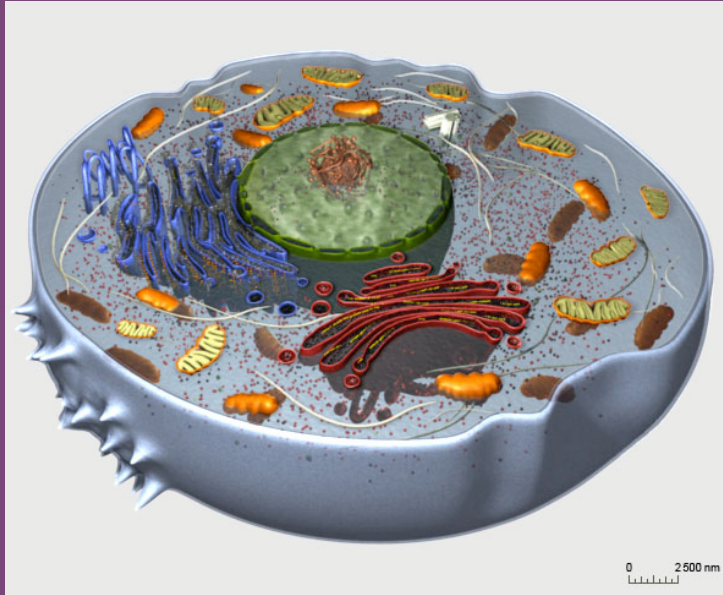


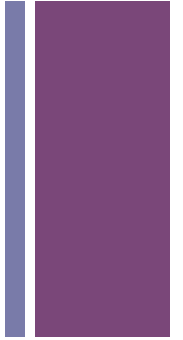


Biologie cellulaire

Valérie Gafner, Biologiste
EPSN 2016



Introduction à la biologie cellulaire



- Le but de cette première partie de cours est de vous enseigner **les bases de biologie cellulaire** qui seront essentielles pour comprendre les grands systèmes physiologiques
- Nous allons passer principalement du temps à comprendre **les échanges possibles entre la cellule et le milieu extérieur**. Ces éléments sont fondamentaux pour permettre les échanges entre les cellules et leur environnement



La cellule: définition et historique

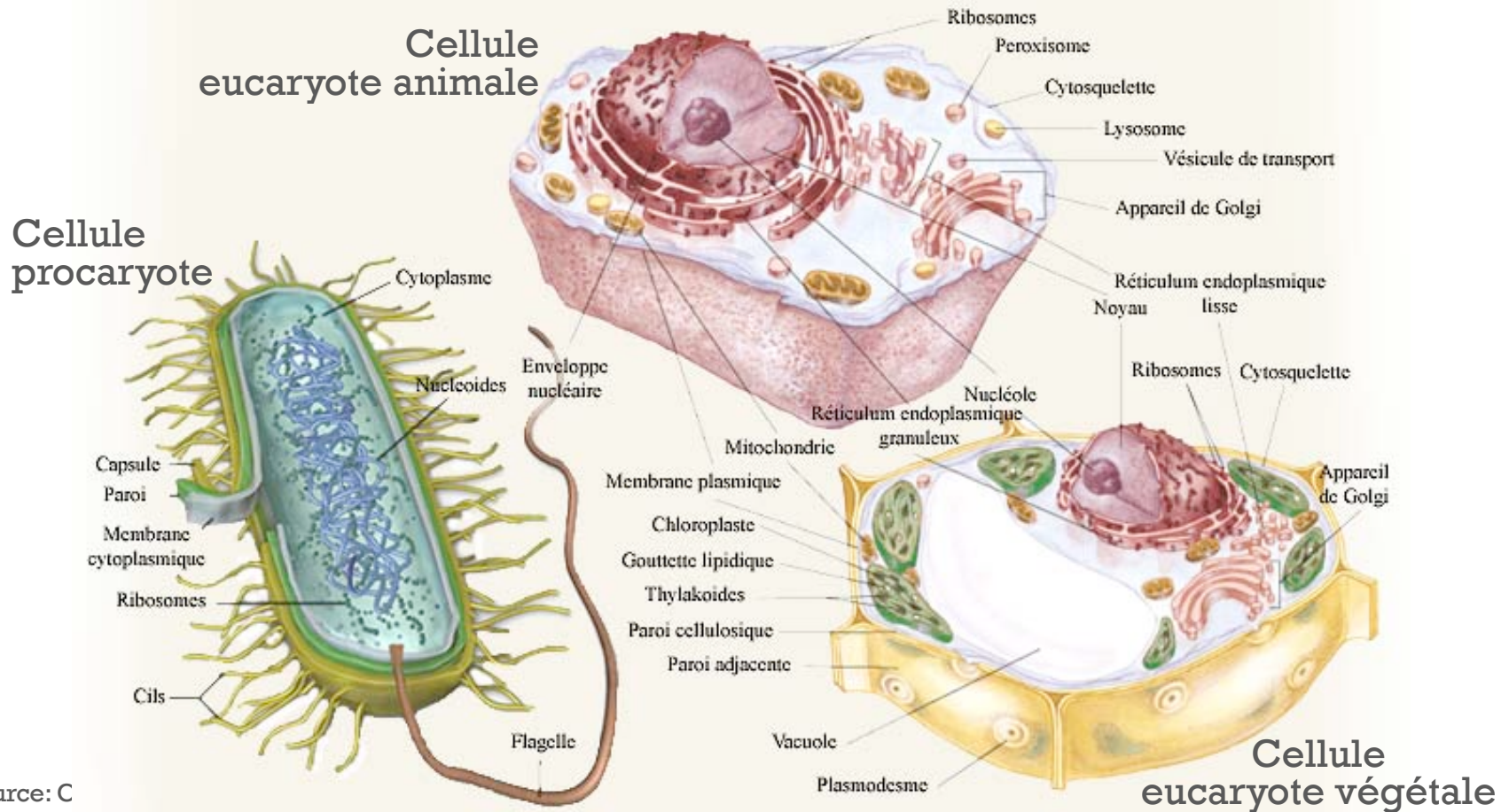
Unité structurale et fonctionnelle des êtres vivants



- Première définition par Robert Hooke en 1665, en latin « cellula » qui signifie: petite chambre
- Premier microscope par Antoine Van Leeuwenhoek (1632-1723)
- Theodore Schwann découvre que les plantes et les animaux sont tous faits de cellules (1839)
- Rudolph Virchow affirme que les cellules naissent du résultat de la division cellulaire (1858)

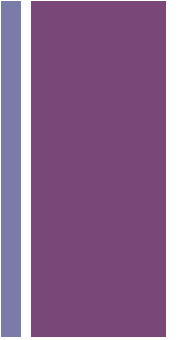
+ La première cellule

- Apparition de la première cellule (type procaryote) il y a 3,5 milliards d'années. Apparition de la première cellule eucaryote il y a 1,5 milliards d'année





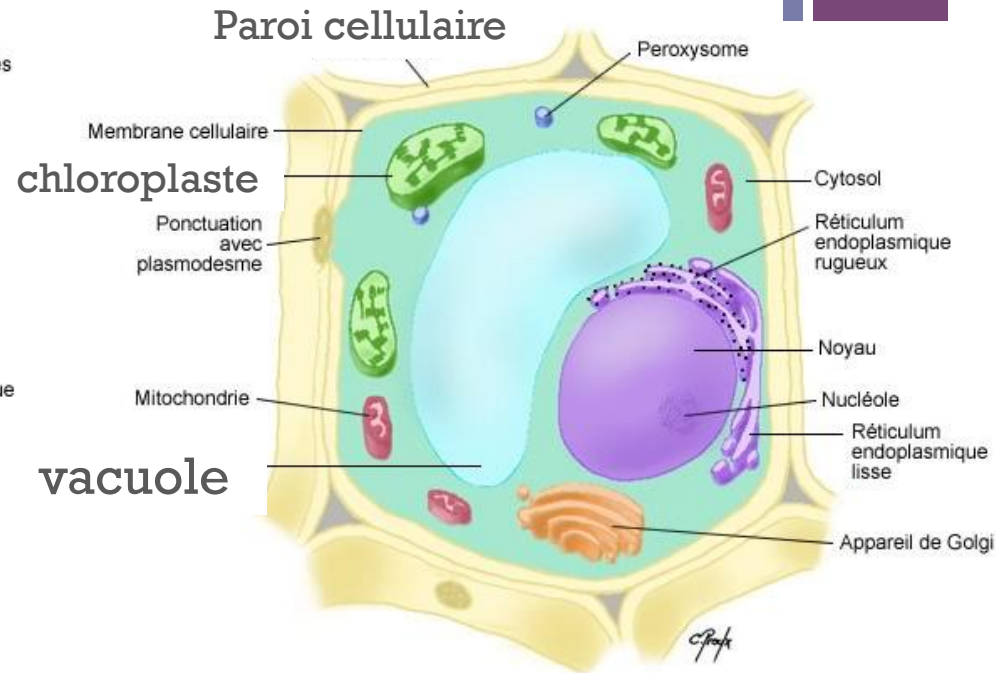
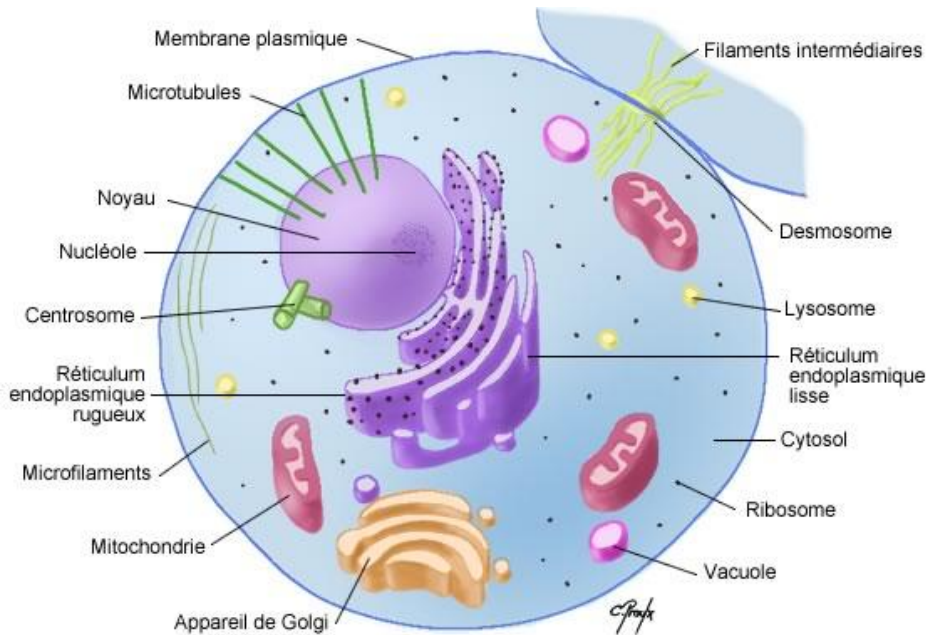
Différence entre cellule procaryote et eucaryote



- Les cellules sont divisées en deux grandes catégories, les cellules **eucaryotes** et **procaryotes**
- Les cellules procaryotes:
 - Leur information génétique n'est pas contenue dans un noyau
 - Organisme unicellulaire
 - Exemple: les bactéries
- Les cellules eucaryotes:
 - Leur information génétique est contenue dans un noyau
 - Organisme unicellulaire ou pluricellulaire
 - Exemples: cellule animale, cellule végétale...



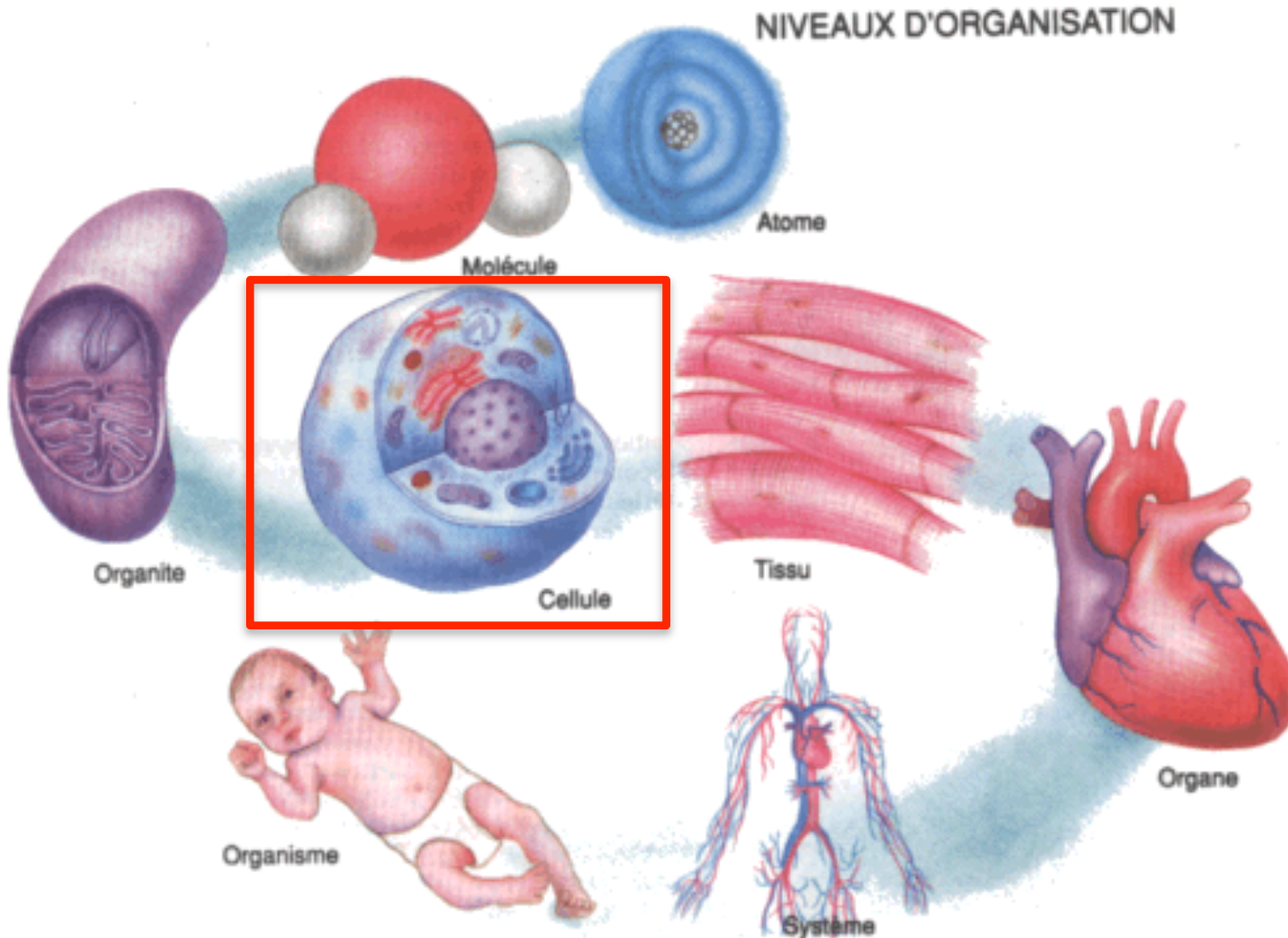
Différence entre cellule animale et végétale



- Présence chez la cellule végétale d'une paroi, d'une vacuole, de chloroplastes (photosynthèse) et absence de centriole
- La présence de la paroi donne une forme rectangulaire à la cellule végétale tandis que la cellule animale est plutôt ronde

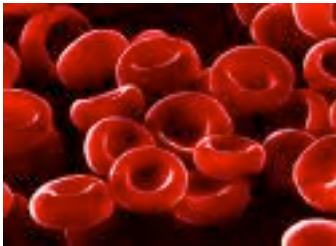


Niveau d'organisation du vivant



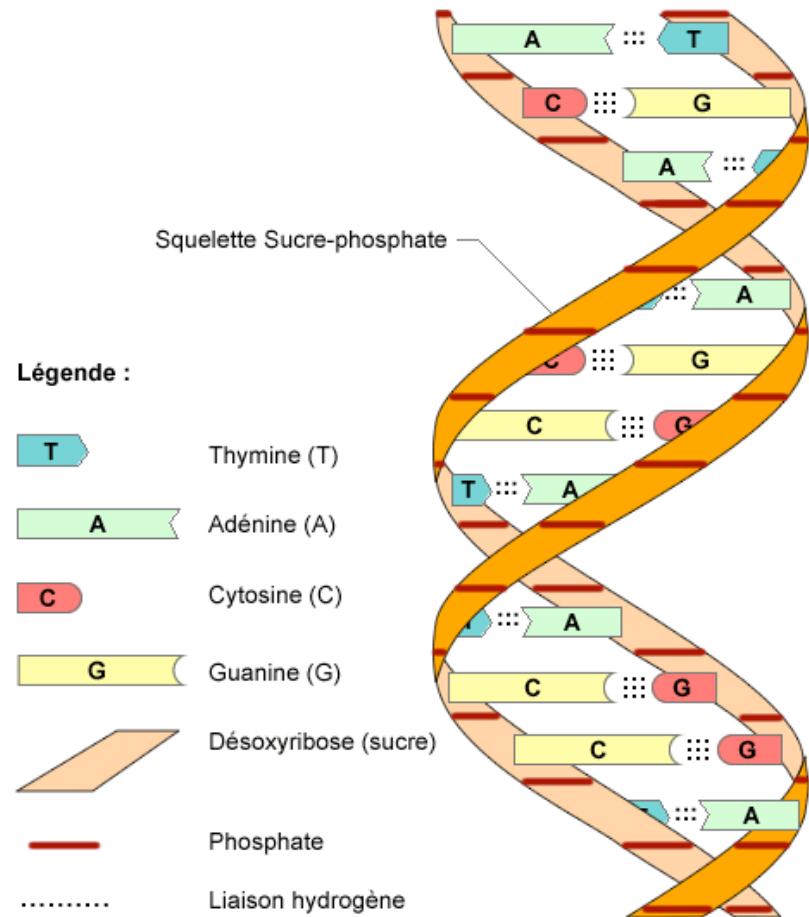
+ La théorie cellulaire

- La cellule est la plus petite entité vivante
- Tout être vivant est composé de cellules
- Toute cellule provient d'une autre cellule
- Tout organisme est engendré par la division d'une seule cellule
- La cellule est le véhicule de **l'information héréditaire**



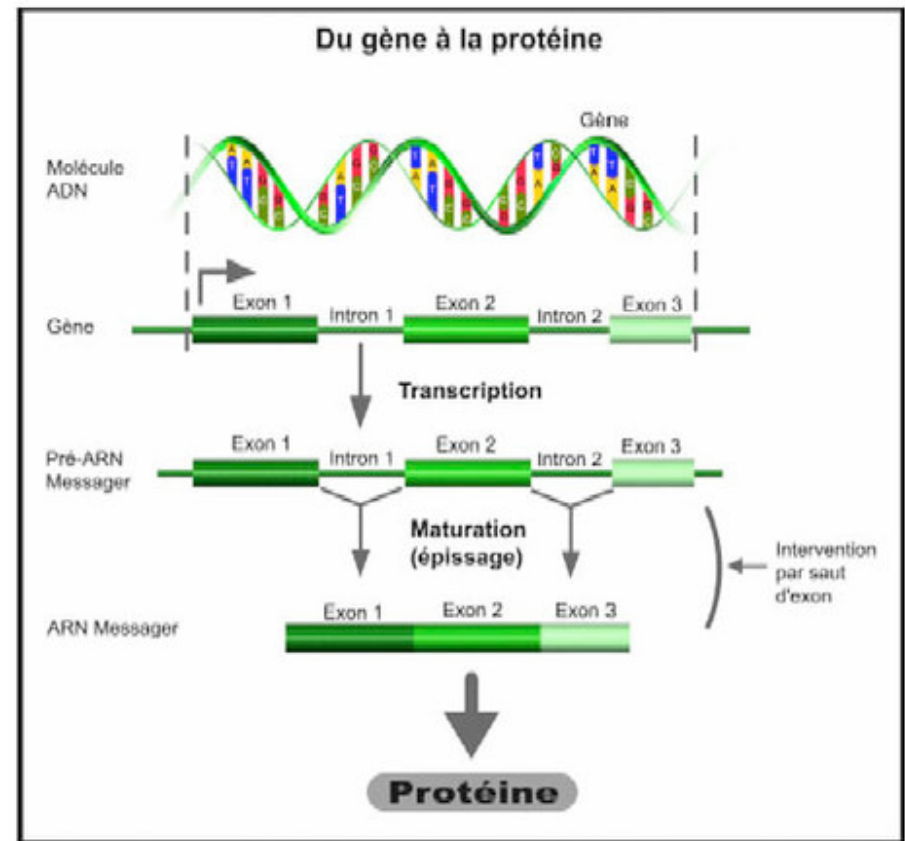
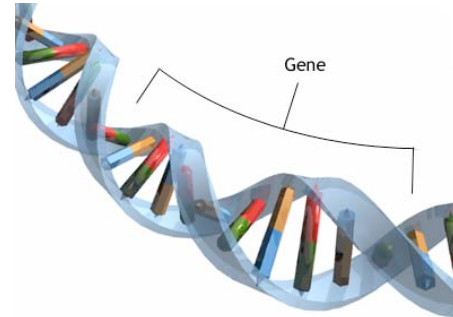
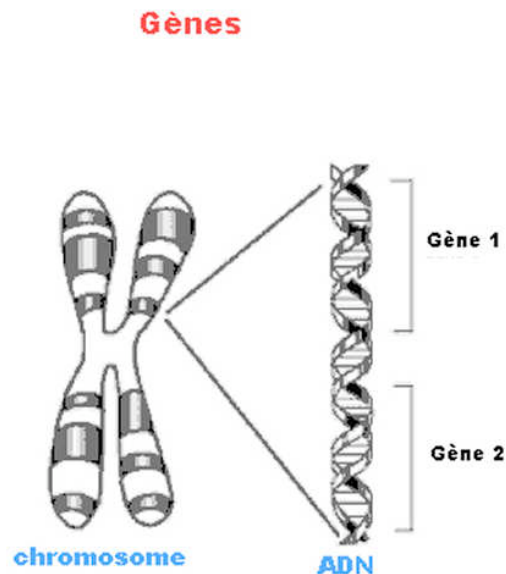
+ Cellule et hérédité

- Toutes les cellules conservent leurs informations héréditaires sous la forme d'une molécule d'ADN à double brin
- Toutes les cellules transcrivent des parties de leur information héréditaire sous forme intermédiaire d'ARN (transcription)
- Les molécules d'ARN sont utilisées pour guider la synthèse des protéines (traduction)



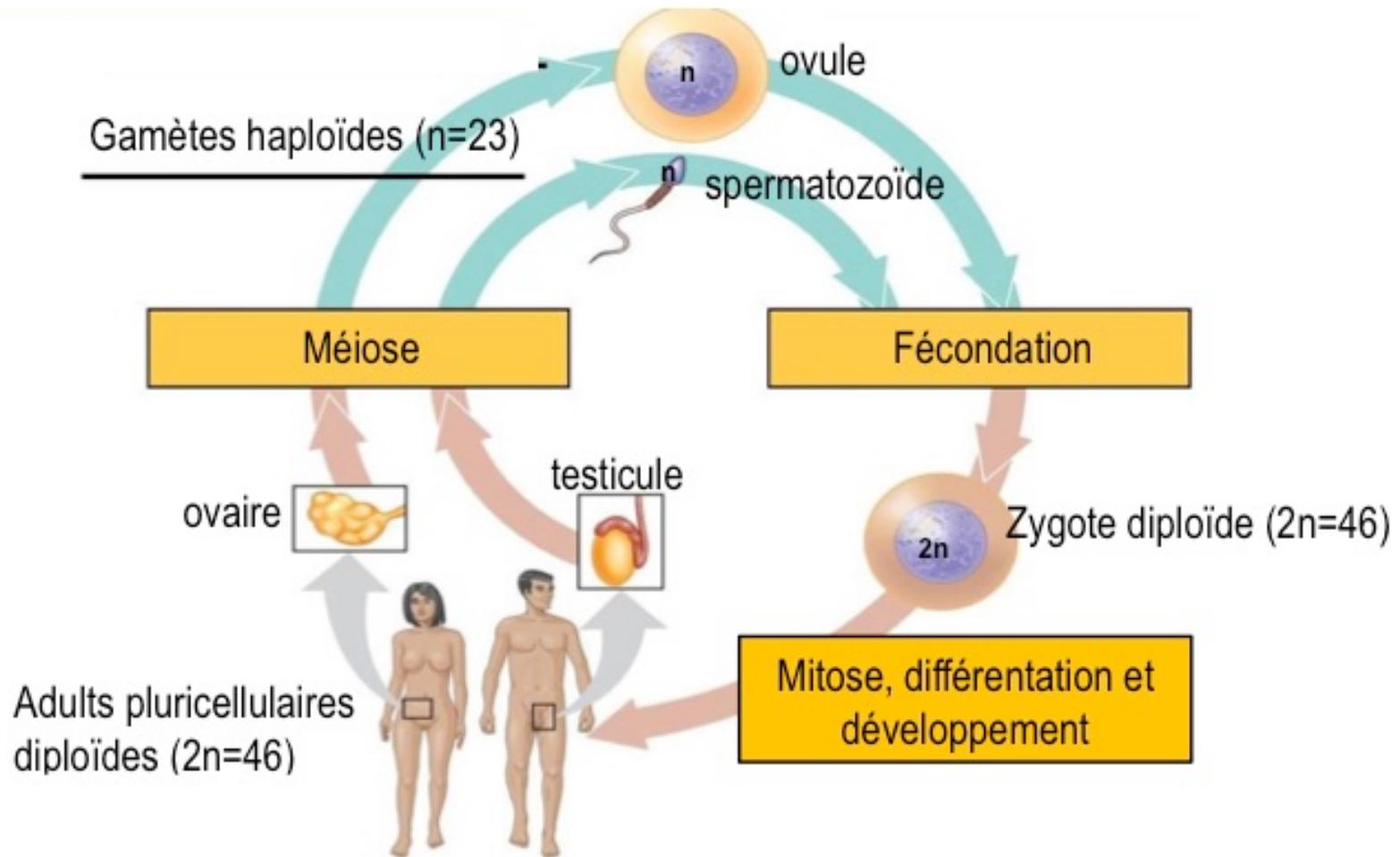
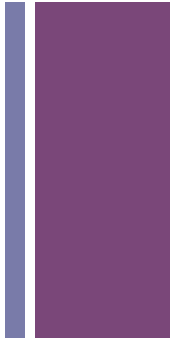
+ Le gène

- Un gène est un segment d'ADN qui correspond à une protéine particulière.





Transmission de l'information génétique: la reproduction sexuée





Division cellulaire

Mitose

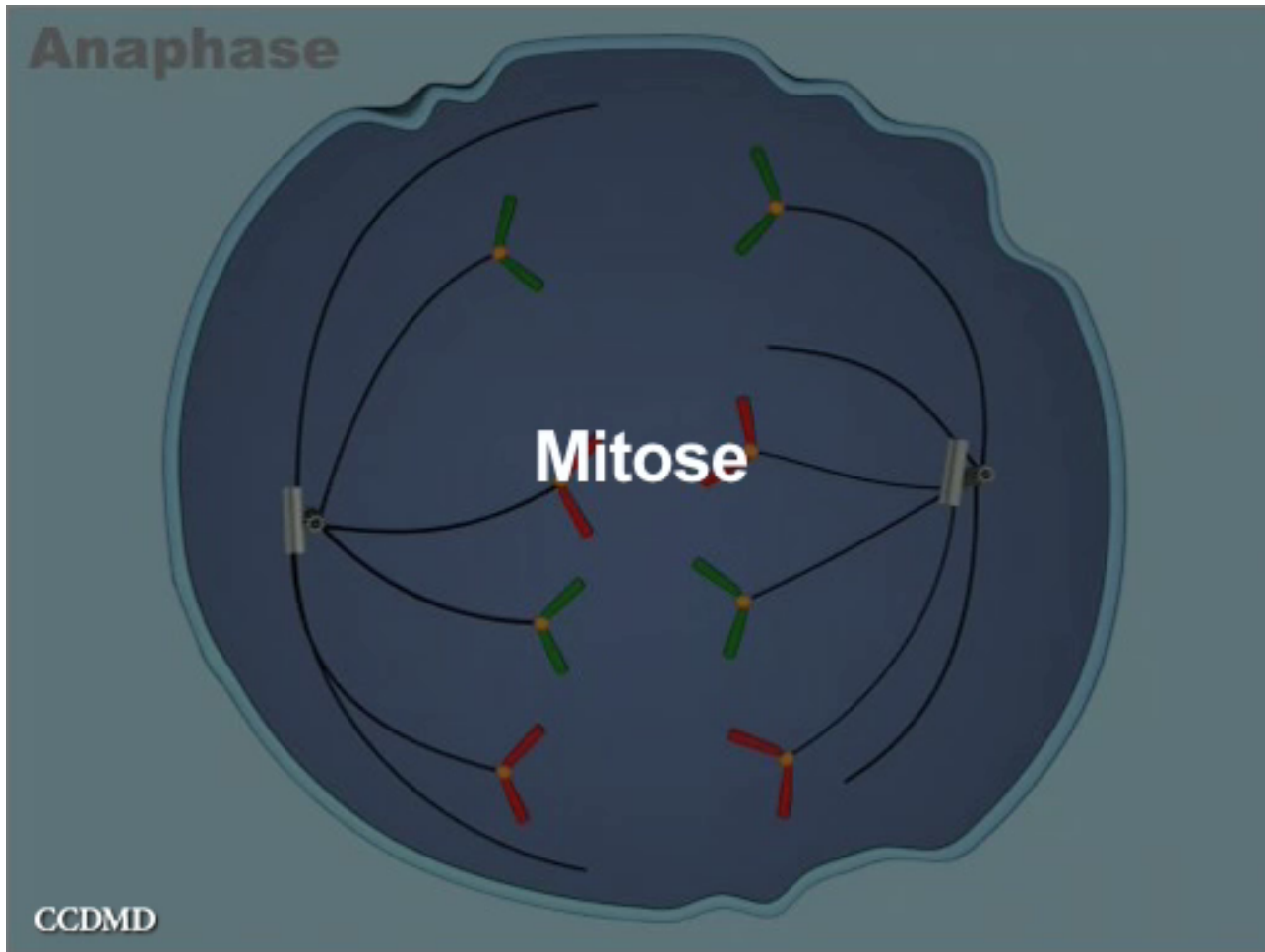


- La mitose est un processus de **division cellulaire permettant à une cellule de se multiplier**. Elle assure le renouvellement et le remplacement des cellules ainsi que la croissance de l'organisme pluricellulaire. À partir d'une cellule (cellule-mère), on obtient deux cellules (cellules-filles) identiques entre elles et identiques à la cellule-mère.
- La cellule-mère est diploïde ($2n$ chromosomes), c'est-à-dire qu'elle possède les deux membres de chaque paire de chromosomes homologues. Chez l'humain, les cellules somatiques possèdent 23 paires de chromosomes homologues, pour un total de $2n = 46$ **chromosomes par cellule**. C'est donc dire que, au moment de la mitose, une cellule diploïde ($2n = 46$ chromosomes) se reproduit pour donner deux nouvelles cellules diploïdes qui contiennent chacune $2n = 46$ chromosomes.
- La durée de la mitose est d'environ deux heures au total et varie selon le type de cellule. Elle est constituée de quatre phases (prophase, métaphase, anaphase, télophase) et elle **est précédée d'une étape nécessaire, soit la réplication du matériel génétique** avant le partage de celui-ci entre les deux nouvelles cellules. Lorsque la cellule n'est pas en train de se diviser, elle n'est pas au repos : c'est à ce moment, en effet, que se déroulent l'ensemble des activités du métabolisme cellulaire. On appelle « interphase » cette période comprise entre deux mitoses.



Division cellulaire

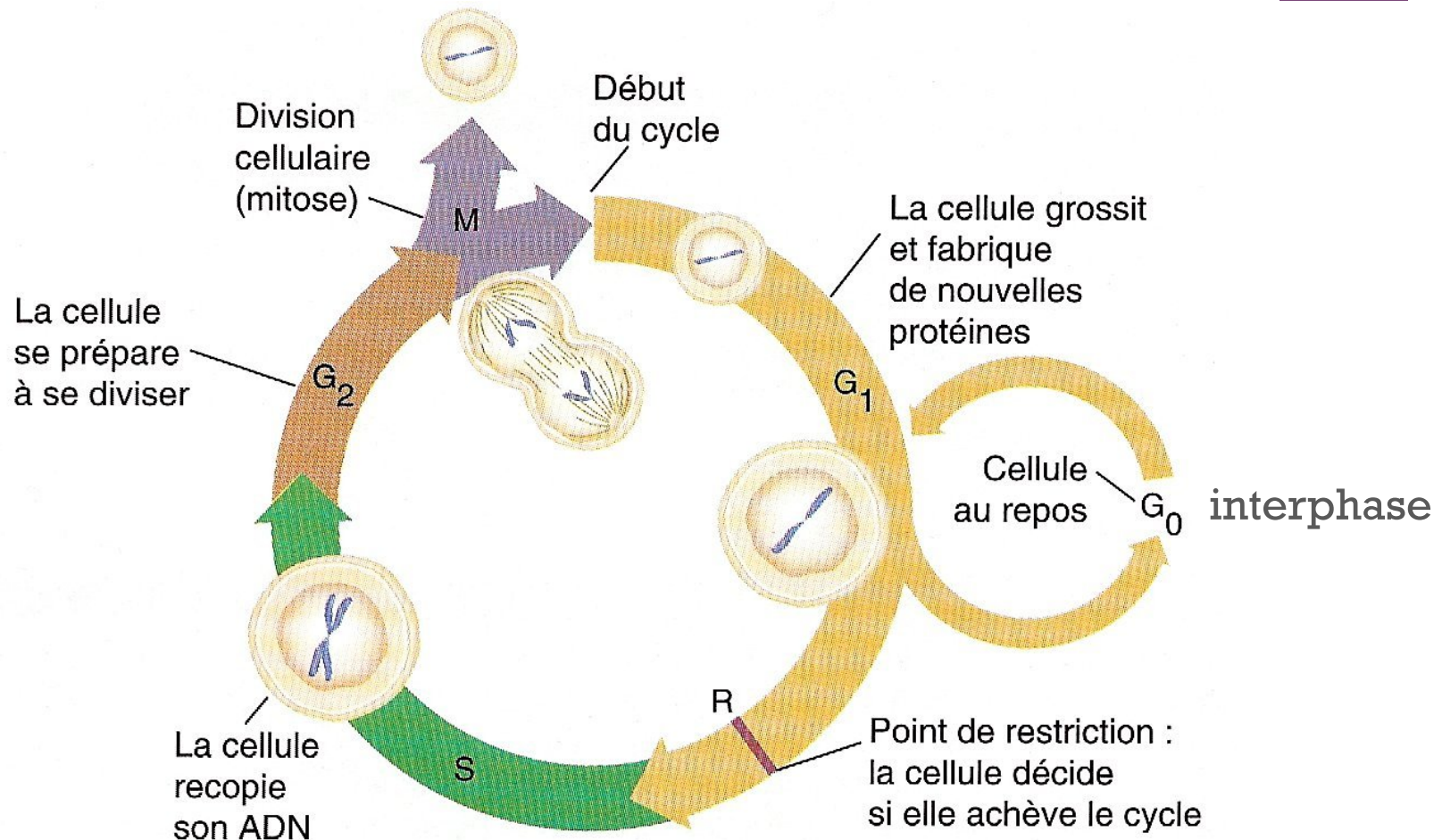
Mitose





Le cycle cellulaire

Le cycle cellulaire gère l'entrée en « division » d'une cellule



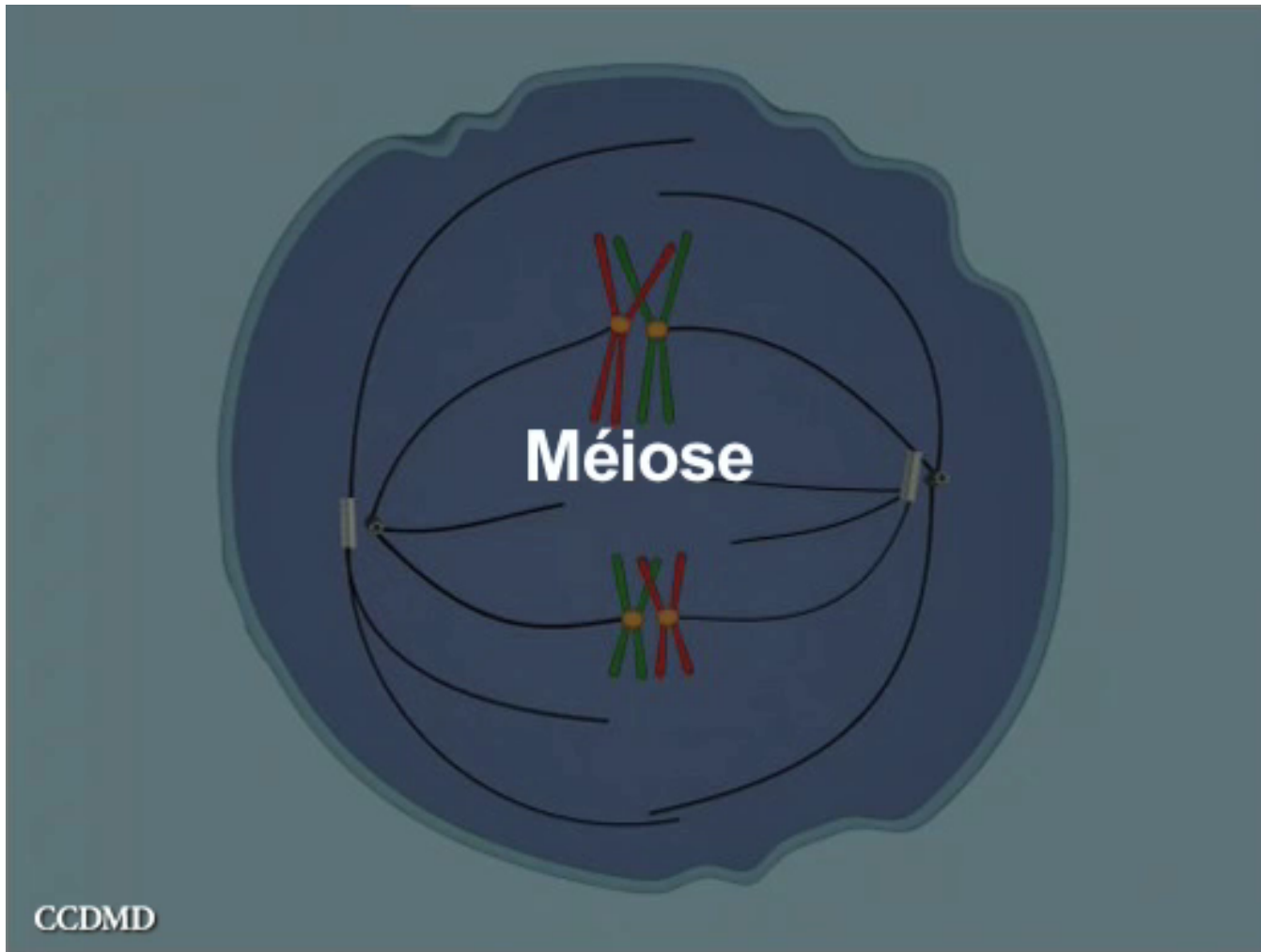
+ Production de gamètes

Méiose

- La méiose a lieu uniquement dans les **gonades**, c'est-à-dire les ovaires et les testicules. Elle **permet de produire des cellules reproductrice (gamètes)**, les ovules et les spermatozoïdes, qui possèdent la moitié du bagage génétique de la cellule d'origine.
- La cellule-mère est diploïde ($2n$ chromosomes), c'est-à-dire qu'elle possède les deux membres de chaque paire de chromosomes homologues. Au moment de la méiose, une cellule diploïde ($2n = 46$ chromosomes) se divise pour donner **quatre nouvelles cellules haploïdes qui contiennent chacune $n = 23$ chromosome**. Chez l'humain, les cellules **germinales** possèdent $n = 23$ chromosomes.
- L'intérêt d'avoir un seul membre de chaque paire de chromosomes homologues dans les gamètes est le rétablissement du nombre diploïde de chromosomes au moment de la fécondation de l'ovule par le spermatozoïde ($23 + 23 = 46$).
- La méiose chez l'homme est un processus continu, tandis que la femme né avec un certains nombre d'ovules qui arriveront à maturité une fois par mois de la puberté à la ménopause.
- La méiose est constituée de huit phases (prophase I, métaphase I, anaphase I, télophase I, prophase II, métaphase II, anaphase II, télophase II) et elle est précédée d'une étape nécessaire, soit la réplication du matériel génétique.

+ Production de gamètes

Méiose



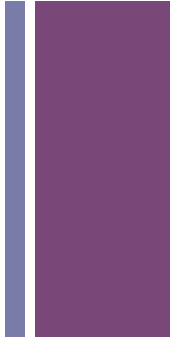
+ Structure d'une cellule

Toutes les cellules utilisent les mêmes unités de construction moléculaire de base:

- Sucres simples (proviennent de l'alimentation ou sont fabriqués depuis d'autres éléments du corps)
- Acides aminés: constituants des protéines
- Nucléotides
- Toutes les cellules sont entourées d'une membrane plasmique à travers laquelle doivent passer les nutriments et les déchets



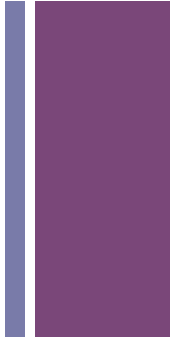
De l'organisme monocellulaire à l'organisme multicellulaire



- Selon la théorie de l'évolution, le but des organismes multicellulaires est de mieux s'associer pour exploiter les ressources disponibles
- Formation de colonies ce qui engendre une meilleure chance de survie de l'espèce
- Formation de véritables organismes multicellulaires, ce qui implique une cohésion entre les cellules et donc une spécialisation de celles-ci. La communication intercellulaire devient indispensable



Constituants de la matière vivante



- EAU (= plasma), 63% du corps humain, 60-90% de la masse cellulaire
- Sels minéraux (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl^- , ...) sous formes dissoutes dans le plasma, essentiels pour le transport de l'information ou sous forme solide comme les os
- Des protéines (fonctions structurales essentielles)*
- Des lipides (graisses)*
- Des glucides (principales sources d'énergie)*
- Des nucléotides*, base de l'ADN

* Leurs fonctions seront décrites plus tard



Les sels minéraux

Ou encore oligoéléments, ce sont des atomes chargés ioniquement (charge + ou -)

- Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^+ ,...
- Cl^- , So_4^{--} , Po_4^{--} ,...
- Se dissolvent facilement dans l'eau
- Ils assurent la balance ionique indispensable à la vie cellulaire. Par exemple, l'eau suit toujours le Na^+ (sodium), si une cellule manque d'eau intracellulaire, il lui suffira de laisser entrer du sodium dans son compartiment intracellulaire pour que l'eau suive
- Les ions sont indispensables pour le transport de l'information par les neurones (influx nerveux), la contraction musculaire, la pensée, les émotions,...
- En s'associant, ils deviennent solides, comme pour les os ou les dents.



Les protéines

Les protéines sont des dérivés azotés (N, C, H, O, S)

- **Leur fonction principale est structurale.** Elles maintiennent le corps (musculature) mais aussi la forme de la cellule
- Elles servent de catalyseurs (enzymes) ou de régulateurs (hormones, sécrétions diverses, anticorps,...)
- Les protéines transmembranaires sont essentielles pour permettre les échanges entre le milieu intra et extracellulaire
- Les unités de base des protéines sont les **acides aminés**. Les protéines sont constitués de 20 acides aminés différents. Ce sont donc les briques élémentaires de protéines
- Un **peptide** est un groupement de plusieurs acides aminés, un **polypeptide** peut compter jusqu'à 150 acides aminés et une **protéine**, plus de 150 acides aminés

+ Les protéines (suite)

Les acides aminés (aa)

- Les acides aminés sont à la base des protéines.
- Ils peuvent servir aussi de neurotransmetteurs ou d'hormones
- Ils peuvent se dégrader et devenir une source de sucre en cas de besoin du corps et en absence prolongée d'apport alimentaire (jeune prolongé=fonte musculaire)
- 8 acides aminés essentiels ne peuvent être synthétisés par le corps humain. Ils doivent donc être amenés par l'alimentation.



Les lipides

La graisse dans le corps, comprenant le tissu graisseux (adipocyte) et le cholestérol

- Les graisses sont insolubles dans l'eau, il est donc normal de les retrouver comme constituant des membranes cellulaires puisque la fonction des membranes est justement de séparer les compartiments aqueux les uns des autres
- Ce sont donc des **constituants essentiels de la cellule**
- Ils peuvent être dégradés pour libérer une grande quantité d'énergie pour le corps. C'est donc le moyen de stockage de l'énergie essentiel pour le corps. En effet, les sucres sont difficiles à stocker
- Ce sont des constituants essentiels de certaines hormones, comme les hormones stéroïdiennes



Les glucides

Les sucres sont synthétisés par les végétaux et assimilés par l'alimentation chez les animaux

- **Principale source d'énergie du corps**
- Constituant de la membrane cellulaire
- Les monosaccharides sont des sucres simples, très solubles dans l'eau
- Les polysaccharides sont des sucres complexes (amidon, glycogène). Comme pour les protéines, ce sont en fait plusieurs monosaccharides attachés ensemble
- Les glycoprotéines (protéine transmembranaire) sont donc constituées à la fois de sucres et de protéines



Les nucléotides

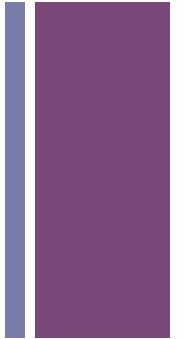
Base de l'ADN



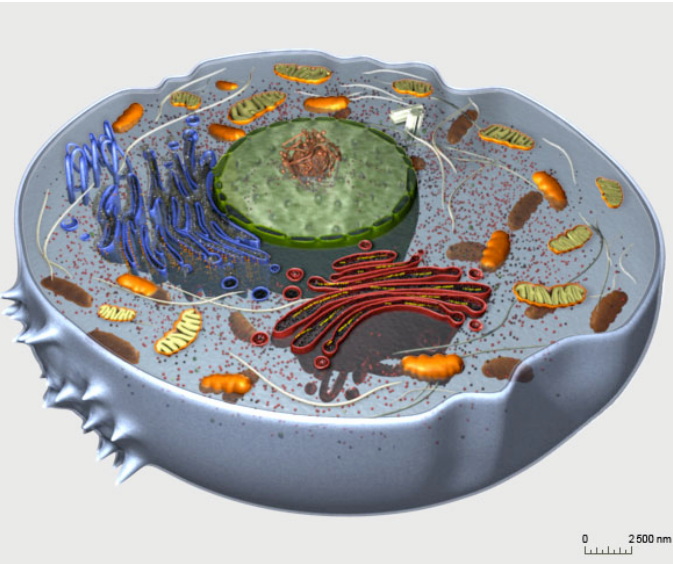
- Les bases de l'ADN sont : Adénine (A), Guanine (G), Cytosine (C), Thymine (T), Uracile (U)
- Ils sont essentiels pour perpétuer la vie au travers de l'hérédité contenue dans l'ADN



La cellule animale (eucaryote)

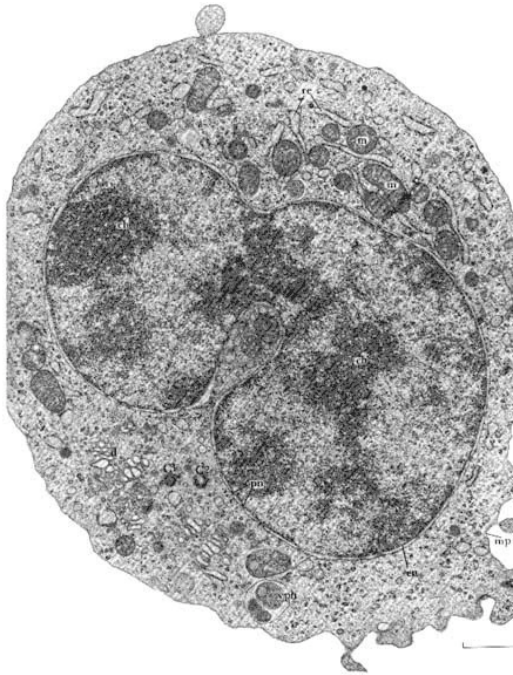


- La cellule est **le vivant sous sa forme la plus simple**. Elle entretient différentes relations avec son milieu externe et son milieu interne.
- Ainsi, la cellule prélève les éléments nutritifs contenus dans le milieu externe et les transforme à sa convenance selon ses besoins et son code génétique, ce qui entraîne la production de substances qui peuvent, en retour, modifier son environnement interne ou externe.
- Ces transformations permettent aux vivants de croître, de se régénérer et de se reproduire. Les processus cellulaires doivent fonctionner de façon harmonieuse pour assurer la perpétuelle recherche de l'équilibre dynamique du vivant afin que celui-ci conserve sa propre structure et se multiplie.





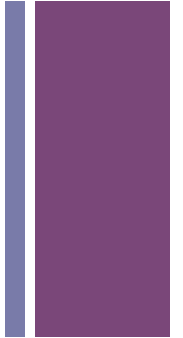
Les constituants de la cellule: les organelles (ou organites)



- Les activités cellulaires sont rendues possibles par certaines structures présentes à l'intérieur des cellules, les organites ou organelles. Ceux-ci renferment, en effet, divers composants essentiels au bon fonctionnement cellulaire : les **ribosomes**, les **mitochondries**, les **centrioles**, **l'appareil de Golgi**, le **réticulum endoplasmique** et les **lysosomes**, le tout faisant partie d'une dynamique fonctionnelle régie par le **noyau**.



CYTOSOL - Le milieu interne



- Le cytosol est constitué en moyenne à 85 % d'eau, mais il est quatre fois plus visqueux que l'eau. L'ensemble des organites de la cellule baigne dans cette **solution neutre** dont le pH est de 7. On appelle « cytoplasme » l'ensemble du cytosol et des organites qu'il contient. C'est dans ce milieu aqueux que la plupart des activités cellulaires (le métabolisme) ont lieu.
- En plus des organites, on y trouve différents solutés dissous tels que des molécules sous forme simple, des molécules sous forme complexe (macromolécules), des ions inorganiques et des gaz dissous (oxygène et dioxyde de carbone).

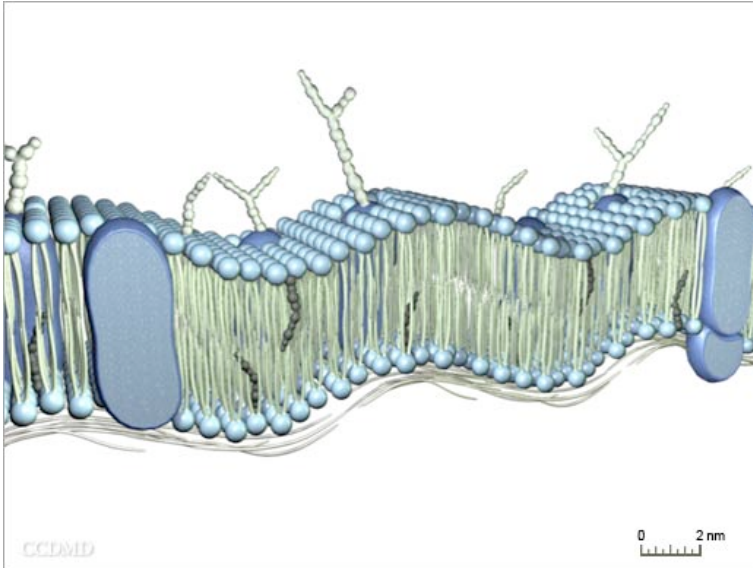
+ CIL ET FLAGELLE - Les propulseurs



- Les cils et les flagelles sont des structures filiformes situées à la surface de certaines cellules. Ils se manifestent sous forme de prolongements membranaires mobiles.
- La différence entre les deux, tient à leur taille – **les flagelles sont longs et les cils sont courts** –, et c'est celle-ci qui détermine leur mode de fonctionnement : les flagelles ondulent pour propulser la cellule alors que les cils battent pour faire circuler des substances, comme du mucus, à la surface de la cellule. Par rapport aux cils, les flagelles sont moins nombreux, habituellement un ou deux par cellule.



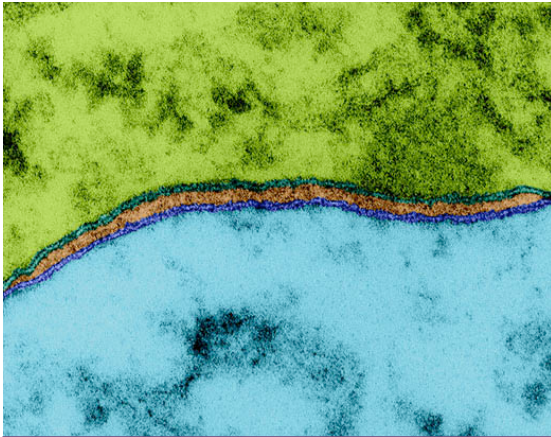
LA MEMBRANE CELLULAIRE - La frontière et la douane



- La membrane cellulaire, aussi appelée « membrane plasmique » ou « cytoplasmique », est composée d'une **double couche de phospholipides** dans laquelle on trouve, entre autre, du **cholestérol** et des **protéines**. La membrane cellulaire délimite le contenu de la cellule et contrôle les échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, donc l'ingestion
- Épaisseur de la membrane cellulaire : 7-8 nm
- Les échanges entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule se font de deux manières principales : par **transport passif** ou par **transport actif**.



LA MEMBRANE CELLULAIRE - La frontière et la douane (suite)

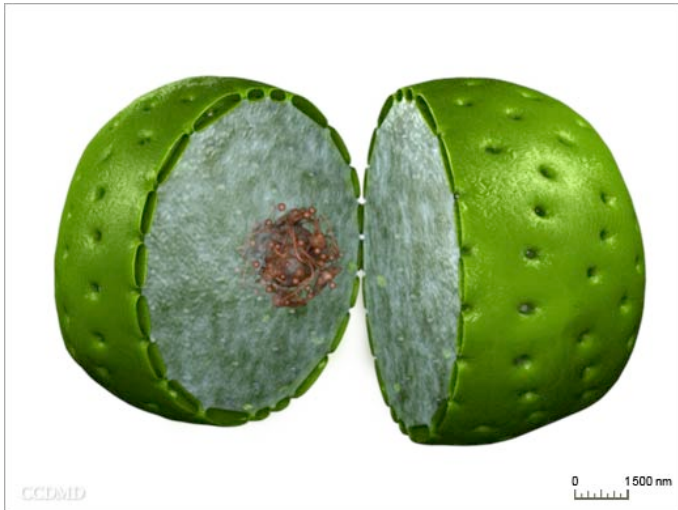


Une vue en coupe de deux membranes plasmiques à la jonction de cellules neuronales. La cellule du bas est teintée en bleu et celle du haut en vert. © Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

- La structure de la membrane lui donne des propriétés importantes pour le transport des diverses substances. Dotée d'une perméabilité sélective, elle est constituée d'une bicouche de phospholipides. Ceux-ci ont une extrémité hydrophobe et une extrémité hydrophile.
- Les extrémités hydrophobes de chaque couche s'accolent, ce qui fait que la bicouche n'expose que ses extrémités hydrophiles au milieu aqueux intracellulaire et extracellulaire (cytosol et liquide interstitiel); cela empêchera les molécules hydrosolubles de s'infiltrer dans la cellule
- C'est grâce aux protéines membranaires que ces molécules peuvent traverser la membrane cellulaire. Ces protéines, qui sont enchâssées dans la membrane, forment des canaux de transport plus ou moins sélectifs
- Les molécules liposolubles (hydrophobes), quant à elles, peuvent passer au travers de la bicouche de phospholipides facilement en se dissolvant dans les lipides



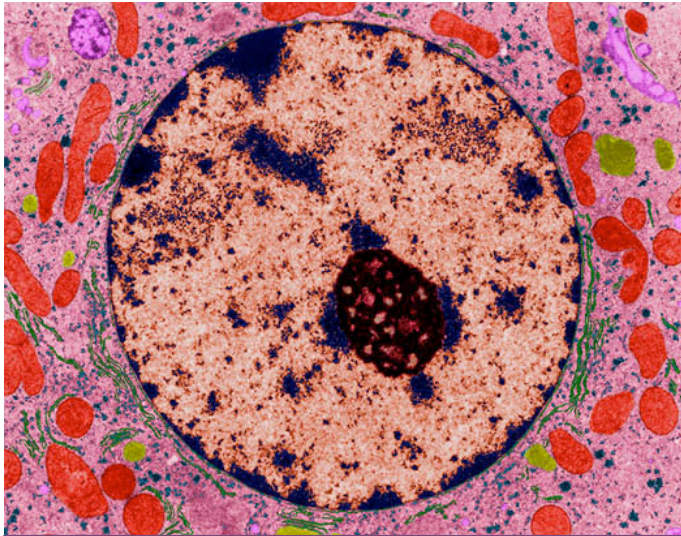
LE NOYAU - Le centre de contrôle



- Le noyau est le plus gros des organites. Il agit comme le centre de contrôle de la cellule et a deux fonctions principales : contrôler les réactions biochimiques du cytoplasme, telle la synthèse des protéines, et stocker l'information nécessaire à la division cellulaire (mitose).



LE NOYAU - Le centre de contrôle (suite)

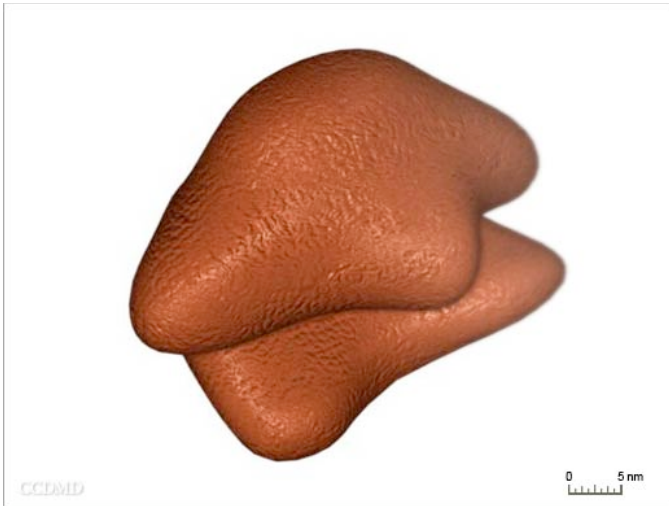


Le noyau d'une cellule du foie, on y distingue le nucléole et la chromatine à l'intérieur de la membrane nucléaire. ©Dennis Kunkel Microscopy, Inc

- Le noyau est **entouré d'une membrane nucléaire** et le matériel génétique qu'il contient, l'**ADN**, se présente sous la forme de chromosomes ou de chromatine, selon que la cellule est en phase de division (mitose) ou non. L'**ADN** porte les gènes qui dictent la structure de la cellule et gouvernent la plupart de ses activités. La membrane nucléaire permet de séparer les réactions biochimiques se déroulant dans le cytoplasme de celles se déroulant dans le noyau. Cette membrane est percée de pores, ce qui permet les échanges entre le noyau et le cytoplasme (exemple : la sortie des ARNm lors de la synthèse des protéines)
- Le noyau contient le nucléole, lieu de la formation des **ribosomes**



RIBOSOME – l'assembleur



- Les ribosomes sont des petites structures constituées de deux sous-unités d'ARN liées ensemble. Certains sont libres dans le cytosol tandis que d'autres sont attachés au réticulum endoplasmique. Ils proviennent du nucléole du noyau.
- Les ribosomes sont le siège de la synthèse des protéines, c'est-à-dire qu'ils assemblent l'une à la suite de l'autre les molécules d'acides aminés qui constituent les différentes protéines.



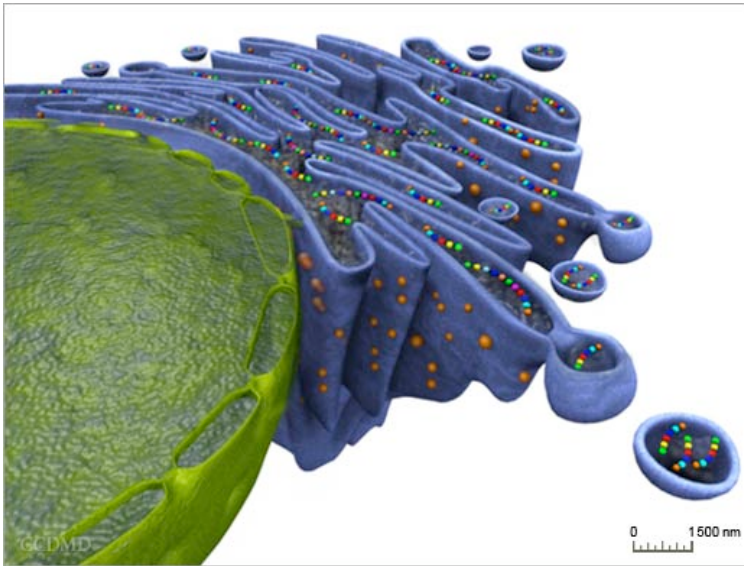
RIBOSOME – l'assembleur (suite)



Ribosomes attachés au réticulum endoplasmique rugueux,
Robert Alain, SME, INRS-Institut Armand-Frappier

- Les ribosomes reçoivent les instructions d'assemblage des acides aminés sous forme d'ARN messager en provenance du noyau. Chaque ribosome « lit » ces instructions entre ses deux sous-unités et est responsable de l'assemblage de la protéine.
- Les ribosomes libres assurent la synthèse des protéines qui demeureront dans le cytosol. Les ribosomes liés au réticulum endoplasmique rugueux assurent principalement la synthèse des protéines qui sont destinées à la membrane cellulaire ou aux lysosomes, ou de celles devant être sécrétées hors de la cellule. Dans ce dernier cas, les protéines synthétisées sont d'abord entreposées dans le réticulum.

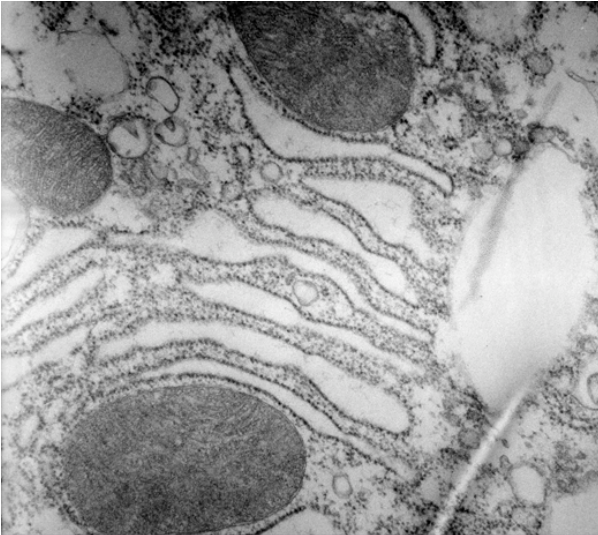
+ RÉTICULUM ENDOPLASMIQUE - l'entrepôt



- Le réticulum endoplasmique (RE) est un réseau de membranes parallèles. Il est en continuité avec la membrane du noyau.
- Il existe deux types de réticulum endoplasmique : **le réticulum endoplasmique rugueux**, dont la surface des membranes est couverte de ribosomes, et le réticulum endoplasmique lisse, qui n'en porte pas.
- Dans le réticulum endoplasmique, les protéines atteignent des niveaux d'organisation structurale plus complexes.
À cause de son étendue dans le cytosol de la cellule, il est difficile de mesurer précisément le réticulum endoplasmique.



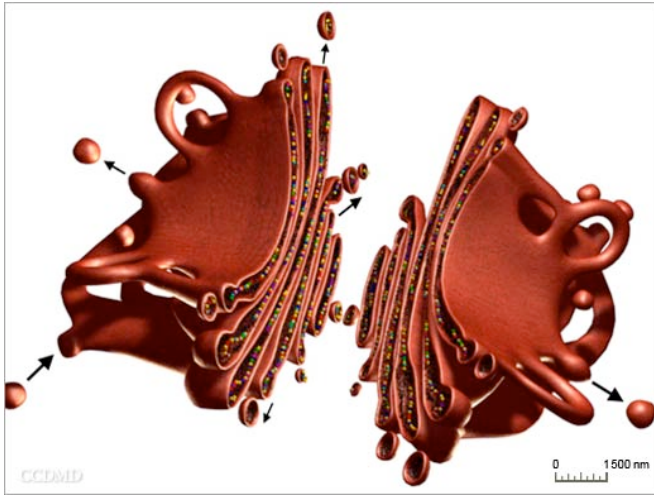
RÉTICULUM ENDOPLASMIQUE - l'entrepôt



Vue en coupe du réseau de membranes d'un réticulum endoplasmique rugueux, Robert Alain, SME, INRS-Institut Armand-Frappier

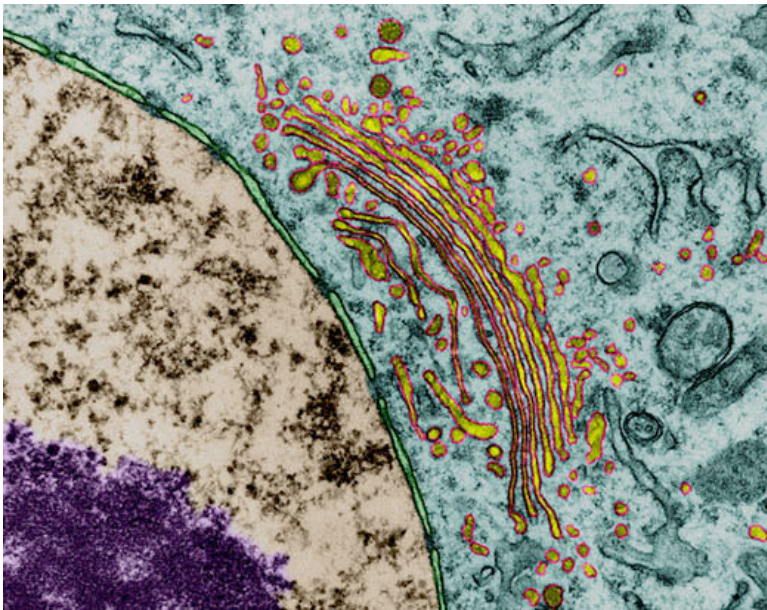
- Le réticulum endoplasmique rugueux sert principalement de support physique aux ribosomes qui effectuent l'assemblage des acides aminés en protéines. Lorsque la nouvelle protéine est terminée, elle traverse la membrane du réticulum par l'intermédiaire de ses pores. Les protéines passent ainsi du **cytosol** vers l'intérieur du réticulum endoplasmique rugueux. Les protéines y sont modifiées, repliées, et leur qualité est contrôlée. Elles sont ensuite transportées vers des citernes du réticulum, puis accumulées dans des vésicules formées par bourgeonnement de la membrane du réticulum endoplasmique. Ces vésicules sont ensuite libérées dans le **cytosol** et vont se rendre à l'**appareil de Golgi**.
- Le réticulum endoplasmique lisse intervient dans plusieurs processus métaboliques. Il participe notamment à la synthèse des phospholipides membranaires, et joue un rôle dans le métabolisme des glucides et le stockage du calcium.

+ APPAREIL DE GOLGI - L'expéditeur



- L'appareil de Golgi est un empilement de sacs membraneux aplatis, comme une pile de pains pitas! Il est particulièrement abondant dans les cellules sécrétrices, comme les cellules du pancréas.
- La fonction principale de l'appareil de Golgi est de modifier, de trier et de concentrer les protéines synthétisées par les ribosomes. Les protéines sont acheminées par des vésicules provenant du réticulum endoplasmique. Dans l'appareil de Golgi, une fois modifiées, triées et concentrées, les protéines sont à nouveau emballées dans une vésicule qui se détachera de son sac membraneux. Ces vésicules libres qui circulent dans le cytosol peuvent digérer, transporter, stocker.
- Il est nécessaire que l'appareil de Golgi adresse convenablement les vésicules à la région de la cellule qui les attend. Les protéines sont donc emballées en fonction de leur destination finale.

+ APPAREIL DE GOLGI - L'expéditeur (suite)



À proximité du noyau d'une cellule nerveuse, on aperçoit en jaune l'appareil de Golgi et ses vésicules qui bourgeonnent. ©Dennis Kunkel Microscopy, Inc.

- Il y a trois possibilités de destinations pour les vésicules golgiennes.
 1. Une vésicule contenant des enzymes digestives appelées « hydrolases » peut devenir un organite à part entière nommé lysosome.
 2. Une vésicule contenant des protéines qui sont destinées à l'exportation sécrète les protéines qu'elle contient à l'extérieur de la cellule par exocytose après avoir migré jusqu'à la membrane cellulaire. On parle alors d'une « vésicule de sécrétion ». La membrane de ces vésicules sera incorporée à la membrane plasmique, qui se trouve ainsi régénérée en permanence.
 3. Une vésicule contenant des protéines destinées à faire partie de la membrane cellulaire fusionnera avec cette dernière.



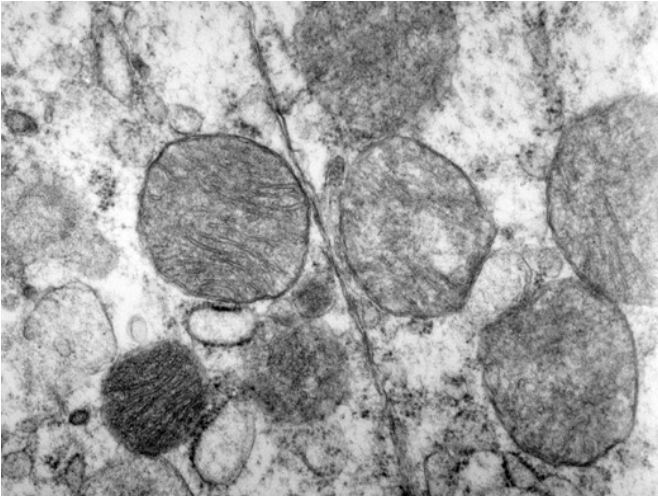
MITOCHONDRIE - La centrale énergétique



- Les mitochondries sont des organites en forme de bâtonnets possédant deux membranes. La membrane interne forme des replis appelés « crêtes », qui s'imbriquent dans une substance appelée « matrice ». Au niveau de la membrane interne et dans la matrice, on trouve de nombreuses enzymes responsables de la dégradation des nutriments sous forme simple, tel le glucose.
- Ces dégradations se déroulent en présence d'oxygène et portent le nom de « [respiration cellulaire](#) ». Elles permettent aux mitochondries de former de l'[ATP](#), source d'énergie de la cellule. Le nombre de mitochondries d'une cellule (jusqu'à plusieurs dizaines de milliers) dépend de l'intensité de son activité : une cellule musculaire, par exemple, en possède beaucoup.



MITOCHONDRIE - La centrale énergétique



Mitochondries, Robert Alain, SME, INRS-Institut Armand-Frappier

- L'ATP est utilisé pour l'ensemble des activités de synthèse de la cellule ainsi que pour le transport actif.
- Les mitochondries possèdent leur propre matériel génétique, qu'on appelle « ADN mitochondrial ». Elles peuvent synthétiser environ 10 % de leurs propres protéines grâce à la dizaine de gènes de leur ADN. Les autres protéines mitochondriales proviennent du travail de synthèse exécuté par les ribosomes.

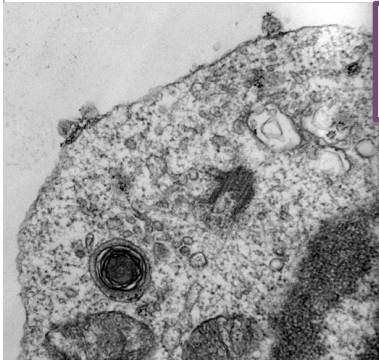
Une mitochondrie ne peut provenir que de la croissance et de la division d'une mitochondrie déjà existante. Avant la division de la cellule (la mitose), les mitochondries doublent leur masse, puis se scindent en deux.

+ LYSOSOME – la digestion intracellulaire



- Les lysosomes sont fabriqués par l'appareil de Golgi. Ils se présentent sous la forme de vésicules contenant une quarantaine d'enzymes digestives dans un milieu acide. Ces enzymes servent à dégrader en formes simples, certaines formes complexes (macromolécules) que l'on trouve dans le cytosol.

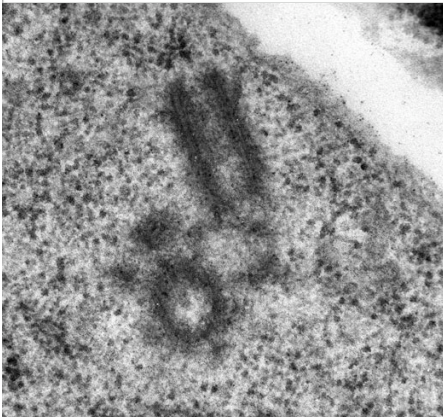
Ils permettent ainsi la neutralisation des bactéries, des virus et des toxines en général qui ont pénétré à l'intérieur de la cellule, entre autres par le transport en vrac.



Lysosomes entre le noyau et la membrane plasmique



CENTRIOLE - Les tisserands

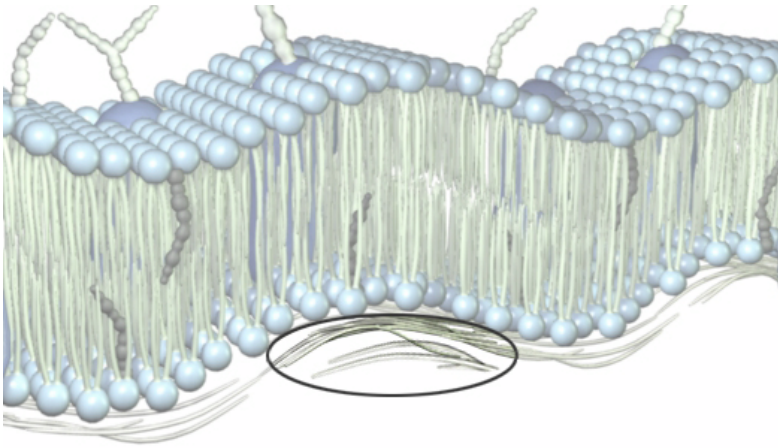


Paires de centrioles Robert Alain, SME,
INRS-Institut Armand-Frappier

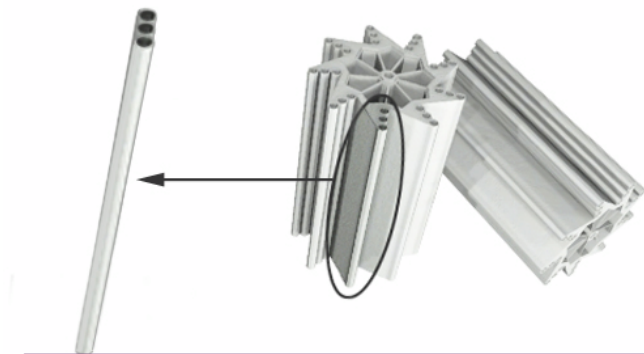
- Il y a une paire de centrioles par cellule. Ils sont situés près du noyau. Les deux centrioles d'une même paire sont placés perpendiculairement l'un par rapport à l'autre. On appelle « centrosome » chaque paire de centrioles. La structure cylindrique des centrioles est constituée de 9 triplets de microtubules disposés comme les branches d'une étoile.
- Au cours de la division cellulaire (mitose), le centrosome se divise pour former une deuxième paire de centrioles, lesquelles entrent en action. Ils régissent la formation d'un fuseau de division mitotique, les asters, permettant la migration des chromosomes aux pôles opposés de la cellule. Les centrioles produisent également les cils et les flagelles chez les cellules qui en sont pourvues.



MICROTUBULE - Le squelette cellulaire



- Les microtubules sont des structures cylindriques protéiques faisant partie du cytosquelette de la cellule. Ils servent au soutien de la cellule et lui confèrent sa forme tridimensionnelle. Ils participent aux mouvements intracellulaires et aux mouvements de la cellule elle-même, la diapédèse.
- Les microtubules forment également les centrioles, qui sont impliqués dans la mitose.



Détail d'un triplet de microtubules

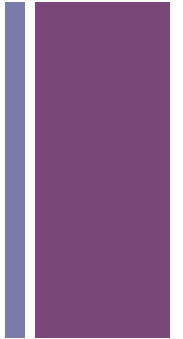


Synthèse des protéines

- Le fonctionnement de la cellule dépend de l'action de ses différentes protéines. C'est la cellule elle-même qui s'occupe de les produire. Plusieurs étapes se succèdent avant que l'information contenue dans l'ADN ne puisse être utilisée pour fabriquer des protéines.
- 1^{re} ÉTAPE : LA TRANSCRIPTION
La transcription est le processus par lequel un morceau particulier d'ARN, appelé « ARN messenger » (ARNm), est construit à l'aide d'une séquence d'ADN (qui constitue un gène) comme modèle. Contrairement aux molécules d'ADN, les molécules d'ARNm sont libres de sortir du noyau par les pores de la membrane nucléaire pour voyager dans le cytosol. C'est dans le cytosol que prend place l'étape suivante : la traduction.
- 2^e ÉTAPE : LA TRADUCTION
La traduction est le processus de fabrication d'une protéine en fonction de l'information fournie par la molécule d'ARNm. L'information contenue dans l'ARNm prend la forme de groupements de trois bases azotées, les codons, complémentaires aux triplets de bases de l'ADN.



Synthèse des protéines (suite)



- Chaque codon de l'ARNm code pour un acide aminé particulier. Les 20 acides aminés employés pour fabriquer les protéines ont au moins un codon correspondant à chacun d'entre eux.
- Certains codons spécifiques indiquent aux ribosomes quand et où commencer la synthèse d'une nouvelle protéine et quand la compléter.
- Les ribosomes assurent la synthèse des protéines. Ils s'attachent au brin d'ARNm et « lisent » la séquence de codons, commandant au fur et à mesure aux ARN de transfert (ARNt) les acides aminés appropriés pour synthétiser la protéine à mesure qu'ils font la lecture de l'ARNm. L'ordre des codons sur l'ARNm détermine la protéine à synthétiser.



Synthèse des protéines (suite)

Le code génétique

■ Code génétique

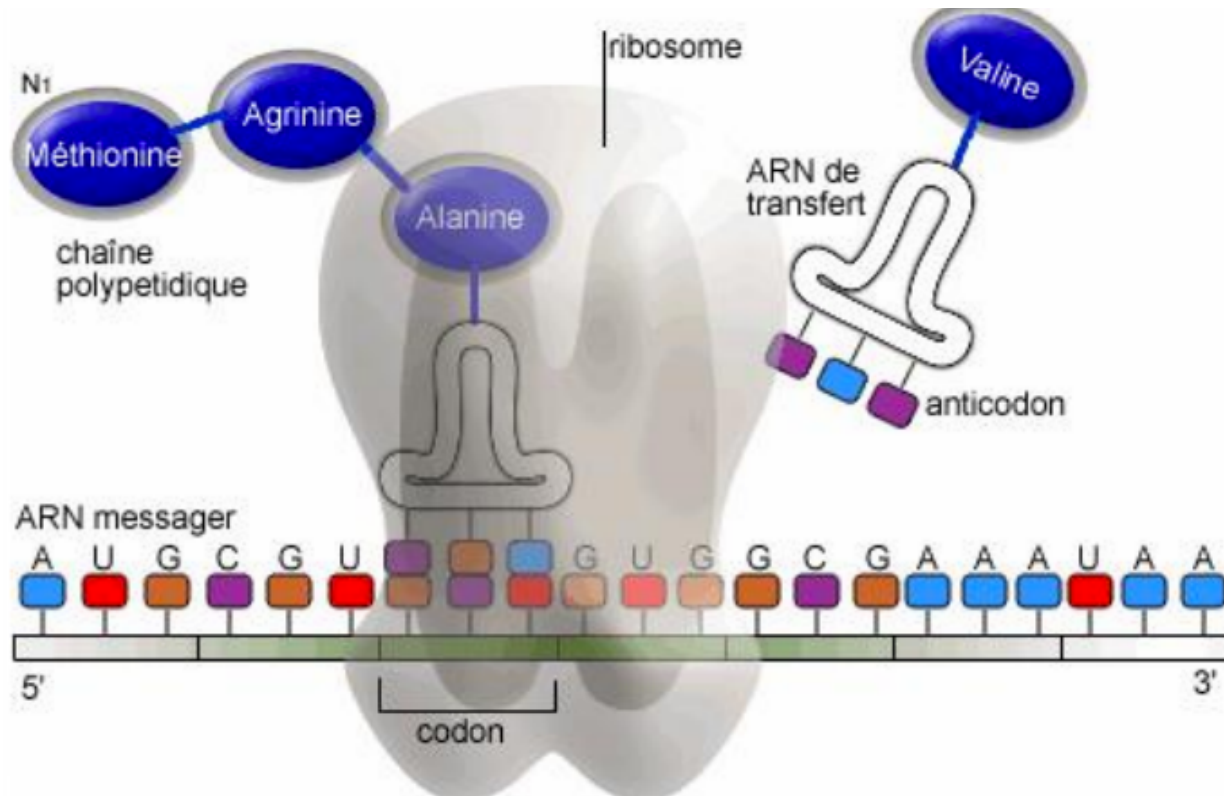
- Triplet de 3 bases = un codon
- Chaque codon code pour un acide aminé
- 22 acides aminés
 - Codon d'initiation = méthionine (Met)
- Triplets UAA, UAG et UGA = codons stop

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



Synthèse des protéines (suite)

- L'ARNt porte quant à lui une séquence de trois bases azotées, les anticodons, qui se lient en complément aux bases de l'ARNm. L'ARNt apporte l'acide aminé approprié après la « lecture » faite par le ribosome. Chaque ARNt se fixe temporairement au ribosome, le temps de libérer son acide aminé. Puis, il cède la place au suivant. Lorsque le ribosome arrive à l'un des codons signifiant l'arrêt de la traduction, il se détache de l'ARNm, libérant ainsi une protéine complète.

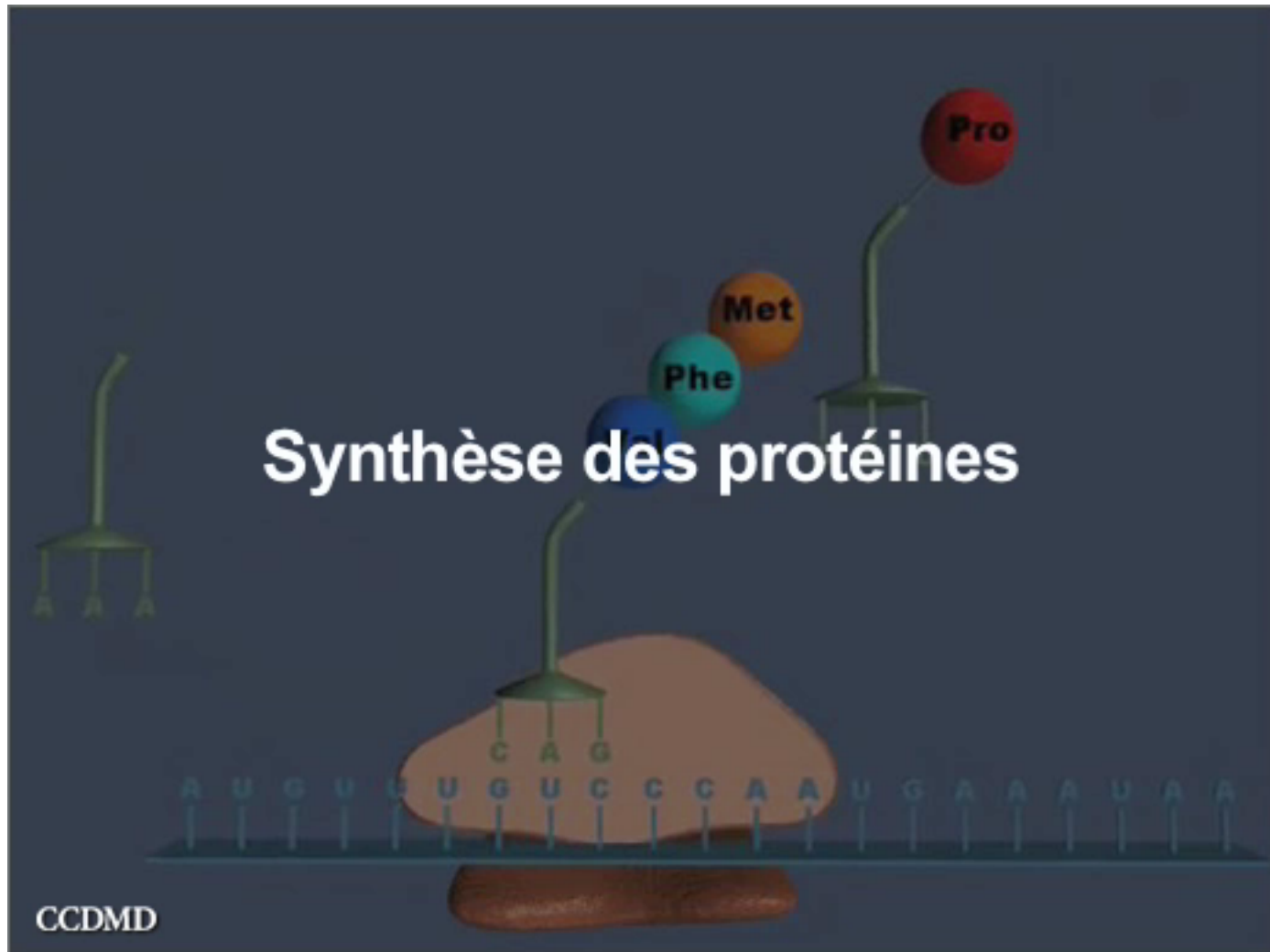




Synthèse des protéines (fin)

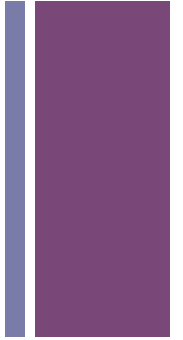
- La protéine synthétisée est entreposée temporairement dans le réticulum endoplasmique. Celui-ci envoie les molécules de protéines synthétisées vers l'appareil de Golgi par l'intermédiaire des vésicules de transport. L'appareil de Golgi trie, concentre et emballe les protéines dans des vésicules qui bourgeonnent à partir de sa surface.
- Il y a trois possibilités de destination pour les vésicules golgiennes selon ce qu'elles contiennent.
 1. Une vésicule contenant des enzymes digestives peut devenir un organite à part entière, qui est le lysosome.
 2. Une vésicule contenant des protéines qui sont destinées à l'exportation sécrète celles-ci à l'extérieur de la cellule par exocytose après avoir migré jusqu'à la membrane cellulaire. On parle alors d'une « vésicule de sécrétion ».
 3. Une vésicule contenant des protéines destinées à faire partie de la membrane cellulaire fusionne avec cette dernière.

+ Synthèse des protéines



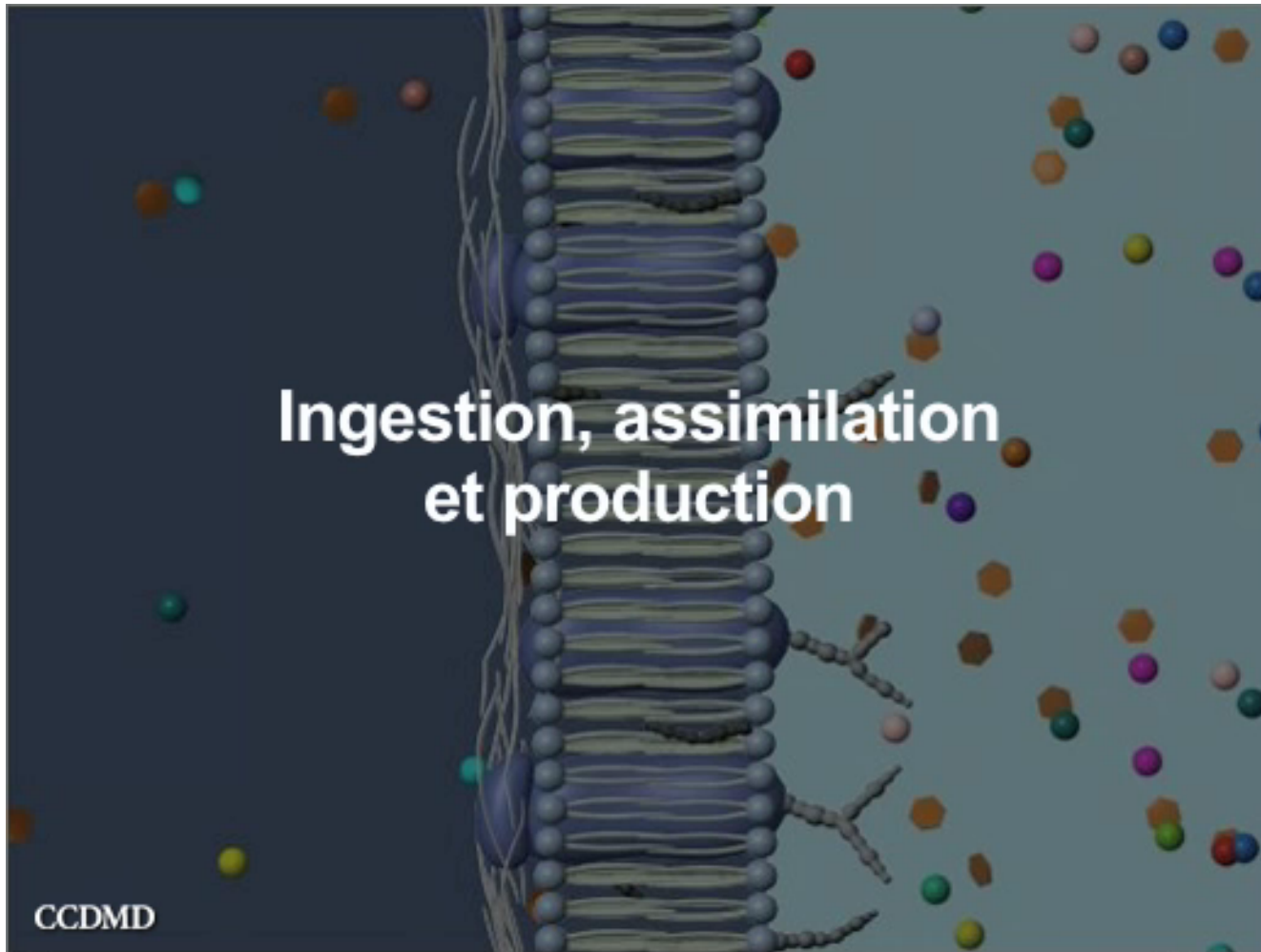


Introduction: Ingestion, assimilation, production



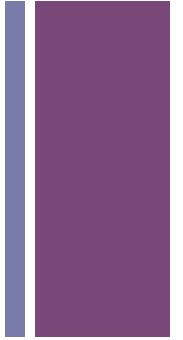
- Le vivant, sous sa forme la plus simple (une cellule) ou la plus complexe (un organisme), entretient différentes relations avec son milieu externe et son milieu interne
- Tout organisme vivant fonctionne selon les trois principes suivants : ingestion, assimilation et production
- Ainsi, un vivant prélève les éléments nutritifs contenus dans le milieu externe et les transforme selon ses besoins et son code génétique. Cette opération entraîne la production de substances qui peuvent, en retour, modifier l'environnement externe du vivant. Ces processus doivent fonctionner de façon harmonieuse pour maintenir la perpétuelle recherche d'équilibre dynamique du vivant, et ce, afin qu'il puisse conserver sa propre structure et s'auto-perpétuer pour la survie de l'espèce.

+ Principe d'ingestion, assimilation et production





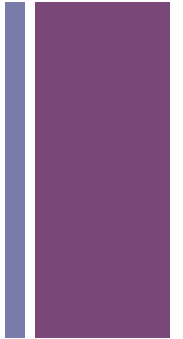
Ingestion



- Dans le milieu externe de la cellule, les substances nutritives existent sous forme complexe, car elles sont formées par la répétition d'un grand nombre de sous-unités. Les molécules sont dégradées en formes simples, c'est-à-dire en leurs plus petits constituants.
- Chez un être pluricellulaire, comme l'humain, la dégradation a lieu d'abord dans le système digestif. Ce processus se nomme l'hydrolyse.
- Les composés doivent traverser la membrane des cellules afin de passer du milieu extracellulaire au milieu intracellulaire et de devenir alors utilisables pour les cellules. Ce passage à travers la membrane se nomme l'ingestion.



Assimilation



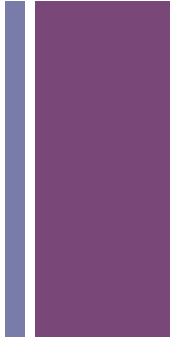
- Lorsque les éléments nutritifs sous forme simple ont été ingérés à l'intérieur de la cellule, celle-ci peut les métaboliser, c'est-à-dire les transformer de deux façons : soit par **catabolisme**, soit par **anabolisme**. Ces réactions métaboliques constituent le processus d'**assimilation**. Les enzymes permettant ces transformations diffèrent d'un type de cellule à un autre selon le code génétique contenu dans le noyau. Il en résulte des différences d'assimilation entre les cellules.
- Le **catabolisme** s'effectue dans le milieu interne par un processus de dégradation des formes simples ingérées, habituellement en présence d'oxygène. L'objectif final des réactions cataboliques est la fabrication d'énergie. Cette énergie est emmagasinée dans une molécule chimique (ATP) qui a l'avantage d'être utilisable sur demande et d'être transportable à l'intérieur de la cellule.

+ Assimilation (suite)

- **L'anabolisme** est un processus de synthèse permettant l'assemblage des formes simples ingérées en formes complexes dont la spécificité dépend du code génétique de chaque vivant. La synthèse des formes complexes spécifiques nécessite la présence d'énergie, laquelle provient des réactions cataboliques.
- Les protéines résultant des réactions anaboliques peuvent être regroupées en deux types en particulier :
 - a) les **protéines enzymatiques**, qui servent de catalyseur pour les réactions tant anaboliques que cataboliques,
 - b) les **protéines structurales**, qui servent à l'édification et au maintien de tous les tissus de l'organisme. Certaines protéines servent de messagers chimiques en tant qu'hormones.



Production

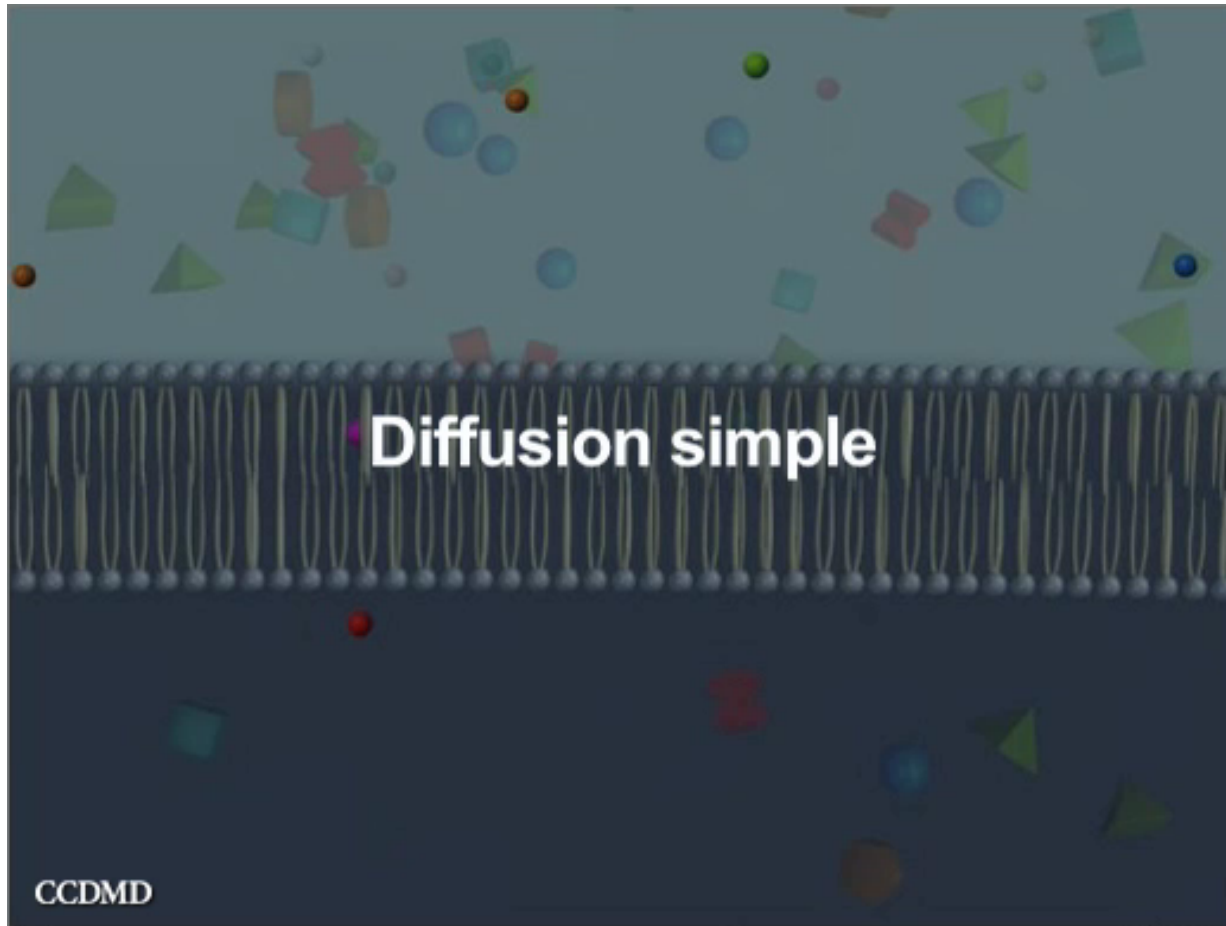


- Les molécules simples utilisées au cours des réactions cataboliques sont dégradées en plus petits composés, les métabolites. Il en résulte également la production de déchets, tel le dioxyde de carbone (CO_2). Ces métabolites peuvent être soit utilisés dans des réactions anaboliques, soit rejetés hors de la cellule s'ils ne peuvent lui être d'aucune utilité. On dit que les substances inutiles ainsi rejetées subissent un processus **d'excrétion**.
- Les molécules complexes fabriquées au cours des réactions anaboliques sont soit utilisées à l'intérieur de la cellule, soit réutilisées ailleurs dans l'organisme ou le milieu externe. On dit que les substances utiles ainsi rejetées subissent un processus de **sécrétion**.
- Ces deux processus, sécrétion et excrétion, constituent la production d'un vivant.



Processus essentiels à la vie

Transport passif: diffusion simple





Processus essentiels à la vie

Transport passif: diffusion simple

- Le transport passif se fait directement au travers de la bicouche de phospholipides (diffusion simple) ou en empruntant des canaux protéiques (diffusion facilitée). La membrane d'une cellule porte des milliers de ces canaux.

On appelle osmose la diffusion simple de l'eau à travers la membrane cellulaire.

- **Le transport passif ne requiert pas de dépense d'énergie (ATP)** de la part de la cellule. Les molécules traversent la membrane cellulaire par diffusion selon leur gradient de concentration, c'est-à-dire que leur mouvement se fait toujours de la zone de forte concentration de cette molécule vers la zone de concentration plus faible, et ce, jusqu'à l'atteinte d'un équilibre dynamique. Le déplacement des molécules est dû à l'énergie cinétique que leurs collisions entre elles produisent.



Processus essentiels à la vie

Transport passif: diffusion facilitée – canal protéique





Processus essentiels à la vie

Transport passif: diffusion facilitée – transport protéique





Processus essentiels à la vie

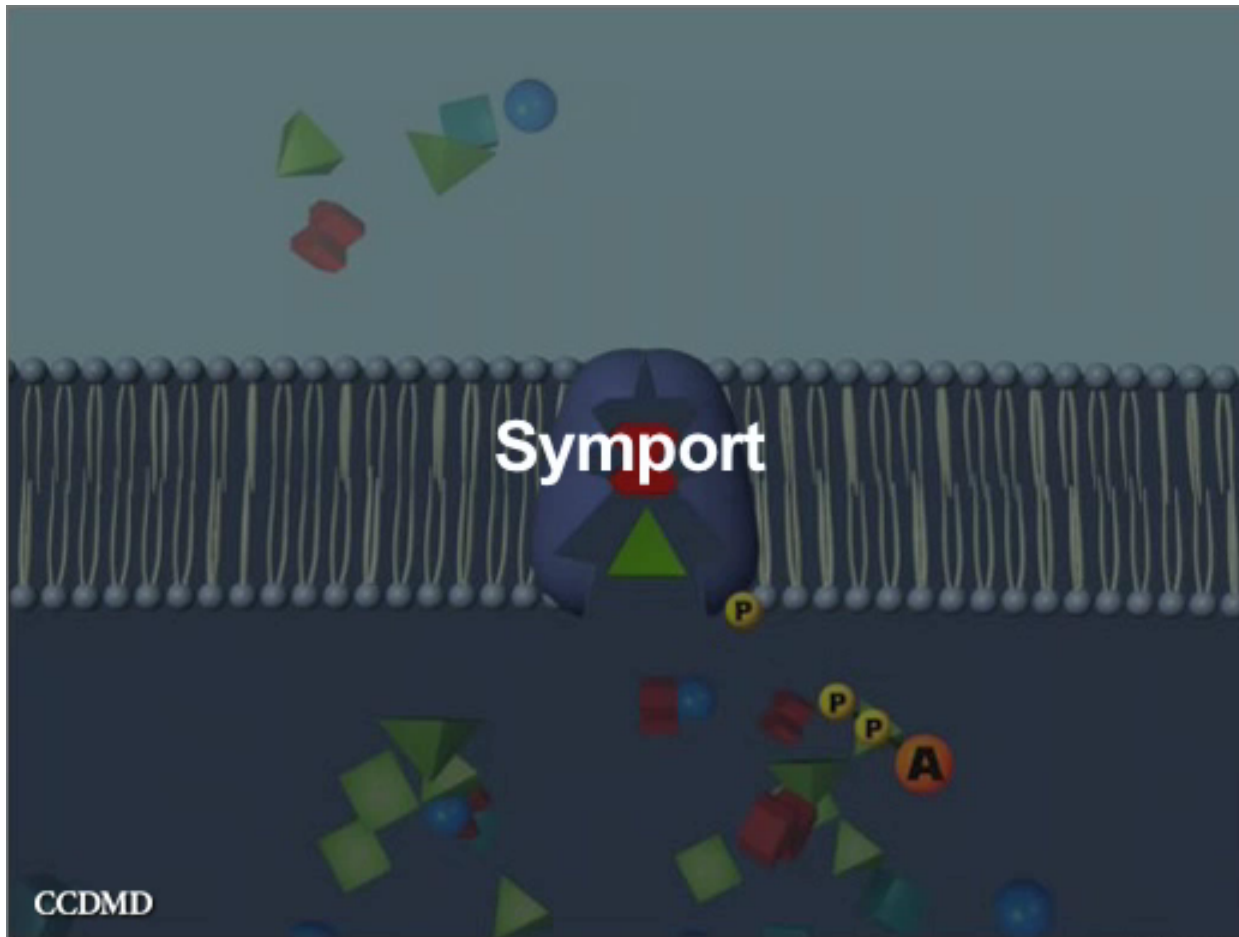
Transports actifs

- **Le transport actif requiert une dépense d'énergie (ATP)** de la part de la cellule. Ce déplacement de molécules au travers de la membrane peut se faire à l'encontre du gradient de concentration, c'est-à-dire de la zone de faible concentration dans cette molécule vers la zone de concentration plus élevée.
- Un des types de transport actif est l'utilisation de pompes protéiques; les molécules, pour ce faire, empruntent des protéines membranaires
- On appelle symport la protéine transmembranaire qui transporte en même temps deux molécules différentes dans la même direction.
- Il existe aussi des pompes protéiques de type antiport qui transportent une molécule vers l'intérieur et une autre, différente, vers l'extérieur. La pompe sodium-potassium en est un exemple : la protéine transmembranaire transporte en même temps deux molécules différentes dans des directions opposées, et ce, dans la proportion de deux potassiums qui entrent dans le cytoplasme pour trois sodiums qui sortent de la cellule.



Processus essentiels à la vie

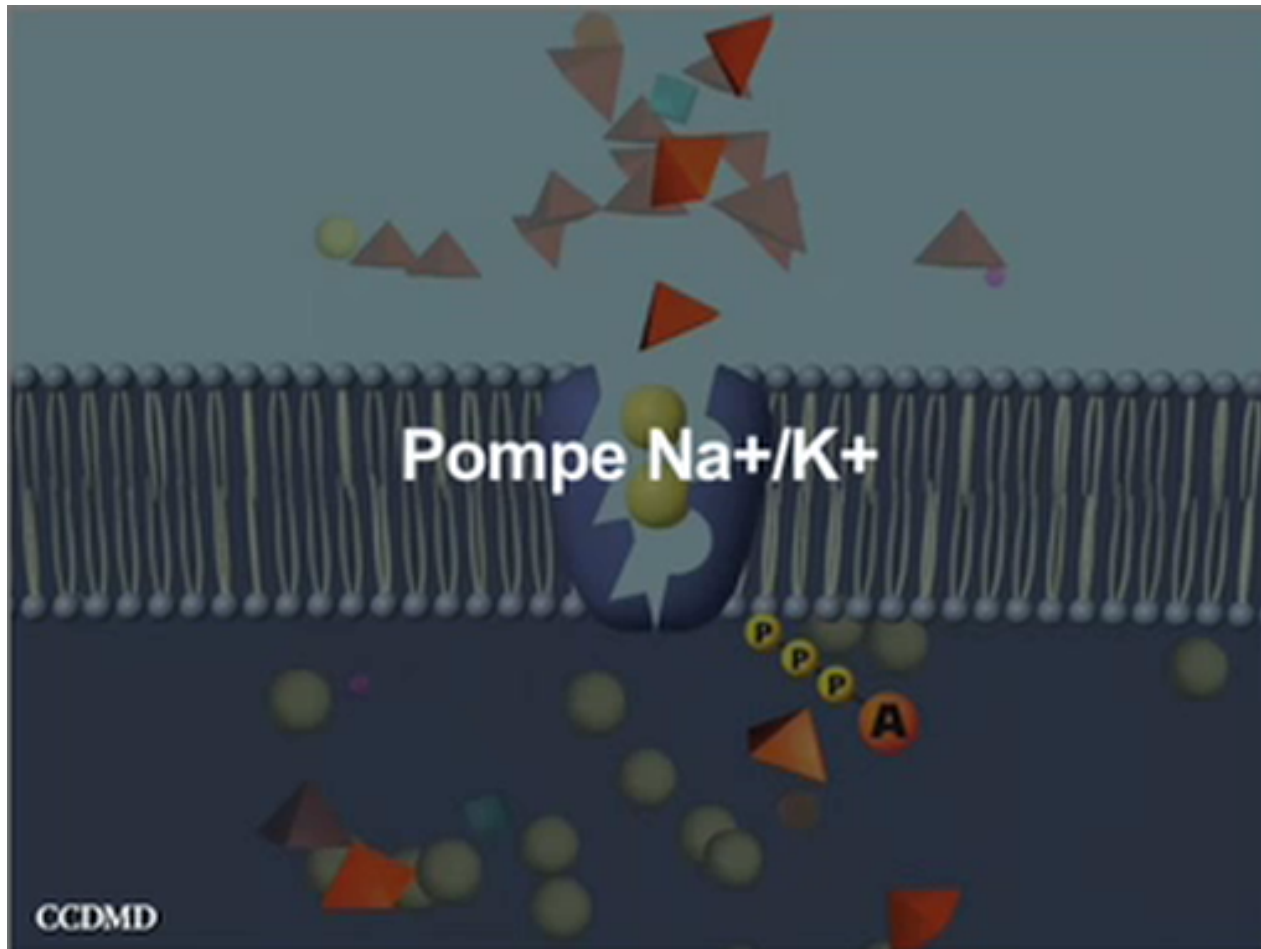
Transport actifs: pompe protéique





Processus essentiels à la vie

Transport actifs: pompe protéique





Transports actifs - endocytose

Phagocytose



- Le terme « phagocytose » signifie « cellule qui mange ». Les **grosses molécules** ne peuvent traverser directement la membrane cellulaire ou passer par des protéines membranaires. La membrane permet tout de même leur passage; elle se déforme et enveloppe la grosse particule à ingérer dans ses prolongements. Il en résulte une vésicule, le phagosome, qui, une fois formée, se détache de la membrane et se retrouve dans le cytoplasme. Il s'agit de transport actif, c'est-à-dire que la cellule dépense de l'énergie (ATP) pour actionner ce mécanisme. C'est de cette manière, par exemple, qu'un globule blanc élimine une bactérie dans le but de défendre l'organisme.



Transports actifs - endocytose

Phagocytose





Transports actifs - endocytose

Pinocytose

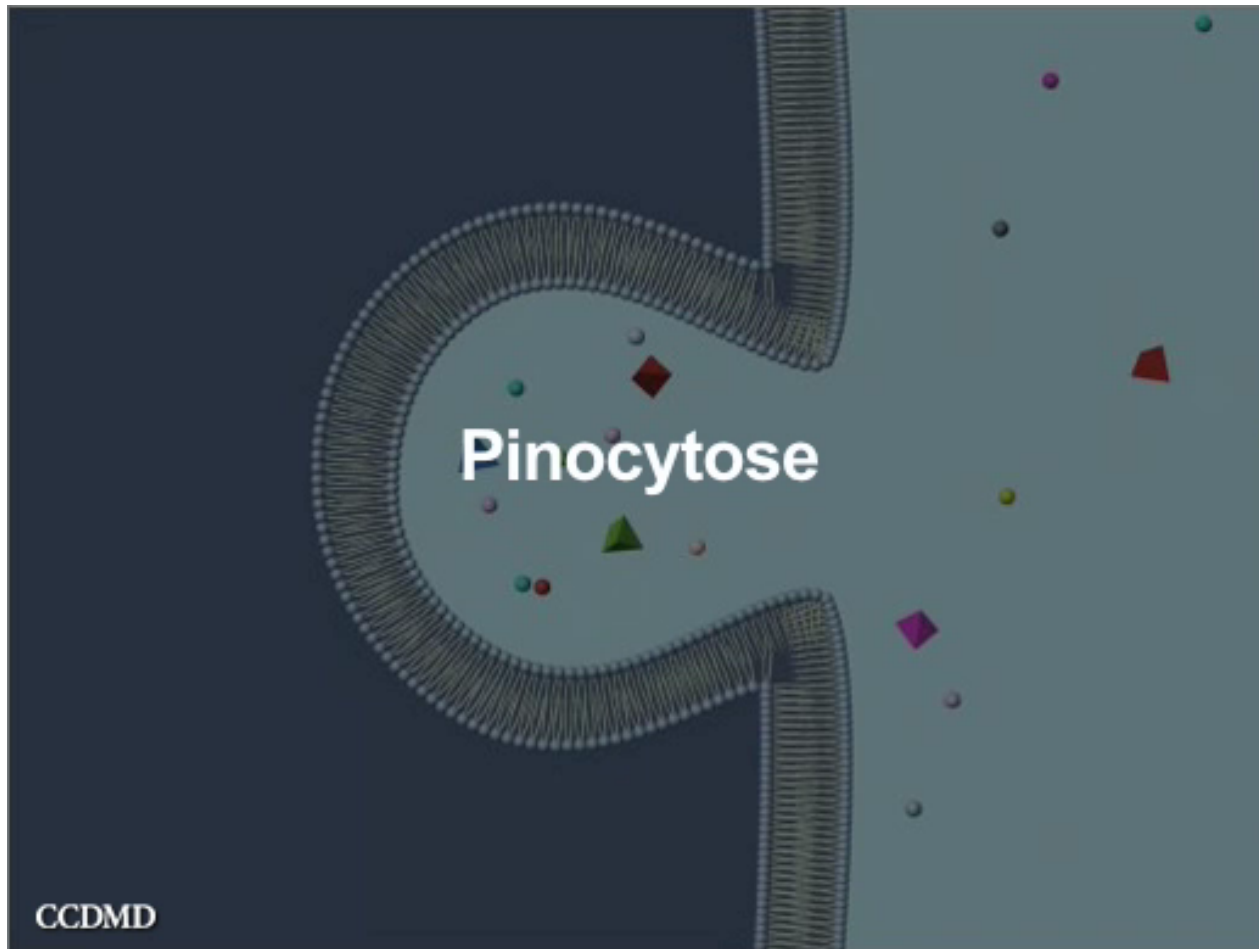


- Le terme « pinocytose » signifie « cellule qui boit ». La membrane cellulaire se modifie et forme un repli. Elle capture ainsi une gouttelette de liquide interstitiel contenant différentes petites molécules dissoutes. Il en résulte une vésicule qui, une fois formée, se détache de la membrane et se retrouve dans le cytosol. Il s'agit de transport actif, c'est-à-dire que la cellule dépense de l'énergie (ATP) pour actionner ce mécanisme. C'est entre autres par pinocytose que les cellules de l'intestin absorbent les nutriments résultant de la digestion.



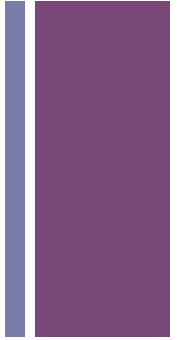
Transports actifs - endocytose

Pinocytose



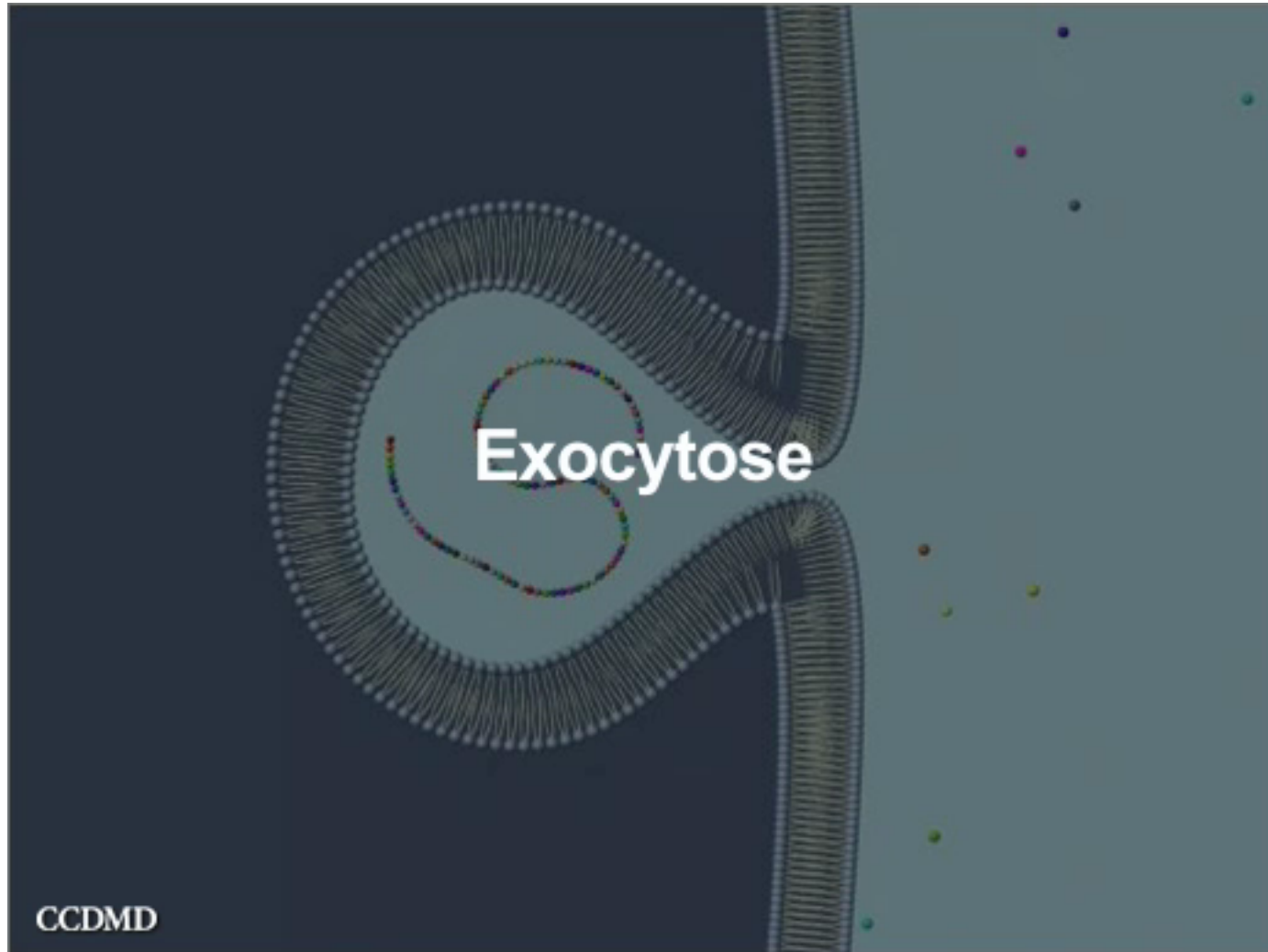


Transports actifs - exocytose

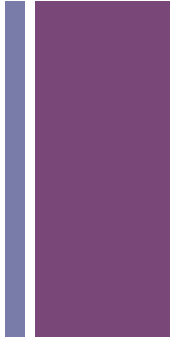


- Les protéines synthétisées dans une cellule sont de grosses molécules qui, étant donné leur taille, ne peuvent traverser directement la membrane cellulaire. L'exocytose permet la sécrétion de telles molécules.
- La vésicule contenant les molécules à sécréter parvient à la périphérie de la cellule, où elle fusionne à la membrane pour ensuite libérer son contenu à l'extérieur. Une vésicule de sécrétion contient des milliers d'exemplaires de la molécule à sécréter. La cellule dépense de l'énergie (ATP) pour actionner ce mécanisme, il s'agit donc de transport actif

+ Transports actifs - exocytose



+ Outils pédagogiques



◆ Internet: Wikipedia -> Portail de la biologie

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Portail:Biologie>

■ Bibliographie

■ Biologie Moléculaire et Médecine

Jean-Claude Kaplan et Marc Delpech, MS/Flammarion

■ Molecular Biology of the Cell

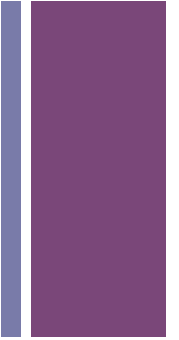
Alberts, Jhonson, Lewis, Raff, Roberts and Waler, 4th edition, Garland Science

■ Biologie *Campbell*

Campbell, 3^{ème} édition, De Boeck – Wesmael

-> 9^{ème} édition, Pearson Education

+ Slides supplémentaires



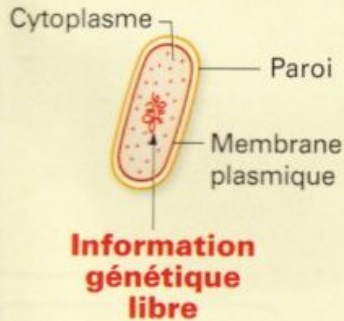


Cellules procaryotes et eucaryotes

Organisation cellulaire (membrane plasmique et cytoplasme)

Absence de noyau
et d'autres organites
limités par
une membrane

Cellule procaryote

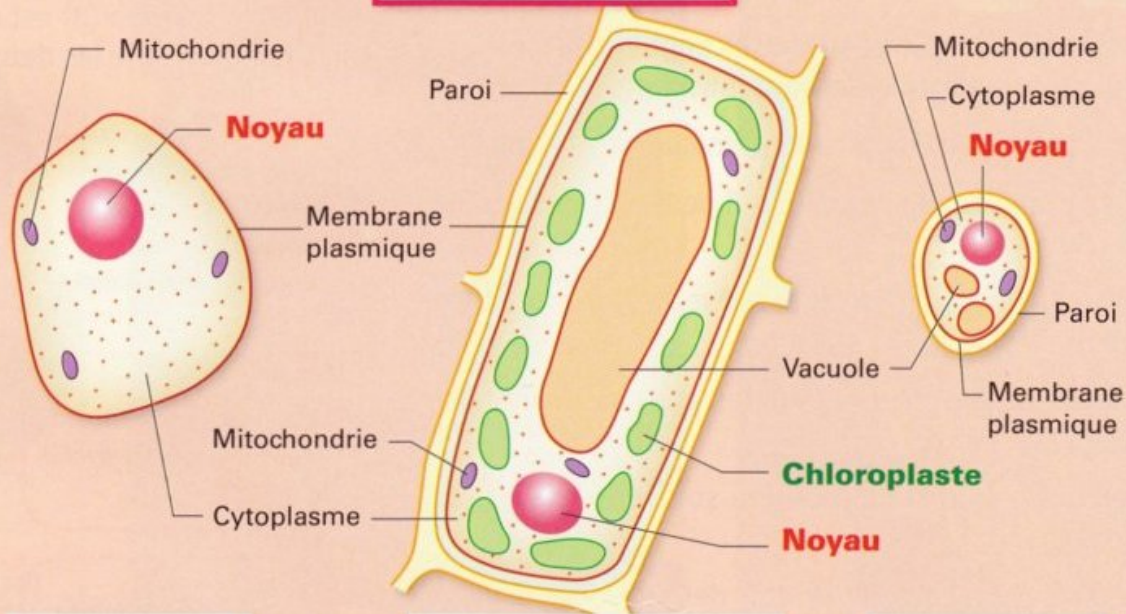


Bactérie

(2 μm)

Présence d'un noyau et d'autres organites limités par une membrane

Cellule eucaryote



Cellule buccale
d'homme

(40 μm)

Cellule chlorophyllienne
de feuille

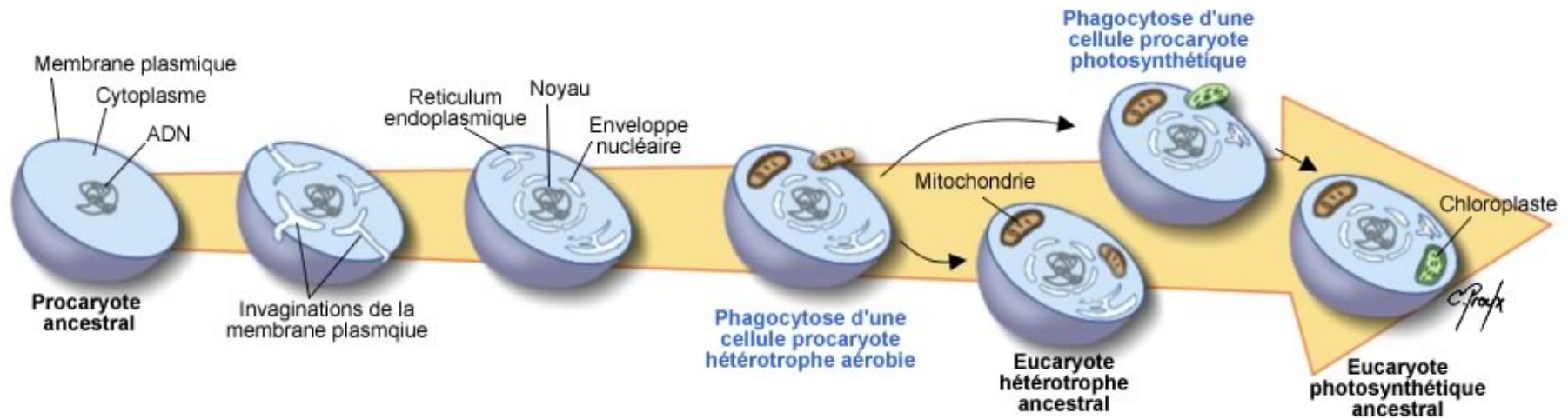
(150 μm)

Levure
(champignon)

(5 μm)



Evolution de la cellule procaryote à la cellule eucaryote



- La cellule procaryote a évolué pour devenir une forme plus complexe de cellule qu'est la cellule eucaryote