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 1 : proposition de fiche à compléter

Les cellules eucaryotes,
unités structurales et fonctionnelles des organismes

Introduction

Cellule :
Cellule eucaryote : *(!) Présence de **matériel génétique extranucléaire**.*
Cellule procaryote : *Caractérise les **Eubactéries** (= **Bactéries** au sens moderne) et les **Archées**.*

Pour les **organismes pluricellulaires** :

Développement :
Différenciation :

Comment s'organise et fonctionne la cellule eucaryote ? Comment la spécialisation fonctionnelle s'articule-t-elle avec l'intégration dans un organisme ?

I. Les cellules eucaryotes, des cellules hautement compartimentées et soutenues par un cytosquelette

A. La compartimentation, une division du volume cellulaire à l'origine d'une spécialisation fonctionnelle des zones cellulaires

Capacités exigibles	✓ **Présenter** de façon synthétique la diversité des compartiments en grandes familles structurales et fonctionnelles. ✓ **Mettre en évidence** la coopération fonctionnelle entre compartiments. ✓ **Comparer** une cellule « animale » et une cellule « végétale ». ✓ **Trier** et **organiser** les principales idées issues de cette comparaison.

Compartiment cellulaire :
Organite : ***structure constituée d'un ou plusieurs compartiments remplissant une fonction donnée ou un ensemble de fonctions dans la cellule.***

1. Mise en évidence par des études microscopiques (surtout ultrastructurales)

2. Des cellules comprenant typiquement trois zones : noyau, cytoplasme, membrane plasmique

Noyau :
Cytoplasme : ***(!) Cytoplasme ≠ cytosol***
Membrane plasmique = membrane cellulaire = membrane cytoplasmique = plasmalemme : *(!) La membrane plasmique n'est évidemment **pas la seule membrane de la cellule** ! Tous les **compartiments au sein de la cellule** sont limités par des **endomembranes**.*

3. Vue d'ensemble d'une cellule animale : cas général et exemple de la cellule acineuse pancréatique (CAP) de Mammifères

FIGURE 3. Cellule acineuse du pancréas (CAP) exocrine de Mammifères : organisation.
Diamètre moyen : 10 µm

Cas de **cellule polarisée**

4. Vue d'ensemble d'une cellule végétale chlorophyllienne : cas général et exemple de la cellule du parenchyme palissadique (CPP) d'Angiospermes

FIGURE 5. Cellule du parenchyme palissadique (CAP) d'Angiospermes : organisation.
Bien signaler les structures propres à la cellule végétale.
Longueur moyenne : 100 µm // forme géométrique

Pas vraiment de ~~**polarité structurale**~~ à l'échelle cellulaire ici
NB Les flux seront quand même polarisés.

5. Des compartiments globalement regroupés en organites : les principaux organites d'une cellule eucaryote

a. Un compartiment dominant qui n'est pas un organite : le cytosol ou hyaloplasme, liquide fondamental de la cellule contenant des ribosomes

Cytosol :
Ribosome : *(!) sous-unités séparées en dehors de la traduction*
Polysome = polyribosome :

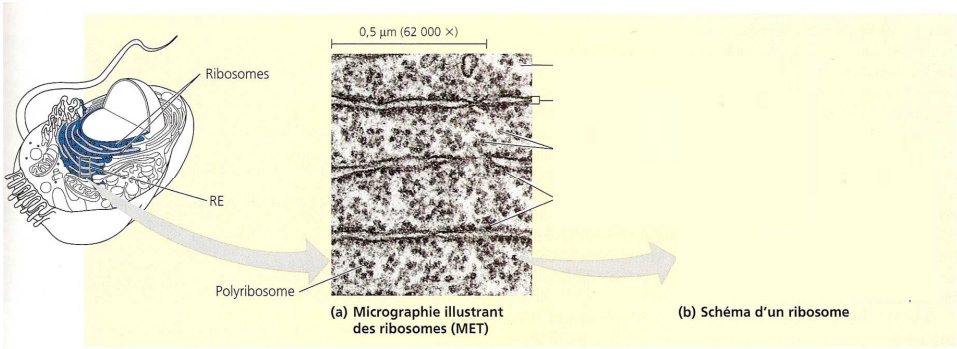


FIGURE 6. Les ribosomes. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

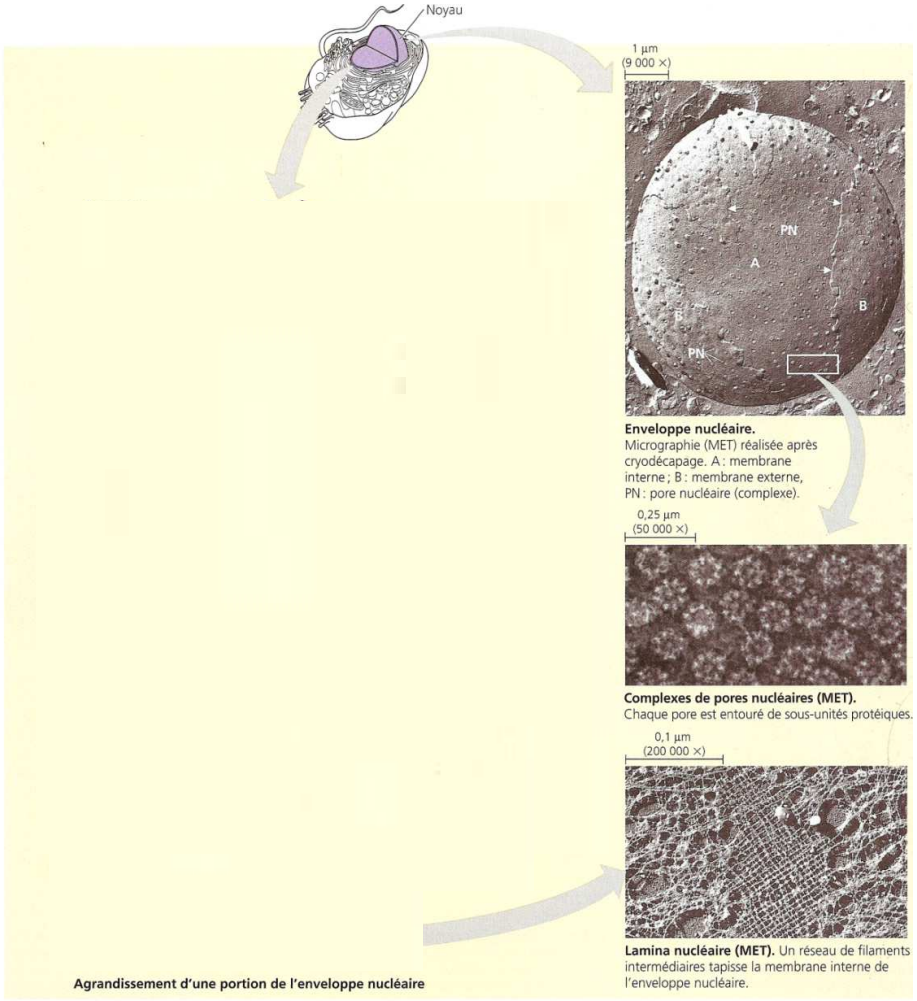
b. Les organites communs aux cellules animales et végétales

α. Le noyau, lieu de stockage de l'information génétique (IG)

Noyau : Taille moyenne indicative : 5 µm

- D'autant plus **volumineux** que l'activité d'**expression génétique** est **intense**
Ex. CAP (fort **rapport nucléocytoplasmique**)

- Rares **cellules sans noyau** (ex. hématie)
- Existence de **cellules plurinucléées**
  > Si ***cet état est hérité d'une fusion de cellules*** = **syncitium** (cas des fibres musculaires squelettiques)
  > Si ***cet état est hérité d'une division de noyaux sans division du cytoplasme*** = **coenocyte** (cas de l'albumen végétal au départ)



Noyau et enveloppe nucléaire. La chromatine, constituée d'ADN et de protéines, se trouve à l'intérieur du noyau. Lorsque la division cellulaire débute, les chromosomes deviennent distincts et visibles à mesure que la chromatine se condense. Le nucléole est le lieu de synthèse des ribosomes. L'enveloppe nucléaire, formée de deux membranes séparées par un espace étroit, est percée de pores ; la membrane interne est tapissée de la lamina nucléaire.

La MET au coin supérieur droit est tirée de L. Orci et A. Perrelet, *Freeze-Etch Histology* (Heidelberg : Springer-Verlag, 1975). © 1975 Springer-Verlag. La MET à droite et au centre est tirée de C. Faberge, *Cell Tissue Res.* 151(1974) : 403. © 1975 Springer-Verlag.

FIGURE 7. Le noyau. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Enveloppe nucléaire : Présence de **lamines nucléaire** (formant la **lamina**) - cytosquelette
Nucléole(s) : Souvent 1 chez les Animaux et 2 chez les 'végétaux'
Chromatine : **- Euchromatine :** **- Hétérochromatine :**
Nucléoplasme :

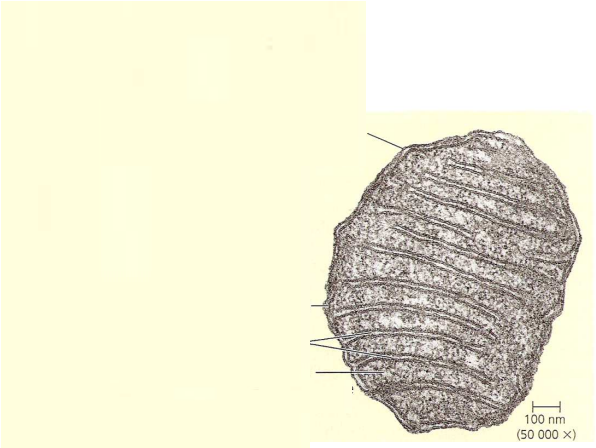
β. Les mitochondries, organites semi-autonomes assurant la respiration cellulaire

i. Des organites responsables de la respiration cellulaire

Mitochondrie :

Quelques caractéristiques

- ***La membrane interne présente de nombreux replis (crêtes mitochondriales)*** et une quantité importante ***d'ATP synthétases*** (enzymes qui produisent l'ATP) ;
- ***L'espace intermembranaire est très étroit, ce qui permet d'y concentrer facilement des protons H^+.***
- ***Le compartiment le plus interne*** s'appelle **matrice mitochondriale** ; elle contient des **inclusions** et des **ribosomes** ;
- ***Cet organite possède son propre ADN dans la matrice ainsi que des ribosomes*** (production de quelques protéines ou sous-unités de protéines : la plupart des polypeptides mitochondriaux sont toutefois codés par le génome nucléaire) ;
- ***Il y a d'autant plus de mitochondries dans une cellule que celle-ci est active*** (mobilité, production intense de protéines…).



Mitochondrie. La mitochondrie est le site de la respiration cellulaire. Sa double membrane apparaît clairement sur cette illustration et sur cette micrographie électronique (MET). Des crêtes sont formées par les replis de la membrane interne. Celle-ci délimite deux compartiments, comme le fait ressortir le schéma en trois dimensions : l'espace intermembranaire et la matrice mitochondriale.

FIGURE 8. Une mitochondrie. D'après CAMPBELL & REECE (2004). [à combiner à la figure 9]

ii. Des organites semi-autonomes

Organite semi-autonome : *(!) Présence de **ribosomes*** *(même si la plupart des **polypeptides** sont codés par le **génome nucléaire**)*

iii. Origine endosymbiotique des mitochondries

Théorie endosymbiotique :

Arguments principaux :

-

-

-

-

-

iv. Proposition d'un scénario

⮝ **FIGURE 10. <u>Endosymbiose mitochondriale : un scénario</u>.** D'après SEGARRA *et al.* (2014)

γ. Le réticulum endoplasmique rugueux (RER) = réticulum endoplasmique granuleux (REG), lieu de repliement des protéines sécrétées ou membranaires

Structure :
Fonction :

Les citernes (ou saccules) du REG sont **disposées à intervalles d'espaces réguliers (quelques dizaines de nm) et communiquent entre elles par des ponts**. Le REG se place en prolongement de l'enveloppe nucléaire.

*Pour information, les mots en « -ule » en cytologie désignent souvent des **petites structures cellulaires limitées par une membrane** :*
- Les **saccules** sont des ***petits sacs membraneux, d'épaisseur généralement constante***
- Les **tubules** sont des ***petits tubes membraneux***
- Les **vésicules** sont des ***structures sphériques limitées par une membrane qui peuvent se déplacer dans la cellule***.

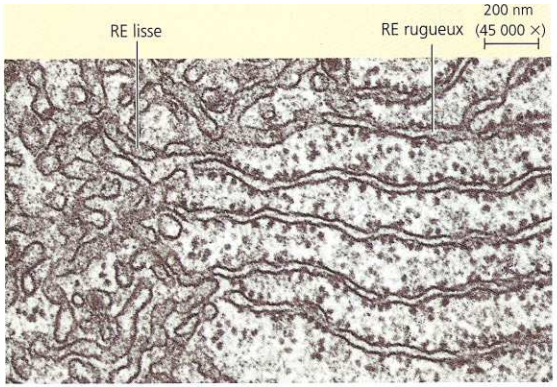


FIGURE 7.11 Réticulum endoplasmique (RE). Le réticulum endoplasmique (RE) est un réseau membraneux de tubules et de sacs aplatis appelés citernes. Celles-ci délimitent une cavité remplie de solutions diverses. La membrane du réticulum endoplasmique prolonge l'enveloppe nucléaire. Cette micrographie électronique illustrant une coupe du RE permet de distinguer le réticulum endoplasmique rugueux (ou granulaire), parsemé de ribosomes sur sa face cytoplasmique, et le réticulum endoplasmique lisse (MET).

⮝ **FIGURE 11. <u>Le réticulum endoplasmique : REG (granuleux) et REL (lisse)</u>.** D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Maturation protéique :
Sécrétion :

δ. Le réticulum endoplasmique lisse (REL), lieu de synthèse de lipides

Structure :
Fonction : + **stockage de calcium** (si cette fonction est déterminante, on parle de **calciosome**)

ε. Les dictyosomes ou appareil de GOLGI, lieu de modifications et de tri protéiques

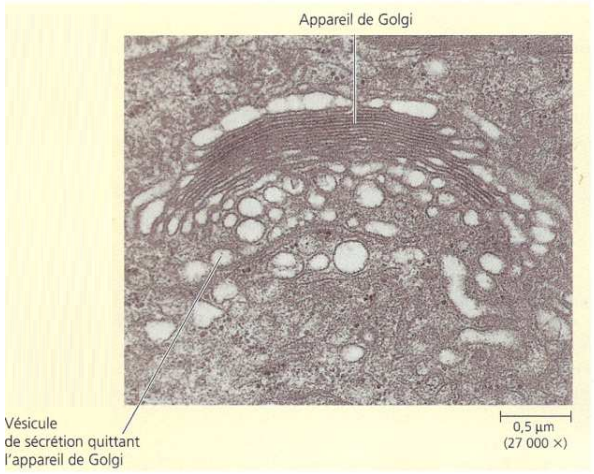


FIGURE 12. Un dictyosome (MET). D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Dictyosome : **1 seul** dans les **cellules animales** ; **plusieurs** dans les **cellules végétales** ***L'ensemble des dictyosomes d'une cellule*** forme l'**appareil de GOLGI**

Saccule *cis* (côté REG) // **saccules intermédiaires** // **saccule *trans*** (vers plasmalemme)
Migration entre saccules et vers plasmalemme par des **vésicules**

*(!) Les **vésicules produites par l'appareil de GOLGI** peuvent aussi aboutir :*
*- dans les **lysosomes** (pour les cellules animales)*
*- dans la **vacuole** (pour les cellules végétales)*

FIGURE 13. Trafic vésiculaire du REG jusqu'au plasmalemme en passant par le GOLGI.
*Les **protéines sécrétées** sont représentées par les **boules** et les **arbuscules** symbolisent les **protéines membranaires**.* D'après CAMPBELL & REECE (2004).

[Mixer les schémas des figures 12 et 13]

Sécrétion constitutive :
Sécrétion contrôlée :

ζ. Les péroxysomes

Péroxysome :

+ intervention dans la **photorespiration**
+ présence de **glyoxysomes** chez les végétaux (production de glucose à partir d'AG)

c. Les lysosomes, compartiments propres à la cellule animale dégradant des molécules d'origine extracellulaire ou des constituants intracellulaires

Lysosome :

Destruction de **déchets**, d'**organites endommagés**, de **molécules toxiques**…
>> rôles assurés par la **vacuole** dans les **cellules végétales**

FIGURE 16. Lysosomes et digestion des endosomes. D'après BREUIL (2007).

d. Des compartiments propres à la cellule végétale

α. Les chloroplastes, organites semi-autonomes réalisant notamment la photosynthèse

i. Structure et fonction

Chloroplaste :

Ils présentent fondamentalement :
- Une ***double membrane*** ou **enveloppe plastidiale**,
- Des ***compartiments allongés*** (où s'établit le **gradient de protons**) nommés **thylakoïdes** et qui ***peuvent s'empiler*** en **grana** (singulier : **granum**). Les thylakoïdes sont ***tapissés de sphères pédonculées ou ATP synthétases***.
- Une matrice nommée **stroma** ***contenant de l'ADN, des ribosomes*** (il y a donc **synthèse de quelques polypeptides**, comme dans la mitochondrie) ***et des inclusions*** (amidon, gouttelettes lipidiques).

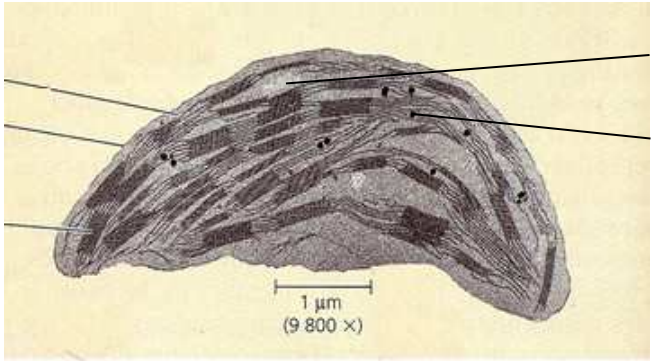


FIGURE 17. Les chloroplastes. D'après CAMPBELL & REECE (2004) et BREUIL (2007)

ii. Origine endosymbiotique

Endosymbiose primaire (cas des plastes de la Lignée verte) **:**
Endosymbiose secondaire :

β. L'existence d'autres types fonctionnels de plastes dans des cellules autres que la CPP

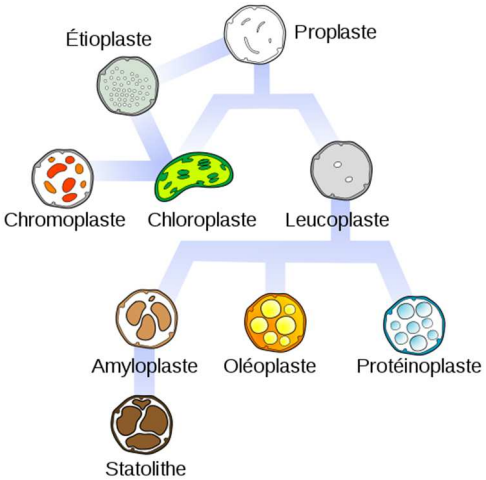


FIGURE 18. <u>Diversité fonctionnelle des plastes chez les Angiospermes</u>. *Wikipédia* (septembre 2015). Le terme de **leucoplaste** (du gr. *leucos*, blanc) renvoie à tous les plastes non pigmentés.

- **Chloroplaste** → *photosynthèse*

- **Amyloplaste** →

- **Chromoplaste** →

- **Oléoplaste** →

- **Protéoplaste** = **protéinoplaste** →

- **Étioplaste** : chloroplaste **dégénéré** (obscurité prolongée)
- **Proplastes** : ***plastes indifférenciés***.

γ. La vacuole, compartiment aux multiples fonctions

Vacuole :
*Jusqu'à **95 % du volume cellulaire** // état **turgescent***

Dans les cellules peu différenciées comme les **cellules méristématiques**, le **vacuome** ***se compose de nombreuses petites vacuoles qui fusionneront lors de la différenciation***.

FIGURE 19. <u>La vacuole</u>. D'après BREUIL (2007)

Fonctions principales :

-

-

>

>

>

-

-

-

- **Turgescence** : ***se dit d'une cellule dont le cytoplasme est plaqué contre la paroi par la vacuole qui exerce une pression (dite de turgescence)*** ; **l'eau a tendance à rentrer par osmose** dans la vacuole, ***milieu hypertonique par rapport au cytosol*** ou à la paroi. C'est l'état naturel « normal ».
- **Plasmolyse** : ***se dit d'une cellule dont le cytoplasme est résorbé et n'exerce de contacts avec la paroi guère qu'au niveau des plasmodesmes*** ; **l'eau a tendance à sortir par osmose** de la vacuole, ***milieu alors hypotonique par rapport au cytosol*** et à la paroi. C'est un état anormal. À l'échelle macroscopique, la plante subit un **flétrissement**.
- **Milieu hypertonique** : se dit d'une **solution plus concentrée qu'une autre** (par comparaison).
- **Milieu hypotonique** : se dit d'une **solution moins concentrée qu'une autre** (par comparaison).
- **Milieu isotonique** : se dit d'une **solution aussi concentrée qu'une autre** (par comparaison).

B. Le cytosquelette, une armature protéique qui structure la cellule et participe à son dynamisme

Cytosquelette :

(!) ***Rôle squelettique*** *largement assumé par le* *couple paroi + turgescence vacuolaire* *(notion d'****hydrosquelette****) dans les* ***cellules végétales****.*

1. Des constituants variés : microtubules, filaments intermédiaires, microfilaments

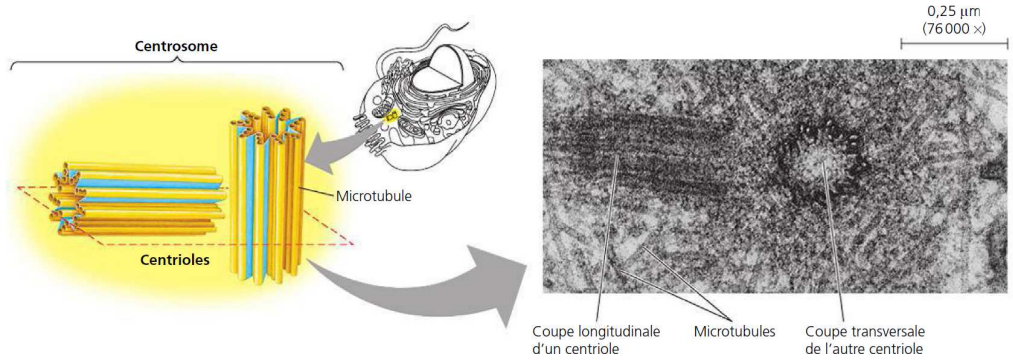
Microtubules :
Filaments intermédiaires : Ex. **Myosines** ; **kératines** (cf. chapitre 2) ; **lamines nucléaires***… * seuls filaments intermédiaires des cellules végétales
Filaments fins (= microfilaments) d'actine :

>> On trouve dans les cellules un **centre organisateur des microtubules (COMT)** ***vers lequel convergent les microtubules et composé de protéines variées***.
>> Dans les **cellules animales**, le COMT est un **centrosome** (figure 21) (*attention, certains auteurs utilisent aussi le mot « centrosome » pour le COMT des cellules végétales*) composé de deux **centrioles**, ***courts ensembles de 9 triplets de microtubules***, et de ***matériel dense*** souvent nommé **matériel péricentriolaire**.
>> L'organisation du **COMT** est **plus diffuse** et **moins bien connue** pour les **cellules végétales** mais certaines protéines sont connues. Il n'y a **pas de centrioles** dans les cellules végétales.

Les **microtubules** possèdent **deux extrémités** : ***l'une ne comprend que des tubulines alpha*** (**extrémité –**) et ***l'autre que des tubulines bêta*** (**extrémité +**). Les **microtubules** sont donc des structures **orientées** et **polarisées**. L'**extrémité –** est au contact du **COMT**.

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

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



Le centrosome et sa paire de centrioles. La plupart des cellules animales possèdent un centrosome, une zone près du noyau où se forment les microtubules. Ce centrosome contient une paire de centrioles, chacun d'un diamètre d'environ 250 nm (0,25 µm), disposés à angle droit l'un par rapport à l'autre et se composant chacun de neuf triplets de microtubules. Les parties bleues du schéma représentent les protéines autres que la tubuline qui relient les triplets (MET).

FIGURE 21. Le centrosome des cellules animales. D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

2. Le cytosquelette, acteur du dynamisme cellulaire : principales fonctions du cytosquelette

Voir les parties du programme concernées.

Liste des principales fonctions :

-

-

-

-

>

>

>

-

Bilan (adapté du programme)	✓ La **cellule eucaryote** est structurée par un **cytosquelette** qui participe à son **dynamisme**.

II. Une compartimentation dynamique qui autorise les échanges : des cellules traversées par des flux

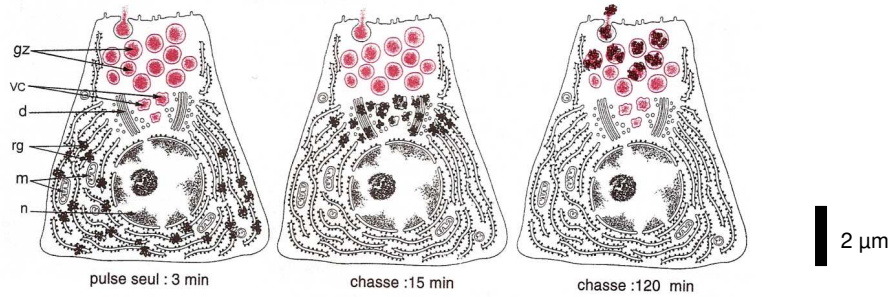
Capacités exigibles	✓ **Mettre en évidence** la coopération fonctionnelle entre compartiments. ✓ **Associer** différents processus à des flux traversant la cellule.

A. Des flux de matière

1. Mise en évidence du flux sécrétoire dans la cellule acineuse pancréatique : les expériences de PALADE (1960)

Pulse-chase **:**

Définition à aller chercher dans la fiche technique « Méthode d'étude et d'observation des cellules ».



Expériences historiques sur la sécrétion des protéines par les cellules pancréatiques

Le phénomène sécrétoire est étudié au moyen d'expériences d'incorporation de leucine tritiée (de type *pulse-chase*), suivies d'autoradiographie. La radioactivité se déplace, au cours du temps, successivement dans les compartiments mis en jeu dans ce processus : réticulum endoplasmique rugueux (rg) ; appareil de Golgi (d) ; vésicules de concentration (vc) et grains de zymogène (gz) ; m : mitochondries ; n : noyau. (D'après J. Jamieson).

FIGURE 25. Localisation des grains d'argent en fonction du temps : déplacement des acides aminés radioactifs dans la cellule. D'après CALLEN (2005).

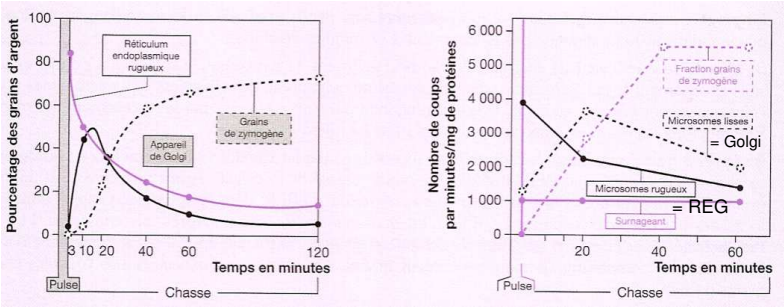


FIGURE 26. Localisation de la radioactivité par compartiments (à gauche par comptage de grains d'argent : à droite par dosage de radioactivité après ultracentriquation). *Les microsomes correspondent au RE et les grains de zymogènes sont les vésicules de sécrétion contenant les précurseurs d'enzymes pancréatiques.* D'après BREUIL (2007).

2. Importance de la polarité cellulaire dans le flux sécrétoire

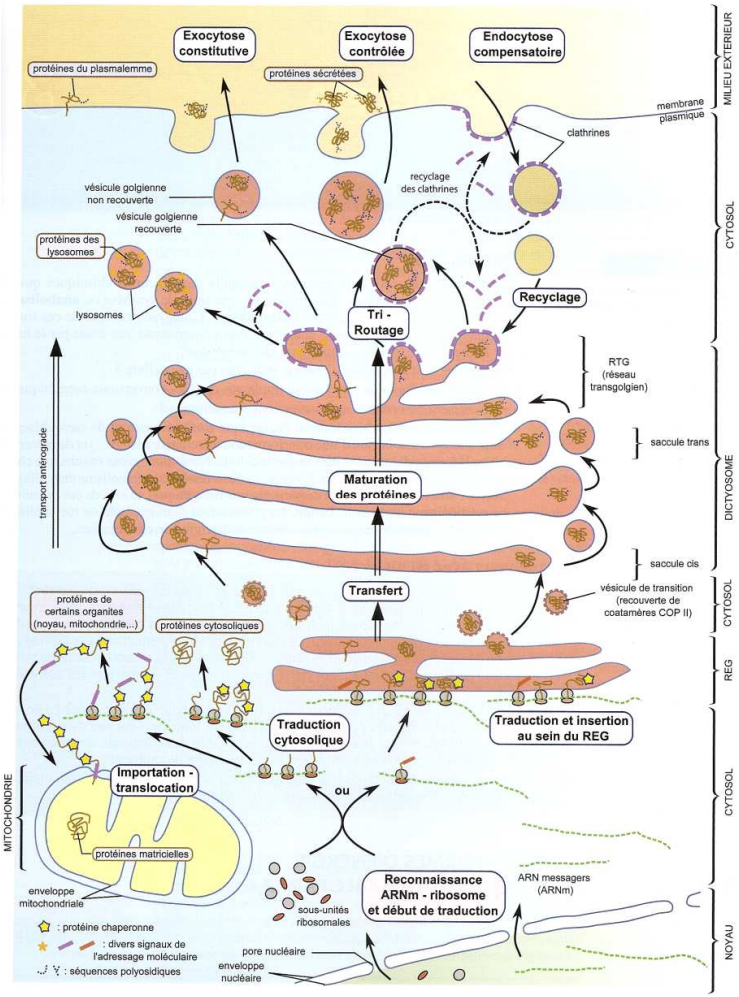


FIGURE 27. <u>Compartimentation et fonctionnement polarisés de la cellule acineuse pancréatique</u>. *Ce schéma est centré sur le trajet et l'adressage des protéines.*
D'après PEYCRU *et al.* (2013).

Pôle basal =

Pôle apical =

NB ***Répartition polaire des organites*** = ***polarité structurale***
Répartition polaire des tâches cellulaires = ***polarité fonctionnelle***
Les deux ***se superposent*** ⇒ ***<u>relation structure-fonction</u>*** *!*

-
>
>
>
-
-

3. Un contrôle des flux de matière : le contrôle de l'activité sécrétoire dans la cellule acineuse pancréatique [flux d'information !]

FIGURE 28. <u>Contrôle « externe » de l'activité de la cellule acineuse pancréatique</u>.
D'après PEYCRU *et al.* (2010*a*).

- Stimuli hormonaux
> cholécystokinine-pancréozymine = CCK-PZ :
- Stimuli nerveux
> **Bombésine** (= GRP *Gastrin Releasing Factor*) :
> Acétylcholine (ACh) :

La **transduction** de ces **signaux extracellulaires** (= ***leur conversion en action cellulaire***) passe par des **seconds messagers** à l'intérieur de la cellule (production membranaire d'**IP3** ; entrée de **calcium** dans le cytosol).

Second messager :

Le **calcium** :
- **déclenche** la **sécrétion**
- **se propage** aux **cellules adjacentes** par les **jonctions *gap*** ⇒ **interactivation des cellules** d'un même acinus

4. Généralisation : les flux de matière dans les cellules

Principaux flux de matière de la cellule acineuse pancréatique :
- **Apport de nutriments au pôle basal** (glucose, acides aminés, acides gras), d'**eau**, de **dioxygène**…
- **Export au pôle basal de dioxyde de carbone**, **autres déchets métaboliques**, eau…
- **Export au pôle apical des zymogènes exocytés**
- **Au sein de la cellule** : **transformations cataboliques et anaboliques** (associées à une spécialisation des compartiments)

Principaux flux de matière de la cellule du parenchyme palissadique :
- **Apport et export des gaz respiratoires ou photosynthétiques au niveau des méats (dioxygène, dioxyde de carbone)**
- **Export d'eau au niveau des méats (évapotranspiration)** puis des stomates
- **Apport de nutriments minéraux (nitrates, eau…) au niveau des faisceaux conducteurs**
- **Export de métabolites vers les cellules-puits par les faisceaux conducteurs**
- **Au sein de la cellule** : **transformations cataboliques et anaboliques** (associées à une spécialisation des compartiments)
- **Au sein de la cellule** : **stockage** (**amidon** dans le chloroplaste, **saccharose**, **acides aminés** ou encore **déchets** dans la **vacuole**…)

*Même si ces **cellules végétales** ne sont **pas structuralement polarisées**, on note que les **flux**, eux, sont tout de même **orientés** !*

>> Voir figures 32-33 (dans le I-D : bilan) [page suivante] <<

B. Des flux d'énergie

1. Une production catabolique d'ATP dans les deux types de cellules

- **Glycolyse** dans le **hyaloplasme**
- **Respiration cellulaire** dans la **mitochondrie**

} ⇒ **Production d'ATP**

⮝ **FIGURE 29. Une vision simplifiée du catabolisme.**
D'après CAMPBELL *et al.* (2012). Voir chapitre 5 (TB2).

⇒ **Déplacement de l'ATP** dans toute la cellule permettant la plupart des activités cellulaire :
- **travaux mécaniques** : déplacement de compartiments, contraction musculaire…
- **travaux chimiques** : synthèses de composés, polymérisations…
- **travaux osmotiques** : déplacements actifs de substances au travers des membranes…

Voir chapitre 5 (Métabolisme)

2. Une production photosynthétique de métabolites dans la CPP

Cellule végétale : **PHOTOSYNTHÈSE**
Couplage photo-chimique = ***conversion d'énergie lumineuse en énergie chimique***.
⇒ Production de **matière organique**

Vue d'ensemble de la photosynthèse : intégration des réactions photochimiques et des réactions du cycle de Calvin. Les réactions photochimiques se déroulent dans la membrane des thylakoïdes, formant les grana, tandis que le cycle de Calvin a lieu dans le stroma. Les réactions photochimiques utilisent l'énergie solaire pour produire de l'ATP et du NADPH + H^+, qui servent respectivement de source d'énergie chimique et de potentiel réducteur dans le cycle de Calvin. Au cours de celui-ci, le dioxyde de carbone sert à produire des molécules organiques qui seront ultérieurement transformées en glucides. (Souvenez-vous que la formule de la majorité des sucres simples est un multiple de $[CH_2O]$.)

FIGURE 30. Une vision synthétique de la photosynthèse végétale.
D'après CAMPBELL *et al.* (2012). Voir chapitre 5 (TB2).

C. Des flux d'information

1. Un flux génétique

- **Transcription** (= ***synthèse d'ARN*** : ARNm, ARNt, ARNr…) → **noyau**
- **Traduction** (= ***synthèse protéique***) → **cytosol**

Voir le chapitre 4 (Expression génétique)

⇒ **flux d'IG du noyau vers le cytosol**, et même **vers l'extérieur** de la cellule en **cas de sécrétion** (cas de la **CAP**)

*[Rappel : les sécrétions peuvent aboutir dans le **milieu extracellulaire** OU la **vacuole** dans le cas des cellules végétales].*

FIGURE 31. Expression de l'information génétique dans la cellule eucaryote.

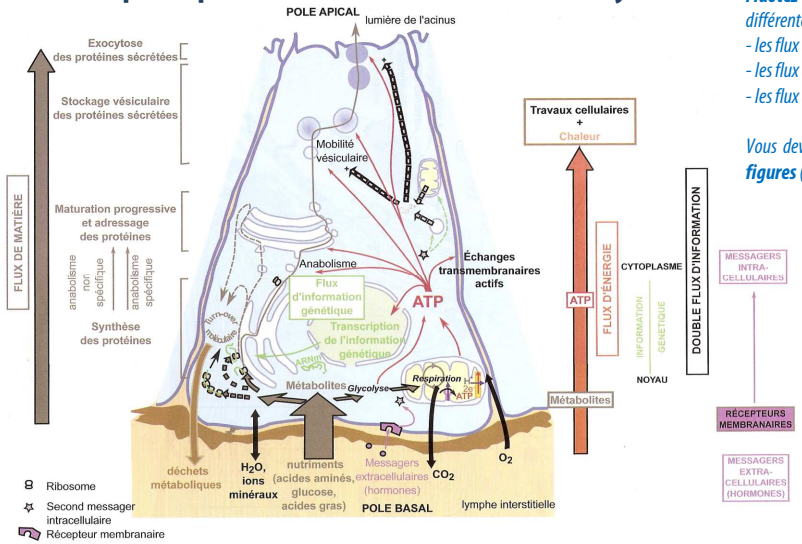
2. Un flux d'informations issues de stimuli extérieurs à la cellule

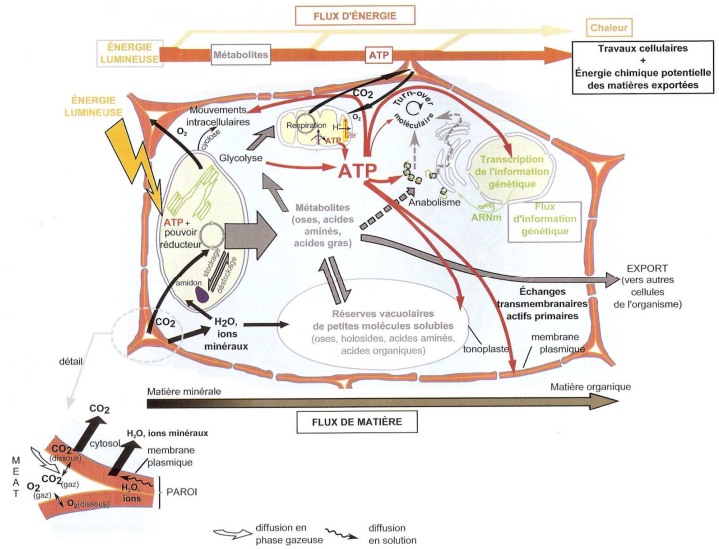
- Stimuli en provenance d'autres parties de l'organisme : messages hormonaux, paracrines, nerveux… → *conversion en signal intracellulaire* qui *modifie l'activité de la cellule* (*cf.* plus haut dans le cas de la CAP).
- Possibilité, chez certaines cellules, de percevoir des stimuli d'origine externe à l'organisme

D. Bilan : les principaux flux dans une cellule eucaryote

Fluotez *(avec des couleurs différentes) :*
- les flux de matière
- les flux d'énergie
- les flux d'information

Vous devez pouvoir ***refaire ces figures*** *(faites en cours).*





FIGURES 32-33. Les flux dans la CAP et la CPP. Corrigé d'après PEYCRU *et al.* (2013).

E. Des flux impliquant la membrane cellulaire et les endomembranes

Voir chapitre 2 (Membranes)

Processus membranaires impliqués dans les flux :

-

-

-

-

…

FIGURE 31. Une membrane biologique : la membrane plasmique.
Corrigé d'après RAVEN *et al.* (2007). *À produire par l'étudiant.*

Bilan (adapté du programme)	✓ La **cellule** est traversée par des **flux de matière**, **d'énergie** et **d'information**. ✓ Une partie de ces **flux** passe par la **membrane cellulaire** ou les **systèmes membranaires internes**.

III. Une information génétique essentiellement nucléaire et portée par des chromosomes linéaires

Information génétique (IG) : *Information **transmissible** // Support physique : **ADN***
Génome :

A. L'ADN, support universel de l'information génétique chez les êtres vivants

1. La notion d'acide nucléique (rappels)

Acides nucléiques :
ADN :
ARN :

2. Les nucléotides, monomères de l'ADN (et des ARN) (rappels)

a. Rappels : nature et constitution des nucléosides et nucléotides

Composition d'un **nucléoside** :

-

>

> OU

-

→ Liaison **N-glycosidique**.

Nucléotide = **nucléoside** + **1, 2 ou 3 phosphates**.
→ Liaison **phosphoester** (entre nucléoside et 1er phosphate)
Entre les **phosphates** (si plusieurs) → liaisons **anhydride phosphorique** [riches en **énergie** !]

Bases azotées		Nucléosides de l'ARN	Désoxynucléosides de l'ADN (d- pour désoxy-)
Bases puriques	Adénine	Adénosine	d-Adénosine
	Guanine	Guanosine	d-Guanosine
Bases pyrimidiques	Cytosine	Cytidine	d-Cytidine
	Uracile	Uridine	-
	Thymine	-	Thymidine

D'après PEYCRU *et al.* (2013).

FIGURE 35. L'ATP (adénosine triphosphate). *À refaire en version simplifiée.*

b. Variété des rôles des nucléotides et dérivés nucléotidiques

TABLEAU II. Nucléosides et nucléotides : un bilan. Inspiré de SEGARRA *et al.* (2014).

Fonctions	Nucléotides ou dérivés nucléotidiques impliqués
Construction d'acides nucléiques : ADN, ARN (stockage et expression de l'information génétique)	Tous nucléotides
Participation à la synthèse de polyosides	UDP-glucose (synthèse du glycogène et de la cellulose) UDP-galactose
Signalisation cellulaire	**Seconds messagers :** AMPc (AMP cyclique) GMPc (GMP cyclique)…
Molécules énergétiques et coenzymes* (intermédiaires métaboliques)	**Transfert de phosphates :** Tous nucléotides, notamment ATP **Transfert d'électrons (coenzymes d'oxydoréduction) :** Dérivés nucléotidiques (figure 36) : ° NAD (nicotinamide adénine dinucléotide) ° FAD (flavine adénine dinucléotide) *Etc.* …

* On appelle **cofacteur** une ***substance non protéique mais qui se lie à une protéine en étant nécessaire à son activité biologique***. Un **coenzyme** est un cas particulier : c'est un ***cofacteur d'enzyme***.

c. Des composés polymérisables

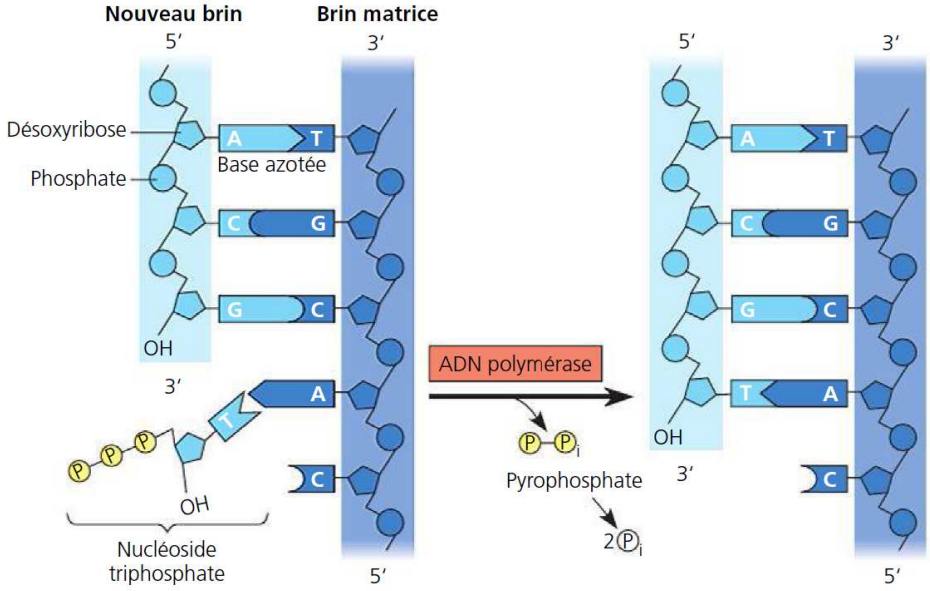


FIGURE 37. Polymérisation de l'ADN. D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

Polymérisation → condensation de **NTP (ou dNTP)** avec perte d'un **pyrophosphate (2 P)**
NB Formation de **liaisons phosphoester** → **liaisons phosphodiesters** à l'arrivée.

3. L'ADN, hétéropolymère de nucléotides

a. Une molécule bicaténaire

Bicaténaire = ***2 brins*** associés par des liaisons H
≠ ADN (**monocaténaire** : ***1 brin***, même si celui-ci peut se replier sur lui-même et se « bicaténériser »l localement)

b. Des brins orientables : extrémités 5′ et 3′

- **Extrémité 5' P** (phosphate libre)
- **Extrémité 3' OH** (OH libre)

c. Structure secondaire : deux brins antiparallèles organisés en double hélice

Structure secondaire en **double hélice** = ***2 brins qui s'enroulent en hélice***
- Brins antiparallèles = orientés inversement
- Hélice droite (ADN-B)
- Tour de spire : **10 pb** ; présence d'un **petit sillon** et d'un **grand sillon**

⮝ **FIGURE 38. Organisation de l'ADN.**
Faire une représentation simplifiée (s'inspirer de la fiche de biochimie structurale)

d. Une molécule qui respecte les règles de CHARGAFF

Règles de complémentarité (= d'appariement exclusif) = 1e règle de CHARGAFF :
2e règle de CHARGAFF :

4. L'ADN, une molécule séquencée capable de porter une information

a. La capacité de porter une information : approche intuitive

Séquence nucléotidique :
*→ Codage de la **séquence peptidique** de la protéine*

b. Le caractère universel du codage de l'information génétique : mise en évidence par la transgénèse

Transgénèse :

Caractère codé par le **gène** transféré → **expression** dans l'espèce receveuse [sauf quand la transgénèse échoue…]

c. Un codage par triplets de nucléotides de l'ADN (= codons dans l'ARNm) : le code génétique

extrémité 5'	deuxième base: U	C	A	G	extrémité 3'
U	UUU, UUC – Phe UUA, UUG – Leu	UCU, UCC, UCA, UCG – Ser	UAU, UAC – Tyr UAA Stop UAG Stop	UGU, UGC – Cys UGA Stop UGG Trp	U C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG – Leu	CCU, CCC, CCA, CCG – Pro	CAU, CAC – His CAA, CAG – Gln	CGU, CGC, CGA, CGG – Arg	U C A G
A	AUU, AUC, AUA – Ile AUG Met	ACU, ACC, ACA, ACG – Thr	AAU, AAC – Asn AAA, AAG – Lys	AGU, AGC – Ser AGA, AGG – Arg	U C A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG – Val	GCU, GCC, GCA, GCG – Ala	GAU, GAC – Asp GAA, GAG – Glu	GGU, GGC, GGA, GGG – Gly	U C A G

⮝ **FIGURE 41. Le code génétique (exprimé, comme presque toujours, par rapport à l'ARNm).**
D'après http://www-lemm.univ-lille1.fr/biologie/biocellulaire/apprendre/chapitre9/ch9_page1.htm (octobre 2015).

α. Un système de correspondance (quasi-) universel entre séquence nucléotidique et séquence peptidique

Code génétique :

*Identique pour tous les EV (sauf très rares variations) = **universel***

β. Des codons initiateurs ou terminateurs de la traduction

- **Codon *start*** = **initiateur** = **AUG** (code la méthionine)
- 3 **codons *stop***

γ. Un code caractérisé par sa redondance (ou dégénérescence)

Redondance = dégénérescence du code génétique :

64 codons possibles mais seulement 20 AA protéinogènes !

Mutation silencieuse :

d. La notion d'ORF, cadre ouvert de lecture

Cadre de lecture (*reading frame*) :

Cadre ouvert de lecture = ORF (*open reading frame*) :

1/ Usage plutôt historique en désuétude (mais parfois encore observé) :

Définition liée à la notion de **gène potentiel** et au **séquençage historique de génomes**

2/ Usage répandu plutôt moderne (à retenir prioritairement) : **= cistron = séquence codante**

ORF sur **plusieurs exons** si **gène morcelé** (Eucaryotes)

(!) Exclusion des ~~introns~~, des ~~séquences UTR~~, des ~~séquences régulatrices~~…

5. L'ADN, une molécule en interaction avec des protéines qui s'exprime, se conserve, se transmet et peut varier

- **Expression** par **transcription** (production d'ARN qui coopèrent ensuite)
- Existence d'un **contrôle (« régulation »)** de cette expression = modulabilité
- **Conservation** lors de la **réplication** et des **divisions cellulaires**
- Peut **varier** : **mutations** (corrigées ou non), **recombinaisons**…

NB ADN en lien avec des **protéines** → **protéines de structure** [*structuration / condensation*]
→ **protéines fonctionnelles** [*dynamisme du génome*]

B. Localisation, organisation et structuration des génomes eucaryotes

Génome :

- Définition 1 (préférer **génotype**) **:**

- Définition 2 :

>> Variante 1 (rare) :

>> Variante 2 (assez rare aussi) :

>> Variante 3 (la plus usitée aujourd'hui) :

1. Un génome comprenant une composante principale nucléaire et une composante mineure cytoplasmique

Génome des **Eucaryotes** :
- **Génome nucléaire** (chromosomes s. str.)
- **Génome extranucléaire** (= cytoplasmique) dans organites semi-autonomes.

Phase haploïde :

Phase diploïde :

Chromosomes homologues = autosomes :

Chromosomes sexuels = gonosomes :

Caryotype :
-

-

⮟ TABLEAU III. Comparaison des génomes eucaryotes et eubactériens.
Inspiré de PEYCRU *et al.* (2013).
pb = paire de base (*correspond à une paire de nucléotides*). L'unité accepte les préfixes multiplicateurs : 10^3 pb = 1 **kb** (kilobase), 10^6 pb = 1 **Mb** (mégabase), 10^9 pb = 1 **Gb** (gigabase).
ADNmt = ADN mitochondrial.

	Localisation	Organisation de l'ADN	Nombre de molécules d'ADN	Taille du génome	Séquences répétées non codantes	Structure des gènes
Eucaryotes						
Eubactéries						

Caryotype humain.
[Rappel : **23 paires** de **chromosomes** : **22 paires d'autosomes, 1 paire de gonosomes**]
Notation du **caryotype humain (diploïde)** : **2*n* = 46** [si c'était un **gamète haploïde : *n* = 23**]

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **cellules eucaryotes** contiennent une **information génétique nucléaire** et **cytoplasmique** (**organites semi-autonomes** – organisation **procaryote**).

2. Le génome nucléaire, une entité composée de chromosomes linéaires pouvant présenter des niveaux variables de condensation

Capacité exigible	✓ **Décrire** l'organisation de la chromatine et **mettre en relation** les associations ADN/protéines avec les variations de condensation de la chromatine.

a. Organisation fondamentale : des chromosomes comportant une ou deux chromatide(s) impliquant des protéines associées à l'ADN (dont les histones)

Chromatide :

Chromatide ≠ chromatine !

Chromosome :

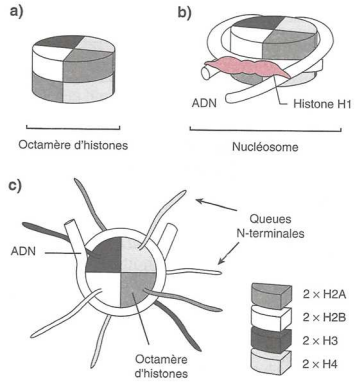
- Chromosome simple :

- Chromosome double = chromosome dupliqué :

Histones : ***protéines de structure associées à l'ADN***.

- S'organisent en **octamères** (huit **sous-unités**) formant un « cœur protéique » :
2 sous-unités **H2A** + 2 sous-unités **H2B** +
2 sous-unités **H3** + 2 sous-unités **H4**.
→ *l'ADN s'enroule autour* (2 tours de spire)

- Existence, en plus, d'une **histone H1** (présente ou non) : rôle **consolidateur** et de **liaison**
⇒ sa présence **augmente le resserrement** de l'**ADN** et donc son degré de **condensation**.
⇒ sa présence **limite l'accès** de l'**ADN** aux **enzymes**.



Structure simplifiée d'un nucléosome.
a) l'octamère d'histones ; **b)** l'enroulement de l'ADN autour de l'octamère et sa solidification par l'histone H1 ; **c)** protubérance vers l'extérieur des queues N-terminales d'histones de l'octamère.

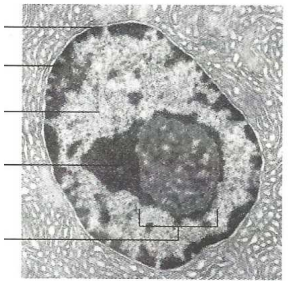
➢ FIGURE 44. Histones.
D'après PETIT & JULIEN (2007).

b. L'ADN en interphase : notions d'euchromatine et hétérochromatine

Chromatine :
Nucléole :

Lors de l'**interphase**, **deux états de condensation** de la **chromatine** se présentent :

Euchromatine : → Accessible aux **ARN polymérases** réalisant la **transcription** (Parfois dite « ouverte »)
Hétérochromatine : → Inaccessible aux **ARN polymérases** ⇒ pas d'expression génétique à ce niveau (Parfois dite « fermée »)



Noyau cellulaire
et chromatine observés au M.E.T.
(Cliché J. André labo, BC4, Orsay, « Atlas de Biologie cellulaire , J.-C. Callen, J.-C. Rolland, A. et D. Szöllösi, 5e éd. Dunod, 2001).»

FIGURE 45. Allure du noyau au MET (taille env. 4 µm). D'après PEYCRU *et al.* (2013).

c. Histones et nucléosomes

Nucléosome : → ***Fibre nucléosomique***

d. Degrés de condensation de l'ADN

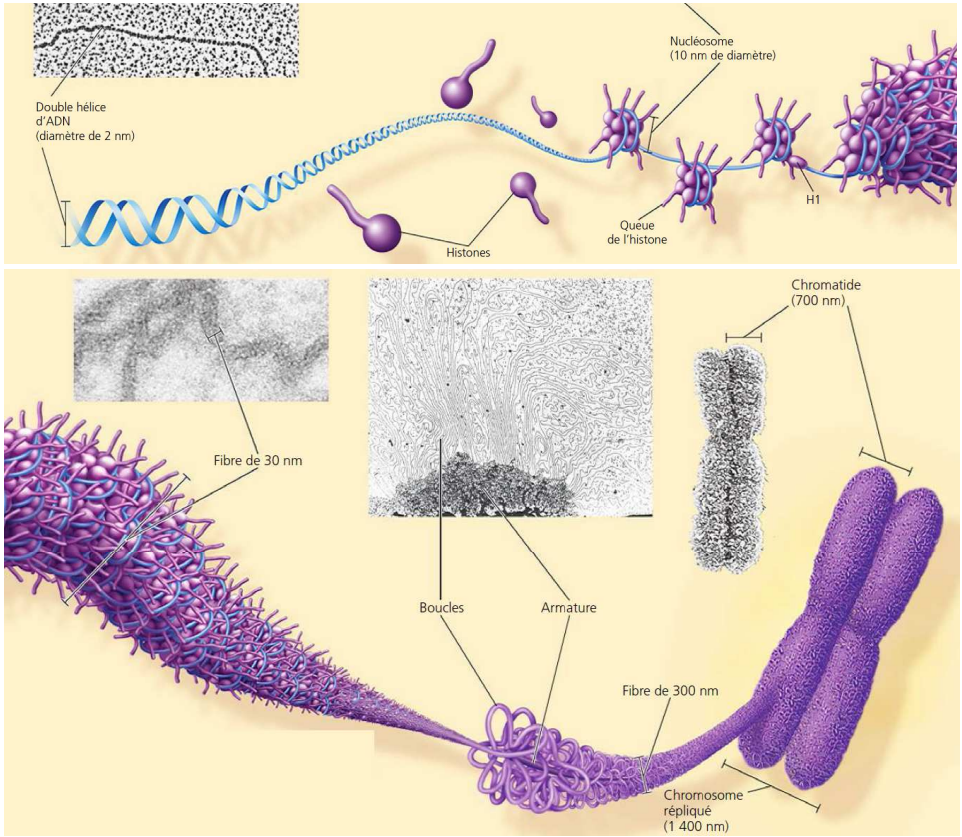


FIGURE 46. Niveaux de condensation de l'ADN chez les Eucaryotes.
D'après CAMPBELL *et al.* (2012).
*[Attention à **savoir reconnaître ces niveaux de compaction** sur les **électronographies** + maîtriser les **échelles** !]*

Niveaux de compaction (avec le facteur de compaction et qqs explications) :

-

-

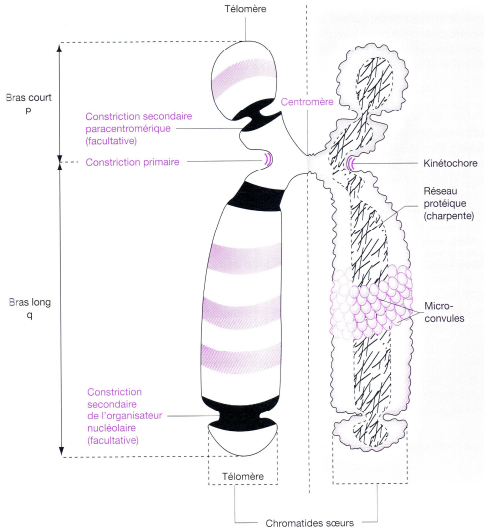
-

-

⮝ **FIGURE 47. Niveaux de condensation de l'ADN eucaryote (vision simple).**
D'après SEGARRA *et al.* (2014).

e. Le chromosome métaphasique

Centromère :
Kinétochore :
Télomère :



➢ **FIGURE 48. Le chromosome métaphasique.**
D'après BREUIL (2007).

Bilan (adapté du programme)	✓ Les **chromosomes nucléaires**, **linéaires**, sont une **association** entre **ADN** et **protéines** : la **chromatine**.

C. Des génomes organisés en unités fondamentales, les gènes

Voir Biotechnologies

1. Notions de gène, cistron, locus, allèle, hétérozygotie, homozygotie, dominance et récessivité [Rappels du secondaire]

Gène : *Par extension, certains auteurs emploient le mot **gène** pour **toute unité transcriptible** (parlant alors de « gène ribosomique » par exemple). Ce ne semble pas être l'esprit du programme.*
Cistron :
Locus :
Allèle :

Chez une espèce **diploïde** qui possède **deux fois le même gène** (un sur chaque chromosome homologue), on dit que l'individu est **homozygote** ***s'il possède deux fois le même allèle*** et **hétérozygote** ***s'il possède deux allèles différents***. Dans le cas d'un individu hétérozygote pour un gène donné, on appelle **allèle dominant** ***celui qui s'exprime*** et **allèle récessif** ***celui qui ne s'exprime pas***. Il arrive que les deux allèles soient **coexprimés**, on les dira alors **codominants**.

2. Des gènes morcelés (= gènes mosaïques) chez les Eucaryotes avec des régions non codantes (introns) séparant les portions codantes (exons)

a. Mise en évidence des introns par hybridation ARN-ADN monobrin (1977)

- Hybridation de l'**ADN** (monobrin) d'un gène et son **ARNm** :
  → **ADN génique** plus **long** que l'**ARNm**
  → pas d'équivalent des **extrémités du gène** dans l'**ARNm**
  → secteurs **appariés** (**exons**) + **boucles d'ADN sans équivalent** dans l'ARNm (**introns**)

Exon = ***portion d'un gène présente dans l'ARNm (rôle souvent codant – mais pas toujours* !)***
Intron = ***portion d'un gène absente de l'ARNm (non codante)***

* Voir chapitre 4 (**séquences UTR**)

b. Organisation des gènes eucaryotes

Gène monocistronique :
Transcription → produit un **ARNpm** (**prémessager**) → subit une **maturation** (**excision-épissage** = épissage au sens large)
Excision :
Épissage :

FIGURE 50. Une autre représentation des expériences d'hybridation ARN-ADN (a) et du morcellement des gènes (b). Les portions régulatrices ne sont pas représentées. D'après PEYCRU *et al.* (2013).

IMPORTANT. *Les **gènes eucaryotes** présentent également des **séquences régulatrices** en amont des portions codantes.*
*Remarque : **certains gènes eucaryotes peuvent coder plusieurs protéines** par le biais de l'**épissage alternatif** (encadré D dans le polycopié).*

D. La présence importante de séquences répétées et d'ADN non codant chez les Eucaryotes

Capacité exigible	✓ **Distinguer** les notions de séquences codantes et non codantes et **appréhender** leur importance relative.

1. Mise en évidence des séquences répétitives par les expériences de dénaturation-renaturation de l'ADN

- **Dénaturation** de l'ADN =
- **Renaturation** de l'ADN =

Résultats (figure 52) :

FIGURE 52. Résultats des expériences de dénaturation-renaturation de l'ADN de virus, d'*E. coli* et de l'Homme. D'après SEGARRA *et al.* (2014).

Interprétation :
- **renaturation sans palier** = chaque **brin** s'apparie avec son **brin d'origine**
  ⇒ **peu de séquences répétées**
  [Cas des **Bactéries** et des **virus**]
- **renaturation avec paliers** = les **portions** s'apparient à des **vitesses variables** ; celles-ci qui sont **hautement répétées** s'apparient **en premier** et les **séquences uniques en dernier**
  ⇒ présence plus ou moins forte de **séquences répétitives**
  [Cas des **Eucaryotes**]

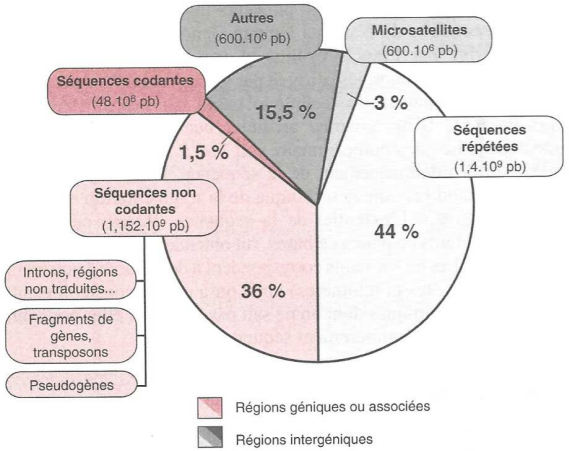
2. Nature des séquences répétitives des Eucaryotes

La **proportion de séquences répétitives varie** grandement d'un Eucaryote à un autre.

Exemple du génome humain

- **25 %** de séquences **hautement répétées**
- **30 %** de séquences **moyennement répétées**
- **45 %** de **séquences uniques**

***30 % du génome entier** comprendrait de l'**ADN génique** au sens le plus large (gènes protéiques, gènes d'ARN non messagers)*
*(!) Seul **1,5 % du génome entier** correspondrait toutefois aux **exons** codant effectivement la **séquence de protéines***



Différents types de séquences au sein du génome humain.

La majorité des séquences ne codent pas des protéines. Seules 1,5 % des séquences soit 48 mégabases sur 3 200 pour le génome complet, correspondent à des exons au sein de gènes codants.

FIGURE 53. Composition du génome humain : une vision possible.
D'après PETIT & JULIEN (2007).

E. Des génomes de taille variable et sans lien avec la position phylogénétique du taxon : le paradoxe de la valeur c

Valeur c :
Paradoxe de la valeur c :

Certains auteurs disent plutôt qu'il n'existe ***pas de lien entre la « complexité » des organismes et leur taille de génome*** mais **cette notion de « complexité » n'a jamais reçu de définition pertinente et unanime** (encadré E).

Bilan (adapté du programme)	✓ Le **génome des Eucaryotes** présente une **part variable** de **séquences non codantes** selon les espèces.

IV. Des cellules qui peuvent s'intégrer structuralement et fonctionnellement dans un organisme pluricellulaire

Attention, il existe de **très nombreux organismes eucaryotes unicellulaires** : l'état eucaryote ne suppose pas obligatoirement la **pluricellularité qui aurait été acquise jusqu'à 25 fois au sein des Eucaryotes** (revoir Encadré B) et **parfois secondairement perdue** (exemple : les « levures » au sein des Eumycètes).

A. Une intégration qui suppose la spécialisation structurale et fonctionnelle des cellules par différenciation

Capacités exigibles	✓ **Caractériser** une cellule différenciée, notamment par **comparaison** avec une cellule souche. ✓ **Associer** l'état pluricellulaire à la spécialisation cellulaire

Cellule spécialisée (= différenciée) :
Cellules souches :
Différenciation :

1. Deux exemples de cellules animales différenciées et leur intégration dans l'organisme

a. La CAP, cellule animale épithéliale cubique sécrétrice d'enzymes digestives

α. Le pancréas, organe amphicrine

Pancréas = glande **amphicrine** (= ***à activité endocrine et exocrine***).

Sécrétion endocrine =

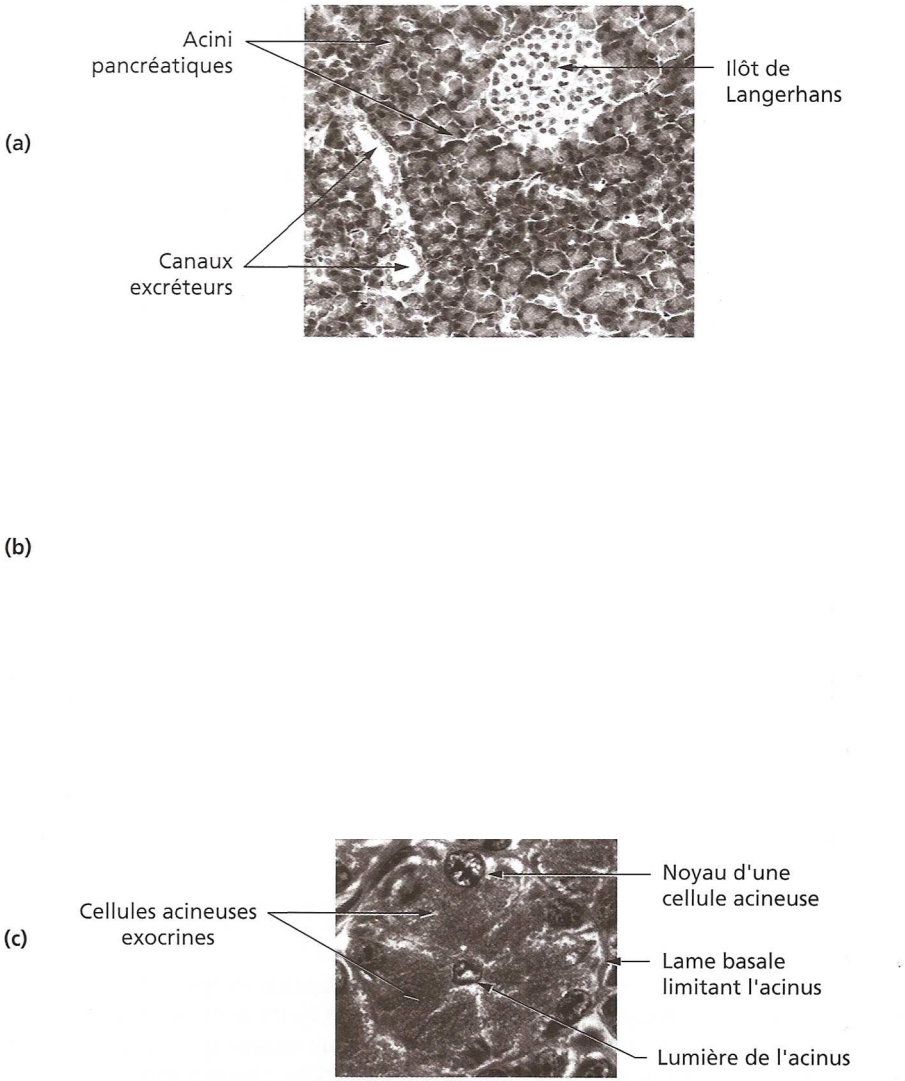
Sécrétion exocrine =

Histologie du pancréas

1 % des cellules pancréatiques **sécrétrices** = regroupées en amas nommés îlots de Langerhans → production d'**hormones pancréatiques** (surtout **insuline** et **glucagon**) [activité endocrine]

99 % restants = regroupées en **acini** → production de **suc pancréatique** [activité exocrine]

+ **Tissu conjonctif** (matrice extracellulaire + fibroblastes) + **Nerfs** + **Vaisseaux** + **Canaux collecteurs** (convergeant vers le tube digestif)



Coupe de pancréas observée au microscope optique selon deux grossissements et schéma interprétatif.

(a) vue générale au grossissement (x 600) ; **(b)** schéma de l'organisation en acini du pancréas exocrine ; **(c)** un acinus au grossissement (x 1 600).

FIGURE 54. Organisation tissulaire du pancréas. D'après PEYCRU *et al.* (2010a)

FIGURE 55. Situation anatomique du pancréas. D'après PEYCRU *et al.* (2010a)

β. La CAP, une cellule sécrétrice exocrine : éléments de rappels des relations structure-fonction (abordées plus haut)

Revoir les éléments vus en début de cours (I, II).

On peut rappeler les **caractéristiques suivantes** :

- Des **organites** dont le **nombre** et **l'organisation** est en lien avec la **fonction de sécrétion** :
  - **Noyau développé** en lien avec une **forte activité génétique**,
  - **Réseau endoplasmique REG-Golgi-vésicules d'exocytose développé** en lien avec une **forte activité sécrétoire**,
  - **Mitochondries nombreuses**, assurant la **fourniture en ATP** des cellules ;
- Une **polarité structurale et fonctionnelle** en lien avec des **flux polarisés** de **matière**, **d'énergie** et **d'information** (revoir I et II).
- L'**organisation en acinus** qui permet
  - Une **convergence des sécrétions** dans une même **lumière** ;
  - Une **coordination de l'activité des cellules en contact** grâce à des **jonctions *gap*** et une **sensibilité aux mêmes signaux**.

b. La cellule musculaire striée squelettique (CMSS), une cellule plurinucléée hautement différenciée au cytosquelette contractile

α. Le muscle, organe contractile à l'origine du mouvement

Muscle squelettique :

*Fonctions : **mouvement**, **maintien de la posture**, **ventilation**…*

i. Organisation fondamentale du muscle squelettique : du tissu musculaire et du tissu conjonctif

Schéma	Description	Conjonctif
Muscle (organe)	Un muscle est constitué de centaines ou de milliers de cellules musculaires ainsi que de gaines de tissu conjonctif, de vaisseaux sanguins et de neurofibres.	Recouvert par l'épimysium
Faisceau de fibres (partie du muscle)	Un faisceau de fibres est un assemblage de cellules musculaires, séparées du reste du muscle par une gaine de tissu conjonctif.	Recouvert par le périmysium
Fibre (cellule) musculaire	Une fibre musculaire est une cellule multinucléée allongée; son apparence est striée.	Recouverte par l'endomysium

FIGURE 56. Le muscle, un ensemble de fibres musculaires.
D'après MARIEB & HOEHN (2015). *Schémas à refaire !*

ii. Les muscles, des organes ancrés aux os par des structures conjonctives résistantes nommées tendons

Articulation :
Tendon :

- Attachements conjonctifs des os : **ligaments**
- Fluide visqueux lubrifiant entre les os : **synovie**

iii. Les muscles, des organes dont la contraction assure un déplacement rectiligne d'une partie du corps par rapport à une autre (mouvement)

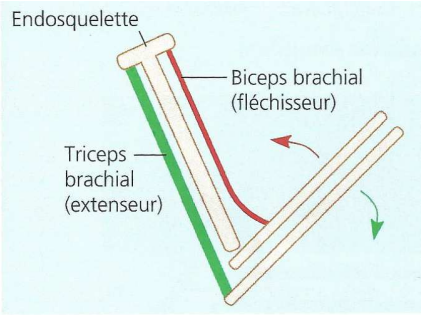


FIGURE 59. Les mouvements assurés par deux muscles antagonistes : le fléchisseur du bras et son extenseur. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

Mouvement :

- Un **mouvement assuré** par un **muscle squelettique** est **rectiligne** (= une direction)
- Le **muscle** exécutant le **mouvement opposé** est dit **antagoniste**

β. La cellule musculaire striée squelettique : relations structure-fonction

Le **contrôle de la contraction** est en partie abordé dans le **chapitre 2 (Membranes)** lorsqu'il est question du **fonctionnement synaptique**. Le **fonctionnement énergétique de la CMSS** sera abordé dans le **chapitre 5 (Métabolisme)**.
Voir aussi le **TP 1.1.** (étude microscopique de la cellule musculaire)

i. Des fibres musculaires dont les myofibrilles peuvent se raccourcir

- **Rectilignes**, très **longues** (jusqu'à 40 cm pour certaines, dans certains muscules) / **diamètre 20-100 µm**
- **Nombreux noyaux** : **syncitium** (= ***cellule multinucléée issue de la fusion de nombreuses cellules préexistantes***)
- **Cytosol** = **sarcoplasme** ; comprenant notamment des **myofibrilles***
  + richesse en **glycogène** (réserve), **enzymes glycolytiques** (production d'ATP) et **myoglobine** (captation d'O2)
- Présence de **réticulum sarcoplasmique (RS)** autour des **myofibrilles** : réservoir de **calcium** (rôle de **calciosome**)
- **Membrane plasmique** = **sarcolemme** ; présence de **tubules T** (transverses) proches du RS → apport du **potentiel d'action musculaire** ⇒ **libération de calcium** par le **RS** ⇒ **contraction**
- Abondantes **mitochondries** (respiration cellulaire : production d'ATP)

Myofibrille :

ii. Des myofibrilles dont les unités de raccourcissement sont des sarcomères

Sarcomère :

>> **Myofilaments épais** de **myosine** + **myofilaments fins** d'**actine** <<

Stries Z → protéines **CapZ** (*stabilisation, ancrage des filaments fins*)
Titine = **connectine** (*liaison myosine / CapZ*)
Tropomoduline (*stabilisation des filaments d'actine*)

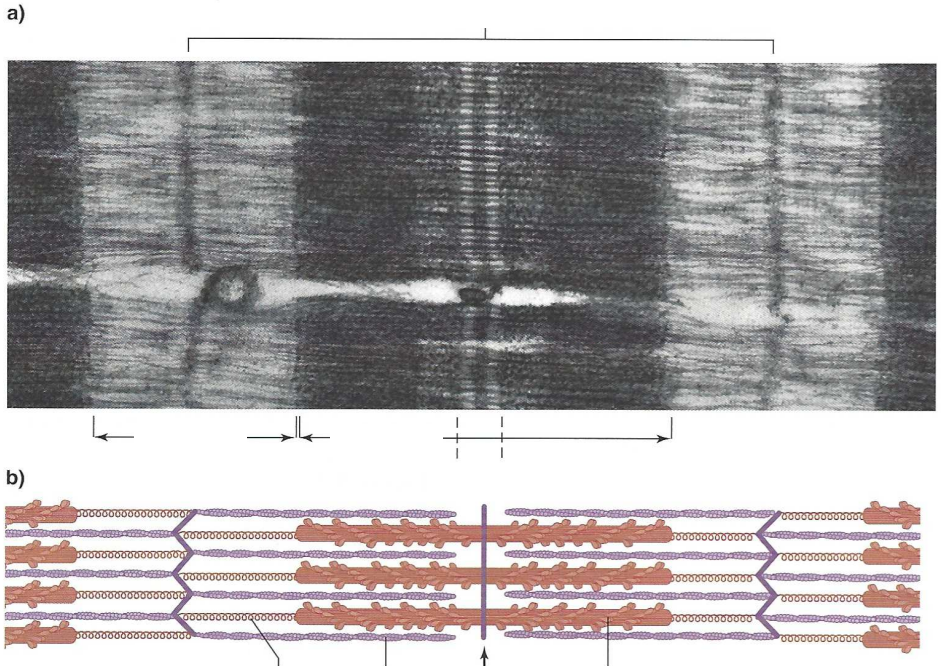


FIGURE 61. Allure d'un sarcomère en coupe longitudinale. *À compléter.*
a) Électronographie (MET). b) Interprétation. D'après VANDER *et al.* (2013).

En **microscopie électronique** (figure 61) :
- **ligne Z** (de l'allemand *zwischen*, signifiant « **entre** ») = ligne foncée (limite de sarcomère).
- **bande I** (pour **isotrope**)
- **bande A** (pour **anisotrope**)
  >> **partie plus pâle** dans cette région : **zone H** (de l'allemand *heller*, **plus pâle**).
  >> incluse dans cette zone H : **ligne M** (de l'allemand *mittel*, **centre**)

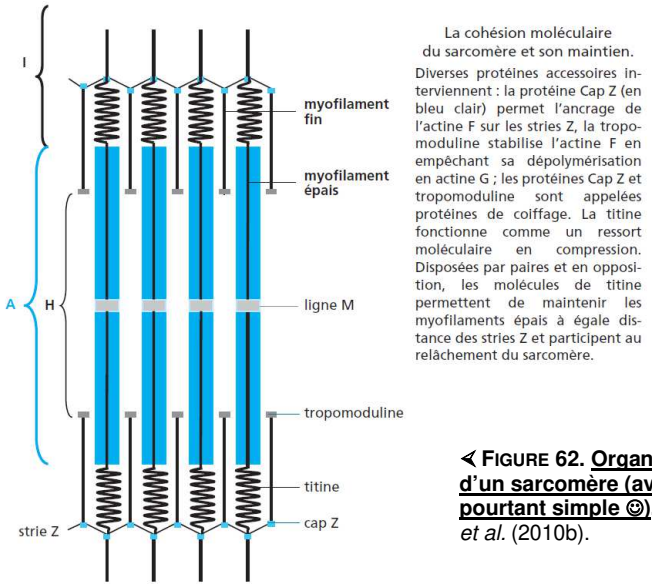


FIGURE 62. Organisation complète d'un sarcomère (avec un schéma pourtant simple ☺). D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

FIGURE 63. Figure de synthèse sur l'organisation de la CMSS et des sarcomères.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b). *À refaire par les étudiants.*

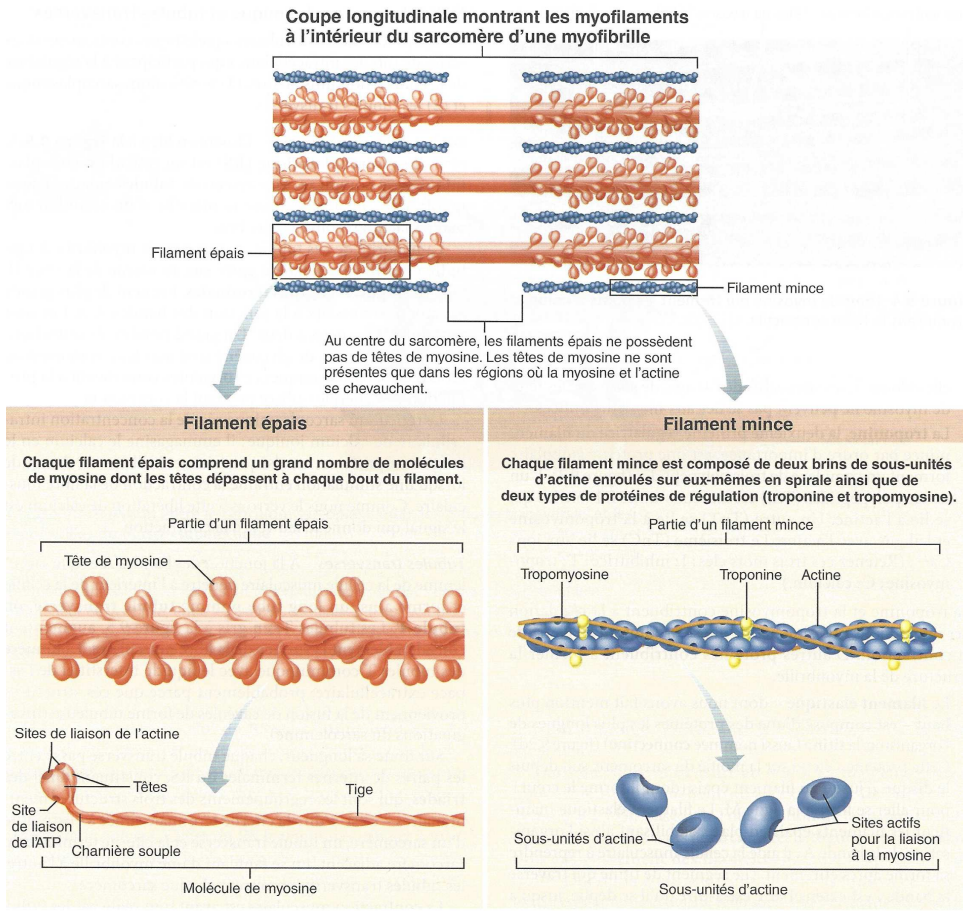


FIGURE a. Organisation des protéines cytosquelettiques et annexes impliquées dans la contraction des sarcomères. D'après MARIEB & HOEHN (2015).

γ. Un raccourcissement global de l'organe permis par le glissement des myofilaments de myosine sur les myofilaments d'actine au sein des sarcomères : la contraction

i. Une différence observable en microscopie électronique entre l'état contracté et l'état relâché des sarcomères

- **Raccourcissement** des **sarcomères**
  ⇒ raccourcissement global du **muscle**
- Dans le détail :

  >

  >

  >

→ **Glissement** des **filaments myosine/actine**

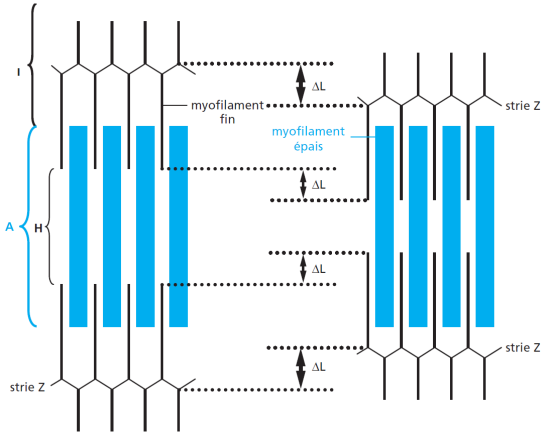


FIGURE 65. Raccourcissement des sarcomères lors de la contraction.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

ii. Un glissement des filaments fins d'actine sur les filaments épais de myosine : la « contraction cytosquelettique »

« Contraction cytosquelettique » :

iii. Un processus séquentiel dépendant d'ions calcium et d'ATP

➢ ***Le calcium, ion se liant à la troponine et déclenchant la mise à nu par la tropomyosine des sites de fixation actine-myosine***

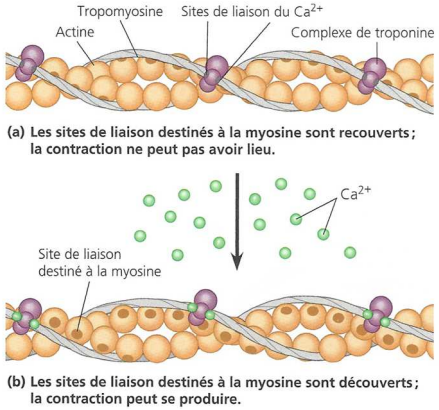


FIGURE 67. Contrôle calcique de la contraction musculaire : mécanisme moléculaire.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

➢ ***L'ATP, molécule centrale du cycle d'interaction actine-myosine (couplage chimio-mécanique)***

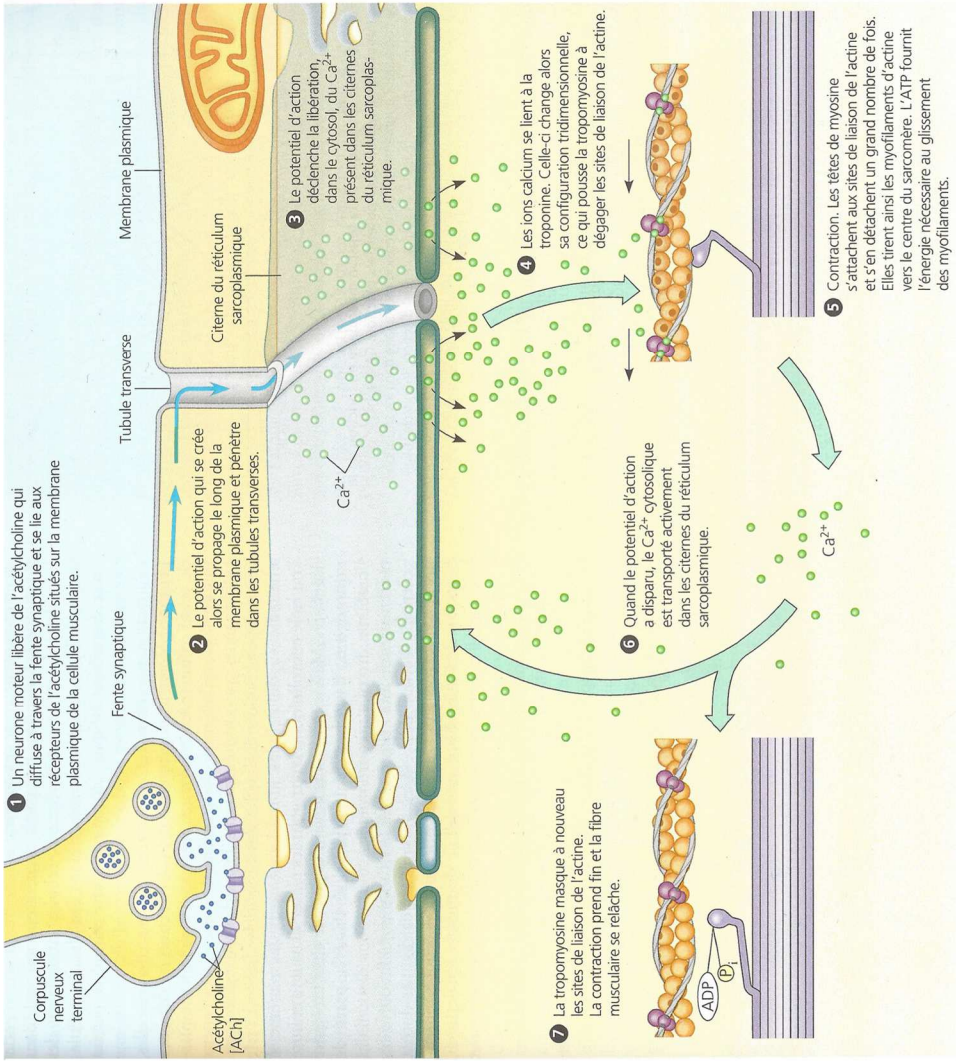
Cycle d'interaction actine-myosine :

⮝ **FIGURE 68. <u>Cycle d'interaction actine-myosine au niveau d'une tête de myosine</u>.**
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

δ. Une contraction des fibres musculaires qui répond à un message nerveux : le couplage excitation-contraction

Encadré I Le couplage excitation-contraction : une vision simplifiée

Pour information – hors programme



ε. Une production d'ATP selon des voies variées

- Le **métabolisme énergétique de la CMSS** sera traité en 2e année (chapitre 5 sur le métabolisme).

2. Deux exemples de cellules végétales différenciées et leur intégration dans l'organisme

a. La CPP, cellule parenchymateuse chlorophyllienne de la feuille à fonction photosynthétique

Organe-source

Feuille :

Autotrophie :
- au carbone : *- à l'azote :*
Hétérotrophie :

Voir chapitre 5 sur le **métabolisme**

b. Le vaisseau de xylème, cellule morte à paroi lignifiée assurant la circulation de la sève brute

Voir chapitre 11 abordant la **circulation végétale** + complément 4 sur **l'histologie végétale**

FIGURE 69. Situation anatomique du parenchyme foliaire palissadique au travers de coupes transversales de feuilles : deux schématisations. D'après PEYCRU *et al.* (2010a) et BREUIL (2007).
Refaire le schéma du bas (en 2D).
*On peut **ajouter la fonction de chaque tissu** → **relations structure-fonction**.*

On peut distinguer chez les 'plantes' terrestres :
- Les **organes sources** : ce sont les ***organes qui réalisent la photosynthèse et assurent l'autotrophie de la plante***. Il s'agit de l'appareil végétatif aérien, surtout les **feuilles**.
- Les **organes puits** : ce sont les ***parties hétérotrophes de la plante qui bénéficient de matière organique produite par d'autres organes***.

Voir chapitre 5 sur le **métabolisme** + chapitre 11 abordant la **circulation végétale**

FIGURE 70. Un élément de vaisseau (paroi très différenciée). D'après SEGARRA *et al.* (2014).
*On notera que les **cellules** sont **mortes** et ne comprennent **plus d'organites** ; elles servent juste de **support rigide** à la **circulation** de la **sève brute**.*

Sève brute :
Vaisseaux = éléments de vaisseaux :

Relation structure-fonction
Ces **cellules** présentent des **épaississements lignifiés** qui assurent leur **résistance** à la **pression** générée par la **pression racinaire** ou à la **tension** générée par **l'aspiration foliaire**.

3. Quelques éléments sur les cellules indifférenciées ou cellules-souches

a. Discussion de la notion de cellule-souche

Cellule-souche :
- totipotente :
- pluripotence :

b. Caractéristiques des cellules souches animales

Voir chapitre 17 sur le **développement animal**

Caractères fréquents :
-
-
-
-
-

→ Les **fibroblastes** sont des **cellules adultes peu différenciées** qui peuvent **rappeler les cellules-souches**.

c. Caractéristiques d'une cellule méristématique (cellule-souche végétale)

Voir chapitre 18 sur le **développement végétal**

Caractères des **cellules méristématiques primaires** :
-
-
-
-
-
-
-
-

L'ensemble des vacuoles d'une même cellule s'appelle le **vacuome**.

- **Méristème** : ***tissu végétal constitué de cellules indifférenciées et qui subissent la mérèse***.
- **Mérèse** : ***processus de multiplication des cellules végétales par mitoses***.

FIGURE 71. Une cellule méristématique. D'après ROBERT & ROLAND (1998a).

4. Bilan : quelques modifications structurales impliquées lors de la différenciation

a. Chez les cellules animales et végétales

-

-

-

-

-

-

b. Chez les cellules animales

-

-

-

c. Chez les cellules végétales

-

-

-

-

-

- parfois :

- parfois :

Bilan (adapté du programme)	✓ La **présence**, l'**importance quantitative** et la **répartition** de certains **compartiments** sont à l'origine de la **spécialisation fonctionnelle** des **cellules eucaryotes**. ✓ Cette **spécialisation** est issue d'un processus de **différenciation**.

B. Des cellules associées à une matrice extracellulaire et associées entre elles, formant des tissus cohérents

Capacités exigibles	✓ **Montrer** l'universalité de la présence de matrice extracellulaire. ✓ **Associer** l'état pluricellulaire à la présence de dispositifs d'adhérence.

1. La quasi-universalité de la présence de matrice extracellulaire

Les matrices extracellulaires seront abordées précisément dans le chapitre 2 (Membranes).
Leurs **fonctions** seront **précisées** tout au long des deux années.

On notera aussi **l'importance des matrices** pour réaliser une **typologie des tissus** : voir les compléments d'histologie (complément 3 et complément 4).

a. Des gels hydratés glucidiques et protéiques qui associent les cellules dans les tissus

Matrice extracellulaire (MEC) :

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

a) Matrices extracellulaire animales

Nature biochimique des composants	Molécules (*fonction*)

b) Matrices extracellulaire végétales = parois végétales

Classe moléculaire	Type de molécule	Caractères

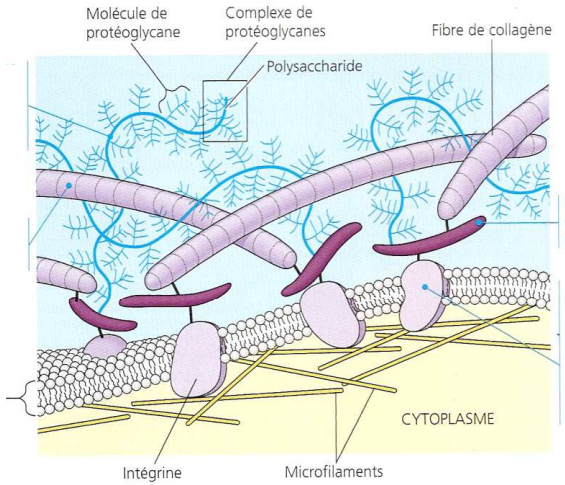
Très important : revoir le **Complément 2** (Composition chimique des êtres vivants) : vous devez pouvoir présenter **les composés constituant les matrices extracellulaires** et faire la **relation entre leur structure et leur fonction.**

b. La lame basale, une matrice extracellulaire animale (MECA)

Lame basale :

C'est un exemple de MEC animale.

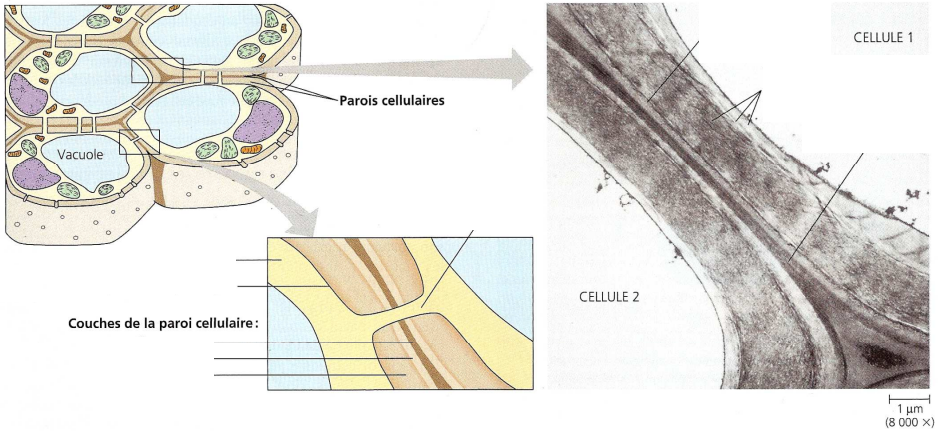
La **lame basale** s'inscrit dans un tissu conjonctif
→ sécrétion par des **fibroblastes = fibrocytes**



Matrice extracellulaire d'une cellule animale. La structure et la composition de la matrice varient selon le type de cellule. Dans cet exemple, trois sortes de glycoprotéines sont illustrées : les protéoglycanes, les fibres de collagène et les fibronectines. Les fibres de collagène traversent un réseau de protéoglycanes fixés à de longs polysaccharides. Les molécules de fibronectine ancrent la matrice extracellulaire à la membrane plasmique au moyen d'intégrines, des protéines transmembranaires.

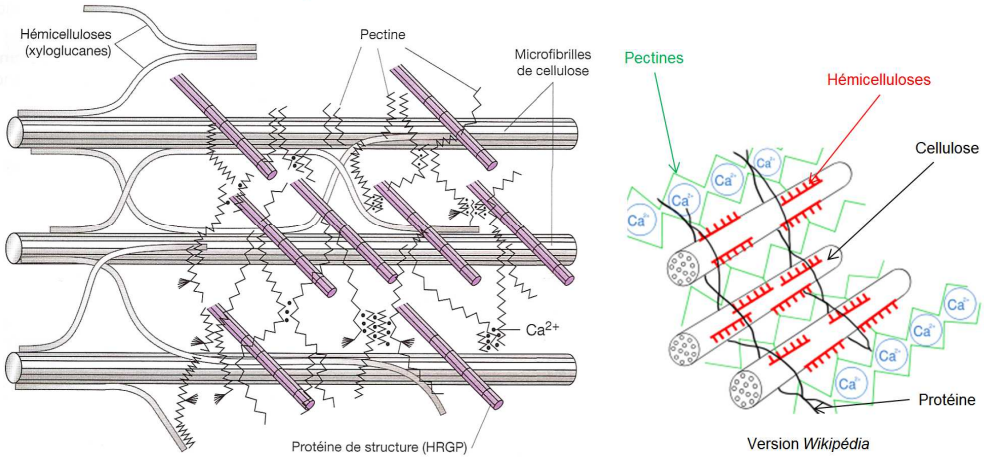
FIGURE 72. Matrice extracellulaire animale. D'après CAMPBELL & REECE (2004).
À compléter par l'étudiant.

c. La paroi, matrice extracellulaire végétale



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 73. Organisation de la paroi. D'après CAMPBELL & REECE (2004).
À compléter par l'étudiant.



⮝ **FIGURE 74. Deux visions de l'organisation des constituants pariétaux.**
D'après BREUIL (2007) et *Wikipédia*.

2. Une cohésion des tissus assurée par des jonctions et/ou la matrice

a. Dans les cellules animales : des jonctions cellule-cellule et cellule-matrice en lien étroit avec le cytosquelette

Jonction intercellulaire :

3. Dans les cellules végétales : pas de jonctions sauf les plasmodesmes et une cohésion assurée par le duo turgescence vacuolaire-paroi

Apoplasme :
Symplasme :
Plasmodesmes :
*Passage de **petites molécules** (diamètre : 70- 80 nm)* *Présence d'un **desmotubule** (**fin conduit de REG**)*

En dehors des plasmodesmes, on ne connaît **pas de jonctions intercellulaires végétales** ; d'ailleurs, la cellule végétale peut **se détacher de la paroi** lorsqu'elle est **plasmolysée**.

Bilan (adapté du programme)	✓ Dans un **organisme pluricellulaire**, un **grand nombre de cellules** sont **associées entre elles** et **reliées** à des **matrices extracellulaires**. ✓ Ces **liaisons** assurent la **cohérence** de la plupart des **tissus**.

C. Des cellules au fonctionnement intégré dans celui de l'organisme, sous le contrôle de communications intercellulaires

Appartenance à un **organisme pluricellulaire** : suppose **contrôle** et **coordination** du fonctionnement des **cellules** → **communication** entre cellules.

1. Des cellules réalisant des échanges avec l'organismes

- Revoir la partie II sur les **flux** et noter les **échanges** :
  - De **matière**,
  - D'**énergie**,
  - D'**information**

  entre la **cellule** et le **milieu extracellulaire** et donc **l'organisme**.

*Une **vision d'ensemble** de ces échanges, avec notamment le **rôle central des liquides circulants**, sera donnée lors des chapitres consacrés à **l'organisme animal** (chapitre 7 sur la Vache) et à **l'organisme végétal** (chapitre 11 sur la plante).*

2. Des cellules dont l'activité est contrôlée et coordonnée par des communications intercellulaires

Nous avons vu un exemple intéressant avec le **contrôle de l'activité sécrétrice de la CAP** qui peut être judicieusement exploité dans cette partie.

Communication intercellulaire :

a. Les types de communications intercellulaires animales

α. La juxtacrinie, communication entre cellules adjacentes

Juxtacrinie :

β. La paracrinie, communication à courte distance par un facteur diffusif

Paracrinie :

Certains auteurs considèrent que la **neurotransmission** est une **forme de paracrinie**.

γ. L'endocrinie (communication hormonale), communication par une hormone transportée par le sang

Hormone :

δ. La communication nerveuse

= ***communication qui utilise comme support les neurones***.

- **Message nerveux** → ***dépolarisation transitoire de la membrane*** ; se déplace **le long de la membrane plasmique** du neurone sur des distances plus ou moins importantes, parfois très longues.
- **Neurotransmission** : ***le neurone libère un neurotransmetteur qui déclenche une réponse de la part de la cellule dite postsynaptique***.

FIGURE 78. Communications intercellulaires animales.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).

b. Les hormones végétales, agents de communication chez les Embryophytes

Hormone végétale (phytohormone) = Facteur de croissance :

→ *Transport par **voie symplasmique**, voie **apoplasmique** ou les **sèves***

TABLEAU VII. Principales hormones végétales. D'après MEYER *et al.* (2008).
Pas à connaître en début de TB.

Phytohormones	Biosynthèse et transport	Effets biologiques
Auxine (AIA : acide indolacétique)	• Synthèse connue à partir du tryptophane, dans les feuilles jeunes, les primordiums et les graines en développement, mais d'autres voies de synthèse existent. • Transport polarisé de cellule à cellule et transport à longue distance par le phloème.	+ Élongation cellulaire caulinaire Activité cambiale Croissance des fleurs et des fruits Rhizogenèse (racines adventives) Dominance apicale − Élongation cellulaire racinaire Abscission Floraison de certaines espèces
Cytokinines (CK) Zéatine :	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C5. • Les cytokinines sont des dérivés de l'adénine (ATP) avec un groupement isoprène en position N⁶. • Synthèse dans les tissus jeunes ou méristématiques (apex racinaires, bourgeons, cambium, graines en développement). • Transport par le xylème.	+ Croissance cellulaire des feuilles, des fruits, des bourgeons axillaires Division cellulaire, organogenèse Ouverture des stomates Floraison de certaines espèces − Sénescence foliaire Dominance apicale
Éthylène Gaz C_2H_4 $H_2C = CH_2$	• Synthétisé à partir de la méthionine dans les tissus sénescents ou soumis à un stress. • Transport par diffusion.	+ Maturation des fruits Abscission (feuille, fruit) Sénescence (feuille, fleur) Ouverture des fleurs − Élongation cellulaire caulinaire et racinaire
Acide abscissique (ABA)	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C40. • L'ABA est un sesquiterpène synthétisé à partir des caroténoïdes du plaste (voie non mévalonique) dans les feuilles matures en réponse à des stress abiotiques, les tiges, les racines, les graines et fruits en développement). • Transport par le phloème et le xylème.	+ Induction et maintien de la dormance Fermeture des stomates Allocation des assimilats des feuilles aux graines en formation Synthèse de protéines de réserves dans les graines − Élongation cellulaire ; action antagoniste des gibbérellines
Gibbérellines Acide gibbérellique GA_1	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C20. • Les GA sont des diterpènes cycliques • Synthèse dans la tige feuillée, les jeunes feuilles des bourgeons apicaux, les graines et les fruits en développement, les apex racinaires. • Transport par le xylème et le phloème.	+ Croissance et élongation cellulaire de la tige feuillée (montaison) Croissance des mutants nains Induction de la germination de graines Régulation de la consommation des réserves des graines de céréales Floraison de plantes de jours longs
Jasmonate	• Dérivé volatile d'acides gras insaturés (acide linolénique). • Synthèse dans toutes les parties de la plante.	+ Synthèse de protéines de défenses Accumulation de protéines de réserves − Croissance des tiges, des racines, Germination des graines
Systémine Petit peptide (18 AA)	• Petit peptide produit dans les tissus blessés.	+ Défense systémique
Acide salicylique	• Synthèse par la voie de l'acide shikimique. • L'acide salicylique est un composé phénolique.	+ Activation des gènes de défense contre les agents pathogènes Défense systémique Croissance racinaire
Brassinostéroïdes Brassinolides	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C30. • Les Brassinostéroïdes sont des hormones stéroïdes. • Présent dans le pollen, les graines immatures, les feuilles, les tiges, les racines et les fleurs.	+ Division et élongation cellulaires Élongation du tube pollinique Élongation de la tige feuillée Morphogenèse foliaire Production d'éthylène − Croissance et développement des racines Différenciation vasculaire
Polyamines Spermine $H_2N(CH_2)_3NH(CH_2)_4NH(CH_2)_3NH_2$ et putrescine $H_2N(CH_2)_4NH_2$	• La spermine est formée par la voie de synthèse de l'éthylène. • La putrescine est formée par décarboxylation de l'arginine et de l'ornithine. • Présentes dans toutes les cellules. Souvent conjuguées aux acides phénoliques.	+ Division cellulaire Tubérisation Initiation de racines et tiges adventives Embryogenèse Réaction d'hypersensibilité Floraison de certaines espèces − Sénescence des tissus

Bilan (adapté du programme)	✓ L'**activité** de la **cellule** est **intégrée** dans le **fonctionnement global** de **l'organisme** à travers les **échanges spécialisés ou non** qu'elle réalise et le **contrôle** exercé sur ses activités.

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.

- *Organisation des cellules, flux*

° **Cellule acineuse du pancréas exocrine**
° **Cellule du parenchyme palissadique**
° **Chacun des organites** présentés avec leur **organisation** **précise**
>> faire un **tableau de synthèse** !
° L'**endosymbiose** à l'origine des **organites semi-autonomes**
° Les **constituants du cytosquelette** (notamment **microtubules**, **centrioles**, **axonème**… **actine**…)
° Le **fonctionnement du réseau endomembranaire** de la cellule (**production et export de protéines**)
° Le **contrôle de l'activité** de la **CAP**
° Le principe de **l'expression de l'information génétique**
° Les **flux de matière** / **énergie** / **information** dans les cellules
° Le **modèle de la membrane plasmique**

- *Information génétique*

° **Nucléotide** et son organisation
° **Fonctions des nucléotides**
° **ADN** : hélice + composition (penser à l'orientation !)
° **Tableau comparant les génomes eucaryotes et eubactériens** (avec les chiffres) = majeur !
° **Niveaux de condensation de l'ADN** chez les Eucaryotes
° Organisation d'un **chromosome métaphasique**
° Organisation d'un **gène eucaryote** [précisé plus tard dans l'année]
° Organisation d'un **gène eubactérien** [précisé plus tard dans l'année]
° Expériences de **dénaturation/renaturation de l'ADN** et mise en évidence de **séquences répétitives**
[° Statistiques du **génome humain** ?]

- *Intégration dans l'organisme*

° La **localisation du pancréas** et l'organisation du **tissu pancréatique**
° L'organisation du muscle à toutes les échelles
° Schéma d'un **sarcomère** ; savoir schématiser le **raccourcissement**
° Schéma du **cycle contractile**
° L'organisation du **tissu foliaire**
° L'organisation d'une **cellule méristématique**
° L'organisation d'une **MECA typique** [revu et précisé bientôt]
° L'organisation de la **paroi végétale** [revu et précisé bientôt]
° Les **principaux types de jonctions intercellulaires** [revu et précisé bientôt]
° Les différents types de **communications intercellulaires animales**

→ Vous devez en outre **savoir** / **pouvoir** [faire le lien avec le TP 1.1] :
° Exploiter des **électronographies** des **types cellulaires** traités
° Exploiter des **électronographies d'organites**
° Exploiter des **électronographies de cytosquelette** (savoir reconnaître/diagnoser un centriole, un axonème…)
° Exploiter des **résultats** issus d'expériences de **marquage radioactif** de type ***pulse-chase***
° Connaître les **techniques d'étude des cellules** présentées dans ce chapitre et dans le TP 1.1 : microscopie, ultracentrifugation, immunocytochimie… (cf. fiche technique)
° **Reconnaître** des **électronographies d'ADN**, y compris reconnaître les **états de condensation** chez les Eucaryotes.
° **Exploiter** des **caryotypes**

Plan

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Les cellules eucaryotes, des cellules hautement compartimentées et soutenues par un cytosquelette 2
A. La compartimentation, une division du volume cellulaire à l'origine d'une spécialisation fonctionnelle des zones cellulaires 2
1. Mise en évidence par des études microscopiques (surtout ultrastructurales) 2
2. Des cellules comprenant typiquement trois zones : noyau, cytoplasme, membrane plasmique 2
3. Vue d'ensemble d'une cellule animale : cas général et exemple de la cellule acineuse pancréatique (CAP) de Mammifères 2
4. Vue d'ensemble d'une cellule végétale chlorophyllienne : cas général et exemple de la cellule du parenchyme palissadique (CPP) d'Angiospermes 5
5. Des compartiments globalement regroupés en organites : les principaux organites d'une cellule eucaryote 7
a. Un compartiment dominant qui n'est pas un organite : le cytosol ou hyaloplasme, liquide fondamental de la cellule contenant des ribosomes 7
b. Les organites communs aux cellules animales et végétales 7
α. Le noyau, lieu de stockage de l'information génétique (IG) 7
β. Les mitochondries, organites semi-autonomes assurant la respiration cellulaire 8
i. Des organites responsables de la respiration cellulaire 8
ii. Des organites semi-autonomes 8
iii. Origine endosymbiotique des mitochondries 8
iv. Proposition d'un scénario 9
γ. Le réticulum endoplasmique rugueux (RER) = réticulum endoplasmique granuleux (REG), lieu de repliement des protéines sécrétées ou membranaires 9
δ. Le réticulum endoplasmique lisse (REL), lieu de synthèse de lipides 10
ε. Les dictyosomes ou appareil de GOLGI, lieu de modifications et de tri protéiques 10
ζ. Les péroxysomes 11
c. Les lysosomes, compartiments propres à la cellule animale dégradant des molécules d'origine extracellulaire ou des constituants intracellulaires 12
d. Des compartiments propres à la cellule végétale 12
α. Les chloroplastes, organites semi-autonomes réalisant notamment la photosynthèse 12
i. Structure et fonction 12
ii. Origine endosymbiotique 12
β. L'existence d'autres types fonctionnels de plastes dans des cellules autres que la CPP 15
γ. La vacuole, compartiment aux multiples fonctions 15
B. Le cytosquelette, une armature protéique qui structure la cellule et participe à son dynamisme 16
1. Des constituants variés : microtubules, filaments intermédiaires, microfilaments 16
2. Le cytosquelette, acteur du dynamisme cellulaire : principales fonctions du cytosquelette 17

II. Une compartimentation dynamique qui autorise les échanges : des cellules traversées par des flux 20
A. Des flux de matière 20
1. Mise en évidence du flux sécrétoire dans la cellule acineuse pancréatique : les expériences de PALADE (1960) 20
2. Importance de la polarité cellulaire dans le flux sécrétoire 21
3. Un contrôle des flux de matière : le contrôle de l'activité sécrétoire dans la cellule acineuse pancréatique [flux d'information !] 22
4. Généralisation : les flux de matière dans les cellules 22
B. Des flux d'énergie 23
1. Une production catabolique d'ATP dans les deux types de cellules 23
2. Une production photosynthétique de métabolites dans la CPP 23
C. Des flux d'information 23
1. Un flux génétique 23
2. Un flux d'informations issues de stimuli extérieurs à la cellule 23
D. Bilan : les principaux flux dans une cellule eucaryote 24
E. Des flux impliquant la membrane cellulaire et les endomembranes 25

III. Une information génétique essentiellement nucléaire et portée par des chromosomes linéaires 26
A. L'ADN, support universel de l'information génétique chez les êtres vivants 26
1. La notion d'acide nucléique (rappels) 26
2. Les nucléotides, monomères de l'ADN (et des ARN) (rappels) 26
a. Rappels : nature et constitution des nucléosides et nucléotides 26
b. Variété des rôles des nucléotides et dérivés nucléotidiques 27
c. Des composés polymérisables 28
3. L'ADN, hétéropolymère de nucléotides 28
a. Une molécule bicaténaire 28
b. Des brins orientables : extrémités 5' et 3' 28
c. Structure secondaire : deux brins antiparallèles organisés en double hélice 28
d. Une molécule qui respecte les règles de CHARGAFF 30
4. L'ADN, une molécule séquencée capable de porter une information 30
a. La capacité de porter une information : approche intuitive 30
b. Le caractère universel du codage de l'information génétique : mise en évidence par la transgénèse 30
c. Un codage par triplets de nucléotides de l'ADN (= codons dans l'ARNm) : le code génétique 31
α. Un système de correspondance (quasi-) universel entre séquence nucléotidique et séquence peptidique 31
β. Des codons initiateurs ou terminateurs de la traduction 31
γ. Un code caractérisé par sa redondance (ou dégénérescence) 31
d. La notion d'ORF, cadre ouvert de lecture 31
5. L'ADN, une molécule en interaction avec des protéines qui s'exprime, se conserve, se transmet et peut varier 32
B. Localisation, organisation et structuration des génomes eucaryotes 32
1. Un génome comprenant une composante principale nucléaire et une composante mineure cytoplasmique 32
2. Le génome nucléaire, une entité composée de chromosomes linéaires pouvant présenter des niveaux variables de condensation 33
a. Organisation fondamentale : des chromosomes comportant une ou deux chromatide(s) impliquant des protéines associées à l'ADN (dont les histones) 33
b. L'ADN en interphase : notions d'euchromatine et hétérochromatine 34
c. Histones et nucléosomes 34
d. Degrés de condensation de l'ADN 34
e. Le chromosome métaphasique 35
C. Des génomes organisés en unités fondamentales, les gènes 36
1. Notions de gène, cistron, locus, allèle, hétérozygotie, homozygotie, dominance et récessivité [Rappels du secondaire] 36
2. Des gènes morcelés (= gènes mosaïques) chez les Eucaryotes avec des régions non codantes (introns) séparant les portions codantes (exons) 36
a. Mise en évidence des introns par hybridation ARN-ADN monobrin (1977) 36
b. Organisation des gènes eucaryotes 37

D. La présence importante de séquences répétées et d'ADN non codant chez les Eucaryotes 38
1. Mise en évidence des séquences répétitives par les expériences de dénaturation-renaturation de l'ADN 38
2. Nature des séquences répétitives des Eucaryotes 39
E. Des génomes de taille variable et sans lien avec la position phylogénétique du taxon : le paradoxe de la valeur c 39

IV. Des cellules qui peuvent s'intégrer structuralement et fonctionnellement dans un organisme pluricellulaire 41
A. Une intégration qui suppose la spécialisation structurale et fonctionnelle des cellules par différenciation 41
1. Deux exemples de cellules animales différenciées et leur intégration dans l'organisme 41
a. La CAP, cellule animale épithéliale cubique sécrétrice d'enzymes digestives 41
α. Le pancréas, organe amphicrine 41
β. La CAP, une cellule sécrétrice exocrine : éléments de rappels des relations structure-fonction (abordées plus haut) 43
b. La cellule musculaire striée squelettique (CMSS), une cellule plurinucléée hautement différenciée au cytosquelette contractile 43
α. Le muscle, organe contractile à l'origine du mouvement 43
i. Organisation fondamentale du muscle squelettique : du tissu musculaire et du tissu conjonctif 43
ii. Les muscles, des organes ancrés aux os par des structures conjonctives résistantes nommées tendons 44
iii. Les muscles, des organes dont la contraction assure un déplacement rectiligne d'une partie du corps par rapport à une autre (mouvement) 44
β. La cellule musculaire striée squelettique : relations structure-fonction 45
i. Des fibres musculaires dont les myofibrilles peuvent se raccourcir 45
ii. Des myofibrilles dont les unités de raccourcissement sont des sarcomères 46
γ. Un raccourcissement global de l'organe permis par le glissement des myofilaments de myosine sur les myofilaments d'actine au sein des sarcomères : la contraction 48
i. Une différence observable en microscopie électronique entre l'état contracté et l'état relâché des sarcomères 48
ii. Un glissement des filaments fins d'actine sur les filaments épais de myosine : la « contraction cytosquelettique » 49
iii. Un processus séquentiel dépendant d'ions calcium et d'ATP 50
➢ *Le calcium, ion se liant à la troponine et déclenchant la mise à nu par la tropomyosine des sites de fixation actine-myosine 50*
➢ *L'ATP, molécule centrale du cycle d'interaction actine-myosine (couplage chimio-mécanique) 50*
δ. Une contraction des fibres musculaires qui répond à un message nerveux : le couplage excitation-contraction 51
ε. Une production d'ATP selon des voies variées 51
2. Deux exemples de cellules végétales différenciées et leur intégration dans l'organisme 51
a. La CPP, cellule parenchymateuse chlorophyllienne de la feuille à fonction photosynthétique 51
b. Le vaisseau de xylème, cellule morte à paroi lignifiée assurant la circulation de la sève brute 52
3. Quelques éléments sur les cellules indifférenciées ou cellules-souches 53
a. Discussion de la notion de cellule-souche 53
b. Caractéristiques des cellules souches animales 53
c. Caractéristiques d'une cellule méristématique (cellule-souche végétale) 53
4. Bilan : quelques modifications structurales impliquées lors de la différenciation 54
a. Chez les cellules animales et végétales 54
b. Chez les cellules animales 54
c. Chez les cellules végétales 54
B. Des cellules associées à une matrice extracellulaire et associées entre elles, formant des tissus cohérents 54
1. La quasi-universalité de la présence de matrice extracellulaire 54
a. Des gels hydratés glucidiques et protéiques qui associent les cellules dans les tissus 54
b. La lame basale, une matrice extracellulaire animale (MECA) 55
c. La paroi, matrice extracellulaire végétale 55
2. Une cohésion des tissus assurée par des jonctions et/ou la matrice 56
a. Dans les cellules animales : des jonctions cellule-cellule et cellule-matrice en lien étroit avec le cytosquelette 56
b. Dans les cellules végétales : pas de jonctions sauf les plasmodesmes et une cohésion assurée par le duo turgescence vacuolaire-paroi 57
C. Des cellules au fonctionnement intégré dans celui de l'organisme, sous le contrôle de communications intercellulaires 57
1. Des cellules réalisant des échanges avec l'organisme 57
2. Des cellules dont l'activité est contrôlée et coordonnée par des communications intercellulaires 57
a. Les types de communications intercellulaires animales 58
α. La juxtacrinie, communication entre cellules adjacentes 58
β. La paracrinie, communication à courte distance par un facteur diffusif 58
γ. L'endocrinie (communication hormonale), communication par une hormone transportée par le sang 58
δ. La communication nerveuse 58
b. Les hormones végétales, agents de communication chez les Embryophytes 58

Références 59
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 60
Plan 61
Plan simplifié (trois niveaux de plan) 63
Plan très simplifié (deux niveaux de plan) 64

Plan simplifié (trois niveaux de plan)

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Les cellules eucaryotes, des cellules hautement compartimentées et soutenues par un cytosquelette 2
A. La compartimentation, une division du volume cellulaire à l'origine d'une spécialisation fonctionnelle des zones cellulaires 2
1. Mise en évidence par des études microscopiques (surtout ultrastructurales) 2
2. Des cellules comprenant typiquement trois zones : noyau, cytoplasme, membrane plasmique 2
3. Vue d'ensemble d'une cellule animale : cas général et exemple de la cellule acineuse pancréatique (CAP) de Mammifères 2
4. Vue d'ensemble d'une cellule végétale chlorophyllienne : cas général et exemple de la cellule du parenchyme palissadique (CPP) d'Angiospermes 5
5. Des compartiments globalement regroupés en organites : les principaux organites d'une cellule eucaryote 7
B. Le cytosquelette, une armature protéique qui structure la cellule et participe à son dynamisme 16
1. Des constituants variés : microtubules, filaments intermédiaires, microfilaments 16
2. Le cytosquelette, acteur du dynamisme cellulaire : principales fonctions du cytosquelette 17

II. Une compartimentation dynamique qui autorise les échanges : des cellules traversées par des flux 20
A. Des flux de matière 20
1. Mise en évidence du flux sécrétoire dans la cellule acineuse pancréatique : les expériences de PALADE (1960) 20
2. Importance de la polarité cellulaire dans le flux sécrétoire 21
3. Un contrôle des flux de matière : le contrôle de l'activité sécrétoire dans la cellule acineuse pancréatique [flux d'information !] 22
4. Généralisation : les flux de matière dans les cellules 22
B. Des flux d'énergie 23
1. Une production catabolique d'ATP dans les deux types de cellules 23
2. Une production photosynthétique de métabolites dans la CPP 23
C. Des flux d'information 23
1. Un flux génétique 23
2. Un flux d'informations issues de stimuli extérieurs à la cellule 23
D. Bilan : les principaux flux dans une cellule eucaryote 24
E. Des flux impliquant la membrane cellulaire et les endomembranes 25

III. Une information génétique essentiellement nucléaire et portée par des chromosomes linéaires 26
A. L'ADN, support universel de l'information génétique chez les êtres vivants 26
1. La notion d'acide nucléique (rappels) 26
2. Les nucléotides, monomères de l'ADN (et des ARN) (rappels) 26
3. L'ADN, hétéropolymère de nucléotides 28
4. L'ADN, une molécule séquencée capable de porter une information 30
5. L'ADN, une molécule en interaction avec des protéines qui s'exprime, se conserve, se transmet et peut varier 32
B. Localisation, organisation et structuration des génomes eucaryotes 32
1. Un génome comprenant une composante principale nucléaire et une composante mineure cytoplasmique 32
2. Le génome nucléaire, une entité composée de chromosomes linéaires pouvant présenter des niveaux variables de condensation 33
C. Des génomes organisés en unités fondamentales, les gènes 36
1. Notions de gène, cistron, locus, allèle, hétérozygotie, homozygotie, dominance et récessivité [Rappels du secondaire] 36
2. Des gènes morcelés (= gènes mosaïques) chez les Eucaryotes avec des régions non codantes (introns) séparant les portions codantes (exons) 36
D. La présence importante de séquences répétées et d'ADN non codant chez les Eucaryotes 38
1. Mise en évidence des séquences répétitives par les expériences de dénaturation-renaturation de l'ADN 38
2. Nature des séquences répétitives des Eucaryotes 39
E. Des génomes de taille variable et sans lien avec la position phylogénétique du taxon : le paradoxe de la valeur c 39

IV. Des cellules qui peuvent s'intégrer structuralement et fonctionnellement dans un organisme pluricellulaire 41
A. Une intégration qui suppose la spécialisation structurale et fonctionnelle des cellules par différenciation 41
1. Deux exemples de cellules animales différenciées et leur intégration dans l'organisme 41
2. Deux exemples de cellules végétales différenciées et leur intégration dans l'organisme 51
3. Quelques éléments sur les cellules indifférenciées ou cellules-souches 53
4. Bilan : quelques modifications structurales impliquées lors de la différenciation 54
B. Des cellules associées à une matrice extracellulaire et associées entre elles, formant des tissus cohérents 54
1. La quasi-universalité de la présence de matrice extracellulaire 54
2. Une cohésion des tissus assurée par des jonctions et/ou la matrice 56
3. Dans les cellules végétales : pas de jonctions sauf les plasmodesmes et une cohésion assurée par le duo turgescence vacuolaire-paroi 57
C. Des cellules au fonctionnement intégré dans celui de l'organisme, sous le contrôle de communications intercellulaires 57
1. Des cellules réalisant des échanges avec l'organisme 57
2. Des cellules dont l'activité est contrôlée et coordonnée par des communications intercellulaires 57

Références 59
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 60
Plan 61
Plan simplifié (trois niveaux de plan) 63
Plan très simplifié (deux niveaux de plan) 64

Plan très simplifié (deux niveaux de plan)

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 2

I. Les cellules eucaryotes, des cellules hautement compartimentées et soutenues par un cytosquelette 2
- **A. La compartimentation, une division du volume cellulaire à l'origine d'une spécialisation fonctionnelle des zones cellulaires** 2
- **B. Le cytosquelette, une armature protéique qui structure la cellule et participe à son dynamisme** 16

II. Une compartimentation dynamique qui autorise les échanges : des cellules traversées par des flux 20
- **A. Des flux de matière** 20
- **B. Des flux d'énergie** 23
- **C. Des flux d'information** 23
- **D. Bilan : les principaux flux dans une cellule eucaryote** 24
- **E. Des flux impliquant la membrane cellulaire et les endomembranes** 25

III. Une information génétique essentiellement nucléaire et portée par des chromosomes linéaires 26
- **A. L'ADN, support universel de l'information génétique chez les êtres vivants** 26
- **B. Localisation, organisation et structuration des génomes eucaryotes** 32
- **C. Des génomes organisés en unités fondamentales, les gènes** 36
- **D. La présence importante de séquences répétées et d'ADN non codant chez les Eucaryotes** 38
- **E. Des génomes de taille variable et sans lien avec la position phylogénétique du taxon : le paradoxe de la valeur c** 39

IV. Des cellules qui peuvent s'intégrer structuralement et fonctionnellement dans un organisme pluricellulaire 41
- **A. Une intégration qui suppose la spécialisation structurale et fonctionnelle des cellules par différenciation** 41
- **B. Des cellules associées à une matrice extracellulaire et associées entre elles, formant des tissus cohérents** 54
- **C. Des cellules au fonctionnement intégré dans celui de l'organisme, sous le contrôle de communications intercellulaires** 57

Références 59
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 60
Plan 61
Plan simplifié (trois niveaux de plan) 63
Plan très simplifié (deux niveaux de plan) 64

© 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 septembre 2017 • Dernière actualisation : août 2020.
Inspiré (très librement…) d'un cours initialement construit pour la prépa ATS Bio.
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.