

Chapitre 2 : ORGANISATION GENERALE DE LA CELLULE

Plan du cours

1. Définition de la cellule
2. La cellule eucaryote
3. La cellule procaryote
4. La dimension des cellules
5. Les niveaux d'organisation des cellules
6. Les cellules souches et les cellules différenciées

Objectifs du cours

- Définir la notion de cellules
- Comprendre les différences fondamentales entre cellules eucaryote et procaryotes
- Maîtriser les notions de cellules souches et de cellules différenciées

Introduction

L'organisation d'un être pluricellulaire repose sur une hiérarchie de niveaux structuraux, chacun s'édifiant à partir d'un niveau inférieur. Les atomes s'agencent en molécules complexes qui à leur tour forment des structures fonctionnelles appelées organites, qui sont les composants des cellules.

Chez les organismes pluricellulaires, des cellules semblables se regroupent en tissus dont les arrangements particuliers forment les organes. Ces organes s'associent en systèmes pour assurer une fonction précise afin de permettre la survie d'un organisme.

A chaque niveau d'organisation apparaissent de nouvelles propriétés résultant des interactions, et donc de la communication entre les éléments. Un organisme représente donc une entité plus grande que la somme de ses composants.

Le monde vivant actuel est le résultat de processus évolutifs qui ont débuté il y a quelques milliards d'années, par la formation de molécules organiques à partir de quelques atomes de carbone, d'hydrogène et d'oxygène.

Un assemblage judicieux et la capacité de communiquer ont abouti à la première cellule. Cette cellule occupe une place privilégiée dans la hiérarchie de l'organisation car elle est capable d'assurer toutes les activités liées à la vie et permettant sa croissance et sa reproduction.

Mais une cellule n'existe pas seule : elle est dépendante de son environnement avec lequel elle interagit continuellement.

1. Définition de la cellule

Une cellule est une unité structurale et fonctionnelle, capable de survivre et de se reproduire de manière autonome. Elle possède tous les outils lui permettant de s'adapter à un environnement en perpétuel changement. Le contraste est étonnant entre sa taille (microscopique) et son intense activité. Cette activité est due à la grande diversité de leurs organites et de leurs molécules ainsi qu'à leur spécialisation fonctionnelle.

NB : Les virus, ou acaryotes, sont des éléments acellulaires (et non des cellules) qui ne possèdent ni de noyaux ni de cytoplasme et ne peuvent se reproduire qu'en parasitant une cellule hôte en détournant la machinerie cellulaire.

Les cellules ne sont pas construites sur le même schéma, elles ont des architectures très différentes les unes des autres. Les biologistes distinguent deux types fondamentaux de cellules selon qu'elles possèdent ou non un noyau :

- Les procaryotes dont l'ADN est libre dans le cytoplasme (les bactéries, par exemple). Ce sont des cellules primitives, qui sont apparues en premier au cours de l'évolution, il y a 3,5 milliards d'années. Ce groupe se subdivise en deux autres : celui des eubactéries et celui des archéobactéries.
- Les eucaryotes qui ont une organisation complexe (animaux, végétaux, champignons), apparaissent 2 milliards d'années plus tard. Ils renferment de nombreux organites et dont l'ADN est enfoui dans le noyau entouré d'une membrane nucléaire.

2. La cellule eucaryote

Les cellules eucaryotes présentent une organisation de base commune ainsi que des particularités leur permettant d'assurer leurs fonctions spécifiques. Elles sont toujours le siège de transferts d'énergie en leur faveur, grâce à leur équipement enzymatique, et utilisent à leur profit les conditions environnementales favorables.

Toutes les cellules nucléées sont délimitées par une **membrane plasmique** qui intervient dans les échanges et la reconnaissance intercellulaire, et forme des compartiments remplis de **cytosol** dans lequel baignent des organites assurant des fonctions précises.

La **paroi cellulosique**, quand elle existe (végétaux), est composée de polysaccharides, principalement la cellulose.

Le **noyau**, délimité par une enveloppe percée de pores, renferme les molécules d'acide désoxyribonucléique ou ADN porteuses de l'information génétique de l'individu. Les fonctions du noyau sont la réplication de l'ADN indispensable à la division cellulaire et au renouvellement tissulaire, la transcription et la maturation de l'acide ribonucléique ou ARN, messenger de l'information génétique au niveau du cytoplasme et support de la synthèse protéique.

Les **ribosomes** libres ou associés au réticulum endoplasmique sont des outils de la traduction, c'est-à-dire la synthèse de chaînes peptidiques selon l'information portée par l'ARN messenger et traduite par le code génétique.

Le **réticulum endoplasmique** et l'**appareil de Golgi** assurent la synthèse et le transport des molécules. Leurs membranes sont particulièrement riches en enzymes catalysant les synthèses protéiques et lipidiques et la formation de molécules complexes (glycoprotéines, glycolipides, lipoprotéines).

Les **mitochondries** sont les organites responsables de la production d'énergie sous forme de molécules d'adénosine triphosphate ou ATP, constituent des réserves d'ions calcium (Ca^{2+}) et

interviennent dans une partie du cycle de l'urée. Elles possèdent un génome codant pour certaines protéines membranaires fonctionnelles.

Le **cytosquelette** assure le maintien de la forme de la cellule et les mouvements cellulaires.

Les **chloroplastes** sont présents dans les plantes et les algues (organismes photosynthétiques). Ils convertissent l'énergie lumineuse du Soleil en énergie chimique utilisée pour fabriquer des sucres à partir de dioxyde de carbone (phase sombre de la photosynthèse). Ils contiennent également de l'ADN. Ils sont dérivés de cyanobactéries qui sont devenues symbiotiques.

Lysosomes ou Peroxysomes, organites intracellulaires qui, renfermant des enzymes hydrolytiques, sont responsables de la lyse cellulaire c'est à dire la dissolution d'éléments organiques (tissus, cellules, micro-organismes) sous l'action d'agents physiques, chimiques ou enzymatiques.

De nombreuses cellules animales comportent à un de leurs pôles une paire de **centrioles (diplosome)**. Ce sont des corpuscules cylindriques formés de tubules groupés par trois. Généralement situés près du noyau, ils constituent avec le cytoplasme environnant le centrosome et jouent un rôle essentiel lors de la division cellulaire. Ainsi ils forment les pôles qui permettront la division cellulaire ; en général absent chez les plantes.

Vacuoles, enclaves inertes, parfois limitée par une membrane, présente à l'état physiologique ou pathologique dans le cytoplasme d'une cellule ou d'un organisme unicellulaire (bactérie, hématozoaire) et pouvant contenir des substances diverses.

Le corps humain est formé de 75×10^{12} cellules. Les cellules sont adaptées à la réalisation de leur fonction. Il en existe 200 types différents, aux formes, tailles et fonctions diverses. Par exemple, les cellules sécrétrices pancréatiques présentent une ultrastructure riche en réticulum endoplasmique et appareil de Golgi (Figure 1), alors que les cellules musculaires striées ont un cytosquelette développé assurant la contraction mécanique. C'est le principe de la **relation structure-fonction** : la structure induit la fonction de même que la fonction peut modifier la structure dans certaines conditions.

3. La cellule procaryote

Les premières formes de vie, apparues il y a quelque 3,5 milliards d'années, étaient des **cellules procaryotes**, dépourvues de systèmes membranaires intracellulaires clos, dont les bactéries actuelles sont les représentantes. Leur petite taille et leur structure relativement simple limitent le nombre d'activités métaboliques pouvant se dérouler simultanément. La sélection naturelle a favorisé pour certains Procaryotes l'acquisition de niveaux de complexité croissants. La différenciation d'un réseau endomembranaire caractérisant les **Eucaryotes (cellules animales, cellules végétales, les champignons)** et se traduisant par l'apparition d'organites spécialisés dans un petit nombre de fonctions précises a considérablement augmenté l'efficacité du métabolisme cellulaire.

Pendant longtemps, procaryote a été synonyme de bactérie, jusqu'à la découverte en 1977 d'un type cellulaire nouveau grâce aux travaux de biologie moléculaire de Carl Woese (professeur à l'Université de l'Illinois à Urbana, États-Unis) et George Fox, de toute évidence procaryote,

mais qui ne sont pas des bactéries. Les bactéries ont donc été renommées **eubactéries** (vraies bactéries) et ce nouveau type cellulaire **archéobactérie**.

Les archéobactéries partagent avec les eubactéries la possession d'un chromosome circulaire unique et l'absence de cytosquelette. Mais elles comportent aussi des caractères eucaryotes tels que les gènes en mosaïque et une structure génétique semblable. Ces caractéristiques intermédiaires les ont fait considérer comme les ancêtres des deux groupes. Toutefois, elles disposent de particularités originales, leur membrane notamment est constituée de lipides retrouvés nulle part ailleurs dans le monde vivant. La principale caractéristique des archéobactéries, à l'origine de leur popularité, est leur capacité à survivre dans les milieux extrêmes, bien que la plupart d'entre elles vivent dans des milieux plus cléments. Ainsi distingue-t-on les :

- Les **Halobactéries ou halophiles extrêmes** : qui vivent dans des eaux très acides (pH < 1) ou très salées (mer morte) ;
- Les **Thermophiles extrêmes** : retrouvés en milieux très chauds (> 120C°) tels que les sources chaudes sulfureuses volcaniques, ou très froids (< 0C°) tels que les zones sous-marines ;
- Les **Bactéries méthanogènes** : anaérobies strictes et produisant du CH₄, retrouvées dans des eaux stagnantes et dans le tractus de nombreux animaux.

3.1. Les bactéries

La membrane plasmique a une structure classique de bicouche lipidique relativement riche en protéines mais dépourvue de cholestérol. Elle est entourée d'une paroi rigide de peptidoglycanes.

La composition du cytosol est comparable à celle des cellules eucaryotes. Ce dernier assure toutes les fonctions remplies par le cytoplasme des cellules eucaryotes, mais également par le nucléoplasme ou le stroma des organites (mitochondries et chloroplaste). On y trouve des ribosomes nombreux qui lui donnent un aspect granuleux.

Le chromosome bactérien ne comporte pas de protéines, est replié sur lui-même et sa base est reliée à un ensemble protéique, le **core**, qui est fixé à la membrane plasmique. L'ensemble forme le **nucléoïde**. Les gènes peuvent se regrouper en unités fonctionnelles appelées **opérons**. Le génome est en plus porté par de petites molécules d'ADN circulaire, les plasmides, dont les séquences toutes codantes sont répétitives. Ces plasmides ne sont pas indispensables à la vie de la cellule mais portent toutefois certains gènes intéressants, comme ceux permettant de résister aux antibiotiques. Ils peuvent également, dans certaines conditions environnementales s'intégrer de façon réversible au chromosome circulaire. Certains procaryotes possèdent un plasmide particulier, le plasmide F, qui permet le phénomène de conjugaison pouvant être assimilé à une sexualité primitive. Ce plasmide se duplique et la copie est transmise à un autre Procaryote de la même espèce à l'aide d'une excroissance de la membrane plasmique qui établit un pont cytoplasmique entre les deux cellules.

Certains procaryotes ont un flagelle leur permettant de se déplacer activement, plutôt que de dériver passivement.

Remarque : le génome des bactéries présente une plasticité qui leur permet de s'adapter aux modifications de leur environnement.

Exemple : La synthèse de certaines enzymes est induite par la présence de substrat. Une telle induction existe chez *E. coli* dans le système de l'opéron lactose. Si le milieu est dépourvu de lactose, un répresseur se fixe sur les portions d'ADN codant l'enzyme catalysant l'hydrolyse du lactose, la β -galactosidase. Si le lactose est présent, l'affinité du répresseur pour le gène codant la β -galactosidase diminue fortement et la synthèse protéique se réalise.

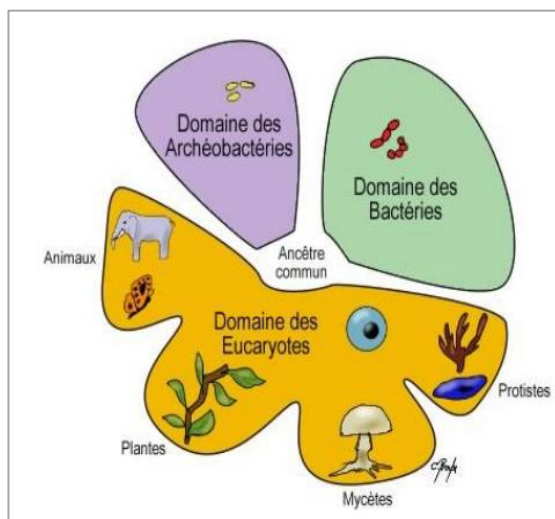


Fig.1 : Plan d'organisation des cellules.

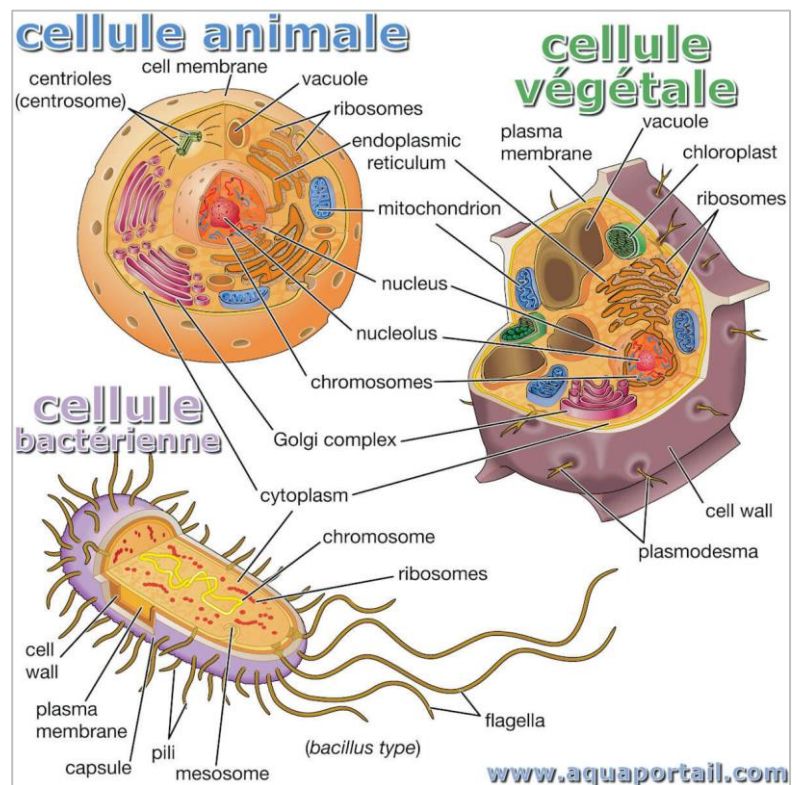


Fig.2 : Schémas es différents types de cellules.

3.2. Différents types de bactéries

Une technique de coloration mise au point au début du XX^e siècle par Gram permet de distinguer deux grandes classes de bactéries :

- les bactéries présentant une paroi épaisse nommées **Gram+** (Ex des *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Listeria*) ;
- les bactéries **Gram-** présentant une paroi peu épaisse et une membrane externe supplémentaire riche en lipopolysaccharides (Ex de *Escherichia coli*, Entérobactéries, Mycobactéries, *Neisseria*, *Rhizobium*).

La coloration de Gram : Après fixation des bactéries sur une lame microscopique, on traite la préparation par du violet de gentiane puis on mordance par du Lugol. A ce stade, toutes les bactéries apparaissent violettes. La préparation est alors lavée avec de l'alcool qui décolore les seules bactéries à paroi fine qui deviennent alors invisibles.

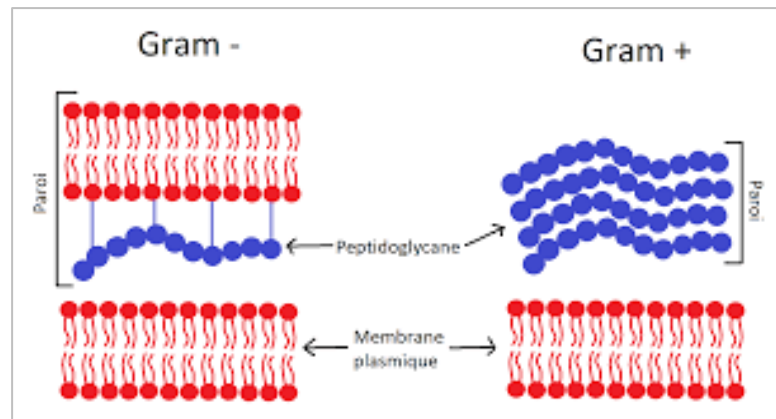


Fig.3 : Comparaison bactérie Gram+ et bactéries Gram-.

Outre les bactéries Gram- et Gram+, on retrouve aussi :

Les mycoplasmes : ce sont des bactéries naines, d'un diamètre de 100 à 400 μm , non visibles au microscope optique. Les mycoplasmes ou PPLO (Pleuropneumonie- like organisme) sont des bactéries pathogènes de l'appareil respiratoire humain. Ce sont les cellules les plus simples actuellement connues. Elles sont entourées par une paroi externe réduite, souple qui confère à ces cellules une forme aléatoire sans rigidité. La membrane des mycoplasmes contient une quantité notable de cholestérol, absent chez les autres procaryotes bactériens. Ils sont largement répandus dans la nature, chez l'animal, les insectes et les plantes. Chez l'homme, la plupart des espèces qu'on isole sont commensales ou occasionnellement pathogènes. On ne rencontre chez l'homme que les genres *Mycoplasma* et *Ureaplasma*, qui sont isolés de deux sites principaux :

- Appareil respiratoire : on y trouve *Mycoplasma pneumoniae*, qui n'est pas un commensal, ainsi que *Mycoplasma orale* et *Mycoplasma salivarium*.
- Voies génitales : on y rencontre *Ureaplasma* et *Mycoplasma genitalium*, *Mycoplasma hominis* et *Mycoplasma fermentans*.

Les Cyanophycées : connues également sous le nom de cyanobactéries ou algues bleues, sont des êtres vivants photosynthétiques unicellulaires vivant en colonies. Elles possèdent un cytoplasme pourvu d'un appareil chlorophyllien qui se compose de lamelles membranaires, analogues aux thylakoïdes des chloroplastes. Ces membranes sont associées à un pigment photosynthétique sensible à la lumière, la phycocyanine, qui rend ces cellules aptes à une vie autotrophe.

4. La dimension des cellules

La taille et la forme des cellules sont d'une variabilité extrême. Les plus petites, sont les mycoplasmes. Ces cellules procaryotes ont un diamètre de 100nm.

Les bactéries ont des diamètres supérieurs à 500 nm et peuvent, lorsqu'elles sont filamenteuses, atteindre des longueurs de l'ordre de 20 μm .

Chez les protozoaires, les euglènes ont un diamètre de 120 μm , les amibes, en particulier *Amoeba proteus*, ont une longueur de 1 mm.

Chez les mammifères, le diamètre de la plupart des cellules est compris entre quelques microns et quelque dizaine de microns (hématies, 07 μm , leucocytes humains, de 10 à 20 μm , cellules épithéliales, 20 μm).

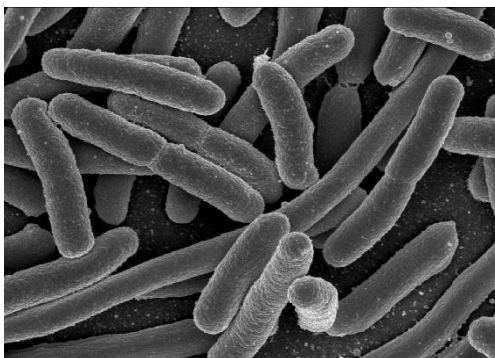
Chez les oiseaux, certaines cellules sont particulièrement grandes (œuf d'autruche : 4 à 6 cm, cellules nerveuses motrices chez la girafe dont l'axone peut mesurer plus de 03 m de longueur).



Staphylocoques



Streptocoques



Escherichia coli



Neisseria gonorrhoeae



Mycoplasma pneumoniae



Cyanophycée

Fig.4 : Différents types de bactéries.

5. Les niveaux d'organisation des cellules

Selon un niveau d'organisation structurale de plus en plus élaboré, les cellules se regroupent d'abord pour former les **tissus**. Chez un organisme animal, il existe quatre types de tissus qui sont le tissu épithélial, le tissu musculaire, le tissu conjonctif et le tissu nerveux. Chez les végétaux par contre, on distingue les tissus végétaux simples (parenchyme, collenchyme, sclérenchyme) qui sont des tissus de soutien et de réserve et les tissus végétaux complexes (xylème, phloème) qui constituent le système vasculaire de la plante.

Remarque : Les cellules animales se maintiennent organisées en tissus grâce à des molécules d'adhérence, ce qui nécessite des systèmes de reconnaissance entre les cellules et entre les cellules et la matrice extracellulaire. Les molécules impliquées sont intracellulaires (cytosquelette), de surface ou appartiennent à la matrice. On les appelle CAM (Cell Adhesion Molecule).

La réunion des tissus forme des **organes** au niveau desquels se réalisent des processus physiologiques complexes.

Les organes font partie de **systèmes** spécialisés assurant des fonctions précises dans le but d'assurer la survie de l'organisme

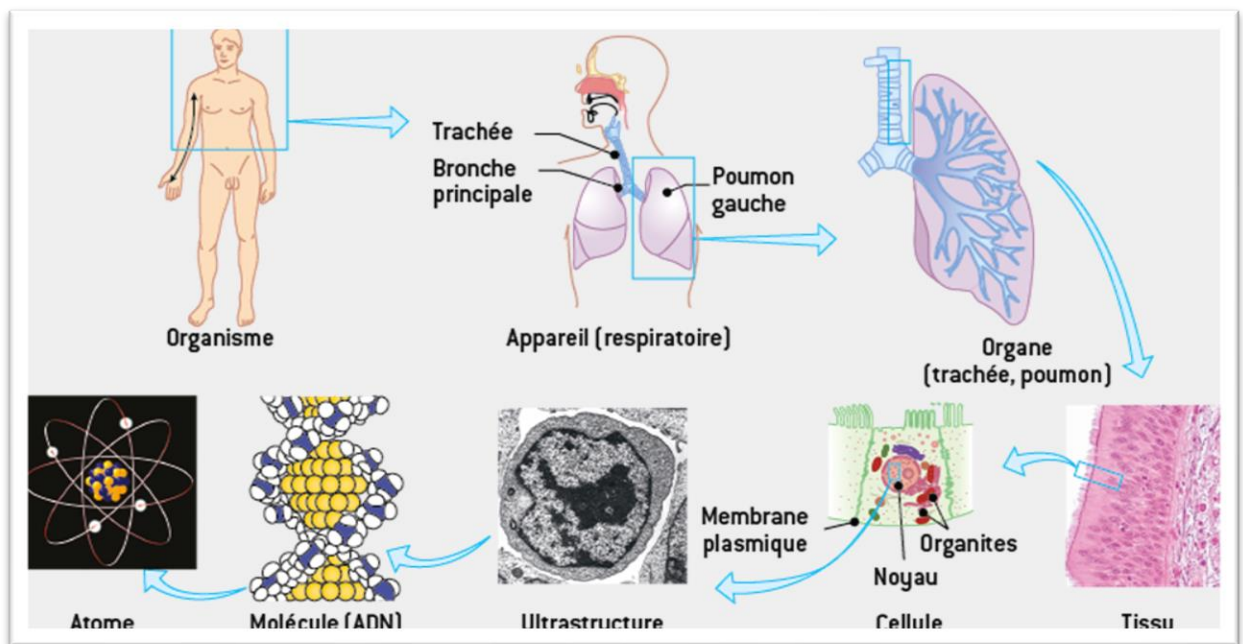


Fig.5 : Les niveaux d'organisation des cellules.

Les organismes cellulaires peuvent être constitués d'une seule cellule. Ils sont alors dits **organismes unicellulaires** (Protozoaires et Protophytes). Ex: bactéries, amibes, plasmodies, euglène. Ils vivent alors isolés ou en colonies.

Les **organismes pluricellulaires** (métazoaires et métaphytes) sont constitués de plusieurs cellules spécialisées fonctionnant de façon cohérente.

La classification traditionnelle en cinq règnes a été ramenée en l'état actuel des recherches à 3 domaines du vivant : Eucaryotes – Eubactéries – Archéobactéries • les procaryotes (bactéries et archéobactéries ou cyanobactéries dépourvues de noyau) • les protistes (eucaryotes unicellulaires) • les champignons (eucaryotes pluricellulaires hétérotrophes qui décomposent) • les végétaux (eucaryotes pluricellulaires, réalisant la photosynthèse) • les animaux (eucaryotes pluricellulaires hétérotrophes qui ingèrent).

6. Notions de cellules souches et de cellules différenciées

Après la fécondation, la cellule œuf obtenue, destinée à devenir un organisme à part entière, est une **cellule totipotente**, c'est-à-dire capable de se transformer en n'importe quelle cellule spécialisée. Durant les premiers stades de la vie embryonnaire se réalisent d'importantes manipulations cellulaires, aboutissant à la formation de trois feuillets embryonnaires primitifs : l'ectoderme, le mésoderme et l'endoderme. C'est la **gastrulation**.

L'ectoderme est à l'origine des structures du système nerveux et de l'épiderme. L'endoderme formera les muqueuses des systèmes digestif, respiratoire et génito-urinaire, ainsi que les glandes associées à ces muqueuses. Le mésoderme donnera naissance à presque toutes les autres structures.

L'organogenèse correspond à la formation des organes et des systèmes. A huit semaines de développement, tous les systèmes de l'adulte sont présents dans un embryon devenu fœtus, mesurant 2,2 cm de la tête aux fesses.

Ces premiers stades du développement sont la conséquence de la différenciation cellulaire, de la communication intercellulaire et de la migration cellulaire.

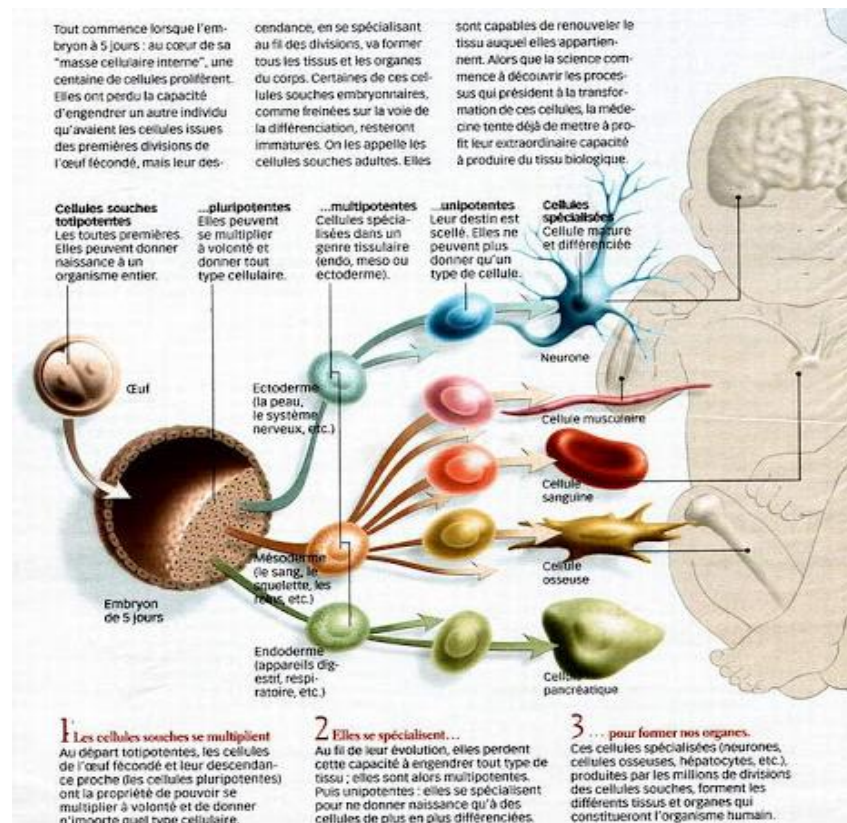


Fig.6 : Exemple de différenciation cellulaire dans le règne animal

Annexe 1 : Tableau comparatif des cellules procaryotes et eucaryotes

Caractéristiques	Cellule procaryote	Cellule eucaryote
Taille	Généralement petite (1-10µm)	Généralement grande (10-100µm)
Cytosquelette	Absent	Présent
Organites	Absent	Présents
Système génétique	Absence de Noyau ADN avec quelques protéines non-histones; simple. Chromosome : une seule molécule circulaire dans les nucléotides non rattachés à la membrane	Noyau présent ADN complexé avec des protéines histones et protéines non-histones dans un noyau entouré d'une membrane nucléaire. Chromosome constitué de plusieurs molécules linéaires
Division cellulaire	Directe par fission binaire ou bourgeonnement. Pas de mitose	Certaines formes de mitose, Centrioles présents chez la +part fuseau mitotique présent
Système reproducteur	Généralement absent ou très modifié	Présent chez la plupart des partenaires mâle et femelle
Nutrition	Absorption pour la plupart, photosynthèse chez d'autres	Absorption, ingestion, photosynthèse chez certains
Métabolisme énergétique	Pas de mitochondries, enzymes oxydatives liées à la membrane cellulaire et non enveloppées séparément	Mitochondrie présente avec enzymes oxydatives empaquetées à l'intérieur. Modèle plus unifié de métabolisme oxydatif
Mouvements intracellulaires	Aucun	Phagocytose, pinocytose

Annexe 2 : Comparaison entre la cellule animale et végétale

CELLULE VEGETALE	CELLULE ANIMALE
Présence d'une paroi pecto-cellulosique	Absence de la paroi pecto-cellulosique
Présence de vacuoles de grande taille	Présence de vacuoles de petite taille
Présence de chloroplastes	Absence de chloroplastes
Présence de peroxysome	Présence de lysosomes et peroxysome
Absence du complexe centriolaire	Présence du complexe centriolaire