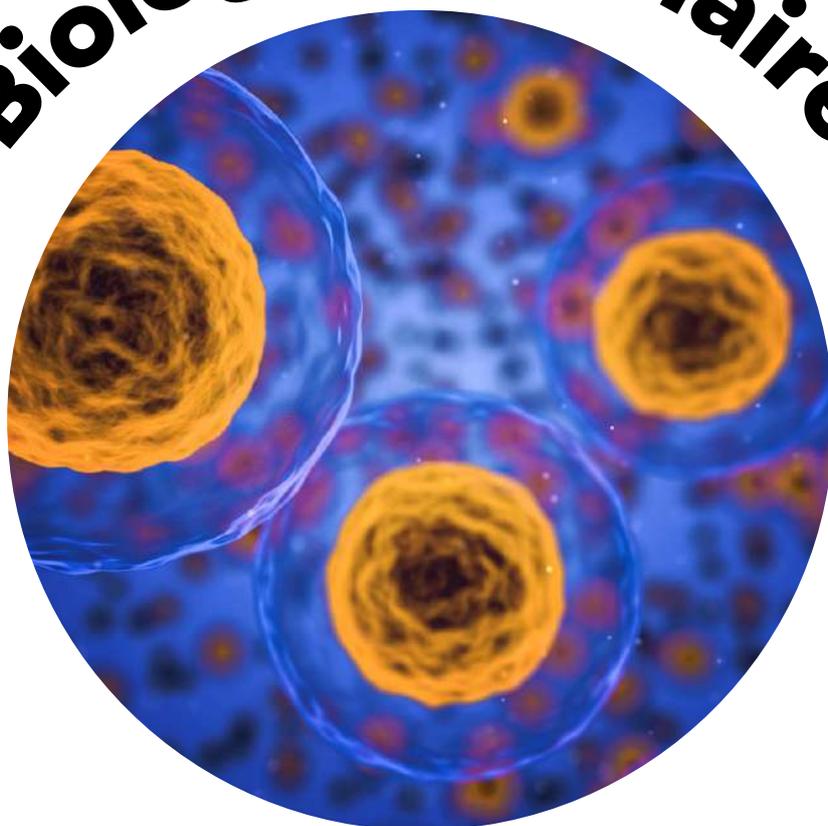


Biologie Cellulaire



SCIENCES DE LA
VIE ET DE LA TERRE



Shop



- Cahiers de Biologie + Lexique
- Accessoires de Biologie



Etudier



Visiter [Biologie Maroc](http://www.biologie-maroc.com) pour étudier et passer des QUIZ et QCM en ligne et Télécharger TD, TP et Examens résolus.



Emploi



- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

Synthèse du cours de Biologie Cellulaire BIOL1150

Note pour les étudiants suivants le cours BIOL1150 et qui désire utiliser cette synthèse pour l'étude du cours

Cette synthèse a été réalisée par un étudiant BIR 11 suivant le cours de J.-M. KINET. Elle est construite sur la version 2003 du syllabus de A. LEJEUNE et J.-M. KINET, du CAMPBELL (3^{ème} édition) et diverses autres notes ...

Monsieur KINET a rapidement parcouru la synthèse et insiste sur le fait que les pages qui suivent n'ont pas fait l'objet d'une correction par un des professeurs du cours et qu'il reste donc sans doute des erreurs.

Il est recommandé de n'utiliser cette synthèse que comme un complément au syllabus et à vos notes de cours pour votre étude.

Dernière version de la synthèse : 10 janvier 2004

Chapitre 1 : Introduction

La **biologie** est l'étude des organismes vivants.

On peut aborder cette étude sous différents angle, différentes disciplines : morphologie, cytologie, histologie, anatomie, organographie, biochimie, génétique, systématique, physiologie, biophysique, écologie, biogéographie, paléontologie.

Il y a également des approches multidisciplinaires comme la biologie moléculaire, la biologie cellulaire, la biologie des populations, ...

Un être vivant se distingue par plusieurs critères :

- Ils possèdent une **organisation** très complexe qui leur est propre.
- Aux différents niveaux de cette organisation correspondent des **fonctions** bien précises.
- Les êtres vivants possèdent un **métabolisme** çàd qu'ils sont capables de réaliser un ensemble de réactions chimiques assurant leur croissance (qt), leur développement (ql) et leur maintien en vie. Il peut être divisé en anabolisme (synthèse) et en catabolisme (dégradation). Le métabolisme sous entend un échange de matière (C,H,O,N principalement) et d'énergie (énergie et source d'électrons) entre l'être vivant et son environnement.
- Enfin les êtres vivants sont capables de se reproduire çàd de donner naissance à des êtres vivants semblables (ou identiques) en transmettant leurs caractères.

Les 5 règnes du monde vivant

Une **espèce** peut être définie comme un ensemble d'individus semblables capables de transmettre cette similitude de génération en génération.

On a rapidement distingués 2 grands règnes d'êtres vivants : les plantes et les animaux et cette dichotomie a servi de base à la classification jusqu'au 19^{ème} siècle. La classification a évolué jusqu'au modèle actuel proposé en 1969 qui classe les êtres vivants en 5 règnes sur **3 niveaux d'organisation** (procaryotique, eucaryotique unicellulaire, eucaryotique pluricellulaire) et **3 modes de nutritions** (autotrophie, hétérotrophie par ingestion ou absorption). On envisage une éventuelle division du règne des procaryotes en 2 règnes (voir chap. 20).

	Procaryotes (Monères)	Protistes	Champignons (Mycètes)	Végétaux	Animaux
Apparition	3,8 milliards	1,8 milliards	400 à 540 millions	465 millions	700 millions
Organisation	procaryote	eucaryote (unicellulaire)	eucaryote pluricellulaire	eucaryote pluricellulaire	eucaryote pluricellulaire
Nutrition	/	/	hétérotrophe absorption	autotrophe absorption	hétérotrophe ingestion
Nombre d'espèces	+/- 5000	+/- 50 000	+/- 75 000	+/- 300 000	> 1 million
Commentaires	Deux grands groupes : les archéobactéries et les eubactéries	Ceux qui présentent des caractères de type végétal sont appelés protophytes et animal : protozoaires.	Cellules associées en filaments : les hyphes formant un réseau enchevêtré.		Les animaux les plus évolués présentent un niveau d'organisation très complexe.

Chapitre 2 : Molécules

Etre vivant = CHON (98%) + autres éléments majeurs (S,P,Cl,Na,K,Mg,Ca) + él. mineurs

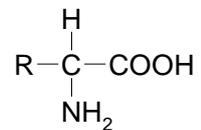
L'eau est une molécule polaire, elle peut former des ponts H. Certaines molécules, soluble, sont **hydrophiles** et les molécules d'eau forment autour un agrégat. D'autres molécules au contraire sont **hydrophobes** (apolaires) et interrompent le réseau des ponts H de l'eau. L'eau représente 60 à 70% du poids frais d'un être vivant, c'est un solvant pour de nombreuses biomolécules et un réactif pour de nombreuses réactions.

On distingue plusieurs types de liaison chimique :

- Les **liaisons covalentes** où les atomes liés partagent des électrons sur leur orbitales électronique externes sont très stables. Un des atomes peut être plus électronégatif que l'autre et une charge partielle peut apparaître. La molécule est alors polaire.
- Le **pont hydrogène** est une liaison non-covalente entre un atome H et un autre atome portant une charge partielle négative.
- Les **liaisons ioniques** sont des liaisons non-covalentes entre des atomes qui ont une grande différence d'électronégativité. Lorsque la liaison est rompue, les atomes deviennent des ions.
- Les **interactions de Van der Waals** sont des forces d'attraction faibles entre atomes ou molécules résultant de la fluctuation aléatoire de la distribution d'électrons dans l'atome.

Les protéines

Les acides aminés sont les monomères des protéines, ils sont composés d'une fonction acide (-COOH), d'un groupement amine (-NH₂) et d'un groupement variable (R).



Il existe environ 150 AA, mais seulement 20 sont les monomères de protéines ce sont les **AA universels**. Certains êtres vivants ne peuvent pas synthétiser certains AA et doivent les puiser dans leur alimentation, ce sont les **AA essentiels**.

Les protéines sont des polymères d'AA liés par une **liaison peptidique**. Les AA se lient au niveau du -H de l'AA1 et du -OH de la fonction acide du AA2 en dégageant 1 H₂O.

Un polymère <30 AA est un oligopeptide, >30 AA un polypeptide.

Parfois les protéines sont liées à de petites molécules de nature non-peptidique. Si cette petite molécule est indispensable à la fonction de la protéine, on l'appelle **cofacteur**. Les propriétés d'une protéine dépendent du nombre, de la nature et de l'ordre des AA.

La structure des protéines à 4 niveaux d'organisation :

- Structure primaire : nombre, succession ordonnée et linéaire des AA.
- Structure secondaire : conformation alpha (hélice) ou bêta (feuille plissée).
- Structure tertiaire : forme tridimensionnelle des protéines.
- Structure quaternaire : disposition des chaînes les unes par rapport aux autres.

Si la conformation est modifiée, on dit que la protéine est dénaturée.

Les protéines ont des fonctions variées et essentielles dans les cellules :

- Rôle de structure : kératine de la peau, des ongles, des plumes ou écailles.
- Réserve d'AA : ovalbumine du blanc d'œuf, caséine du lait, ...
- Transport : hémoglobine, cytochromes
- Protection : anticorps, toxines
- Régulation du métabolisme : hormones, ...

Les **enzymes** sont des protéines qui agissent comme catalyseurs biologiques. Une enzyme est une substance qui accélère considérablement (10^5 à $10^{10} \times$) une réaction chimique en diminuant l'énergie d'activation nécessaire et qui en ressort inaltérée.

La plupart des enzymes sont intracellulaires et la plupart des réactions biologiques sont catalysées par des enzymes.

Les enzymes ont un immense **pouvoir catalytique** et une grande **spécificité**, on les nomme d'ailleurs souvent en fonction de cette spécificité. (dégrade l'amidon \rightarrow amylase)

De nombreuses enzymes fonctionnent avec un cofacteur qui peut être un ion métallique ou un **coenzyme** s'il est de nature organique et qui est essentiel à l'activité enzymatique. Il existe peu de coenzymes : AMP, ADP, ATP, coenzyme A, NAD, NADP. De nombreux êtres vivants doivent trouver les coenzymes ou leurs précurseurs dans l'alimentation, il s'agit des **vitamines**.

Les **anticorps** ou **immunoglobulines** sont des protéines du sang qui peuvent faire la distinction entre des molécules quasi identiques. Ils sont fabriqués en réponse à une invasion par un agent étranger appelé **antigène**. Les anticorps sont composés de 4 chaînes polypeptidiques dont une extrémité est hautement variable et est le site de fixation spécifique de l'antigène. Lorsque l'anticorps est fixé à l'antigène, les globules blancs peuvent le reconnaître et le détruire.

Les glucides

Les monosaccharides $C_nH_{2n}O_n$ non-hydrolysables portent sur leurs C une fonction $-OH$ sauf un qui porte un $=O$. Il en existe beaucoup mais seulement une quinzaine sont monomères de polysaccharides.

Les oligosaccharides (≤ 8) et les polysaccharides (> 8) $C_nH_{2m}O_m$ avec $n > m$ sont souvent attachés à des protéines (protéoglycane) ou des lipides. Ils sont solubles dans l'eau.

Le ribose est un pentose qui peut être linéaire ou cyclique. Le désoxyribose ressemble au ribose sauf qu'il possède un O en moins sur le C_2 . Ce sont des constituants majeurs des ADN et ARN.

Beaucoup de sucres importants sont des hexoses parmi lesquels le galactose, le fructose, le glucose. Le glucose existe surtout sous forme cyclique (α si OH sur C_1 sous le plan sinon β). Le glucose comme les autres monosaccharides peut se lier à un autre monosaccharide par une **liaison glycosidique** avec dégagement d'une molécule H_2O .

Souvent les polymères de monosaccharides assurent un rôle de stockage (amidon, glycogène) ou de structure (cellulose, chitine) dans les cellules.

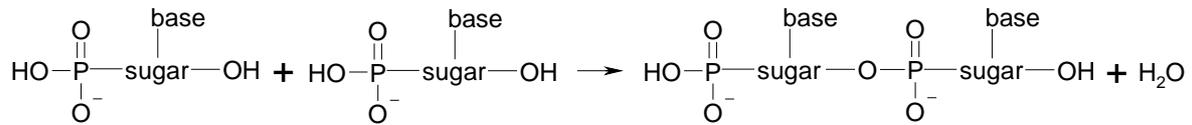
Les acides nucléiques

Un **nucléotide** est composé de trois parties : un phosphate, un pentose et une **base azotée**. Les pyrimidines n'ont qu'un seul hétérocycle, les purines en possèdent deux.

Cytosine	Uracile	Thymine	Adénine	Guanine
ADN ($C \equiv G$)		ADN ($T = A$)	ADN ($A = T$)	ADN ($G \equiv C$)
ARN ($C \equiv G$)	ARN ($U = A$)		ARN ($A = U$)	ARN ($G \equiv C$)
pyrimidine	pyrimidine	pyrimidine	purine	Purine

Les nucléotides présentent un caractère acide du à la présence du phosphate. Un, deux ou trois phosphates peuvent être présents dans le nucléotide.

Les nucléotides peuvent polymériser et former les acides nucléiques (ADN et ARN) où les monomères sont reliés par une liaison **phosphodiester** accompagné de la perte d'1 H₂O.

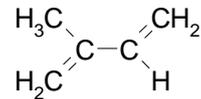


L'ADN est double brin, son pentose est le désoxyribose, ses bases sont A, T, G, C. Watson & Crick découvrirent la double hélice et la complémentarité des bases (A=T, G≡C) en 1952. L'ARN est simple brin, son pentose est le ribose, ses bases sont A, U, G, C. Il y a trois sortes d'ARN (messager 5%, ribosomal 80%, de transfert 15%) qui seront vus plus en détails aux chapitres 16, 17, 18.

Les lipides

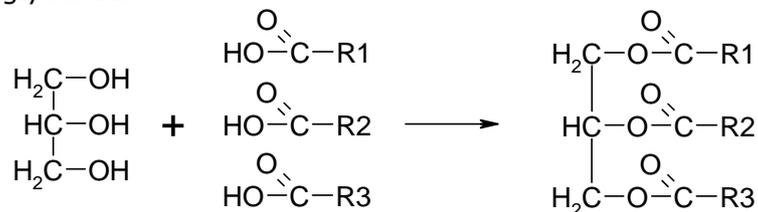
Les lipides constituent un élément structural majeur des membranes. Ce sont des molécules très diverses définies comme non ou peu hydrosolubles de par leur caractère non ou peu polaire mais qu'on peut extraire avec des solvants organiques.

Les lipides simples ne contiennent pas d'AG mais sont constitués de plusieurs molécules ou dérivés d'isoprène. Ils sont moins abondants dans les cellules que les lipides complexes mais ils comprennent des substances ayant des effets biologiques importants comme certaines vitamines, hormones, ...



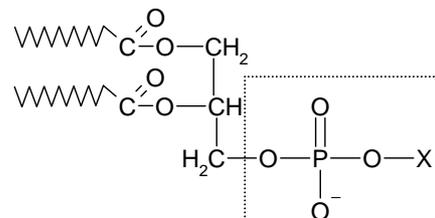
Les lipides complexes contiennent tous des **acides gras** (R-COOH, R=longue chaîne hydrocarbonée). Les lipides complexes sont formés par estérification d'un acide gras et d'un alcool (R-OH) qui s'accompagne de la perte d'une molécule d'eau.

Le glycérol est un alcool qui peut être estérifié une, deux ou trois fois pour former un mono-, di- ou triglycéride.



Les triglycérides sont apolaires et insolubles dans l'eau et les solutions salines. Chez les animaux, les cellules adipeuses stockent ces gouttelettes comme réservoir d'énergie qui dans des conditions particulières sont hydrolysés et les AG libérés dans le sang. Chez les végétaux, ils sont souvent stockés dans les graines et utilisés lors de la germination.

Les **phospholipides** sont aussi des esters du glycérol par 1 ou 2 AG mais aussi par l'acide phosphorique dont une fonction -OH est elle-même très souvent estérifiée. L'autre fonction OH devient O⁻ à cause de l'acidité de la cellule. Les phospholipides sont **amphipatiques** cela signifie qu'une de leur extrémité est hydrophobe et l'autre hydrophile (encadrée).



La conséquence de cette propriété est l'agencement spontané des phospholipides en micelles et bicouches en solution aqueuses. Dans ces structures la partie hydrophobe est orientée vers l'intérieur. Les doubles couches de phospholipides sont la base de toutes les membranes biologiques.

Chapitre 3 : Cellules

C'est R. Hooke en 1665 qui parla en premier de cellule alors qu'il observait au MO des chambrettes ou cavités closes de formes variées dans l'écorce du bois.

La cellule est la plus petite unité de matière vivante, elle est toujours formée d'un cytosol limité par une membrane et contenant de nombreuses protéines et où se trouvent des granules riches en ARN les ribosomes ainsi qu'une région plus ou moins délimitée où l'on trouve de l'ADN, le noyau ou nucléoïde.

Ainsi les virus ne répondent pas à la définition de la matière vivante. Ce sont des complexes plurimoléculaires composés d'une seule molécule d'ADN ou d'ARN logée dans une enveloppe appelée capsid.

	Procaryotes	Protistes	Champignons	Végétaux	Animaux
Nucléoïde	+	-	-	-	-
Noyau	-	+	+	+	+
Cytosol	+	+	+	+	+
Membrane plasmique	+	+	+	+	+
Ribosome	+	+	+	+	+
RE	-	+	+	+	+
App. de Golgi	-	+	+	+	+
Cytosquelette	-	+	+	+	+
Mitochondries	-	+	+	+	+
Vacuole	-	+/-	+	+	-
Paroi	+/-	+/-	+	+	-
Plastes	-	+/-	-	+	-
Centriole	-	-	-	-	+
Lysosome	-	+/-	-	-	+
Flagelle et cil	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-

Comparaison Cellule végétale – Cellule animale

<http://www.snv.jussieu.fr/vie/dossiers/AnVeg/CellAnCellVeg2.html>

Chapitre 4 : Histoire et techniques expérimentales en biologie cellulaire

		<i>Apparition du microscope optique</i>
1665	HOOKE	Terme « cellule »
1674	VAN LEEUWENHOEK	Microscope optique agrandissant 300x Observation de protozoaires, spermatozoïdes et bactéries
1828	WÖHLER	Première synthèse de biomolécule : l'urée
1831	BROWN	Description du noyau cellulaire
1837	SCHLEIDEN & SCHWANN	Théorie généralisée des cellules
1882	STRASBURGER	Description chromosomes, mitose → plantes
	FLEMMING	Description chromosomes, mitose → animaux
1884	CARNOY	1 ^{ère} revue scientifique en cytologie
1912	HARRISON & CARREL	Culture in-vitro de cellules animales
		<i>Apparition du microscope électronique</i>
1953	WATSON & CRICK	Modèle de la double hélice d'ADN
1974	PALADE, CLAUDE, DUVE	Découverte des lysosomes, peroxysomes, glyoxysomes. Prix nobel de physiologie et médecine

Grandes techniques expérimentales

La microscopie optique	Appareil permettant d'agrandir une image grâce à des systèmes réfractants ou réfléchissants utilisant la lumière. Le pouvoir de résolution est d'environ 2 µm.
La microscopie électronique	L'objet observé doit toujours être déshydraté et dégazé car on utilise des électrons ce qui permet d'obtenir un pouvoir séparateur de 0,2 nm (1000x plus que MO).
Séparation et culture de cellules	On peut séparer des cellules par des agents chimiques et des méthodes physique comme la centrifugation. On peut faire des cultures de cellules. Si elles sont cancéreuses les cellules vont se multiplier infiniment et donner une lignée cellulaire.
Fractionnement du contenu des cellules	Les cellules peuvent être brisées par différentes méthodes donnant une suspension appelée homogénat dont on peut séparer les composants par ultracentrifugation. On peut également utiliser les techniques de chromatographie, électrophorèse, ... pour séparer les constituants cellulaires.
Les radio-isotopes	Les méthodes utilisant des radio-isotopes présentent la caractéristique d'être extrêmement sensible et de pouvoir détecter des quantités minimales de molécules et de suivre leur devenir dans l'organisme et les cellules.
Les anticorps	Les méthodes immunologiques sont aussi extrêmement sensibles et spécifiques. On utilise les anticorps, couplés à un marqueur dense aux électrons, pour localiser certaines molécules dans les cellules ou détecter et quantifier certaines cellules dans les homogénats.

Chapitre 5 : L'environnement cellulaire immédiat

Une cellule est entourée par une structure cellulaire. La plupart des procaryotes, protistes, champignons et végétaux possèdent une **paroi** : structure plus ou moins souple et parfois très rigide qui entoure le **plasmalemme**.

Les cellules animales ne possèdent pas de paroi mais baignent dans une **matrice extracellulaire** plus ou moins visqueuse où un grand nombre de molécules autres que celles mentionnées ci-dessous circulent et régulent le fonctionnement cellulaire. La matrice peut se rigidifier à l'intervention de minéraux (os, dents, ...) ou de chitine.

Procaryotes	
Eubactéries	Contient notamment du peptidoglycane
Archéobactéries	Protéines et polysaccharides mais pas de peptidoglycane
Protistes	Composition des parois forts différentes. De nombreux protistes n'ont pas de parois
Animaux	
Phase amorphe	Gel hydraté de protéoglycanes.
Phase structurée	Protéines structurales : collagène, élastine Protéines adhésives : fibronectine
Végétaux	
Paroi primaire	Phase structurée composée de cellulose baignant dans une phase amorphe de pectine, hémicellulose et extensine.
Paroi secondaire	Dépôts successif de cellulose et hémicellulose
Champignons	On ne connaît pas bien la paroi des cellules de champignons mais on sait qu'une phase structurée constituée essentiellement de microfibrilles de chitine baigne dans une phase amorphe de polysaccharides et de protéines. Il n'y a pas de dépôt secondaire sauf pour des cellules particulières.

Lorsqu'une cellule végétale se divise, les 2 nouvelles cellules-filles sont séparées par la formation d'une mince pellicule à l'équateur : la **lamelle mitoyenne**. Cette lamelle résulte de la fusion de vésicules golgiennes emplies de pectines.

Ensuite chacune des 2 cellules-filles déposent par exocytose un mélange de pectines, protéines et hémicellulose et synthétise de la cellulose grâce à des cellulose synthases localisées dans le plasmalemme. Cet ensemble forme la **paroi primaire** composée de 3 feuillets et qui reste souple et extensible car les microfibrilles de cellulose sont disposés en un fin feutrage non orienté.

De nouvelles microfibrilles de cellulose sont progressivement ajoutées perpendiculairement à l'axe d'étirement des cellules. Lorsque la cellule cesse de grandir, la paroi peut s'épaissir par un dépôt successif de couches de cellulose et d'hémicellulose. C'est la **paroi secondaire**.

D'autres composants peuvent s'ajouter à la paroi pour lui donner des propriétés nouvelles. La lignine par exemple donne une grande rigidité au bois tout en le laissant perméable à l'eau, ...

Des espaces inter-cellulaires peuvent se former entre cellules suite à l'effet de turgescence. On appelle ces espaces des **méats** qui lorsqu'ils fusionnent peuvent devenir des **lacunes**. Les lacunes peuvent également provenir de la désagrégation locale de cellules ou être destinées à recevoir les produits d'une sécrétion cellulaire.

Les champignons sont composés de longs filaments : les hyphes. Ceux-ci possèdent des cloisons transversales, les septa (sing. :septum).

Chapitre 6 : La surface cellulaire

Le cytoplasme est limitée par une membrane de 7 à 9 nm appelée **plasmalemme** ou **membrane plasmique**.

Les membranes cellulaires sont constituées d'une double couche de phospholipides (40 à 50%) et de protéines (50 à 60%) qui peuvent être **périphériques** si elle sont partiellement enchâssées sur l'une autre l'autre face de la membrane ou **transmembranaires** si elles traversent la membrane de part en part.

Des oligosaccharides sont souvent présent pour former des glycolipides ou glycoprotéines et augmentant ainsi le caractère hydrophile et la stabilité de la membrane.

Propriétés importantes des membranes :

- **Fluidité** : Les molécules se déplacent librement dans le plan de la double couche.
- **Propension à se sceller** : Fusion et fission de bicouches se produisent souvent.
- Les membranes présentent une **perméabilité sélective**.

Les **récepteurs de surface** sont des glycoprotéines transmembranaires, ils ont la propriété de fixer spécifiquement certains types de molécules (ligand ou transmetteur) et changent de conformation si ils sont libres ou liés. C'est le changement de conformation qui provoque les modifications de métabolisme de la cellule.

Les jonctions cellulaires (+ schéma p.72)

<i>Fonction</i>	<i>Jonction</i>	Règne	<i>Composition et disposition</i>
Occlusion	Jonction serrée	Animaux	Protéines du plasmalemme disposées en chaînes serrées et liées aux chaînes semblables des cellules voisines. Les membranes sont alors très serrées ou fusionnées empêchant toute diffusion
Ancrage	Desmosome en ceinture	Animaux	Les desmosomes sont constitués de protéines intracellulaires qui sont connectées au cytosquelette et à des protéines transmembranaires connectées au même type de protéines des cellules voisines. Forme de ceinture tout autour de la cellule ou forme de petits disque de 0,5 µm de diamètre.
	Desmosome en disque	Animaux	
Communication	Jonction lacunaire	Animaux	Canaux régulés de 1,5 nm permettant une continuité des cytosols et composés de 6 protéines transmembranaires.
	Synapse	Animaux	
	Plasmodesme et ponctuation	Végétaux	Ouverture à travers les parois permettant une continuité du cytoplasme. L'ensemble des cytoplasmes = symplasme .
	Perforation	Végétaux	
	Pore	Champignons	Ouverture de 500 à 700 nm de diamètre à travers le septum.

Chapitre 7 : Transport à travers les membranes

Diffusion simple

Une petite molécule en solution aqueuse traverse la bicouche phospholipidiques de la membrane pour se dissoudre dans la solution aqueuse de l'autre côté. Cela se passe le long d'un gradient de concentration, la vitesse dépend de ce gradient et de l'hydrophobicité des molécules. En outre, les membranes biologiques présentent une perméabilité sélective due à leur composition. Cette propriété les rend imperméables aux molécules chargées et ions. Il faut cependant noter que certaines molécules peuvent diffuser et ensuite se dissocier en ions ce qui implique que la diffusion simple peut amener à une différence de concentrations d'ions de part et d'autre de la membrane.

Diffusion facilitée, transports actifs, osmose

Malgré la perméabilité des membranes, on observe que des ions, molécules d'eau et molécules polaires traversent les membranes, souvent à vitesse élevée, le long ou contre leur gradient électrochimique ou de concentration.

Des **protéines transmembranaires de transport** spéciales sont responsables de ces transferts. On distingue deux classes parmi ces protéines :

Protéines de canal		Les transporteurs		
10 ⁸ molécules/s		100->1000 molécules/s		
Pores à travers la membrane qui ont une ouverture régulée.		Protéines transmembranaires qui fixent un ou plusieurs solutés d'un côté de la membrane, changent de conformation et libèrent les solutés de l'autre côté de la membrane		
canaux à ions	aquaporine	pompes	uniports	transporteurs couplés
Diffusion facilitée de certains ions	Diffusion facilitée des molécules d'eau = OSMOSE	ou ATPase actionnées par l'ATP assurent un transport actif	permettent le transport passif d'une seule sorte de solutés	transportent simultanément deux sortes de solutés dans le même sens (symport) ou dans le sens contraire (antiport)

Voir schémas du CAMPBELL, Chapitre 8, pp 159, 165, 167, 168

Transport passif

Le transport passif répond aux lois physiques de la diffusion et de l'osmose. La **diffusion** est le déplacement de solutés le long d'un gradient de concentration du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré. L'**osmose** est un cas particulier de la diffusion qui concerne non plus les solutés mais le solvant.

Le **potentiel hydrique** d'un système contenant de l'eau est la différence entre le potentiel chimique de l'eau du système et celui de l'eau pure à même température et à même pression atmosphérique, rapporté au volume molaire de l'eau dans ce système.

$$\Phi = \Phi_p + \Phi_s + \Phi_m$$

L'eau se déplacera d'un potentiel hydrique élevé vers un potentiel hydrique faible. Le potentiel hydrique, au niveau cellulaire, peut être affecté par :

- La **concentration en solutés** : Si deux compartiments contiennent des solutions de concentrations différentes et que seul le solvant peut se déplacer, il se déplacera de la solution la moins concentrée (**hypotonique**) vers la solution la plus concentrée (**hypertonique**). Le potentiel osmotique ϕ_s est d'autant plus petit que la concentration est grande.
- La **pression** : L'eau se déplace du compartiment où la pression est grande vers celui où la pression est faible. Potentiel de pression ϕ_p positif.
- Les **forces matricielles** : Interactions entre macromolécules hydrophiles et molécules d'eau. Potentiel matriciel ϕ_m négatif.

Si une cellule végétale est placée dans une solution hypotonique, l'eau va rentrer dans la vacuole et cette dernière va exercer une **pression de turgescence** vers l'extérieur. La paroi va exercer une contre **pression de paroi** vers l'intérieur (ϕ_p). Lorsque ces deux pressions seront égales l'eau n'entrera plus dans la cellule et on la dira en turgescence maximale. Si à ce moment, on place la cellule dans une solution hypertonique, l'eau va sortir et on va observer un phénomène de **déturgescence** menant la cellule en plasmolyse. Si la perte d'eau continue, le cytoplasme peut se décrocher de la paroi et ne plus avoir que quelques contacts : **plasmolyse accusée**.

L'osmose assure le soutien et la rigidité des tissus végétaux et l'allongement des cellules.

Transport actif

Le transport actif permet d'absorber activement ou d'expulser des solutés à travers la membrane contre leur gradient électrochimique. Il est toujours réalisé par des transporteurs et nécessite une source d'énergie du métabolisme qui est soit l'hydrolyse d'ATP, soit un gradient électrochimique.

L'ATP est un co-enzyme de transfert de groupement phosphates. C'est un intermédiaire commun et universel dans les systèmes de transfert d'énergie entre des réactions **exergoniques** (libérant de l'énergie libre) et **endergoniques** (consommant).

Les cellules produisent leur ATP par fermentation, respiration, photosynthèse (chap. 11). L'énergie libre libérée est utilisée pour phosphoryler l'ADP en ATP, ensuite, lorsque l'ATP est hydrolysé ($\pm 57\text{kJ/mole}$), son énergie est transférée en même temps que son groupement phosphate à une autre molécule qui peut ainsi réaliser un travail.

Les transporteurs couplés (symports ou antiports) fonctionnent plutôt grâce à l'énergie stockée dans un gradient d'ions (Na^+ animaux, H^+ végétaux) lui-même créé par une pompe. Exemple : Dans les cellules animales, la concentration Na^+ est plus faible à l'intérieur de la cellule. C'est l'ion co-transporté dont le gradient électrochimique fournit l'énergie pour importer le glucose par symport. Le Na^+ rentre dans la cellule le long de son gradient électrochimique et le glucose est entraîné avec lui.

Endocytose, Exocytose et transport de grosses molécules

L'entrée de macromolécules ($M > 700$) et de particules font intervenir un mécanisme de la membrane plasmique : le phénomène d'**endocytose**. La sortie se fait par **exocytose**.

L'endocytose est un mécanisme par lequel une zone de la membrane se creuse en dépression jusqu'à former une vésicule intracellulaire : un endosome. Si l'endosome contient des molécules dissoutes, on parlera de **pinocytose**. Si il contient des particules (débris cellulaires, bactéries, ...) on parlera de **phagocytose**. L'endocytose peut être non spécifique ou se réaliser par récepteur interposé. Dans ce cas, les particules ou macromolécules se fixent à des récepteurs de surface avant d'être endocytées sous forme de complexes ligands/récepteurs.

Le contenu de l'endosome s'acidifie progressivement à cause des pompes de sa membrane ce qui casse les liaisons récepteurs/ligands. L'endosome va ensuite soit fusionner avec un lysosome primaire, soit traverser la cellule et ressortir (transcytose) soit fusionner avec d'autres endosomes et former une vésicule de stockage temporaire.

Les récepteurs, quant à eux, se regroupent dans des crevasses ou des structures tubulaires qui se creusent progressivement et se séparent de l'endosome sous forme de vésicules aplaties qui retournent vers la surface cellulaire où elles fusionnent avec la membrane plasmique. Ce phénomène permet de recycler les récepteurs et les portions de membranes plasmiques des centaines de fois.

Chapitre 8 : Les lysosomes et la digestion cellulaire

Les lysosomes sont des organites qui réalisent une fonction de digestion, leurs contenus et tailles (0,5 à 3 μm ou plus) sont très hétérogènes.

La digestion est l'hydrolyse de macromolécules en molécules plus simple. Cela nécessite l'intervention d'enzymes typiques de lysosomes, les **hydrolases acides**. La solution interne des lysosomes est acide grâce à des pompes à protons membranaires.

Les hydrolases acides sont synthétisées à la surface du RER, elles transitent par le REL puis dans l'appareil de Golgi. Des vésicules de transport spéciales contenant des hydrolases acides, les **lysosomes primaires**, bourgeonnent alors de l'appareil de Golgi.

Les lysosomes primaires vont alors fusionner avec des endosomes pour constituer des **lysosomes secondaires** qui vont digérer le contenu des vésicules avec lesquelles ils ont fusionnés. Ils peuvent aussi fusionner avec des lysosomes secondaires.

Les membranes des lysosomes sont recyclées soit vers le plasmalemma soit vers l'appareil de Golgi. Si il n'y avait pas de recyclage, les lysosomes deviendraient énormes.

Hétérophagie : Digestion de matériaux extracellulaires.

C'est un processus habituel et indispensable chez les protistes.

Chez les animaux, les aliments sont dégradés en dehors des cellules, dans le système digestif mais certaines cellules immunitaires, les **phagocytes**, font de l'hétérophagie.

Autophagie : Digestion de matériaux endogènes.

C'est une activité normale qui permet à la cellule de survivre, de renouveler ou supprimer ses structures. Elle se déroule soit par invagination de la membrane du lysosome soit par le développement de membranes du REL autour d'une portion du cytoplasme qui formera une vésicule qui fusionnera avec un lysosome pour former un lysosome secondaire.

Voir schéma p.89. du syllabus

Chapitre 9 : Le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi et la sécrétion

Réticulum endoplasmique

Le **réticulum endoplasmique** est un organite constitué d'un ensemble de sacs et tubes plats limités par une membrane et connectés entre eux formant un réseau unique. La membrane du RE est en continuité avec la membrane nucléaire.

RER (RE rugueux)	<ul style="list-style-type: none"> • Ribosomes sur la surface du RER • Synthèse de protéines • Modification de certaines protéines (ex : glycolysation) • Synthèse d'oligosaccharides qui pénètrent ensuite le RER • Contient de nombreuses enzymes
REL (RE lisse)	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de ribosomes sur la surface • Contient des enzymes de détoxification • Synthèse des lipides de toutes les membranes cellulaires

Les ribosomes du RER synthétisent des protéines qui possèdent une séquence signal en permettant l'attachement d'AA. Si il n'y a pas de séquence signal, la protéine sera synthétisée par un ribosome libre du cytosol. La séquence signal est une suite particulière d'AA qui dès qu'elle est synthétisée va s'ancrer dans la membrane du RER.

Une fois la synthèse terminée, il existe un courant sécrétoire qui provoque le déplacement des molécules synthétisées à la surface du RER vers le REL, puis par l'intermédiaire des **vésicules de transition**, vers l'appareil de Golgi, d'où elles seront ensuite envoyées vers le plasmalemma ou l'extérieur de la cellule, vers les lysosomes ou vers les vacuoles.

Appareil de Golgi

L'**appareil de golgi** est un ensemble de 5 à 10 saccules aplatis incurvés limité par une membrane. Des vésicules de transition fusionnent en permanence avec le saccule d'entrée (convexe) tandis que des vésicules golgiennes bourgeonnent des côtés des saccules et fusionnent avec le saccule suivant. Le saccule de sortie est parfois prolongé par un réseau tubulaire plus ou moins dilaté d'où bourgeonnent des vésicules de transport qui enverront des molécules vers différents compartiments cellulaires.

Chez certaines cellules végétales, l'appareil de Golgi peut synthétiser certains polysaccharides extracellulaires avant d'être sécrétés. Il peut également modifier des protéines et s'occupe du tri des molécules vers leur destination finale (vacuole, lysosome, extérieur, ...) notamment par des récepteurs de surface dans ses membranes ou des séquences caractéristiques d'AA dans les protéines qui y circulent, ...

Le vacuome

Le **vacuome** est l'ensemble des endosomes, lysosomes, appareil de Golgi, RE, vésicules de transport, vacuoles. Ses fonctions principales sont l'importation et l'exportation et toutes les activités de transformation qui y sont associées. Jusqu'à l'appareil de Golgi, on observe un trafic unidirectionnel. Ensuite il devient multidirectionnel. Le vacuome maintient son organisation hautement différenciée par un adressage précis des vésicules grâce aux protéines transmembranaires particulières uniques à chaque type de vésicule. Il recycle également ses membranes.

Chapitre 10 : Les vacuoles

Les vacuoles sont des organites présents chez les cellules végétales, les cellules de champignons et chez certains protistes.

Les protistes contiennent des **vacuoles digestives** (comme les lysosomes ou encore les vacuoles lytiques des végétaux) et des **vacuoles contractiles** qui collectent l'eau entrée dans la cellule et l'expulsent vers l'extérieur. Les cellules de champignons possèdent sans doute des vacuoles semblables à celles des végétaux.

Vacuoles des végétaux

Les vacuoles sont des organites limités par une membrane appelée **tonoplaste**. Elles peuvent occuper jusqu'à 90% du volume des cellules différenciées et repousser le cytoplasme contre les parois (cytoplasme pariétal). Cette vacuole centrale peut être traversée par des cordons de cytoplasme (travées cytoplasmiques).

Des recherches récentes ont montré que l'on pourrait distinguer plusieurs sortes de vacuoles :

- Les **vacuoles lytiques** : petites, avec un contenu acide obtenu par l'entrée de p^+ par des pompes situées dans le tonoplaste, contenant des hydrolases acides, elles auraient un rôle de digestion cellulaire semblable aux lysosomes primaires des cellules animales.
- Les **vacuoles de stockage de protéines** : souvent plus grande, ne contenant pas d'hydrolases acides et au contenu neutre ou légèrement alcalin.

Dans les cellules plus âgées, ces deux sortes de vacuoles pourraient fusionner et le contenu de la vacuole de stockage serait digéré. Plus tard, cette dernière vacuole pourrait fusionner avec d'autres du même type et accumuler et stocker divers ions minéraux, molécules organiques, pigments, ... et devenir une vacuole de réserve de diverses substances utiles mais aussi un lieu de séquestration de substances toxiques pour la cellule elle-même ou ayant une fonction de défense. D'autre part, par le potentiel osmotique, la vacuole provoque une entrée d'eau dans la cellule qui va permettre l'élongation irréversible des cellules jeunes, les phénomènes de turgescence et déturgescence et la constitution d'une réserve hydrique pour la cellule.

Les vacuoles végétales ont plusieurs origines possibles. Les vacuoles lytiques proviennent de vésicules de transport contenant des hydrolases acides qui y ont été embarqué sans doute par les récepteurs de surface de l'appareil de Golgi. Les vacuoles de stockage de protéines proviennent soit directement de petites vésicules du RE soit de vésicules de transport de l'appareil de Golgi.

Chapitre 11 : Le cytosol, métabolisme, glycolyse, ...

Le cytosol est la solution visqueuse du cytoplasme contenant 70% d'eau, et une grande diversité de solutés dont principalement des protéines probablement regroupés en agrégats en différentes microrégions du cytosol.

Il y a une série d'inclusions inertes avec un rôle de stockage dans le cytosol. Les **inclusions glucidiques** sont composés d'amidon chez les plantes (chez certaines cellules les amyloplastés sont dégradés laissant l'amidon sous forme d'inclusion) et de glycogène sous forme de granule chez les animaux. Les inclusions lipidiques sont des gouttelettes insolubles de triglycérides.

Un grand nombre de voies métaboliques se déroulent dans le cytosol.

Nous avons déjà défini le métabolisme au chapitre 1 mais il existe différents types de métabolisme en fonction des sources de carbone, d'énergie et d'électrons.

- Source de carbone : CO₂ (autotrophe) / composés organiques (hétérotrophe)
- Source d'énergie : lumière (phototrophe) / réactions chimiques (chimiotrophes)
- Source d'électrons : inorganique. (lithotrophe) / organique (organotrophe)

On peut constater deux catégories principales dans l'ensemble du monde vivants : les **autophotolithotrophes** et les **hétérochimioorganotrophes**.

Certains organismes ont besoin d'oxygène pour réaliser leur métabolisme (aérobie), d'autres n'en ont pas besoin (anaérobie).

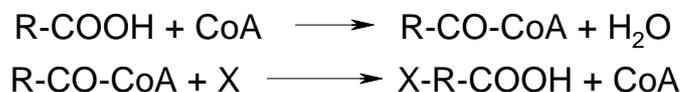
Rappel chimie : Les réactions chimiques rompent ou forment des liaisons, elles demandent une certaine énergie d'activation qui peut être diminuée à l'aide d'un catalyseur qui augmentera la vitesse de la réaction. Les produits peuvent être moins riche (R. **exergonique**) ou plus riche (R. **endergonique**) en énergie libre. Les catalyseurs biologiques sont des enzymes, elles n'agissent parfois qu'en conjonction avec un cofacteur ou une coenzyme.

Le métabolisme comprend des milliers de réactions qui ne se réalisent pas indépendamment les unes des autres mais en chaîne. Ces suites de réactions sont appelées **voies métaboliques**.

Les **voies cataboliques** sont globalement toujours exergoniques, elles dégradent les biomolécules complexes en plus simple (souvent oxydation).

Les voies **anaboliques** sont globalement toujours endergoniques, elles synthétisent les biomolécules complexes (souvent réduction nécessitant des électrons).

Le **Coenzyme A** intervient dans les réactions de transfert d'acides gras. En simplifiant, voici comment il intervient dans le chapitre 12. (R-COOH AG, X groupe accepteur)



Lorsqu'on oxyde une molécule, on lui enlève des électrons. Lors de certaines oxydations, les électrons ainsi libérés peuvent être pris en charge par le NADP⁺ (coenzyme nicotinamide adénine dinucléotide phosphate) qui est ainsi réduit en NADPH. Ce dernier peut ensuite être oxydé et céder des électrons lors d'une réaction de synthèse de biomolécules.

Les paires d'enzymes NAD⁺/NADH et FAD/FADH₂ interviennent de façon semblable mais dans des réactions qui mèneront à la synthèse d'eau.

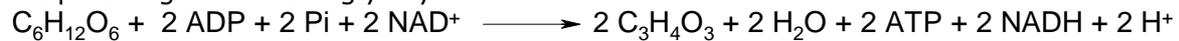
La glycolyse

L'hydrolyse des polysaccharides de réserve va permettre la libération de molécules de glucose. Le glucose va ensuite être progressivement transformé dans le cytosol par une suite de réactions anaérobies appelée **glycolyse**. La glycolyse d'une molécule de glucose permet de récupérer de l'énergie (2 ATP) et conduit à la formation de deux molécules d'**acide pyruvique**.

Dans un premier temps, le glucose subit 2 phosphorylation successives par l'ATP pour mener à du fructose diphosphate qui est scindé en 2 trioses monophosphates.

Dans un second temps, il y a 5 réactions dont l'oxydation des 2 molécules (déshydrogénation) couplé à la réduction du NAD^+ en NADH et H^+ et les transferts successifs des groupes phosphates à de l'ADP formant de l'ATP (4 au total).

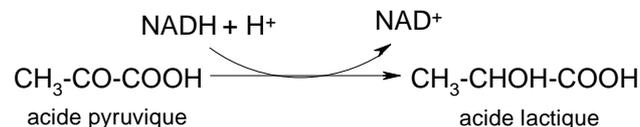
L'équation globale de la glycolyse :



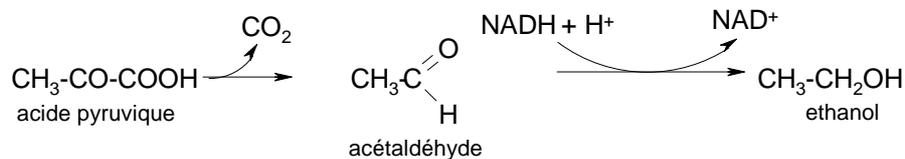
La fermentation

La glycolyse implique la régénération constante du NAD^+ , soit une nouvelle réaction d'oxydoréduction où NADH sera le réducteur. Si l'accepteur d'électrons est une molécule organique, l'ensemble des réactions de la glycolyse et de la séquence menant à la régénération du NAD^+ porte le nom de **fermentation**. Par contre si l'accepteur final est O_2 (dans certains cas NO_3^-) alors on parle de respiration.

La **fermentation lactique** est l'ensemble des réactions menant du glucose à l'acide lactique. C'est le cas le plus simple de fermentation. De nombreuses bactéries trouvent l'essentiel de leur énergie chimique dans ce mode de catabolisme (du moins en milieu anaérobie). Les cellules animales peuvent le faire momentanément dans des conditions particulières.



D'autres bactéries, divers champignons, occasionnellement les plantes, effectuent une **fermentation alcoolique** au cours de laquelle l'acide pyruvique est décarboxylé puis réduit en éthanol.



A noter : La fermentation a une grande importance dans l'industrie chimique et en particulier dans l'alimentaire. Les produits de la fermentation sont encore riches en énergie libre mais néanmoins inutilisables par le métabolisme des organismes concernés ce qui rend compte de la faible production d'énergie du catabolisme anaérobie.

Chapitre 12 : Les mitochondries, la respiration

Les mitochondries

Les **mitochondries** sont des organites à deux membranes qui ont le plus souvent une forme de bâtonnet de 0,5 à 1µm de diamètre et de 3 à 5µm de longueur. Présents dans toutes les cellules eucaryotes, leur nombre varie de 1 à plusieurs milliers par cellule.

La **membrane externe** a une composition classique mais elle contient également une protéine trouvée typiquement chez les procaryotes et qui rend la membrane perméable aux ions et molécules de masse moléculaires inférieurs à 10000 : la **porine**.

La **membrane interne** forme des crêtes vers l'intérieur de la mitochondrie augmentant ainsi sa surface. Elle contient beaucoup de protéines transmembranaires de transport et des phospholipides particuliers qui la rendent imperméable aux protons. Elle possède également des ATP synthases.

A l'intérieur de la membrane interne, se trouve la **matrice mitochondriale**. Solution concentrée de protéines (notamment d'enzymes) contenant également des inclusions lipidiques, sels minéraux, ribosomes (semblable à ceux des procaryotes), et plusieurs molécules d'ADN (également semblable à celles des procaryotes).

Les mitochondries proviennent toujours de la division de mitochondries préexistantes et cette division est proche de celle des cellules procaryotiques. Elles possèdent leur propre ADN et une certaine autonomie génétique partielle. Ces caractéristiques appuient **l'hypothèse endosymbiotique** selon laquelle les mitochondries actuelles descendent de lointains ancêtres procaryotiques aérobies qui auraient été endocytés par des cellules anaérobies (entre les procaryotes et les eucaryotes actuels). La symbiose prolongée aurait fait perdre l'indépendance de l'endosymbiote au fil du temps.

La respiration

La respiration peut être définie comme l'oxydation complète de molécules alimentaires en CO₂ et H₂O. Elle comprend donc la glycolyse et la prolonge en présence d'O₂.

1. L'acide pyruvique est transformé en acétyl-CoA

L'acide pyruvique traverse la membrane externe de la mitochondrie par des porines puis la membranes internes par symport avec des protons. Il va être transformé en acétyl-CoA par une transformation extrêmement complexe (notamment une décarboxylation suivie d'une déshydrogénation avec formation de NADH).

2. L'acétyl-CoA est oxydé par le cycle de Krebs

Le cycle de Krebs est composé de 9 étapes qui sont chacune catalysée par une enzyme différente. Le cycle commence par la condensation du groupe acétyl de l'acétyl-CoA avec le C₄ obtenu en fin de cycle pour donner l'acide citrique (C₆).

Peu d'énergie est libérée au cours de ce cycle mais 2 molécules de CO₂ sont dégagées, 8 atomes d'hydrogène sont arrachés au substrat, 6 électrons sont transférés au NAD⁺ et 2 au FAD.

3. Le transfert d'électrons est effectué par la chaîne respiratoire

La chaîne respiratoire se situe dans la membrane interne de la mitochondrie, c'est une chaîne de trois complexes enzymatiques transporteurs d'électrons successifs. Les électrons sont transférés du NADH et du FADH₂ à l'oxygène par la chaîne respiratoire à l'issue de laquelle les protons sont récupérés pour neutraliser les charges négatives créées par l'addition d'électrons à la molécule d'oxygène.

Le transfert des électrons successivement d'un complexe transporteur à l'autre de la chaîne respiratoire permet une libération progressive de leur énergie qui permet un transfert de protons de la matrice mitochondriale vers l'espace intermembranaire par un mécanisme de changements de conformation des protéines de la chaîne.

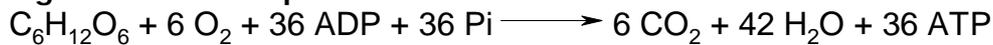
Comme la membrane interne de la mitochondrie est imperméable aux protons, il en résulte l'apparition d'un **gradient électrochimique** de protons de part et d'autre de la membrane.

4. Synthèse des ATP

Les protons de l'espace intermembranaire ont tendance à retourner dans la matrice mitochondriale le long de leur gradient électrochimique. C'est ce qu'ils font à travers les ATP synthases qui utilise l'énergie du gradient pour réaliser une **phosphorylation oxydative** (ADP->ATP).

Une partie de l'énergie du gradient électrochimique sera utilisée pour le transport (pompes) des différentes substances nécessaires pour la respiration (ADP, Pi, ...).

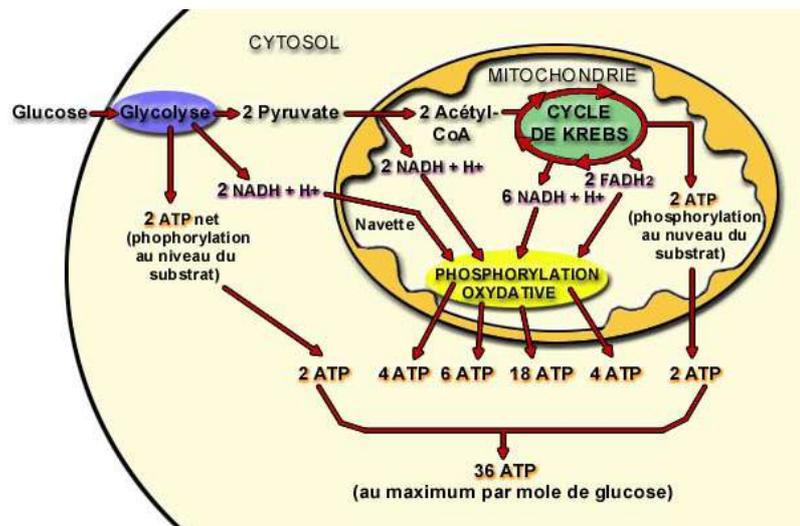
Réaction globale de la respiration :



La respiration libère au maximum 36 ATP (contre 2 pour la fermentation) et a un rendement de 72% (55% pour la fermentation). La respiration peut démarrer avec du glucose mais également avec des triglycérides qui, comme vu au chapitre 2, sont d'importantes substances de réserve énergétique.

L'énergie récupérée est stockée sous forme d'ATP et pourra être utilisée dans les voies de l'anabolisme.

Schéma récapitulatif¹



¹ Le schéma provient de <http://www.ustboniface.mb.ca/cusb/abernier/Biologie/metabolisme/Resp6.html>

Chapitre 13 : Les plastes et la photosynthèse

Les plastes

Les **plastes** sont des organites à deux ou trois membranes typiques des végétaux et des protophytes. La solution interne des plastes est le **stroma**, il contient des inclusions lipidiques, de l'ADN et des ribosomes.

Les **proplast**es sont les plus simple, ils ont un diamètre d'environ 1µm et leur membrane interne présente de petites invaginations. Les proplastes des cellules jeunes en divisions actives sont capables de se diviser (de manière semblable aux procaryotes) et ils peuvent se différencier en chloroplastes, amyloplastes et chromoplastes.

Les **chromoplast**es ont un diamètre de 1 à 10 µm, leur membrane interne émet des crêtes peu développées, ils ont une forme globulaire à discoïde. Le stroma contient des pigments caroténoïdes sous forme de gouttelettes.

Les **amyloplast**es sont spécialisés dans le stockage à long terme d'amidon sous forme de grains d'amidon insolubles dans leur stroma. Ils sont formés par dépôts de couches successives d'amidon autour d'un point central : le hile.

Les **chloroplast**es sont de même forme et de même taille que les chromoplastes. Ils contiennent, outre des pigments caroténoïdes, de la chlorophylle. Le stroma est parcouru par un réseau membranaire complexe appelé membrane thylacoïde. Cette membrane présente de nombreux replis qui en, certains endroits limitent des saccules aplatis, les thylacoïdes granaires, empilés les uns sur les autres en grana. La lumière des thylacoïdes granaires et intergranaires sont en continuité.

Tout comme les mitochondries, il communément admis, que les plastes descendent de lointain ancêtres procaryotiques, photosynthétiques qui auraient été endocytés, ...

La photosynthèse

La **photosynthèse** est l'ensemble des réactions chimiques dans certaines cellules qui utilise l'énergie lumineuse pour former des glucides à partir d'eau et de CO₂. C'est une réaction qui nécessite de l'énergie (ATP) et du pouvoir réducteur (NADPH) et qui a lieu dans les chloroplastes grâce à la chlorophylle. C'est le seul mécanisme appréciable permettant de passer de la matière minérale à la matière organique.



Le soleil émet des photons. Lorsqu'un **photon** de longueur d'onde appropriée entre en collision avec une molécule, son énergie est absorbée par un des électrons de celle-ci qui passe sur une orbitale supérieure. Dans certains cas, l'électron excité est éjecté de la molécule (qui est oxydée) et est repris par une autre (qui sera réduite).

Les membranes thylacoïdes contiennent deux types d'ensembles plurimoléculaires : le photosystème I (PSI) et le photosystème II (PSII). Chaque **photosystème** comprend une antenne de capture composée de molécules de **chlorophylle** et de quelques protéines, et d'un centre réactionnel où sont associés enzymes de transport des électrons et chlorophylle. La chlorophylle rejette la lumière verte, elle est amphipathique et sa queue hydrophobe permet son ancrage dans la membrane thylacoïde.

La photosynthèse se déroule en deux phases, la phase claire et la phase sombre. Elles se déroulent simultanément çàd durant le jour !!!

La phase claire de la photosynthèse

Cette phase se déroule dans la membrane thylacoïde et assure la capture et la transformation de l'énergie lumineuse en énergie chimique. Elle peut être décrite en trois étapes :

1. Oxydation de l'eau au photosystème II

Une molécule de chlorophylle de l'antenne PSII est excitée par un photon, l'énergie acquise est transférée à d'autres molécules de chlorophylles par résonance vers le centre réactionnel. La chlorophylle est oxydée et donne son électron à une protéine du centre réactionnel. Une autre protéine du centre réactionnel donne un électron de basse énergie à la chlorophylle et reçoit un électron venant de l'eau. Celle-ci sera donc oxydée avec formation de protons et d'oxygène moléculaire qui se dégagera.

2. Transport des électrons vers le photosystème II

Le PSI fonctionne de la même manière que le PSII mais l'électron fourni ne provient pas de l'eau mais du PSII. Celui-ci est conduit par une chaîne de transporteurs d'électrons (complexes de protéines membranaires). Ce transport s'accompagne du passage de protons du stroma vers la lumière du thylacoïde créant un gradient électrochimique de protons.

Les électrons énergétiques du PSI serviront soit à synthétiser du NADPH à partir du NADP⁺ (flux linéaire) soit seront réinjectés dans la chaîne de transporteurs diminuant ainsi la production de NADPH mais amplifiant le gradient (flux cyclique).

3. Photophosphorylation

L'énergie du gradient est utilisée de manière semblable à la respiration pour synthétiser de l'ATP. On l'appelle photophosphorylation car elle dépend de la lumière.

La phase sombre de la photosynthèse

La phase sombre se déroule dans le stroma du chloroplaste et dans le cytosol. Elle assure la réduction du CO₂ et la synthèse de glucides grâce à l'énergie produite en phase claire.

1. Cycle de Calvin

Le cycle de Calvin est une suite de quinze réactions qui se déroule dans le stroma et qui transforme 3 CO₂ en glucide en consommant de l'ATP, NADPH, H⁺, de l'eau.

La première des quinze réactions consiste en l'addition de CO₂ au ribulose diphosphate (régénérer au cours du cycle), elle est catalysée par la très importante ribulose bisphosphate carboxylase (rubisco).



2. Les trioses sont condensés en hexoses

Une partie du triose monophosphate quitte le stroma par antiport contre du phosphate et dans le cytosol, deux molécules se condensent en fructose diphosphate, qui par une série de réactions, permet la synthèse de disaccharide saccharose.

Ce qui reste dans le stroma est condensé en glucose puis polymériser en amidon qui sera hydrolysé pendant la nuit. Le glucose ainsi libéré pourra soit servir à l'alimentation de la plante, soit être repolymériser sous forme de grains d'amidons dans les amyloplast.

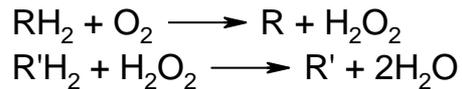
La photosynthèse a un rendement de 38%, on le calcule par rapport à l'énergie que libère la combustion du glucose en CO₂ et H₂O.

Les chloroplastes réalisent d'autres biosynthèses. Le NADPH et l'ATP produit en phase claire permettent de réduire le nitrite en ammoniac qui sera utilisé chez certaines plantes pour la synthèse d'acides aminés et de nucléotides.

Chapitre 14 : Les peroxysomes

Les **peroxysomes** sont des organites, à une membrane, d'environ 0,1 à 0,5 µm de diamètre. Ils ressemblent morphologiquement aux lysosomes mais ils ne contiennent jamais d'hydrolases acides mais des enzymes d'oxydoréduction, **oxydases** et **catalases**, qui peuvent parfois former une structure cristalline dans l'organite.

Les oxydases consomment beaucoup d'oxygène pour oxyder des substrats organiques en formant des peroxydes d'hydrogène. Ce dernier est alors utilisé par le catalase pour oxyder une série d'autres substrats :



Les peroxysomes assurent un rôle de détoxification par oxydation d'un certains nombre de molécules toxiques hydrophiles. Ils oxydent également les AG en acétyl-CoA, précurseur dans la synthèse de nombreuses molécules. Chez les plantes, des peroxysomes particuliers peuvent convertir des AG en glucose.

Les peroxysomes sont formés par croissance et division de peroxysomes préexistants, ils ne contiennent pas d'ADN et toutes leurs protéines sont synthétisées par les ribosomes libres du cytosol. L'importation de protéines dans le peroxysome dépend d'une courte séquence d'AA et nécessite des récepteurs de surface et des protéines membranaires (spécifiquement impliquée dans ce transport) dans la membrane du peroxysome.

Les réactions d'oxydation dans les peroxysomes ne produisent pas d'énergie utile pour la cellule.

Chapitre 15 : Le cytosquelette

La structure des cellules, leurs formes, leurs changements de formes, les déplacements à l'intérieur des cellules, les cils, les flagelles, ... sont pour la plupart dus à un échafaudage de filaments protéiques à l'intérieur des cellules : le **cytosquelette**.

Il existe trois classes majeures de fibres cytosquelettiques : MT, MF, FI.

MT – Les microtubules

Les **microtubules** ont une structure en tube de 25nm de diamètre et composé de treize **protofilaments** qui sont des assemblages longitudinaux de dimères d' α et β **tubulines** (protéines globulaires). Les MT sont formés et rayonnent à partir de **centres organisateurs des MT (MTOC)** qui sont des régions du cytosol dont la composition en protéines est particulière. Les MT sont des structures non-permanentes dans la cellule.

Chez les cellules animales, il n'y a qu'un seul MTOC : le **centrosome**. Il contient deux structures cylindriques disposées perpendiculairement de 250 nm de diamètre et 500 nm de long et composées de neuf triplets de MT qui interviendraient dans l'organisation des protéines du MTOC : les **centrioles**.

Les **cils** et **flagelles** localisés en périphérie de certaines cellules et entourés par le plasmalemme sont essentiellement constitués de MT. Ils comportent 9 paires de MT disposés en cercle autour d'une paire de MT centraux. Les cils ont une longueur de quelques μm , sont généralement très nombreux et ont un rôle locomoteur des cellules ou provoquent le mouvement de fluides. Les flagelles font de 10 à plusieurs centaines de μm de long, sont en général 1 ou 2 par cellule et ont un rôle locomoteur des cellules.

(NB : les cils et flagelles des bactéries ont une structure et un fonctionnement différent)

A la base des cils et flagelles, se trouve le corps basal, une structure identique au centriole et qui, outre une fonction d'ancrage des cils et flagelles à la cellule, participe à la construction des neuf doublets de MT.

MF – Les microfilaments

Les **microfilaments** sont composés de deux chaînes d'actine (protéine globulaire) enroulées en hélice de 7 nm de diamètre.

Les MF interviennent dans les mouvements cytoplasmiques de cyclose, dans les déplacements de cellules animales par pseudopodes, dans la forme des cellules animales. Les MF sont souvent associés à la myosine et forment alors des structures contractiles. (desmosomes en ceinture, contraction musculaire, division des cellules animales)

FI – Les filaments intermédiaires

Les **filaments intermédiaires**, qui n'ont été découverts que dans les cellules animales, sont des structures très résistantes et persistantes composées de 8 **protofilaments** disposés parallèlement en tube. Les protofilaments sont formés de protéines fibreuses associées en tétramères et se chevauchant partiellement. Les FI varient quant à la composition de leur monomères ; l'un d'eux est la kératine.

Les FI tapissent la face interne de la membrane plasmique ce qui détermine la forme des cellules, ils forment un réseau de la périphérie cellulaire au noyau ce qui confère une stabilité mécanique aux cellules, ils sont connectés aux desmosomes en disque et permettent la répartition sur tout le tissu des forces de tension appliquées en un point.

Chapitre 16 : La synthèse des protéines

L'**ARNm** est une suite linéaire de nucléotides qui spécifie une suite ordonnée d'AA dans les protéines par l'intermédiaire d'un code qui établit une correspondance entre séquence de nucléotides et séquence d'AA. 4 nucléotides ne peuvent pas spécifier 20 AA universels, on prend alors des **codons** (triplets de nucléotides) ce qui donne 64 possibilités. Le tableau de correspondance entre les codons et les AA est le **code génétique**, comme plusieurs codons peuvent spécifier le même AA, on dit qu'il est **dégénéré**. AUG (méthionine) est le **codon initiateur**. Il y a 3 **codons stop**.

Les **ARNt** ont une structure en forme de trèfle dont la boucle du milieu comporte à son extrémité 3 bases qui forment un **anticodon**. Des enzymes spécifiques fixent l'AA approprié à l'anticodon et celui-ci s'associe par complémentarité des bases avec le codon.

Les **ribosomes** sont des inclusions oblongues de 15 à 25 nm se trouvant en grand nombre dans toutes les cellules. Ils sont fixés à la surface du RER, libres dans le cytosol ou encore dans les plastides et mitochondries.

Ils sont composés d'**ARNr** synthétisé dans le noyau et divers types de protéines qui migrent du cytosol vers le noyau. Deux sous-unités sont fabriquées et sortent du noyau pour ne s'assembler qu'au moment d'entamer la **traduction**.

La synthèse des protéines

Initiation	<ul style="list-style-type: none"> • Une molécule d'ARNt spécifiant l'AA méthionine se fixe sur la petite sous-unité du ribosome. • Cette petite unité se fixe à l'ARNm en un site particulier près du codon initiateur et glisse jusqu'à ce que le codon AUG et son anticodon soient vis-à-vis. • La grande sous-unité vient s'ajouter. Il y a deux sites de fixation au ribosome : P où se trouve l'ARNt et A.
Elongation	<ul style="list-style-type: none"> • Un deuxième ARNt chargé de l'AA approprié (avec un anticodon complémentaire au second codon) vient se fixer au site A. • Un lien se forme entre le COOH de Mét. et le NH₂ du second AA et Mét. Se détache de son ARNt. • En même temps, le ribosome se déplace de 3 AA sur l'ARNm libérant le site de fixation A. Ce processus de translocation demande de l'énergie. • Un troisième ARNt vient se fixer au site A, nouvelle liaison peptidique, translocation, ... Le cycle continue ...
Terminaison	<ul style="list-style-type: none"> • Le site A est en face d'un codon stop. Celui-ci est reconnu par des protéines appelées facteurs de terminaison. • Le polypeptide achevé puis les ARNt se détachent du ribosome. • La chaîne polypeptidique prend sa conformation tridimensionnelle et subit d'éventuelles modifications post-traductionnelles. • Le ribosome se détache de l'ARNm et se sépare en deux.

Une molécule d'ARN peut être parcourue par de nombreux ribosomes simultanément. Chacun d'eux fabriquant le même polypeptide mais à des stades plus ou moins avancés de synthèse. L'ensemble d'un ARNm et des ribosomes qu'ils porte = **polysome**.

Synthèse des protéines à la surface du RER

La synthèse est initiée dans le cytosol. Quand les 20 à 30 premiers AA de la chaîne sont synthétisés, cette chaîne contenant de nombreux AA hydrophobe et appelée **séquence signal** s'insère dans la membrane du RE. L'élongation reprend et la chaîne traverse la membrane du RE en même temps qu'elle est synthétisée. La séquence signal va ensuite être coupée par une enzyme **signal peptidase** de la face interne de la membrane du RE.

Schéma récapitulatif

Chapitre 17 : Le noyau au repos

Les eucaryotes possèdent généralement un **noyau sphérique situé au centre de la cellule** mais il peut y avoir des cellules dont le noyau a dégénéré et disparu (globules rouges), il peut y avoir des noyaux ovoïde, lenticulaire ou de contour irrégulier, ...

Le noyau a pour rôles de stocker l'ADN, d'assurer la réplication et transcription de celui-ci en ARN, de synthétiser les sous-unités ribosomales.

Le noyau peut être considéré comme un organite à double membrane dont la membrane externe est en continuité avec le RE. La **membrane nucléaire** protège l'ADN (qui ne sort jamais du noyau) des mouvements du cytosquelette, elle sépare dans l'espace et le temps la transcription et la traduction, elle enferme le **nucléoplasme**. La membrane possède des **pores nucléaires** de 50 à 100 nm.

Dans le nucléoplasme, on trouve la chromatine, un complexe associant ADN (-) et histones (protéines basiques, +). L'ADN s'enroule autour d'assemblages cylindriques d'histones pour constituer un **nucléosome**. Les nucléosomes sont reliés entre eux par de l'ADN formant une sorte de chapelet qui est lui-même enroulé autour d'un axe d'histone d'un autre type pour former la **fibre de chromatine**. Cette dernière est également repliée en boucle attachées à la charpente des chromosomes pour donner le **chromosome interphasique** qui sera encore compacté lors de la division du noyau.

On trouve également dans le noyau, un ou plusieurs **nucléoles** qui sont des régions sphériques du nucléoplasme où ont lieu la synthèse des ARNr et l'assemblage des sous-unités des ribosomes.

La transcription

Seules certaines portions des molécules d'ADN du noyau sont transcrites. Ces portions, appelées **gènes**, sont limitées par deux signaux (séquence particulière d'AA), le promoteur de transcription et le terminateur de transcription.

1. Des protéines, appelées facteurs de transcription, se fixent au promoteur.
2. L'ARN polymérase se fixe à l'ADN et sépare les 2 brins localement.
3. L'ARN polymérase se déplace le long d'un des deux brins d'ADN et entame la transcription, l'ARN se forme par complémentarité des bases.
4. L'ARN polymérase rencontre le terminateur, la transcription s'arrête, l'enzyme se détache de l'ADN et l'ARN synthétisé est libéré.

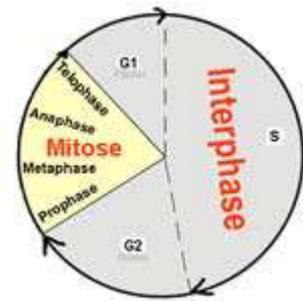
Les cellules eucaryotes synthétisent en fait un ARN inactif (pré-ARN) qui doit subir une maturation pour devenir fonctionnel. La **maturation** est un ensemble de modifications (élimination, addition, modification) que vont subir les molécules de pré-ARN.

Lors de la maturation des pré-ARNm, un fragment d'une extrémité est remplacé par une chaîne de A, la queue de poly A, qui pourrait jouer un rôle dans le transport. A l'autre extrémité un nucléotide particulier, la coiffe, est ajouté ; il est reconnu par la petite sous-unité du ribosome. Ensuite se déroule le phénomène de l'épissage où une série de fragments, les introns, sont enlevés pour ne laisser que les exons. Il peut ensuite y avoir des modifications sur des nucléotides individuels. La molécule d'ARNm une fois maturée peut migrer vers cytoplasme.

Même si des cellules possèdent les mêmes gènes, elles ne les expriment pas tous, et pas tout le temps. Ainsi les cellules d'un être vivant sont différenciées, spécialisées dans différents types cellulaires ayant les mêmes caractéristiques ultrastructurales et physiologiques.

Chapitre 18 : Le cycle cellulaire

Le **cycle cellulaire** est l'ensemble des transformations successives liées à la croissance et à la division cellulaires. La mitose et la cytokinèse occupent une brève période appelée phase M. Le temps séparant 2 phases M successives est l'interphase. Il est composé de 2 phase G (pause) et d'une phase S au cours de laquelle l'ADN se réplique.



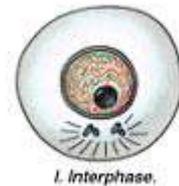
Le cycle cellulaire est une suite d'évènements finement contrôlée de façon à ce que les étapes se succèdent dans le bon ordre. Il doit aussi être coordonné entre différentes cellules ce qui implique des facteurs extracellulaires (**facteurs de croissances**). La progression du cycle cellulaire s'effectue grâce à l'activation/désactivation cyclique de protéines par un changement de configuration provoqué par d'autres protéines elles-mêmes activées de façon complexe par des protéines appelées **cyclines**.

Certaines cellules ne se divisent pas parce qu'elles ne fabriquent pas de cyclines, leur phase G_1 est alors prolongée et est appelée G_0 .

La **mort cellulaire programmée** est un phénomène courant. En présence ou absence de certains signaux extracellulaires, les cellules mettent en route un programme de suicide.

Interphase²

La **réplication de l'ADN** a lieu en phase S de l'interphase, c'est un processus complexe qui commence en plusieurs endroits de l'ADN, appelés origines de réplication, et reconnues par des protéines d'initiation de la réplication. D'autres protéines séparent les brins de la double hélice créant des fourches de réplication. De nouveaux nucléotides s'associent par complémentarité à chaque brin et polymérisent grâce à l'ADN polymérase.



Chromosomes

Le nombre de chromosomes est variable entre espèces mais en général constant au sein d'une même espèce. Chez les animaux et plantes supérieures, chaque chromosome est présent en 2 copies semblables, on les appellent chromosomes et on dit que la cellule est **diploïde (2n)**. Il y a une exception, les cellules reproductrices sont **haploïdes (n)**. Il existe des individus polypléïdes ($3n, 4n, \dots$).

Le nombre, la taille des chromosomes et la position des centromères sont des constantes chromosomiques. Elles permettent de dresser un **caryotype** (catalogue de chromosomes) pour chaque espèce et voir si deux individus sont d'une espèce proche ou détecter une anomalie chromosomique chez un individu.

Les chromosomes mitotiques sont une forme condensée d'un chromosome métaphasique. Chaque chromatide contient une molécule d'ADN, c'est la même dans les deux chromatides-soeurs d'un même chromosome. Un chromosome fait de 1 à $4\mu\text{m}$ de large et 2 à $20\mu\text{m}$ de long, il possède une zone d'étranglement appelée **centromère** sur lequel deux **cinétochores** se développent en début de mitose.

² Les images proviennent de http://users.skynet.be/chr_loockx_sciences/la_mitose.htm

Prophase

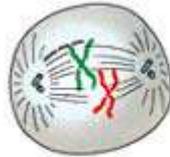
- Apparition des chromosomes
- Disparition des nucléoles et de la membrane nucléaire qui se fragmente en petites vésicules.
- Les chromosomes interphasiques se condensent en chromosomes mitotiques formés de 2 chromatides chacun.
- Dans les cellule animales, les 2 centrosomes, formés par la division en phase S du centrosome préexistant, se disposent de deux côtés opposés du noyau.
- Les centrosomes ou MTOC situés aux extrémités opposées de la cellule émettent des MT se reliant avec ceux du pôle voisin ou avec un cinétochore formant le fuseau
- Dans les cellules animales, des MT courts rayonnent autour de chaque centrosome : l'aster.



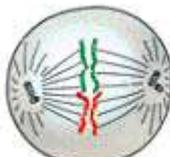
II. Prophase.



III. Prophase.



IV. Prophase.



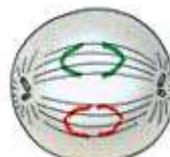
V. Métaphase.

Métaphase

- Les chromosomes entrent en mouvement et les centromères se dirigent vers le plan équatorial qu'on appelle alors plaque métaphasique.
- Le mouvement des chromosomes résulte de l'action des MT chromosomiques qui se polymérisent/dépolymérisent.
- Les bras du chromosome sont souvent dirigés vers le pôle le plus proche duquel ils se trouvaient en fin de prophase.

Anaphase

- Les chromatides-sœurs de chaque chromosome se disjoignent en chromosomes-fils.
- Migration synchrone des chromosomes-fils vers les pôles.
- Allongement du fuseau, les pôles s'écartent.
- Tassement polaire aux pôles.



VI. Anaphases.

Télophase

- Les chromosomes vont se décondenser et reformer les chromosomes interphasiques.
- Les nucléoles réapparaissent.
- Les MT du cinétochore disparaissent.
- La membrane nucléaire se reforme à partir des vésicules de la membrane du noyau de départ et du RE.



VII. Télaphases.



VIII. Télaphase.

Cytocinèse

Chez les plantes, la cytocinèse est centrifuge.

Une plaque cellulaire se forme par fusion de phragmosomes à l'équateur du fuseau. Ceux-ci sont guidés par le phragmoplaste (MT nouvellement synthétisés). La plaque cellulaire s'étend et forme la lamelle mitoyenne. Des canalicules de RE peuvent être emprisonnés dans la lamelle, expliquant le symplasme. La paroi se forme ensuite comme vu au chap.5.

Chez les animaux, la cytocinèse est centripète et résulte d'un anneau de microfilaments d'actine associée à de la myosine qui se dispose sur la face interne du plasmalemme perpendiculairement au fuseau à hauteur du plan équatorial. En se contractant, un sillon de division apparaît et étrangle progressivement la cellule mère.

Chez les mycètes, une paroi (septum), perpendiculaire à l'axe de l'hyphe, se forme de manière centripète. La croissance s'arrête pour laisser subsister un pore d'environ 500nm.

Chapitre 19 : La reproduction

La **reproduction** est la capacité qu'ont les êtres vivants de donner naissance à de nouveaux individus génétiquement identiques ou semblables à eux-mêmes.

Dans la reproduction asexuée, un seul individu donne naissance à de nouveaux individus clones. Les organismes unicellulaires se divisent par mitose tandis que les organismes pluricellulaires peuvent faire appel à des cellules reproductrices (**mitospores**) produites par mitose et cytokinèse qui sont libérées et disséminées dans l'environnement où elles peuvent à elles seules se développer en un nouvel organisme.

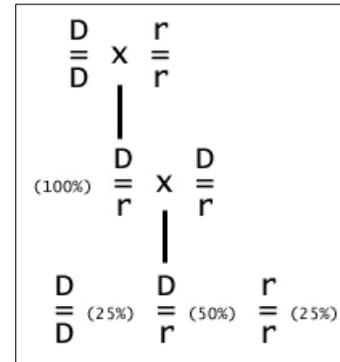
Dans d'autres cas, un organisme pluricellulaire se fragmente en plusieurs portions qui régénéreront chacune l'organisme complet.

On parle de reproduction sexuée lorsque deux parents distincts interviennent dans la production d'un nouvel individu produit par l'union de deux **gamètes** γ (cellules reproductrices parentales). La **fécondation** donne une cellule unique appelée **zygote** ω qui, s'il s'agit d'un organisme pluricellulaire, donnera par divisions successives un nouvel individu.

Généétique mendélienne

Mendel fit des observations sur la transmission des caractères en observant des pois car ils ont la faculté de s'autoféconder, on peut facilement réaliser des fécondations croisées, on peut facilement trouver beaucoup de variétés différentes.

Mendel croise des plantes de lignées pures distinctes différant par un seul caractère et remarque que certains caractères sont récessifs, d'autres dominants et que les plantes obtenues en première génération F_1 affirment toutes le caractère **dominant** tandis qu'en F_2 on obtient également 25% de plantes qui affirment le caractère **récessif**. (illustration : D=dominant, r=récessif)

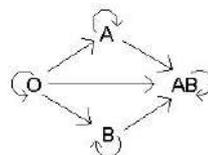


Mendel va ainsi découvrir que chaque caractère est déterminé par un facteur (**gène**) qui se trouve en deux exemplaires (**allèles**) dans chacun des 2 organismes parentaux. Les allèles peuvent être différents (gène **hétérozygote** >< homozygote) le dominant l'emportant sur le récessif. Il énonce la **première loi de Mendel** : « Lors de la formation des gamètes, les deux allèles d'un gène se séparent également de telle façon que la moitié des gamètes portent un allèle de ce gène et l'autre moitié porte l'autre allèle de ce gène ». La composition allélique d'un individu pour l'ensemble de ses gènes est un **génotype** ; chaque caractère est un **phénotype**.

Mendel a alors fait des expériences sur la transmission de 2 caractères considérés simultanément et obtient les résultats du tableau ci-contre. Il énonce la **deuxième loi de Mendel** : « Durant la formation des gamètes, la ségrégation des allèles d'un gène est indépendante de la ségrégation des allèles d'un autre gène ».

	L,R	L,r	l,R	l,r
L,R	L,R	L,r	l,R	l,r
L,r	L,R	L,r	l,R	l,r
l,R	L,R	L,r	l,R	l,r
l,r	L,R	L,r	l,R	l,r

Il existe des cas particuliers d'hérédité mendélienne, une dominance incomplète, des allèles multiples, ... (voir page 164, système ABO)



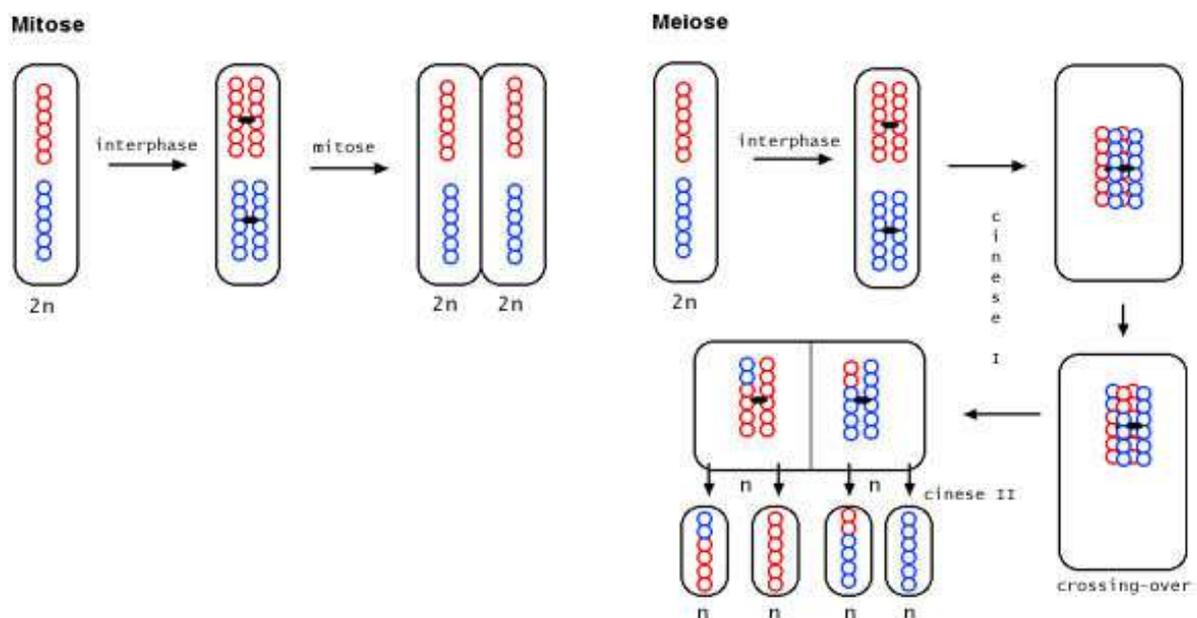
La méiose

Lors de la fécondation, la fusion des gamètes donne un noyau diploïde qui par mitoses et cytokinèses successives engendrera un individu diploïde.

La méiose est une suite de deux divisions d'un noyau diploïde en 4 noyaux haploïdes qui mène à la formation de cellules reproductrices. La méiose est précédée d'une interphase normale ; elle se compose d'une **cinèse réductionnelle** (90% temps) et d'une **cinèse équationnelle**.

INTERPHASE		
CINÈSE I	<i>Prophase I</i> (longue)	Les chromosomes interphasiques se condensent en chromosomes de division nucléaire, les chromosomes homologues vont s'apparier pour former des bivalents. Crossing-over, éventuelles recombinaisons. Les chromosomes homologues se désappariaient mais restent attachés au niveau des chiasmats. Ensuite, comme une prophase de mitose sauf que chaque chromosome ne s'attache qu'à un seul pôle différent de celui de son chromosome homologue.
	<i>Metaphase I</i>	Les chromosomes se disposent dans la région du plan équatorial avec les centromères de deux chromosomes homologues superposés et de part et d'autre du plan.
	<i>Anaphase I</i>	Séparation des chromosomes homologues avec résolution des chiasmats. Tassement polaire, souvent peu marqué.
	<i>Telophase I</i>	La reformation de la membrane nucléaire, la décondensation des chromosomes, la réapparition des nucléoles sont variables selon les espèces.
INTERCINÈSE	Période de courte durée pendant laquelle le centrosome se divise dans les cellules animales. Pas de réplication d'ADN.	
CINÈSE II	<i>Prophase II</i> (courte)	Se déroule comme une mitose. L'axe du fuseau est souvent perpendiculaire à celui de la cinèse I.
	<i>Metaphase II</i>	
	<i>Anaphase II</i>	
	<i>Telophase II</i>	

En très simplifié : comparaison mitose-méiose



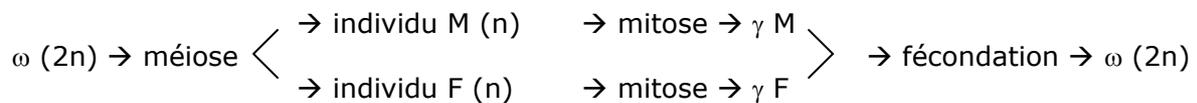
Comme on peut le remarquer, il y a un véritable **brassage intrachromosomique** lors de la méiose. L'apport d'allèles de deux parents et les recombinaisons génétiques qui ont lieu en prophase I confère à chaque nouvel individu un bagage d'allèle différent de ses parents et unique parmi des milliards de combinaisons possibles. Ainsi une espèce constituée d'individus aux potentialités diverses augmente ses chances de survie.

Cycles de développement

Un cycle de développement est la suite des transformations chez un individu entre le moment où il est formé et le moment où il se reproduit à son tour. En fonction du moment relatif du doublement et de la réduction du nombre de chromosomes, on distingue 3 types de cycles de développement.

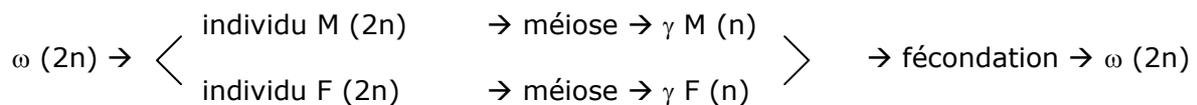
Le cycle haplophasique

Divers protistes et la plupart des champignons



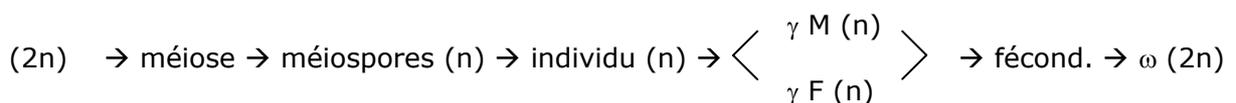
Le cycle diplophasique

Certains protistes et tous les animaux



Le cycle haplo-diplophasique

Divers protistes, quelques champignons, tous les végétaux



Dans ce cycle, un zygote (2n) produit un individu (2n) qui va produire par méiose des méiospores (n) dans des organes appelées sporanges. Les méiospores vont être libérées et générer un petit individu (n) (prothalle) qui va créer des gamètes mâles et femelles qui vont féconder et générer un zygote qui deviendra un individu (2n) semblable à l'individu de départ.

Chapitre 20 : Apparition des êtres vivants et classification

On suppose aujourd'hui que tous les êtres vivants sont les descendants, par **évolution**, d'un ancêtre commun. Reconstituer l'évolution est une entreprise hasardeuse et spéculative mais elle peut être confortée par l'étude des fossiles, ...

Les conditions qui existaient sur terre lors des premiers milliards d'années (atmosphère primitive) ont produites de petites molécules organiques (HCN, HCHO) qui se serait ensuite associée en polymères après s'être concentrée dans les océans. Un système autorépliatif est vraisemblablement apparu. Les ions métalliques des argiles auraient servi de catalyseurs aux réactions de polymérisation. Il y a sans doute eu des erreurs de réplication et une sélection naturelle. La sélection des ARN en fonction de la qualité des protéines qu'ils génèrent pouvait commencer avec l'apparition d'une compartimentation réalisée par certains lipides amphipathiques.

Les procaryotes (cellules simples) ont commencé à évoluer il y a 3 milliards d'années pour mener aux eucaryotes plus complexe il y a 1,5 milliard d'années. La glycolyse est sans doute une des plus anciennes voies métaboliques à être apparue. Lorsque les ressources organiques naturelles vinrent à se raréfier, la photosynthèse aurait fait son apparition créant beaucoup d'oxygène et permettant l'apparition de la respiration. La symbiose de cellules aérobies et de cellules supportant de faibles concentrations en oxygène est l'explication la plus plausible pour expliquer l'organisation métabolique des cellules eucaryotes actuelles,

Des unicellulaires se sont alors associés pour former des pluricellulaires dont les cellules coopèrent, se différencient et se spécialisent.

La systématique

La systématique est la discipline dont l'objectif est de classer la multitude d'êtres vivants en leur donnant un nom et en les regroupant en catégories de plus en plus larges.

Depuis Aristote, un des premiers à classer les êtres vivants, on classait selon des critères variables. Le biologiste **Carl von Linné** (18^{ème} s) proposa un système de classification basé sur divers critères morphologiques qui est toujours utilisé aujourd'hui.

A cette époque les biologistes étaient fixistes et créationnistes, dès lors la systématique n'avait qu'un but très pragmatique d'inventaire jusqu'à la parution de **Darwin** « De l'origine des espèces par voie de sélection naturelle ». La systématique est devenue phylogénique et s'efforce depuis à reconstruire l'arbre généalogique des êtres vivants.

Depuis Linné, chaque organisme est baptisé d'un **binôme latin** (Genre avec une majuscule suivi de l'espèce) écrit en italique suivi du nom ou première lettre de l'auteur.

L'unité de base en biologie est l'espèce. Une **espèce** est un ensemble d'individus semblables qui se transmettent cette similitude de génération en génération.

Règne > Embranchement > (Sous-embranchement) > Classe > Ordre > Famille > Genre > **Espèce** > (Sous-espèce) > (Variété) > (Forme)

Comme vu au chapitre 1, on classe aujourd'hui les êtres vivants en 5 règnes mais avec une tendance à vouloir subdiviser les procaryotes en eubactéries et archéobactéries et le règne des protistes en plusieurs règnes vu leurs grandes diversités

Chapitre 21 : Règne des procaryotes

Les procaryotes sont caractérisés par l'absence de noyau mais la présence d'un nucléoïde et d'une seule double hélice d'ADN fermée sur elle même, absence d'organites subcellulaires et cytosquelette, absence de mitose et méiose, grande ancienneté, métabolisme divers et originaux adaptés aux milieux extrêmes.

La morphologie des procaryotes est peu diversifiée et les critères d'identification portent sur :

- Forme des cellules : sphériques (coques), bâtonnets droits (bacilles), spiralées (spirilles), filamenteux ramifiés (actinomycètes)
- Taille : de 0,1 μm (mycoplasmes) à > 10 μm (cellules de cyanobactéries)
- Type de paroi par coloration Gram
- Production de spore ou non
- La présence, le nombre et la position des flagelles
- La forme et la couleur des colonies

Les procaryotes ont un mode de reproduction asexué mais un brassage de gène peut avoir lieu par les mécanismes de conjugaison et transformation.

Lors de la conjugaison, deux bactérie s'unissent par un pilus (tube constitué de protéines par un individu donneur vers un récepteur). Un des brins d'ADN s'engage dans le pilus pour rejoindre la cellule réceptrice tandis que l'autre brin reconstitue son complément. Lorsqu'une portion du brin est passée dans l'autre cellule, il se rompt et le pilus se résorbe. La bactérie réceptrice utilise le simple brin excédentaire pour synthétiser le brin complémentaire. Il peut y avoir ensuite des crossing-over ou des recombinaisons suivi de la dégradation du segment excédentaire.

Certaines bactéries sont capables d'absorber de l'ADN présent à l'état libre dans le milieu extérieur.

Archéobactéries	La nature des lipides membranaires et les séquences nucléotidiques des gènes de leur ARNr sont plus proche des eucaryotes que des eubactéries
	Termophiles extrêmes : eau chaude et acide ou près des volcans sous-marins.
	Méthanogènes : anaérobies stricts, leur métabolisme produit du méthane par réduction de CO_2 . Une dizaine d'espèce dont une se développe dans le rumen des ruminants.
	Halophiles extrêmes : milieux riches en sels, supportent des pH élevés.
Eubactéries	Leur classification a été mise au point en 1884 par Gram, un médecin Danois. Il s'agit d'un processus de coloration. Les bactéries retenant une coloration violette après lavage à l'alcool sont Gram ⁺ les autres Gram ⁻ . La coloration dépend de l'organisation de la paroi et la quantité de peptidoglycane que contient cette dernière.
	Gram+ : 75% des eubactéries, <i>Escherichia coli</i> (flore intestinale), nombreux pathogènes, bactéries du cycle de l'azote, cyanobactéries.
	Gram- : bactéries lactiques, nombreux pathogènes, actinomycètes (bactéries filamenteuse utilisée pour la production d'antibiotiques)
	Mycoplasmes : les plus petites bactéries d'un diamètre de 0,1 à 0,2 μm avec une quantité d'ADN 2x plus faible que d'autres procaryotes. Parasites intracellulaires d'animaux et plantes ne possédant pas de paroi.

Chapitre 22 : Règne des protistes

Les protistes ont des **tendances évolutives diverses**, il représente un règne extrêmement hétérogène. Il y a beaucoup d'embranchements, quelques exemples :

Embranchements présentant des caractères de type animal

- **Rhizopodes** : pas de paroi, pas de flagelles, pas de reproduction sexuée, déplacements par mouvements amiboïdes, certaines espèces sont parasites de l'homme.
- **Foraminifères** : organismes marins à coques recouvertes de CaCO₃.
- **Apicomplexes** : parasites d'animaux à développement complexe nécessitant plusieurs hôtes successifs.
- **Zooflagelles** : présence de flagelles.
- **Cilies** : unicellulaires complexes avec cils, 2 sortes de noyaux, vacuoles contractiles, système digestif primitif.

Embranchements présentant des caractères de type végétal

- **Pyrrophytes** : phytoplancton, 2 flagelles.
- **Bacillariophytes** : phytoplancton, diatomées, paroi formée de 2 parois silicifiées.
- **Euglenophytes** : cellules souples changeant de forme.
- **Chlorophytes** : algues vertes.
- **Phaeophytes** : algues brunes (pluricellulaires).
- **Rhodophytes** : algues rouges

Embranchements présentant des caractères de type fongique

- **Myxomycètes** : plurinuclée, nourrit par endocytose.
- **Oomycètes** : hyphes cénotiques, nourrit par absorption.

Chapitre 23 : Règne des mycètes

Les mycètes sont des être vivants eucaryotes pluricellulaires ou parfois unicellulaires (levures) mais dans ce cas il s'agit sans doute de formes de régression. Ils sont généralement terrestre hétérotrophe par absorption et peuvent être symbiotes, parasites ou saprobies (matière organique morte).

L'appareil végétatif des mycètes est composé d'**hyphes**, minces filaments ramifiés et plus ou moins cloisonnés, à paroi principalement constitué de chitine. Le réseau formé par l'ensemble des hyphes est appelé **mycélium**. Il peut être très vaste.

Il peut y avoir une reproduction asexuée et il y a alors formation de **mitospores** produites dans les **sporanges** ou à l'extrémité des hyphes où elles forment des chaînettes appelées **conidies**. Une moisissure est un champignon formant des hyphes et se reproduisant de manière asexuée.

La reproduction sexuée se fait par un cycle haplo-diplophasique pour les chytridiomycètes et haplophasique pour les 3 autres embranchements. Une structure particulière intervient dans la reproduction sexuée, c'est le **carpophore**.

4 embranchements

- **Chytridiomycètes** : cycle haplo-diplophasique, champignons primitifs, environ 790 espèces.
- **Zygomycètes** : moisissures.
- **Basidiomycètes** : dizaines de milliers d'espèces, les non-spécialistes appellent leurs carpophores « champignons ». Ce sont d'excellents décomposeurs. Ils ont généralement une reproduction sexuée. Voir le schéma de leur cycle de développement page 196 du syllabus.
- **Ascomycètes** : 60 000 espèces dans des milieux très divers. Outre une reproduction sexuée, il y a une reproduction asexuée sous forme conidie. La méiose se déroule dans un asque qui par mitose donne 8 ascospores qui pourront chacune germer en un nouveau mycélium.

Divers groupes de champignons

- **Deutéromycètes** : Groupe de mycètes ne pouvant pas encore être classés dans un des quatre embranchement.
- **Levures** : mycètes unicellulaires (quel que soit son embranchement).
- **Lichens** : organisme constitué d'une association symbiotique entre d'une part un champignon (ascomycète, parfois basidiomycète) et d'autre part une algue verte ou/et une cyanobactérie.
- **Mycorhizes** : Symbiose entre un champignon et les racines d'un végétal.

Annexe : Les polymères organiques du cours BIOL1150

Amidon	Principale matière de réserve chez les plantes, il est composé de deux polymère : l'amylose (30%) et l'amylopectine(70%). L'amidon n'est pas soluble dans l'eau froide et se gélifie dans l'eau chaude. Il est facilement hydrolysé en présence d'amylase pour donner du glucose.
Amylopectine	Polymère ramifié de 300 à 60000 molécules d' α -glucose liés en C_1-C_6 et où des liaisons C_1-C_6 apparaissent environ toutes les 25 molécules.
Amylose	Chaîne linéaire de 100 à 2000 molécules d' α -glucose liés en C_1-C_4 .
Cellulose	La cellulose a la même formule brute que l'amidon mais elle est non-ramifiée à l'inverse de l'amidon. C'est un polymère de β -glucose insoluble dans l'eau et chimiquement inerte et très difficile à hydrolyser. Les molécules peuvent atteindre plusieurs μm de longueur. Elles s'associent par dizaines en microfibrilles de 10 à 20 nm de diamètre. Les molécules sont réunies par des ponts H et peuvent donner naissance à de structures solides et résistantes. Dans la paroi des cellules végétales, le rôle principal des microfibrilles est de s'opposer à l'étirement.
Chitine	Polysaccharide dont le monomère est un glucose modifié ; la fonction $-\text{OH}$ du C_2 est remplacé par $-\text{NH}-\text{CO}-\text{CH}_3$.
Collagène	Protéine fibreuse formées de 3 chaînes d'environ 1000 AA chacune. Les molécules s'associent spontanément en fibrilles s'agrégeant elles-mêmes en fibres (visible MO).
Elastine	Molécules attachées les unes aux autres formant un réseau pouvant s'étirer puis reprendre sa forme initiale. Donne l'élasticité à des tissus comme la peau, les poumons, les vaisseaux sanguins, ...
Extensine	Glycoprotéines formant un réseau tridimensionnel dans la paroi et y constituant une sorte de colle augmentant la solidité de la paroi tout en la maintenant souple.
Fibronectine	Glycoprotéine composé de plusieurs domaines se liant, l'un au collagène, l'autre aux protéoglycanes et encore un autre à la surface des cellules. Contribue à l'adhésion matrice \leftrightarrow cellule.
Glycogène	Matière de réserve glucidique chez les animaux et les champignons. Sa structure ressemble à l'amylopectine mais elle est très ramifiée.
Hémicellulose	Polysaccharides ramifiés de +/- 50 résidus glucose liés en $\beta 1,4$ comme dans la cellulose. Les chaînes latérales sont composés de divers pentoses et hexoses. Hémicellulose et cellulose peuvent s'associer par ponts H. L'hémicellulose forme un revêtement autour des microfibrilles de cellulose et assure la cohésion entre les microfibrilles de cellulose.

Pectine	Polysaccharides ramifiés dont la chaîne principale est un dérivé du galactose liés en α -1,4. Les pectines présentent en alternance des régions non ramifiées (lisses) et des régions ramifiées (rugueuses). Les pectines forment un gel mou et plastique et sont associées aux autres éléments par leurs régions ramifiées.
Peptidoglycane	Polymère résultant de la condensation de deux types de dérivés de monosaccharides et de divers AA.
Protéoglycane	Longue chaîne polysaccharidique non ramifiées. Les monomères sont des dérivés d'hexose présentant notamment des fonctions acides (-COOH). Chargés -, fortement hydratés, forment gels. Liaison covalente entre protéine et une extrémité de la chaîne.

Bon courage



LIENS UTILES 🙌

Visiter :

1. <https://biologie-maroc.com>

- Télécharger des cours, TD, TP et examens résolus (PDF Gratuit)

2. <https://biologie-maroc.com/shop/>

- Acheter des cahiers personnalisés + Lexiques et notions.
- Trouver des cadeaux et accessoires pour biologistes et géologues.
- Trouver des bourses et des écoles privées

3. <https://biologie-maroc.com/emploi/>

- Télécharger des exemples des CV, lettres de motivation, demandes de ...
- Trouver des offres d'emploi et de stage

