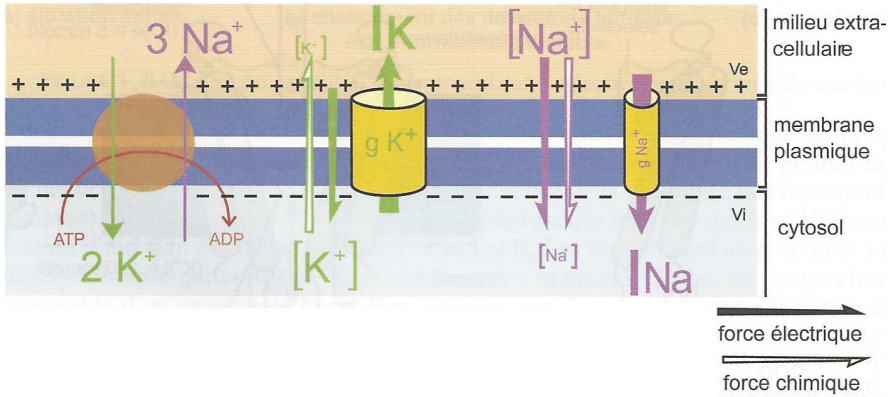


FIGURE 62. Les origines du potentiel de repos dans une cellule animale.
D'après PEYCRU *et al.* (2013)

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **membranes** établissent et entretiennent des **gradients chimiques** et **électriques**. Les **flux ioniques transmembranaires** instaurent un potentiel électrique appelé **potentiel de membrane**. ✓ Le **potentiel d'équilibre d'un ion** est le **potentiel de membrane** pour lequel le **flux net de l'ion est nul**.

2. Variabilité de la ddp membranaire de certains types cellulaires animaux qualifiés de dépolarisables (ou excitables)

Dépolarisation :
Hyperpolarisation :
Repolarisation :

TABLEAU IX. Deux grands types de potentiels : les potentiels électrotoniques et les PA [pour information ?]. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

	Potentiels électrotoniques	Potentiels d'action
Exemples	PPSE, PPSI, potentiels miniatures, potentiels récepteurs, potentiels pacemaker	potentiels d'action neuroniques, cardiaques, musculaires...
Amplitude	variable	nulle ou maximale : « tout ou rien »
Durée	variable	constante pour un même type cellulaire fonction du type cellulaire
Sens de la ddp	dépolarisation ou hyperpolarisation	dépolarisation
Additivité	possible	impossible
Période réfractaire	absente	présente
Propagation	dans les deux sens d'une fibre	dans un seul sens dans une chaîne de neurones
Conduction	décrémentielle	non décrémentielle : amplitude constante
Déclenchement	par un stimulus (ou spontané)	par une dépolarisation membranaire
Obtention	pas de seuil	seuil

Potentiel électrotonique (ex. PPS, PPM, PR...) **:**

Potentiel d'action (PA) :

B. Les neurones et la conduction d'informations par des potentiels d'actions (PA)

1. Les neurones, des cellules dépolarisables conduisant de l'information dans l'organisme

a. Les neurones, cellules conductrices d'information du système nerveux (et associées à des cellules gliales)

Neurones :

Message nerveux = *train de PA.* *(!) Codage en **fréquence de PA**.*

Cellules gliales :

Gaine de myéline :

b. Les neurones, cellules hautement différenciées : organisation fonctionnelle

Principales zones fonctionnelles :

-

-

-

-

⮝ **FIGURE 63. Organisation d'un motoneurone, neurone typique [*important*].** *Schéma original.*

2. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation propagée le long de l'axone

Capacités exigibles	✓ **Relier** la variation de potentiel membranaire aux modifications de conductances. ✓ **Analyser** des enregistrements de *patch-clamp* pour argumenter un modèle moléculaire de fonctionnement d'un canal voltage-dépendant. ✓ **Expliquer** la propagation axonique par régénération d'un potentiel d'action.

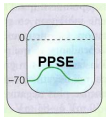
a. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation membranaire transitoire et stéréotypée due au fonctionnement séquentiel de canaux ioniques voltage-dépendants

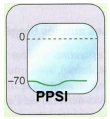
α. Nature des canaux impliqués et séquence de fonctionnement : mise en évidence par l'étude des conductances ioniques

Seuil de dépolarisation :
Nature stéréotypée des PA :

Bilan encadré E

Potentiels post-synaptiques (PPS) :
- Potentiels post-synaptiques excitateurs (PPSE) :
- Potentiels post-synaptiques inhibiteurs (PPSI) :





Intégration nerveuse :
- Sommation spatiale des PPS :
- Sommation temporelle des PPS :
Loi-du-tout-ou-rien : - ***Potentiel infraliminaire*** *(= **grand PPS sous le seuil**) → pas de PA.* - ***Potentiel supraliminaire*** *(= **grand PPS au-dessus du seuil**) → production d'un PA.* **Seuil proche de – 40 mV** dans de nombreux neurones (mais varie selon le neurone)

Séquence des événements lors d'un potentiel d'action (majeur !) :

-

-

-

-

Attention, les **canaux sodiques impliqués dans les PPSE** ne sont **pas des canaux voltage-dépendants**. **Ceux impliqués dans le PA sont en revanche voltage-dépendants**… Ce ne sont donc pas les mêmes canaux dans les deux cas !

*La **durée d'un potentiel d'action neuronique** est d'environ **1,5 ms** (sans l'hyperpolarisation).*
*En comptant l'hyperpolarisation (qui n'est pas toujours présente), il peut s'écouler au total **2-3 ms** avant un **retour stable au potentiel de repos**.*

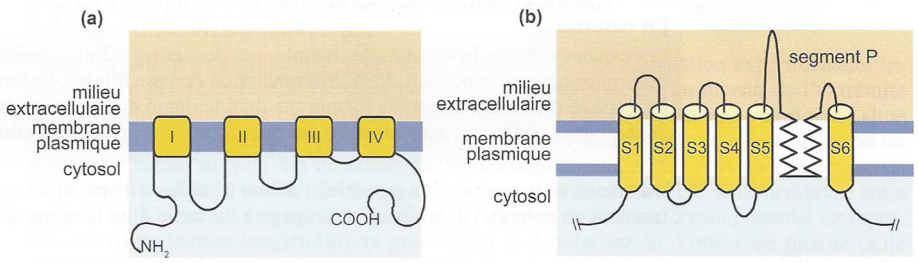
FIGURE 64 ou 65. Un modèle de genèse et de fonctionnement du potentiel d'action (PA) neuronique. [TRÈS IMPORTANT !]

β. Structure et fonctionnement d'un canal ionique : l'exemple d'un canal voltage-dépendant au sodium (Na^+)

Mode d'étude :
-
-
-

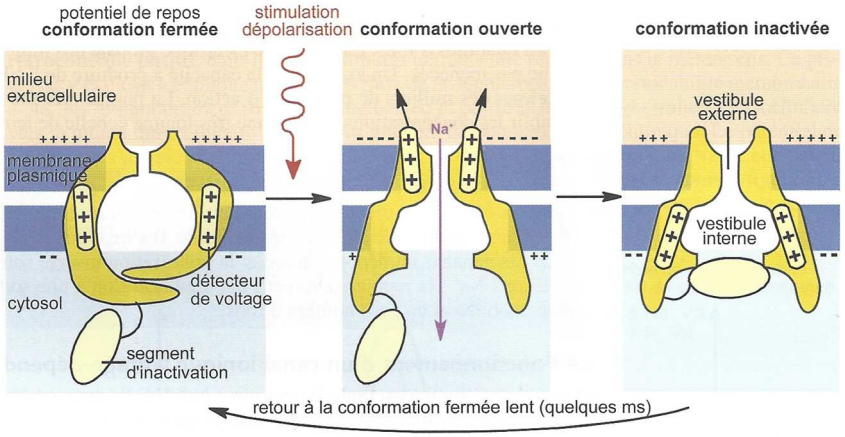
C'est l'occasion de présenter **deux neurotoxines** très utilisées en **électrophysiologie** :
- La **TTX (tétrodotoxine)**, ***inhibiteur spécifique des canaux Na+ voltage dépendants qui obture les canaux***.
- Le **TEA (tétraéthylammonium)**, ***inhibiteur spécifique des canaux K+ voltage-dépendants qui obture aussi les canaux***.

Constitution de la protéine :
-
-
-
-
-



Structure moléculaire du canal à Na^+ Vd.
(a) La molécule est formée de la répétition de 4 domaines de 300 acides aminés environ ; La boucle inter III/IV supporterait le dispositif d'inactivation. **(b)** Chacun de ces domaines comprend 6 hélices transmembranaires. L'hélice S4 joue le rôle de détecteur de la variation du potentiel de membrane. Les quatre segments P (auxquels se lierait la TTX) constitueraient la partie extracellulaire du pore.

FIGURE 66. Organisation d'un canal sodique voltage-dépendant.
D'après PEYCRU *et al.* (2013).



Modèle de fonctionnement d'un canal à Na^+ voltage dépendant.
Un modèle dit « à boule » est utilisé pour représenter l'inactivation.

FIGURE 67. Fonctionnement d'un canal sodique voltage-dépendant.
D'après PEYCRU *et al.* (2013).

Fonctionnement ← trois **conformations** :

-

-

-

b. Le potentiel d'action (PA), support physique des messages nerveux codés en fréquence de PA (et en durée des trains de PA)

Codage en fréquence de PA :

Attention, **la durée des PA ne varie jamais** mais en revanche, la **durée d'un train de PA** (donc du **message nerveux**) **peut varier** !

c. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation auto-régénérée qui se propage de proche en proche le long de l'axone de manière unidirectionnelle

α. Une propagation de proche en proche par des canaux ioniques voltage-dépendants qui assurent la propagation non décrémentielle : cas d'une fibre amyélinique

Figure 70 (ci-contre) >>>

On notera que ***la durée et l'amplitude du PA sont maintenues*** tout le long de l'axone grâce à des ***canaux ioniques identiques et uniformément répartis le long de la membrane de l'axone***. Il n'y a donc **aucune perte décrémentielle d'amplitude** lors de la **propagation du PA**.

β. Des canaux ioniques dont la période réfractaire garantit l'unidirectionnalité de la propagation des PA

i. La période réfractaire, un laps de temps pendant lequel un canal ne peut être pas réouvert après inactivation ou fermeture

Période réfractaire :
- Période réfractaire absolue :
- Période réfractaire relative :

⮝ **FIGURES 70 + 72. Propagation de proche en proche d'un potentiel d'action**.
*Grouper et **synthétiser** les deux figures*

ii. Conséquence : l'impossibilité de générer immédiatement un potentiel d'action là où un précédent vient de passer, d'où l'unidirectionnalité de la propagation des PA

iii. Des limites à l'unidirectionnalité ? [*pour information*]

Propagation bidirectionnelle possible *si stimulation en* ***plein milieu d'axone*** *(très rare dans l'organisme).*

γ. Une propagation saltatoire des PA dans les fibres myélinisées, à vitesse augmentée par rapport aux fibres amyéliniques

i. La gaine de myéline, un revêtement des fibres nerveuses par des cellules gliales

ii. La gaine de myéline, un revêtement isolant qui suscite une propagation saltatoire des potentiels d'action, de nœud de RANVIER en nœud de RANVIER

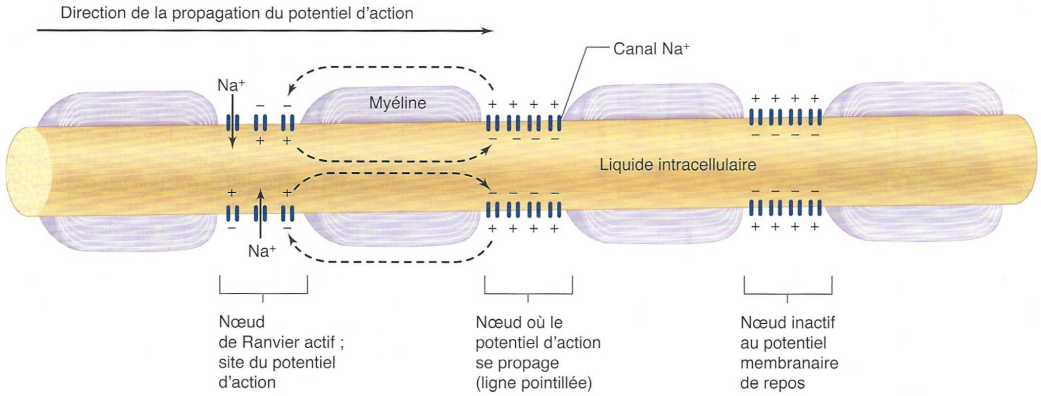


FIGURE 74. Myélinisation et conduction saltatoire des PA.
Seuls les canaux Na^+ sont représentés ici mais les nœuds comprennent évidemment aussi des canaux K^+. D'après VANDER *et al.* (2013).

iii. Une propagation saltatoire nettement plus rapide que la propagation de proche en proche dans les fibres amyéliniques

- Fibre de nocicepteur (**amyélinique**) : 1 m/s.
- Fibre de mécanorécepteur de la peau (**myélinisée**) : 55 m/s.

δ. Une vitesse de propagation également contrôlée par le diamètre des fibres nerveuses

= Plus le diamètre est important, plus la propagation est rapide.

Bilan (adapté du programme)	✓ La présence de **canaux ioniques sensibles à la tension électrique** rend certaines cellules **excitables**. Le **potentiel d'action neuronal** s'explique par les **variations de conductance** de ces canaux. ✓ Dans les **neurones**, **l'influx nerveux se propage de façon régénérative** le long de **l'axone**. ✓ Le **diamètre des fibres** affecte leur **conductivité** et donc la **vitesse des influx**, de même que la **gaine de myéline**.

C. La transmission du message nerveux d'un neurone à une autre cellule excitable (dite post-synaptique) : la neurotransmission

Synapse : *Inclut : bouton synaptique + fente synaptique + membrane de la cellule post-synaptique*
Neurotransmission :

Capacités exigibles	✓ **Expliquer**, dans un fonctionnement synaptique, le trajet de l'information supportée par les signaux successifs : nature du signal, nature du codage, extinction du signal. ✓ **Relier** ces étapes aux modèles de mécanismes moléculaires qui les sous-tendent. ✓ **Relier** sur un exemple de fonctionnement des récepteurs ligand-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines (site, allostérie, hydropathie et localisation…).

1. Nature et fonction des synapses

a. Notion de synapse chimique : une zone de transmission de l'information nerveuse avec libération de neurotransmetteurs

b. Un codage du message nerveux en concentration de neurotransmetteurs dans la fente synaptique

Neurotransmetteurs = neuromédiateurs :

(!) ***Codage en concentration de NT*** *du message dans la* ***fente synaptique***

c. Des synapses qui peuvent s'établir avec des cellules variées : autres neurones, cellules musculaires (lisses, squelettiques, cardiaques, nodales), cellules sécrétrices (exo- ou endocrines)

*= **Synapses neuro-neuroniques**,*
***neuro-musculaires**,*
***neuro-sécrétrices** (neuro-endocrines / neuro-exocrines)*

2. Fonctionnement général d'une synapse : mécanismes de la neurotransmission et de son arrêt

a. Principe général de fonctionnement

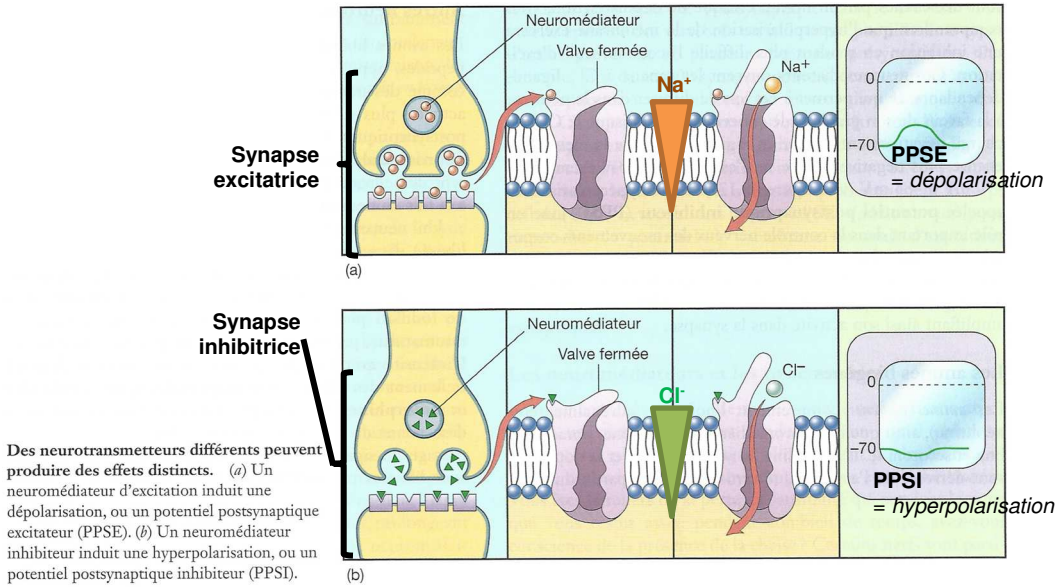
FIGURE 75. Étapes de la neurotransmission. D'après SILVERTHORN *et al.* (2007).

b. Diversité des modalités de conversion du signal dans les cellules post-synaptiques (récepteurs métabotropes *vs.* ionotropes)

Voir encadré G

Récepteurs ionotropes :
Récepteurs métabotropes :

c. Deux grands types de synapses : les synapses excitatrices génératrices de PPSE et les synapses inhibitrices génératrices de PPSI [*limite programme*]



Des neurotransmetteurs différents peuvent produire des effets distincts. (*a*) Un neuromédiateur d'excitation induit une dépolarisation, ou un potentiel postsynaptique excitateur (PPSE). (*b*) Un neuromédiateur inhibiteur induit une hyperpolarisation, ou un potentiel postsynaptique inhibiteur (PPSI).

FIGURE 77. Synapses excitatrices et inhibitrices.
Le cas illustré correspond à des récepteurs ionotropes. D'après RAVEN *et al.* (2007).

d. Mécanismes d'arrêt de la neurotransmission

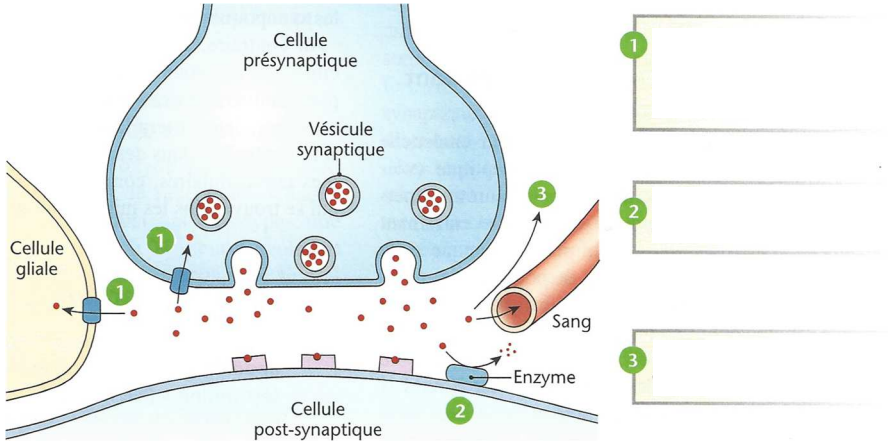


FIGURE 78. Modalités POSSIBLES d'arrêt de le neurotransmission (cas général).
D'après SILVERTHORN *et al.* (2007).

e. Origine des vésicules présynaptiques et des neurotransmetteurs qu'elles contiennent

- *Majoritairement des **vésicules golgiennes***
  *OU formées par **endocytose compensatoire** au niveau du **bouton synaptique***

- ***Rechargement des vésicules** dans le **bouton**, ou bien dans le **soma** (après transport antérograde)*

3. Effet de la neurotransmission sur la réponse de la cellule post-synaptique : le cas de la synapse neuro-musculaire

a. Des motoneurones formant des unités motrices avec les fibres musculaires qu'ils innervent et agissant au niveau de plaques motrices

Unité motrice = ***un motoneurone et l'ensemble des fibres musculaires qu'il innerve.***

Synapse neuromusculaire = ***synapse formée par un bouton synaptique avec une cellule musculaire.***

Plaques motrice = jonction neuromusculaire = ***regroupement de synapses neuromusculaires associées à une même cellule musculaire.***

b. Un fonctionnement du bouton synaptique « classique »

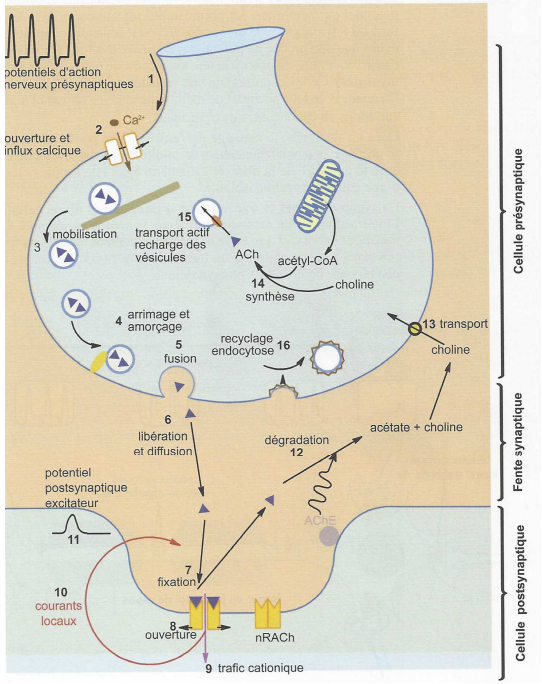


FIGURE 83. La synapse neuromusculaire. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

c. Une action sur un canal ionique ligand-dépendant : le récepteur nicotinique à l'acétylcholine

Caractéristiques du nRACh :

-

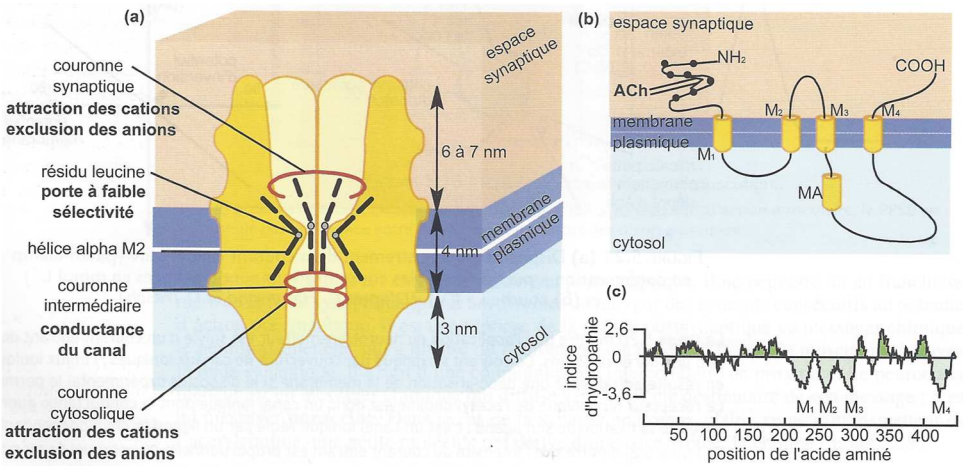
-

-

>

>

>



Organisation du récepteur nicotinique à l'acétyl-choline.

(a) vue en 3D longitudinale schématique du récepteur, 4 des 5 sous-unités sont figurées ; **(b)** organisation de la sous-unité α ; **(c)** profil d'hydropathie du récepteur. M désigne les secteurs hélicoïdaux ; les points noirs sur le segment N-terminal soulignent sa glycosylation ; la double flèche indique le site de fixation de ACh.

FIGURE 84. Structure du récepteur nicotinique à l'acétylcholine. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

Le **programme** invite clairement à **connaître l'organisation de ce récepteur** et à en expliciter les **relations structure-fonction**.
L'élève doit en effet pouvoir relier *« le fonctionnement des récepteurs ligand-dépendants aux caractéristiques fonctionnelles des protéines (site, allostérie, hydropathie et localisation…) »*.

d. La genèse d'un potentiel de plaque motrice (PPm) qui peut générer un potentiel d'action musculaire (PAM) dans la cellule post-synaptique

FIGURE 85. Modèle de fonctionnement d'une synapse neuro-musculaire.
D'après VANDER *et al.* (2013).

Potentiel de plaque motrice (PPm) = potentiel de jonction :
Potentiel d'action musculaire :

On peut noter que le **seuil de dépolarisation** est ici **assez faible** : ce seuil est **de l'ordre de – 50 mV**.
Mais rappelons que le **potentiel de repos des cellules musculaires** est aussi **très bas** : **– 90 mV**.

Bilan (adapté du programme)	✓ La **synapse** permet la **transmission d'information** d'une **cellule excitable** à **une autre** en provoquant une **variation de potentiel transmembranaire**.

D. Bilan sur les neurones, des cellules hautement différenciées et polarisées

FIGURE 87. Le fonctionnement d'un neurone : une vision synthétique [TRÈS IMPORTANT !]. D'après PEYCRU *et al.* (2010b)..

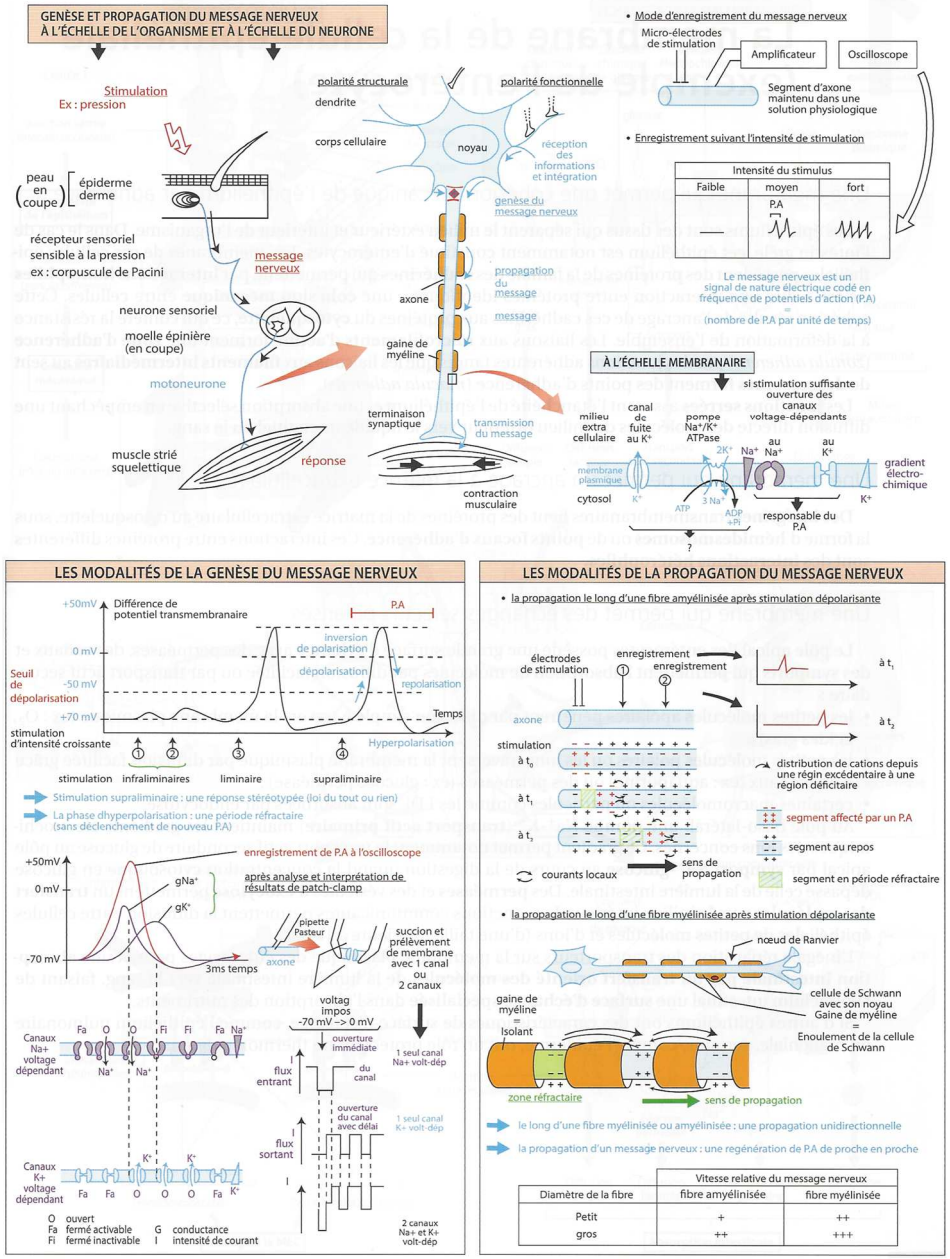


FIGURE 88. Le fonctionnement d'un neurone : aspects moléculaires.
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2007).

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**.

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :
Liste indicative.

- *Structure des membranes, jonctions*
° Le **modèle de la mosaïque fluide** (membranes)
*IMPORTANT : la **biochimie des principaux constituants** (vue dans le **Complément BIO2** et surtout en **Biotechnologies**) doit être absolument **maîtrisée** !*
° Les **expériences historiques** ayant permis de construire ce modèle
° Les mécanismes de la **fluidité membranaire**
° Les principaux types de **jonctions intercellulaires** (et les **hémidesmosomes**) >> *déjà représentés dans le TP 1.2.*

- *Cytosquelette*
° Les **constituants du cytosquelette** : **microtubules**, **kératines***, **actines** (+ **centrioles**, **axonème**… **à revoir !**)
** Savoir que les kératines qu'un exemple de filaments intermédiaires. Autres exemples au programme : **myosines**, **lamines nucléaires**…*
° Les **constituants du cytosquelette** : **microtubules**, **kératines**, **actines** (+ **centrioles**, **axonème**… **à revoir !**)

- *Matrices*
° Les **modèles moléculaires de matrices extracellulaires** :
- une **lame basale** ou une **matrice conjonctive**
- une **paroi végétale typique (pecto-cellulosique)**

*IMPORTANT : la **biochimie des principaux constituants** (vue dans le **Complément BIO2** et surtout en **Biotechnologies**) doit être absolument **maîtrisée** !*
° Schémas montrant que les **constituants matriciels** sont **d'originaire exocytaire** (*sauf la cellulose*)
° La **mise en place membranaire de cellulose**
[° Schéma de la **calcification osseuse** – *facultatif ?*]
[° Schéma de la **lignification de la paroi** – *facultatif ?*]
° Tableau résumant les **fonctions des matrices extracellulaires**

- *Flux de matière*
° Les **différents types de cytoses** (notamment **endocytose**, **exocytose**)
° Le fonctionnement de la **pompe Na^+/K^+**
° Les principaux types de **transferts transmembranaires** et leur **cinétique**
(!) Connaître des **exemples** (>> schéma des **transports dans l'entérocyte**) ; on pourra ajouter des exemples végétaux à l'aide du chapitre 11

>> Aidez-vous des figures de synthèse !

- *Ddp, potentiel de repos, potentiel d'action*
° Le **potentiel de repos** : **maintien** dans les **cellules animales**
(!) Connaître des valeurs !
° Allure d'un **enregistrement de potentiel d'action** (avec valeurs !)
° Graphes des **conductances** associé
° **Modèle moléculaire du PA** (ouverture/fermeture des canaux)
° **Propagation** régénérative du **PA** (sans myéline) / notion de **courants locaux**
° **Propagation** régénérative **saltatoire** du **PA** = avec **myéline**
(!) Connaître la **nature de la myéline**
° Fonctionnement de la **synapse neuro-musculaire**
[° **Enregistrement** de **PPm**/**PAM**]

Et n'oubliez pas (même si c'est relou) :
° Les caractéristiques du **canal sodique voltage-dépendant**
° Les caractéristiques du **récepteur nicotinique à l'acétylcholine**

Vous devez en outre **savoir** / **pouvoir** [faire le lien avec les TP 1.1 et 1.2.]
° Exploiter des **électronographies** de **membranes**
° Exploiter des **électronographies de jonctions**
° **Maîtriser parfaitement** les **différents types de tissus animaux** et **végétaux** (voir Compléments 3 et 4)
° Exploiter des **électronographies** ou des clichés microscopiques montrant des **matrices extracellulaires animales ou végétales**
° Réaliser des **calculs de potentiels** chimiques, électrochimiques, hydriques…
° Exploiter des **données électrophysiologiques**, notamment de *patch-clamp*

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).
BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).
BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
CALLEN, J.-C. (2005). *Biologie cellulaire. Des molécules aux organismes.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).
CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).
[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).
DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1re année.* Vuibert, Paris.
DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.
LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.
MARIEB, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines.* Renouveau pédagogique, Saint-Laurent (Québec, Canada), Diffusion Pearson Education France, Paris, 6e édition américaine (2004) adaptée par R. LACHAÎNE.
MARIEB, E. N. & K. HOEHN (2015). *Anatomie et physiologie humaines.* Pearson, Montréal (Québec, Canada), 9e édition américaine adaptée par L. MOUSSAKOVA & R. LACHAÎNE.
MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).
MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.
PÉRILLEUX, É, B. ANSELME & D. RICHARD (1991). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé.* Nathan, Paris.
PÉRILLEUX, É., D. RICHARD, B. ANSELME, J.-M. DEMONT & P. VALET (2002). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé.* Nathan, Paris, 2e édition.
PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).
PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).
PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).
RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007). *Biologie.* De Boeck, Bruxelles.
RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).
SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.
SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.
SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.
SILVERTHORN, D. U., avec W. C. OBER, C. W. GARRISON, A. C. SILVERTHORN & B. R. JOHNSON (2007). *Physiologie humaine. Une approche intégrée.* Pearson Education France, Paris, 4e édition américaine traduite sous la dir. de J.-F. BRUN.
[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme.* Maloine, Paris, 6e édition.
VIGNAIS, P. (2001). *La Biologie des origines à nos jours. Une Histoire des idées et des hommes.* « Grenoble Sciences », EDP Sciences, Les Ulis.
VIGNAIS, P. (2006). *Science expérimentale et connaissance du Vivant. La Méthode et les concepts.* « Grenoble Sciences », EDP Sciences, Les Ulis.

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).

BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).

BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

CALLEN, J.-C. (2005). *Biologie cellulaire. Des molécules aux organismes.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).

DAUTEL, O. (dir.), A. PROUST, M. ALGRAIN, C. BORDI, A. HELME-GUIZON, F. SAINTPIERRE, M. VABRE & C. BOGGIO (2017). *Biologie Géologie BCPST 1re année.* Vuibert, Paris.

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.

MARIEB, E. N. (2005). *Anatomie et physiologie humaines.* Renouveau pédagogique, Saint-Laurent (Québec, Canada), Diffusion Pearson Education France, Paris, 6e édition américaine (2004) adaptée par R. LACHAÎNE.

MARIEB, E. N. & K. HOEHN (2015). *Anatomie et physiologie humaines.* Pearson, Montréal (Québec, Canada), 9e édition américaine adaptée par L. MOUSSAKOVA & R. LACHAÎNE.

MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).

MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.

PÉRILLEUX, É, B. ANSELME & D. RICHARD (1991). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé.* Nathan, Paris.

PÉRILLEUX, É., D. RICHARD, B. ANSELME, J.-M. DEMONT & P. VALET (2002). *Biologie humaine. Anatomie, physiologie, santé.* Nathan, Paris, 2e édition.

PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).

PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).

RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007). *Biologie.* De Boeck, Bruxelles.

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.

SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.

SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.

SILVERTHORN, D. U., avec W. C. OBER, C. W. GARRISON, A. C. SILVERTHORN & B. R. JOHNSON (2007). *Physiologie humaine. Une approche intégrée.* Pearson Education France, Paris, 4e édition américaine traduite sous la dir. de J.-F. BRUN.

[VANDER, A. J.], E. P. WIDMAIER, H. RAFF & K. T. STRANG (2013). *Physiologie humaine. Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme.* Maloine, Paris, 6e édition.

VIGNAIS, P. (2001). *La Biologie des origines à nos jours. Une Histoire des idées et des hommes.* « Grenoble Sciences », EDP Sciences, Les Ulis.

VIGNAIS, P. (2006). *Science expérimentale et connaissance du Vivant. La Méthode et les concepts.* « Grenoble Sciences », EDP Sciences, Les Ulis.

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Les membranes biologiques, des mosaïques fluides délimitant les cellules et les compartiments cellulaires 3
A. La structure en mosaïque des membranes 3
1. Une représentation initiale : le modèle trilamellaire 3
2. Mise en évidence de la structure en mosaïque des membranes par cryofracture-cryodécapage 3
3. Organisation et composition des membranes biologiques 4
4. Principales fonctions des protéines membranaires 6
B. La fluidité et l'asymétrie membranaires 7
1. Mise en évidence de la fluidité membranaire 7
2. Mécanismes et modulabilité de la fluidité membranaire 7
3. L'asymétrie membranaire 8

II. Membrane plasmique, matrice extracellulaires et interrelations structurales entre cellules, ou entre cellule et matrice : la cohésion tissulaire 9
A. La cohésion des tissus, une fonction assurée par une coopération entre jonctions, matrice et cytosquelette 9
B. Dans les cellules animales : l'importance des jonctions intercellulaires (et des jonctions cellule-matrice) 9
1. Des jonctions cellule-cellule 9
2. Des jonctions cellule-matrice : les hémidesmosomes 11
3. Existence de jonctions transitoires, notamment impliquées dans les communications intercellulaires et le développement 12
4. Et chez les cellules végétales ? Le cas litigieux des plasmodesmes 12
5. Bilan sur les jonctions animales 13
C. Une cohésion tissulaire impliquant le cytosquelette, notamment dans les cellules animales où il est associé aux jonctions 14
1. Des constituants variés : microtubules, filaments intermédiaires (ex. kératine), microfilaments d'actine [rappels] 14
2. Un ancrage cytosquelettique des jonctions cellulaires 17
D. Des cellules associées à une matrice extracellulaire 17
1. Notion de matrice extracellulaire 17
2. La lame basale, un exemple de matrice extracellulaire animale (MECA) 18
a. Constitution et organisation des matrices extracellulaires animales typiques 18
b. Des matrices extracellulaires animales produites par des fibroblastes 18
c. Des matrices animales pouvant subir une imprégnation minérale : exemple de l'os 19
3. La paroi, matrice extracellulaire végétale 19
a. Composition et organisation 19
b. Synthèse et mise en place des constituants pariétaux 22
α. Mise en place précoce : édification du phragmoplaste par fusion de vésicules golgiennes pectiques et hémicellulosiques 22
β. La mise en place des celluloses 22
i. Une mise en place à partir d'UDP-glucose assurée par les celluloses synthases 22
ii. Une mise en place guidée par les microtubules corticaux 23
γ. Apport des constituants non cellulosiques aux parois par exocytose 23
δ. Une paroi primaire qui peut autoriser l'élongation 24
c. Mise en place de la paroi secondaire, une paroi inextensible et différenciée 24
α. Notions de paroi primaire et paroi secondaire 24

β. Une différenciation de la paroi en paroi secondaire qui repose sur deux processus 25
i. L'épaississement pariétal par ajout de couches de cellulose 25
ii. La modification de la composition pariétale par imprégnation de molécules variées (exemple : lignines) 25
4. Comparaison des matrices extracellulaires animales et végétales 27

III. Des membranes impliquées dans les flux de matière 29
A. Des membranes qui permettent le déplacement de compartiments : le trafic vésiculaire 29
1. Des déplacements permis par des protéines motrices et le cytosquelette 29
2. L'exocytose, fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique 29
3. L'endocytose, formation d'une vésicule par invagination de la membrane plasmique 30
4. La notion de bourgeonnement 30
B. Des membranes qui autorisent des flux traversants de matière : les échanges transmembranaires 31
1. Définition 31
2. Une perméabilité sélective des membranes due à une liposolubilité variable des substances 31
3. Typologie des transports transmembranaires 31
4. L'énergie de GIBBS et le caractère endergonique ou exergonique d'un travail 31
5. Les transports passifs de solutés 32
a. Notion de transport passif 32
b. Typologie des transports passifs 32
c. Cinétique des transports passifs 32
α. La diffusion simple et la diffusion facilitée par canal présentent une cinétique linéaire en conditions physiologiques et obéissant à la loi de Fick 32
β. La diffusion facilitée par perméase présente une cinétique saturable 34
6. Les déplacements transmembranaires d'eau : l'osmose 34
a. Définition 34
b. Sens de déplacement de l'eau 34
c. Un déplacement suivant des potentiels hydriques décroissants 35
d. Conséquences biologiques de l'osmose en conditions hypo-, iso- et hypertoniques 36
α. Définitions de ces conditions 36
β. Conséquences sur les cellules animales 36
γ. Conséquences sur les cellules végétales 36
7. Les transports actifs de solutés 36
a. Notion de transport actif et cinétique de saturation 36
b. Typologie des transports actifs 36
8. Des transferts transmembranaires insérés dans le fonctionnement global des cellules : exemple de l'entérocyte 37
C. Bilan sur le rôle des membranes dans les flux de matière 38

IV. Membrane plasmique et ddp électrique : potentiel de repos, potentiel d'action, transmission synaptique 40
A. Potentiel de repos et caractère dépolarisable de certaines cellules 40
1. Le potentiel de repos : un déséquilibre ionique entretenu par des transports actifs 40
a. Le potentiel de repos, une ddp entre milieu extracellulaire et cytosol (et entre compartiments) dans toutes les cellules 40
b. Une ddp existant malgré des fuites d'ions 42
c. Une ddp permise par des transports actifs agissant en permanence au niveau de la membrane plasmique 42
d. Le potentiel de repos dans une cellule animale : vue d'ensemble des principaux mécanismes 43
2. Variabilité de la ddp membranaire de certains types cellulaires animaux qualifiés de dépolarisables (ou excitables) 43
B. Les neurones et la conduction d'informations par des potentiels d'actions (PA) 44
1. Les neurones, des cellules dépolarisables conduisant de l'information dans l'organisme 44
a. Les neurones, cellules conductrices d'information du système nerveux (et associées à des cellules gliales) 44
b. Les neurones, cellules hautement différenciées : organisation fonctionnelle 50
2. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation propagée le long de l'axone 51
a. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation membranaire transitoire et stéréotypée due au fonctionnement séquentiel de canaux ioniques voltage-dépendants 51
α. Nature des canaux impliqués et séquence de fonctionnement : mise en évidence par l'étude des conductances ioniques 51
β. Structure et fonctionnement d'un canal ionique : l'exemple d'un canal voltage-dépendant au sodium (Na^+) 53
b. Le potentiel d'action (PA), support physique des messages nerveux codés en fréquence de PA (et en durée des trains de PA) 54
c. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation auto-régénérée qui se propage de proche en proche le long de l'axone de manière unidirectionnelle 55
α. Une propagation de proche en proche par des canaux ioniques voltage-dépendants qui assurent la propagation non décrémentielle : cas d'une fibre amyélinique 55
β. Des canaux ioniques dont la période réfractaire garantit l'unidirectionnalité de la propagation des PA 55
i. La période réfractaire, un laps de temps pendant lequel un canal ne peut pas être réouvert après inactivation ou fermeture 55
ii. Conséquence : l'impossibilité de générer immédiatement un potentiel d'action là où un précédent vient de passer, d'où l'unidirectionnalité de la propagation des PA 56
iii. Des limites à l'unidirectionnalité ? [*pour information*] 56
γ. Une propagation saltatoire des PA dans les fibres myélinisées, à vitesse augmentée par rapport aux fibres amyéliniques 57
i. La gaine de myéline, un revêtement des fibres nerveuses par des cellules gliales 57
ii. La gaine de myéline, un revêtement isolant qui suscite une propagation saltatoire des potentiels d'action, de nœud de RANVIER en nœud de RANVIER 57
iii. Une propagation saltatoire nettement plus rapide que la propagation de proche en proche dans les fibres amyéliniques 57
δ. Une vitesse de propagation également contrôlée par le diamètre des fibres nerveuses 58
C. La transmission du message nerveux d'un neurone à une autre cellule excitable (dite post-synaptique) : la neurotransmission 58
1. Nature et fonction des synapses 58
a. Notion de synapse chimique : une zone de transmission de l'information nerveuse avec libération de neurotransmetteurs 58
b. Un codage du message nerveux en concentration de neurotransmetteurs dans la fente synaptique 58
c. Des synapses qui peuvent s'établir avec des cellules variées : autres neurones, cellules musculaires (lisses, squelettiques, cardiaques, nodales), cellules sécrétrices (exo- ou endocrines) 59
2. Fonctionnement général d'une synapse : mécanismes de la neurotransmission et de son arrêt 59
a. Principe général de fonctionnement 59
b. Diversité des modalités de conversion du signal dans les cellules post-synaptiques (récepteurs métabotropes *vs.* ionotropes) 60
c. Deux grands types de synapses : les synapses excitatrices génératrices de PPSE et les synapses inhibitrices génératrices de PPSI [*limite programme*] 62
d. Mécanismes d'arrêt de la neurotransmission 62
e. Origine des vésicules présynaptiques et des neurotransmetteurs qu'elles contiennent 63

3. Effet de la neurotransmission sur la réponse de la cellule post-synaptique : le cas de la synapse neuro-musculaire 64
a. Des motoneurones formant des unités motrices avec les fibres musculaires qu'ils innervent et agissant au niveau de plaques motrices 64
b. Un fonctionnement du bouton synaptique « classique » 64
c. Une action sur un canal ionique ligand-dépendant : le récepteur nicotinique à l'acétylcholine 65
d. La genèse d'un potentiel de plaque motrice (PPm) qui peut générer un potentiel d'action musculaire (PAM) dans la cellule post-synaptique 65
D. Bilan sur les neurones, des cellules hautement différenciées et polarisées 66

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 68
Références 69
Plan du chapitre 69
Plan simplifié 71
Plan très simplifié 72

Plan simplifié

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Les membranes biologiques, des mosaïques fluides délimitant les cellules et les compartiments cellulaires 3
A. La structure en mosaïque des membranes 3
1. Une représentation initiale : le modèle trilamellaire 3
2. Mise en évidence de la structure en mosaïque des membranes par cryofracture-cryodécapage 3
3. Organisation et composition des membranes biologiques 4
4. Principales fonctions des protéines membranaires 6
B. La fluidité et l'asymétrie membranaires 7
1. Mise en évidence de la fluidité membranaire 7
2. Mécanismes et modulabilité de la fluidité membranaire 7
3. L'asymétrie membranaire 8

II. Membrane plasmique, matrice extracellulaires et interrelations structurales entre cellules, ou entre cellule et matrice : la cohésion tissulaire 9
A. La cohésion des tissus, une fonction assurée par une coopération entre jonctions, matrice et cytosquelette 9
B. Dans les cellules animales : l'importance des jonctions intercellulaires (et des jonctions cellule-matrice) 9
1. Des jonctions cellule-cellule 9
2. Des jonctions cellule-matrice : les hémidesmosomes 11
3. Existence de jonctions transitoires, notamment impliquées dans les communications intercellulaires et le développement 12
4. Et chez les cellules végétales ? Le cas litigieux des plasmodesmes 12
5. Bilan sur les jonctions animales 13
C. Une cohésion tissulaire impliquant le cytosquelette, notamment dans les cellules animales où il est associé aux jonctions 14
1. Des constituants variés : microtubules, filaments intermédiaires (ex. kératine), microfilaments d'actine [rappels] 14
2. Un ancrage cytosquelettique des jonctions cellulaires 17
D. Des cellules associées à une matrice extracellulaire 17
1. Notion de matrice extracellulaire 17
2. La lame basale, un exemple de matrice extracellulaire animale (MECA) 18
3. La paroi, matrice extracellulaire végétale 19
4. Comparaison des matrices extracellulaires animales et végétales 27

III. Des membranes impliquées dans les flux de matière 29
A. Des membranes qui permettent le déplacement de compartiments : le trafic vésiculaire 29
1. Des déplacements permis par des protéines motrices et le cytosquelette 29
2. L'exocytose, fusion d'une vésicule avec la membrane plasmique 29
3. L'endocytose, formation d'une vésicule par invagination de la membrane plasmique 30
4. La notion de bourgeonnement 30
B. Des membranes qui autorisent des flux traversants de matière : les échanges transmembranaires 31
1. Définition 31
2. Une perméabilité sélective des membranes due à une liposolubilité variable des substances 31

3. Typologie des transports transmembranaires 31
4. L'énergie de GIBBS et le caractère endergonique ou exergonique d'un travail 31
5. Les transports passifs de solutés 32
6. Les déplacements transmembranaires d'eau : l'osmose 34
7. Les transports actifs de solutés 36
8. Des transferts transmembranaires insérés dans le fonctionnement global des cellules : exemple de l'entérocyte 37
C. Bilan sur le rôle des membranes dans les flux de matière 38

IV. Membrane plasmique et ddp électrique : potentiel de repos, potentiel d'action, transmission synaptique 40
A. Potentiel de repos et caractère dépolarisable de certaines cellules 40
1. Le potentiel de repos : un déséquilibre ionique entretenu par des transports actifs 40
2. Variabilité de la ddp membranaire de certains types cellulaires animaux qualifiés de dépolarisables (ou excitables) 43
B. Les neurones et la conduction d'informations par des potentiels d'actions (PA) 44
1. Les neurones, des cellules dépolarisables conduisant de l'information dans l'organisme 44
2. Le potentiel d'action (PA), une dépolarisation propagée le long de l'axone 51
C. La transmission du message nerveux d'un neurone à une autre cellule excitable (dite post-synaptique) : la neurotransmission 58
1. Nature et fonction des synapses 58
2. Fonctionnement général d'une synapse : mécanismes de la neurotransmission et de son arrêt 59
3. Effet de la neurotransmission sur la réponse de la cellule post-synaptique : le cas de la synapse neuro-musculaire 64
D. Bilan sur les neurones, des cellules hautement différenciées et polarisées 66

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 68
Références 69
Plan du chapitre 69
Plan simplifié 71
Plan très simplifié 72

Plan très simplifié

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Les membranes biologiques, des mosaïques fluides délimitant les cellules et les compartiments cellulaires 3
A. La structure en mosaïque des membranes 3
B. La fluidité et l'asymétrie membranaires 7

II. Membrane plasmique, matrice extracellulaires et interrelations structurales entre cellules, ou entre cellule et matrice : la cohésion tissulaire 9
A. La cohésion des tissus, une fonction assurée par une coopération entre jonctions, matrice et cytosquelette 9
B. Dans les cellules animales : l'importance des jonctions intercellulaires (et des jonctions cellule-matrice) 9
C. Une cohésion tissulaire impliquant le cytosquelette, notamment dans les cellules animales où il est associé aux jonctions 14
D. Des cellules associées à une matrice extracellulaire 17

III. Des membranes impliquées dans les flux de matière 29
A. Des membranes qui permettent le déplacement de compartiments : le trafic vésiculaire 29
B. Des membranes qui autorisent des flux traversants de matière : les échanges transmembranaires 31
C. Bilan sur le rôle des membranes dans les flux de matière 38

IV. Membrane plasmique et ddp électrique : potentiel de repos, potentiel d'action, transmission synaptique 40
A. Potentiel de repos et caractère dépolarisable de certaines cellules 40
B. Les neurones et la conduction d'informations par des potentiels d'actions (PA) 44
C. La transmission du message nerveux d'un neurone à une autre cellule excitable (dite post-synaptique) : la neurotransmission 58
D. Bilan sur les neurones, des cellules hautement différenciées et polarisées 66

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 68
Références 69
Plan du chapitre 69
Plan simplifié 71
Plan très simplifié 72

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en novembre 2017 • Dernière actualisation : janvier 2021.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.