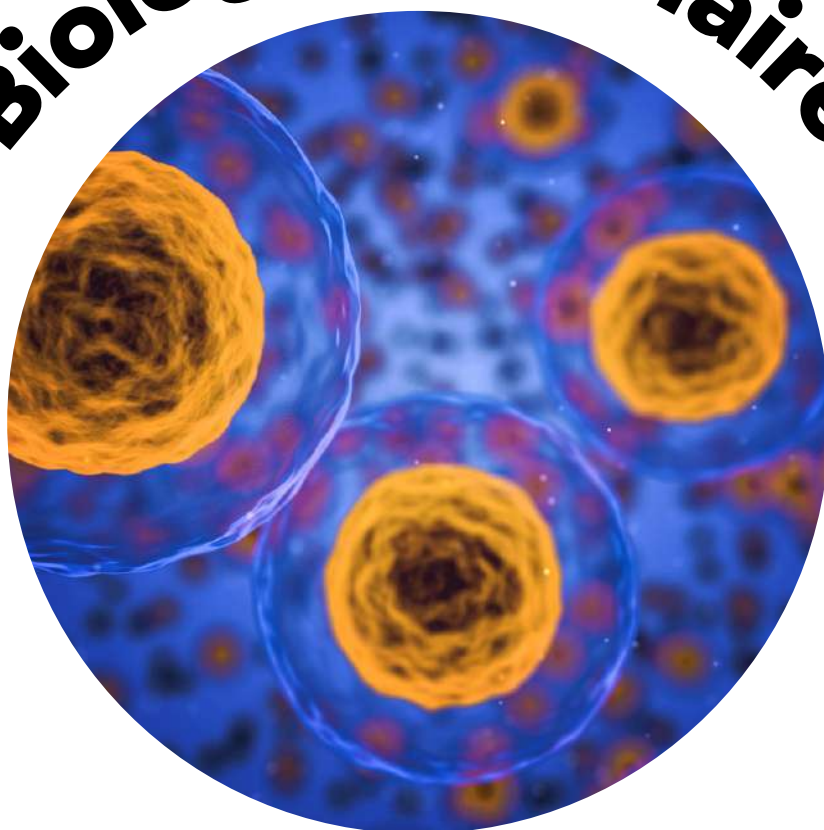


Biologie Cellulaire



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

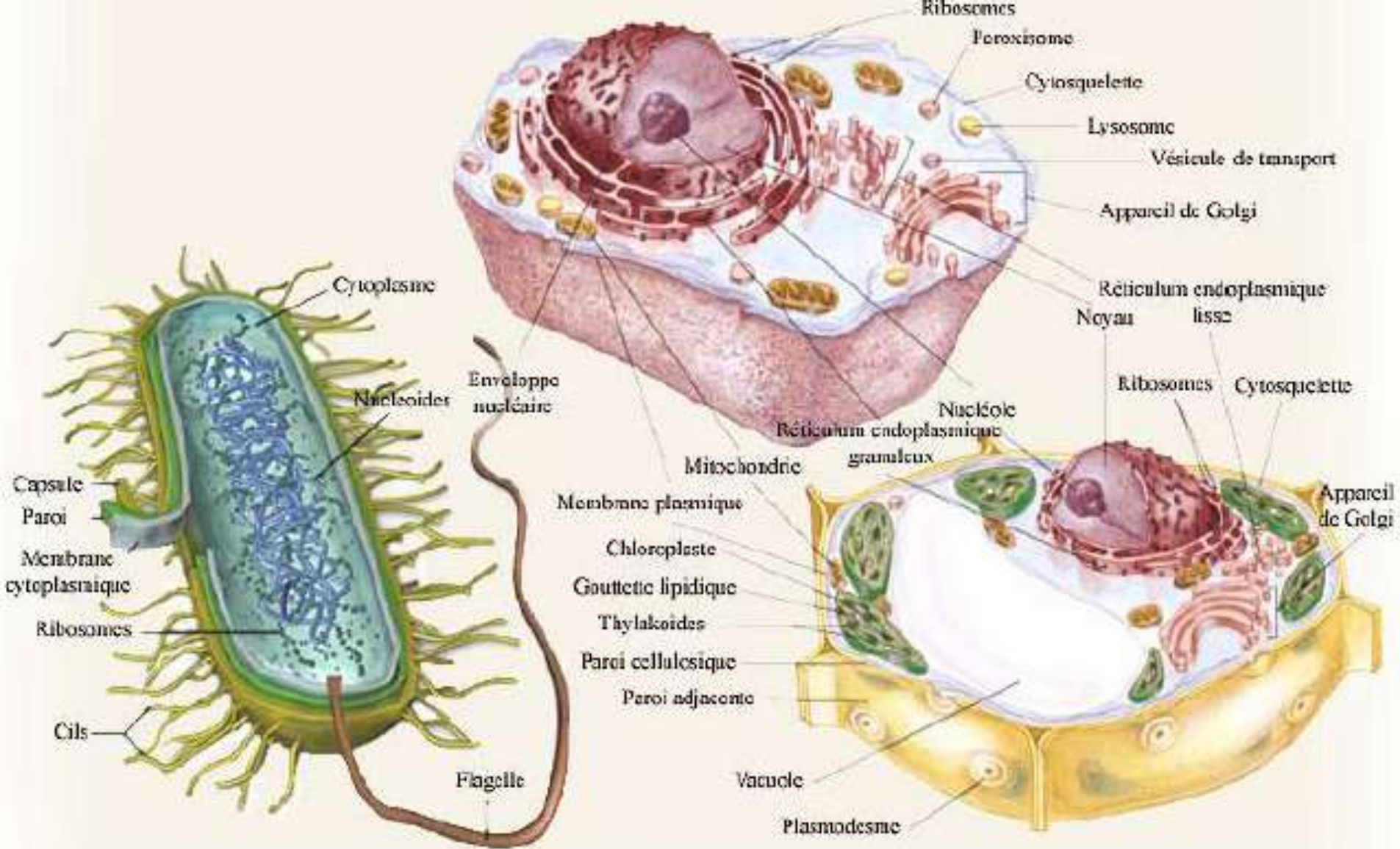


- CV • Lettres de motivation • Demandes...
- Offres d'emploi
- Offres de stage & PFE

**NOYAU
&
DIVISION
CELLULAIRE**

MGHARA Zaynab

2014/2015



Le noyau présent chez les « **eucaryotes** » renferme l'information génétique des cellules.

Généralités/Noyau:

- Un organite **interphasique** qui disparaît en fin de prophase
- Contient **l'ADN** de la cellule = **génome** (sauf ADN mitochondrial et chloroplastique)
 - **Stokage de l'information génétique**
 - **REPLICATION**
- L'ADN est sous forme de **chromatine** c.à d. associée à des protéines **Histones**
- Siège de la **TRANSCRIPTION**:
 - = synthèse des ARNm, ARNr, ARNt**Expression de l'information génétique**
- Le noyau contrôle les échanges avec le cytoplasme via les **pores nucléaires**

I .Définition et caractères généraux

- Organite volumineux , ovoïde
- 10 % du volume cellulaire
- Contient l'information génétique
- Caractérisé par : taille
forme
nombre
position

1. La taille

- 5 à 10 μ , dépend du stade de différenciation
- Volume donné par:
rapport nucléo-cytoplasmique: V_n/V_c (ou RNP)
 - ≈ 1 dans les cellules indifférenciées
 - $< 0,15$ dans les cellules adultesSauf lymphocytes : RNC $\sim 0,8$

2. La forme (1)

- Fonction du :

▶ **type cellulaire**

arrondi : C. lymphoïdes, neurones,
hépatocytes

ovoïde : cellules musculaires,
fibroblastes, entérocytes

polylobé : polynucléaires

2. La forme (2)

- ▶ **stade de différenciation**
encoché, « clivé » : dans les
cellules lymphoïdes
- ▶ **état fonctionnel**

3. Le nombre

- Généralement **unique**
- Absent : hématie, kératinocyte....
- C. binuclées: hépatocytes, cellules cardiaques, C. épithélium urinaire
- C. plurinuclées : ostéoclastes 30 à 50 noyaux

4. La position

- **Centrale** : lymphocytes, fibroblastes, C. des glandes endocrines
- **Refoulé à la base de la cellule** : C. muqueuses, C. exocrines
- **Périphérique** : C. musculaires, adipocytes

5. Mise en évidence

- **Coloration standard** : hématoxyline / éosine
(▶ basophilie du noyau)
- **Colorations spéciales** :
 - Au Bleu de Toluidine, Coloration de Feulgen
 - Test de Brachet :
 - Vert de méthyle → **chromatine (noyau) en vert**
 - Pyronine → **ARN (cytoplasme) en rouge**
 - traitement par DNase, RNase → annule la coloration →
spécificité

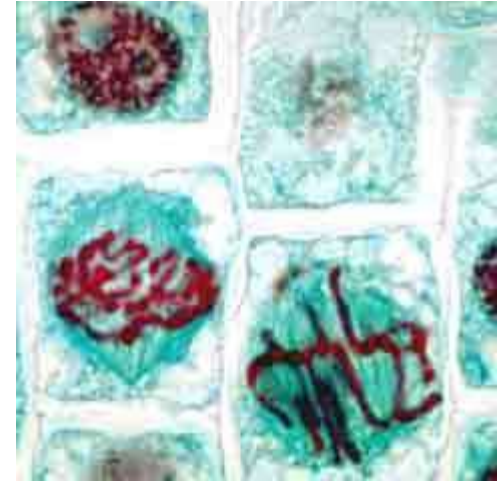
Techniques de mise en évidence



Coloration standard (Hx)



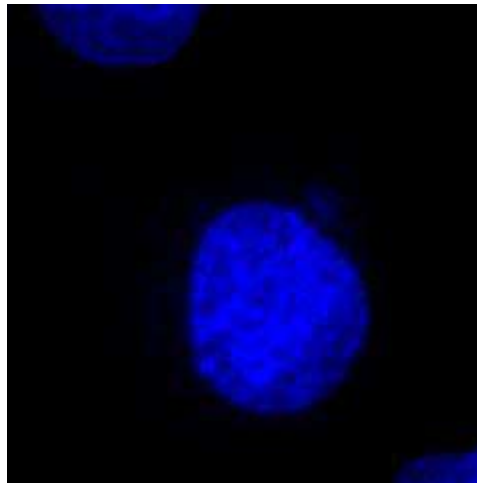
Coloration Feulgen



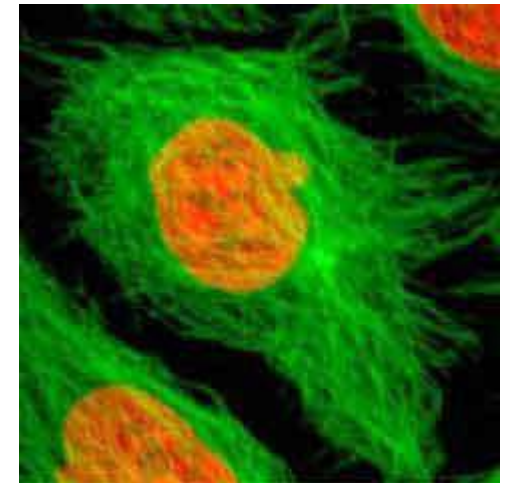
Feulgen + Vert lumière



Contraste interférentiel



En fluorescence (DAPI)



M.confocale

II. Constituants du noyau

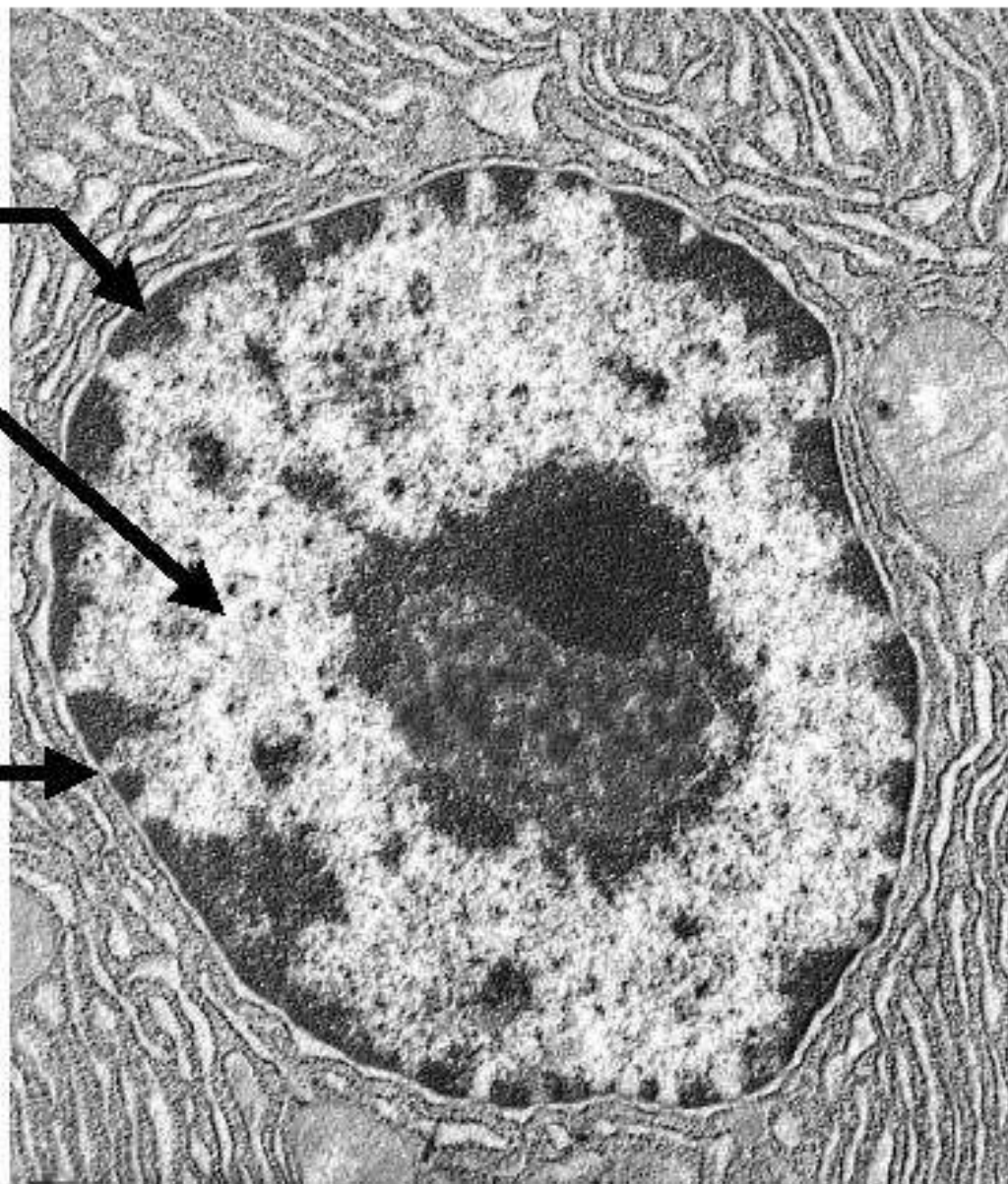
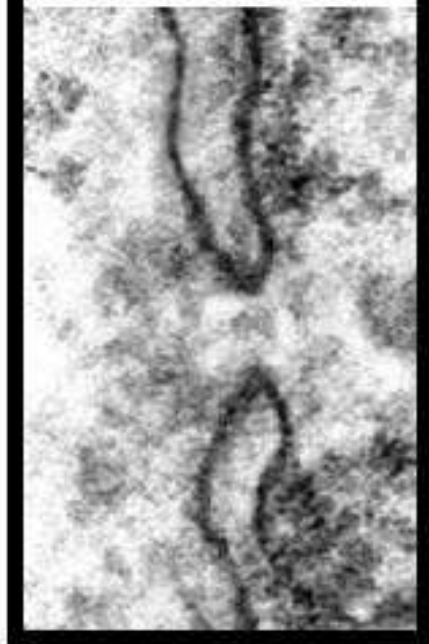
- L'enveloppe nucléaire
- Le nucléole
- Le nucléoplasme
- La chromatine



Enveloppe
nucléaire

nucléoplasmse

Pore nucléaire



2. Noyau interphasique observé au microscope électronique à transmission

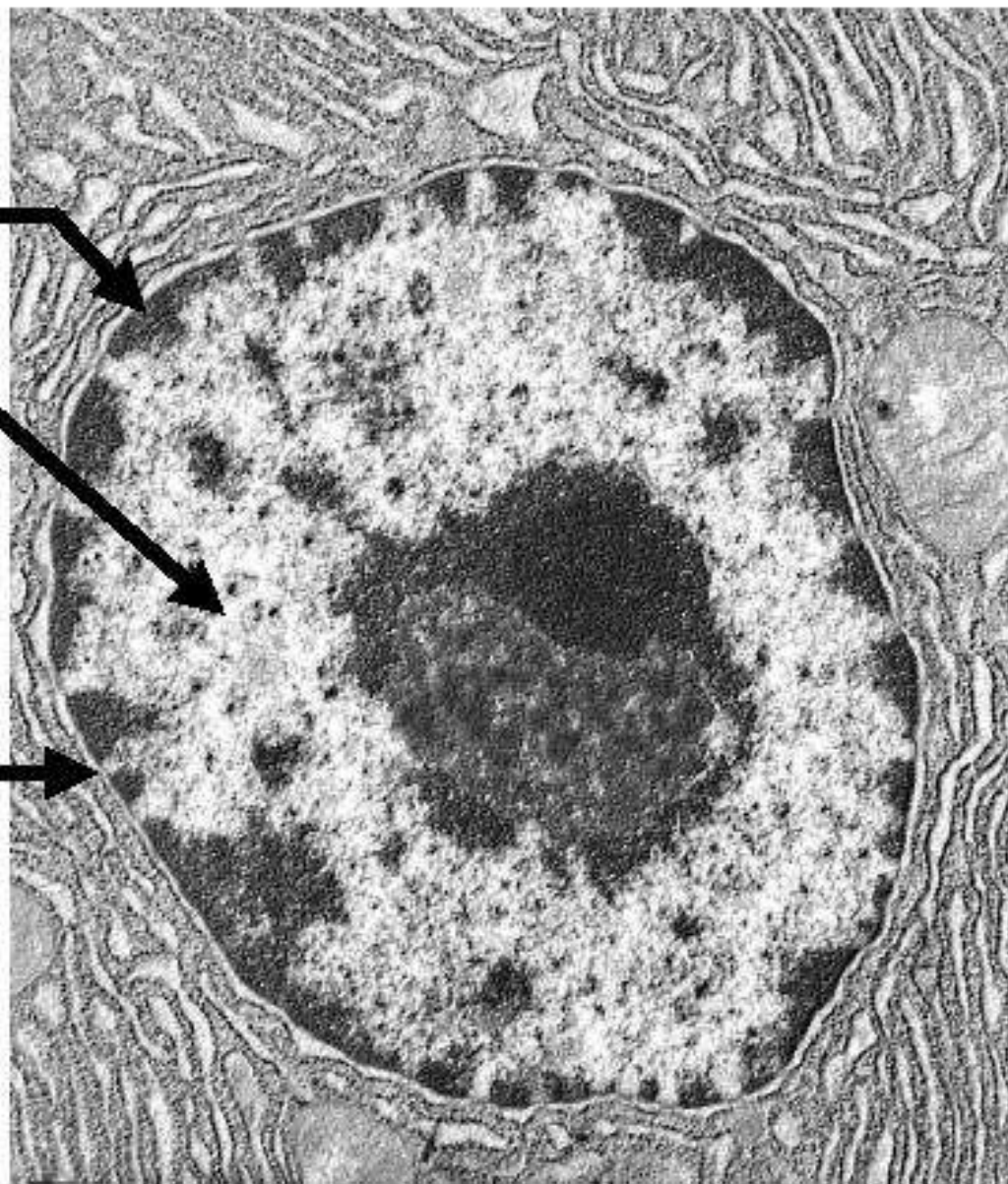
1. L'enveloppe nucléaire

- Double membrane : mbnes externe, interne
- Espace périnucléaire
- Lamina nucléaire
- Pores nucléaires ou complexes de pores

Enveloppe
nucléaire

nucléoplasmse

Pore nucléaire



2. Noyau interphasique observé au microscope électronique à transmission

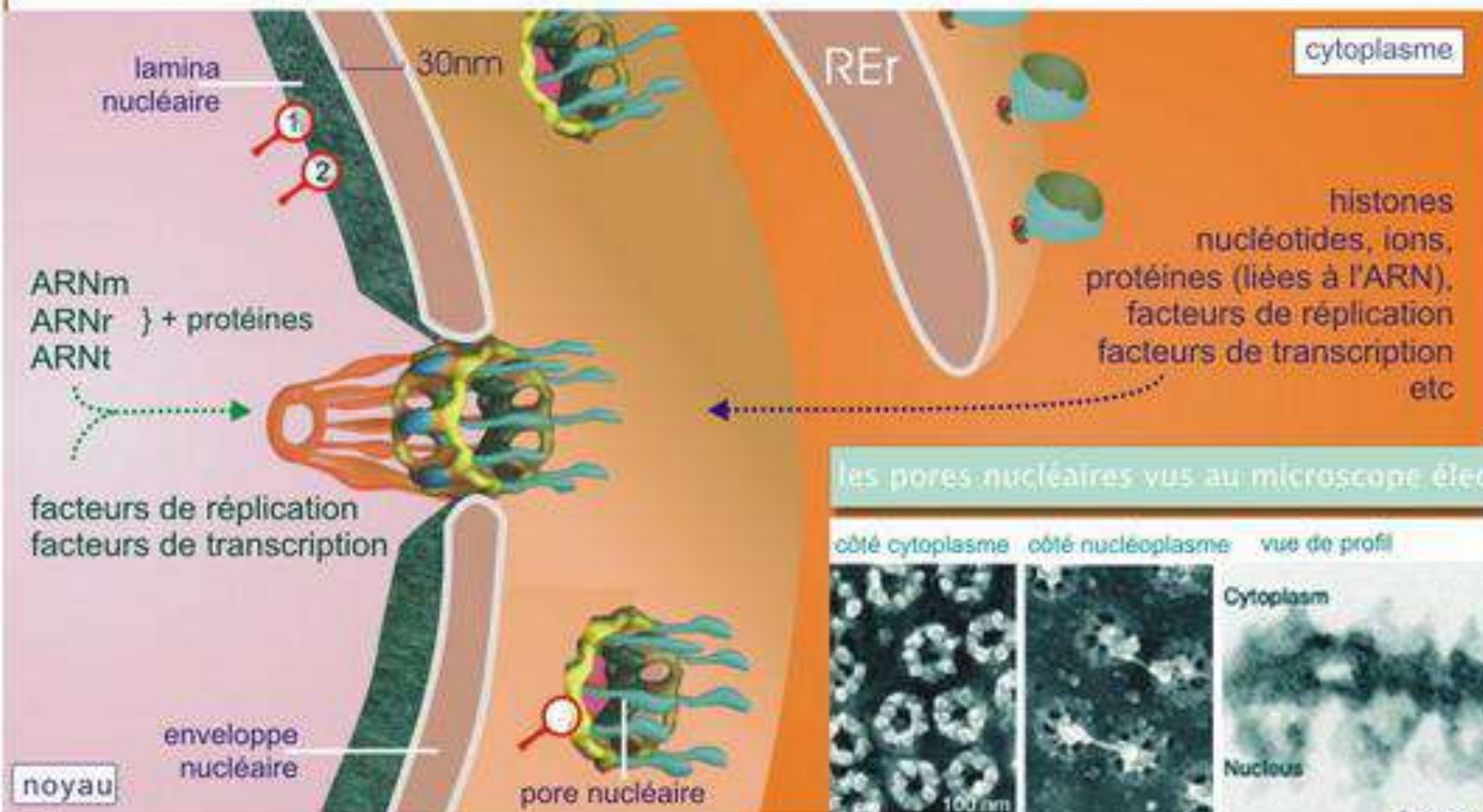
a. La membrane externe

- Fait face au cytoplasme
- Trilaminaire : 6 à 8 nm épaisseur
- Porte des ribosomes
- Continuité avec REG : ponts
(système endomembranaire)

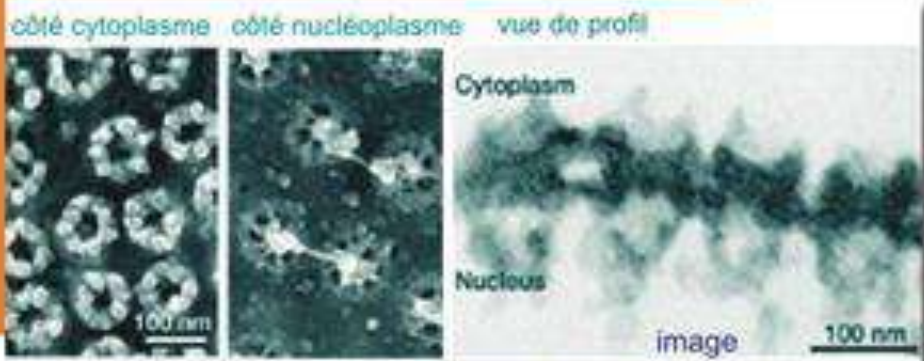
b. La membrane interne

- En contact avec le nucléoplasme et la chromatine
- Trilaminaire : 6 à 8 nm épaisseur
- Tapissée par la **lamina** nucléaire du côté du nucléoplasme

l'enveloppe nucléaire et ses pores qui réalisent un passage sélectif et facilité



les pores nucléaires vus au microscope électronique



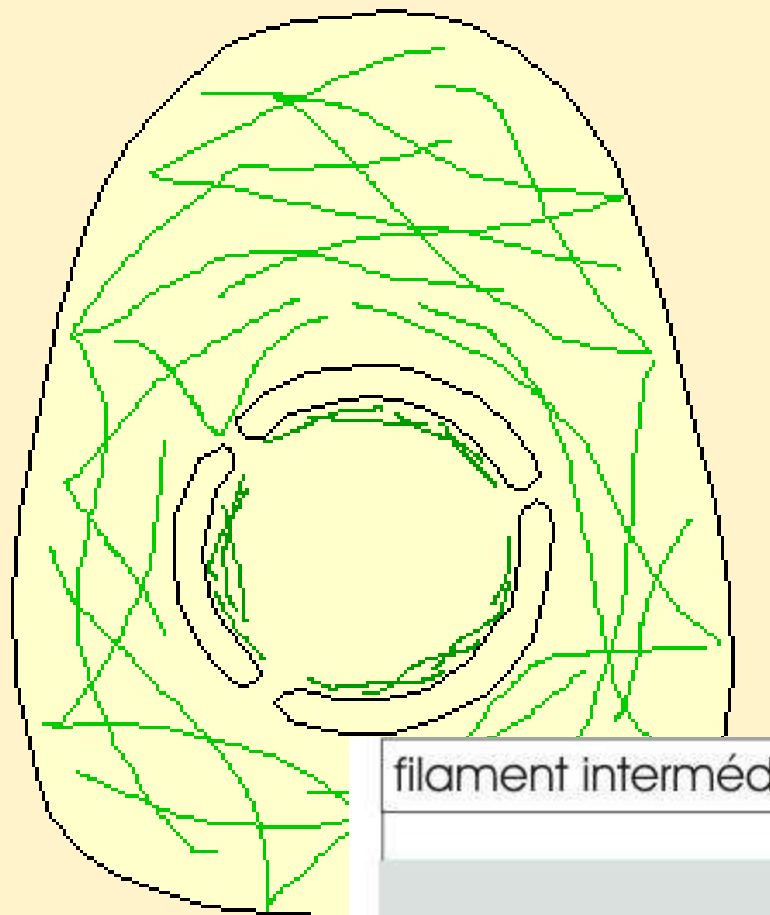
Fahrenkrog & Aebi, Nat Rev Mol Cell 2003;4:2:757

c. La lamina nucléaire (1)

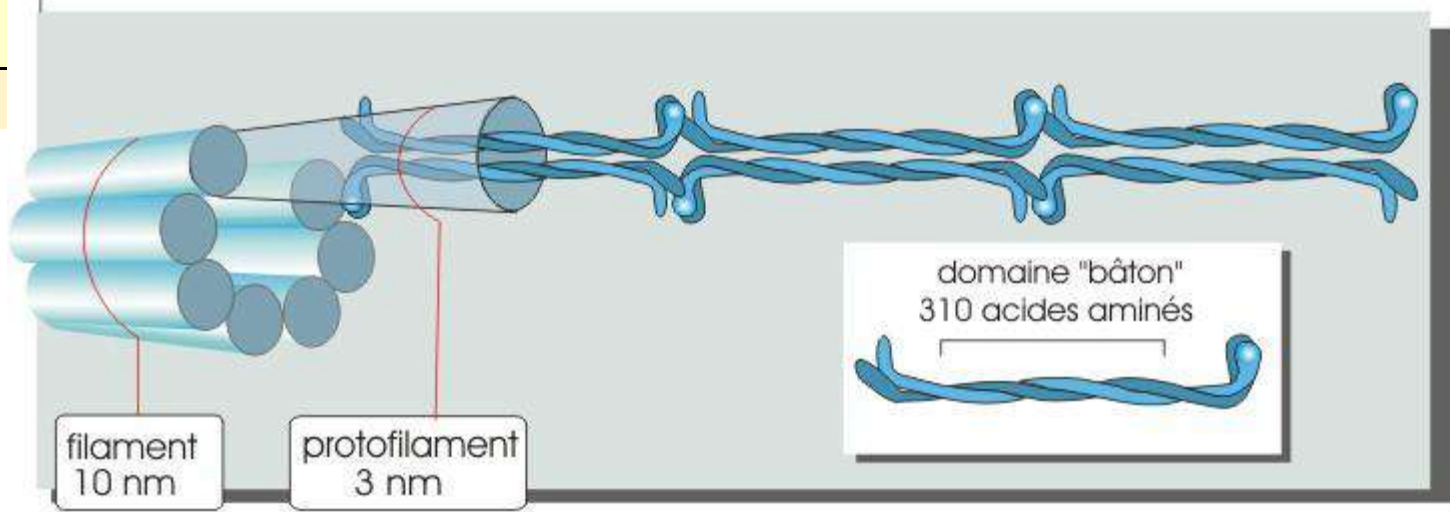
- Tapisse la face interne de la membrane interne
- Epaisse de 40 nm
- Stabilise
 - l'enveloppe nucléaire
 - les pores nucléaires
 - maintien de la forme du noyau
- fixe la chromatine
 - organisation et fonctionnement du génome

c. La lamina nucléaire (2)

- Constituée par des filaments de lamine qui forment une structure grillagée
- Trois types de lamines A, B, C = famille des filaments intermédiaires
- Lamines A présentes dans toutes les cellules
- Lamines B présentes seulement dans les cellules indifférenciées



filament intermédiaire



filament
10 nm

protofilament
3 nm

domaine "bâton"
310 acides aminés

d. L'espace périnucléaire

- Epaisseur 30 nm
- Occupé par partie C-terminale des protéines intrinsèques de la membrane interne (partie N-term dans le noyau)
- 5 protéines caractérisées :
 - Peptides associés aux lamines (Lamine Associated Peptide) « LAP »
 - Récepteur de la lamine B
 - L'émerine
- Rôle de ces protéines inconnu
- Organisation et remodelage de la chromatine périnucléaire ?????????

e. Le complexe de pore nucléaire (1)

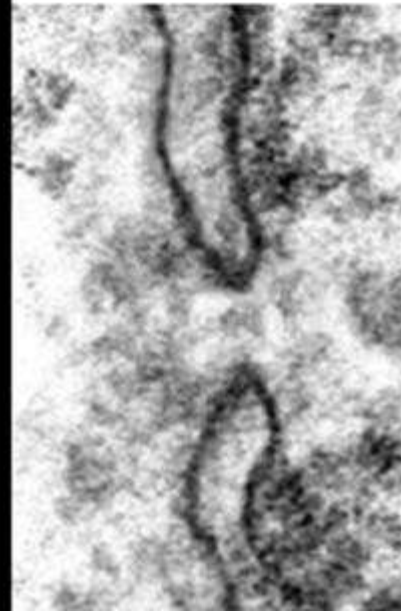
- 2000 à 4000 / noyau

le noyau avec ses pores



Image du noyau: L. Orci, Genève, Suisse

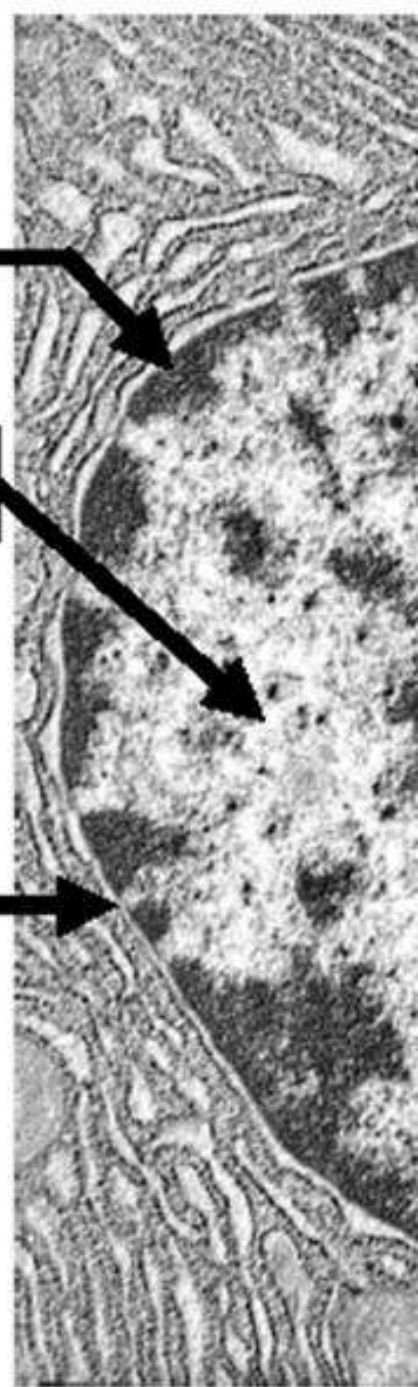
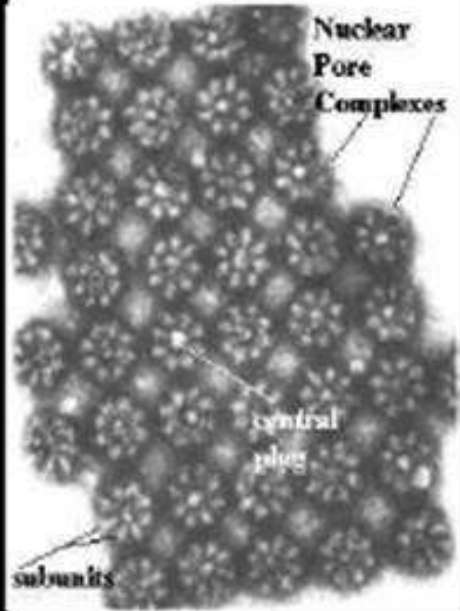
Pore nucléaire



Enveloppe nucléaire

nucléoplamme

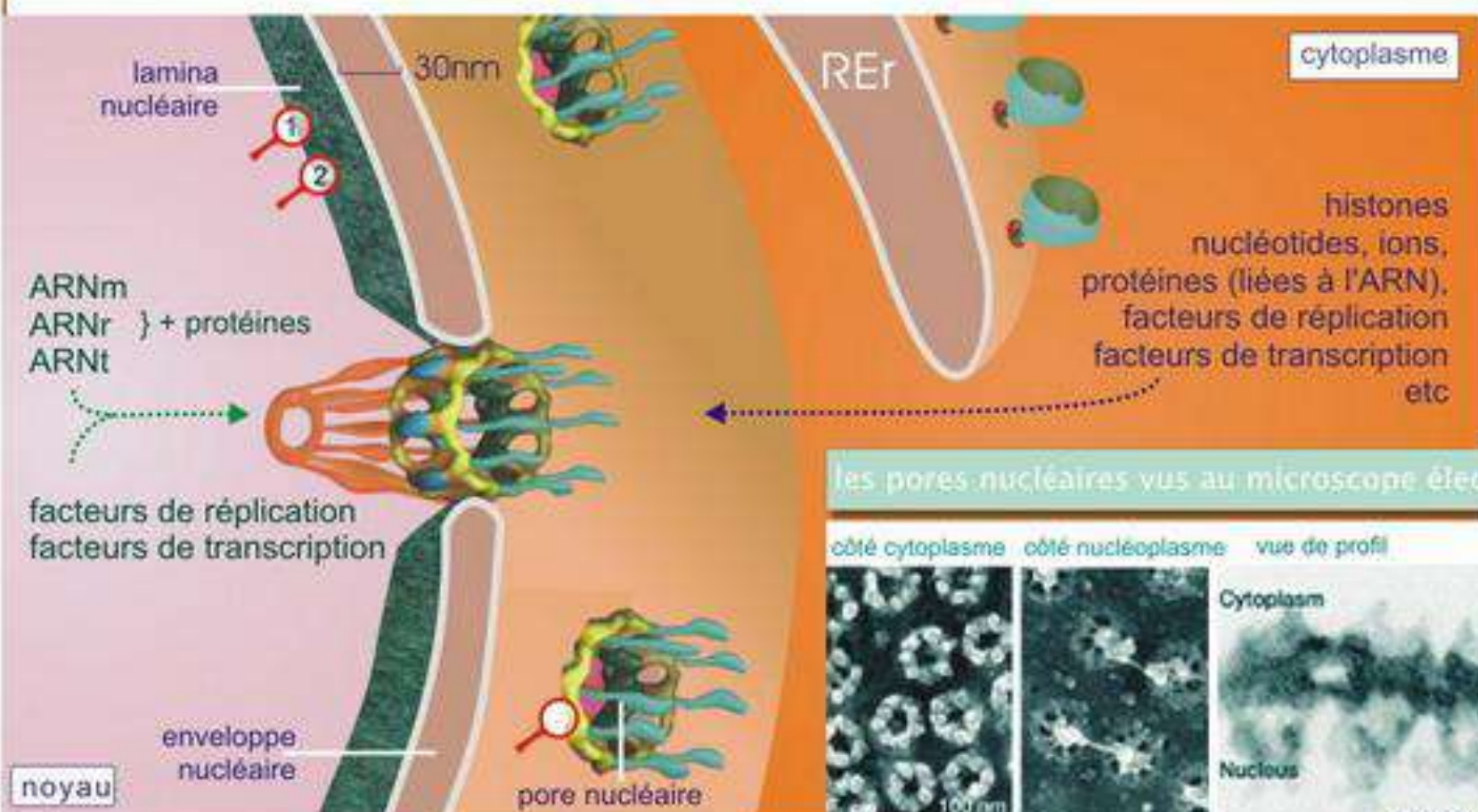
Pore nucléaire



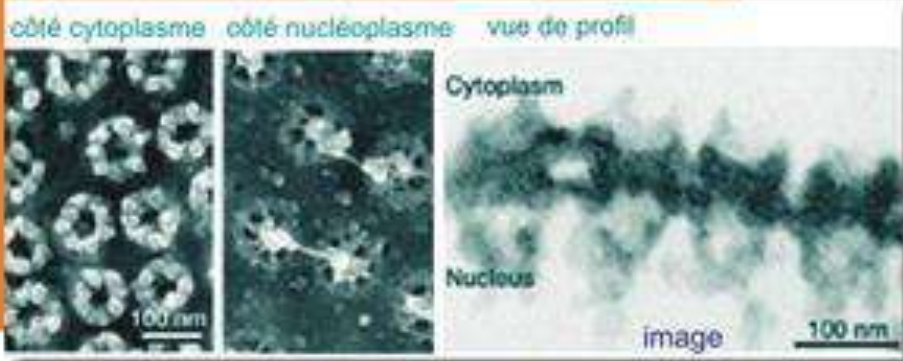
e. Le complexe de pore nucléaire (1)

- 2000 à 4000 / noyau
- Formé d'au moins 30 protéines différentes :
Nucléoporines
- Anneau de 120 nm de diamètre
200 nm de hauteur
- Constitué de 2 anneaux: cytoplasmique et nucléaire
constitués de 8 sous unités globulaires

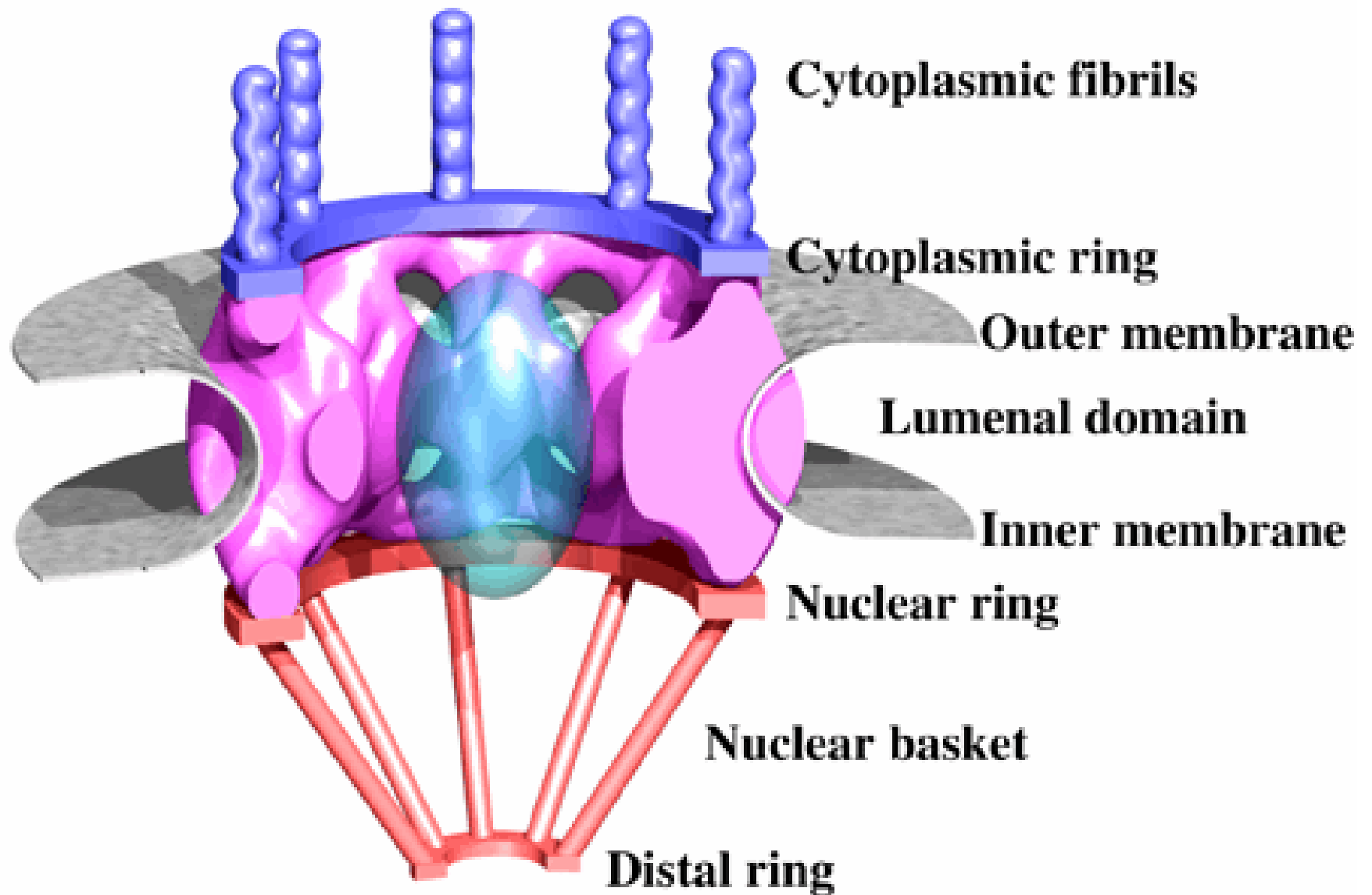
l'enveloppe nucléaire et ses pores qui réalisent un passage sélectif et facilité



les pores nucléaires vus au microscope électronique

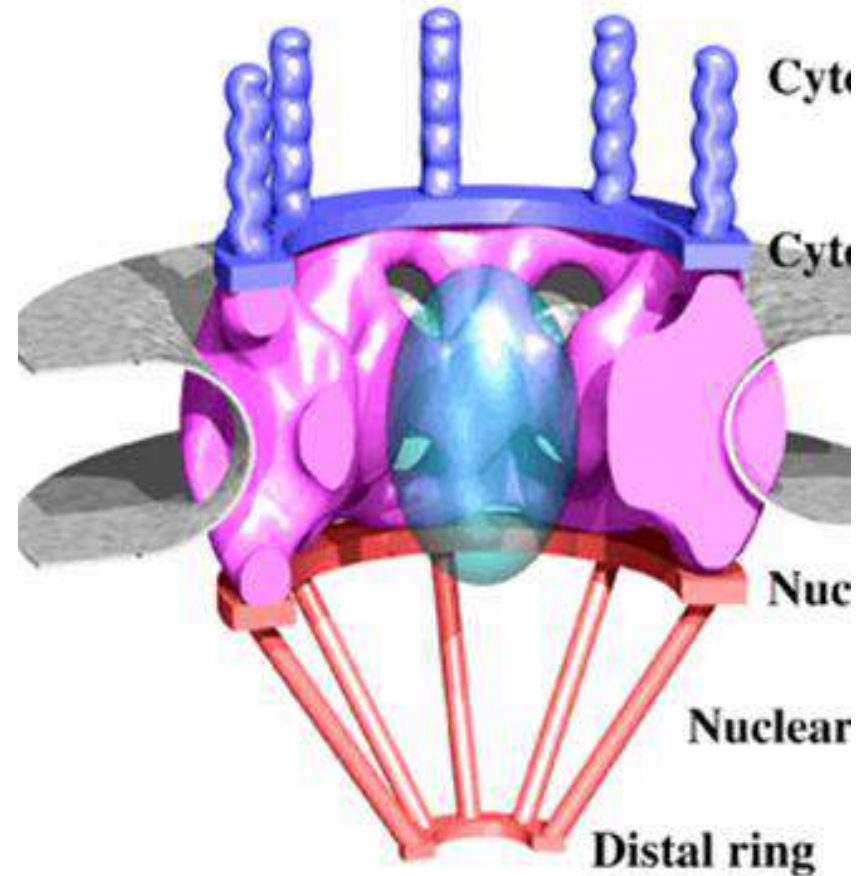


Fahrenkrog & Aebi, Nat Rev Mol Cell 2003;4:2:757



e. Les complexes des pores nucléaires (2)

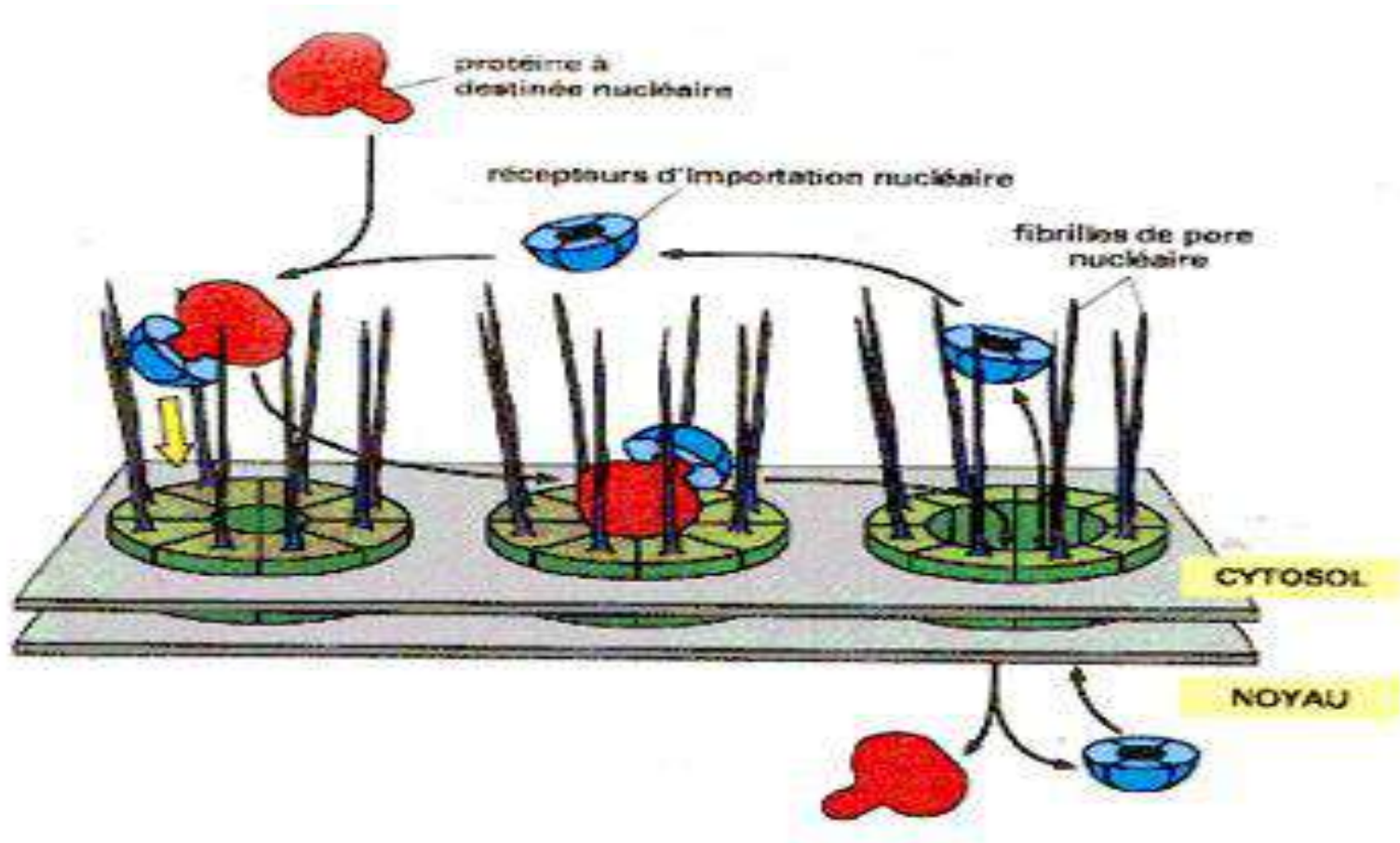
- **Anneau cytoplasmique** :
8 fibrilles de 50 nm long et 2-3 nm diam.
 - **Anneau nucléaire** :
8 filaments de 100 nm long qui se fixent sur un **anneau distal** de diamètre plus faible
- formation d'un «**panier ou cage nucléaire** »



e. Les complexes des pores nucléaires (3)

- L'ensemble est stabilisé par des protéines membranaires dont les lamines
- Nucléoporines
 - localisées :
 - dans les sous unités des anneaux
 - au niveau des fibrilles et des filaments
 - interviennent :
 - reconnaissance et guidage des molécules à travers le complexe

Transports nucléo-cytoplasmiques



f. Rôle de l'enveloppe nucléaire (1)

1/ Transports nucléo-cytoplasmiques (1) :

- diffusion passive : $PM < 5 \text{ kD}$
entrée de nucléotides, ions, enzymes, histones
- diffusion facilitée : PM de 5 à 50 kD
- mécanisme actif : $PM > 50 \text{ kD}$
sortie d'ARN et de pré-ribosomes
- nombre de CPN augmente fonction de l'activité cellulaire

f. Rôle de l'enveloppe nucléaire (2)

1/ Transports nucléo-cytoplasmiques (2) :

Dans une cellule de mammifères en prolifération

- ▶ 1 MILLION de molécules transitent par les Complexes de Pores Nucléaires par MINUTE

2/ Rôle dans la synthèse des protéines grâce aux ribosomes présents sur la membrane externe

g. Biogénèse de l'enveloppe nucléaire (1)

- Apparaît en interphase

Elle est le produit de :

- la fusion autour de la lamina des vésicules du RE
 - associée à des synthèses cytoplasmiques
- Disparaît en mitose par dissociation de la lamina

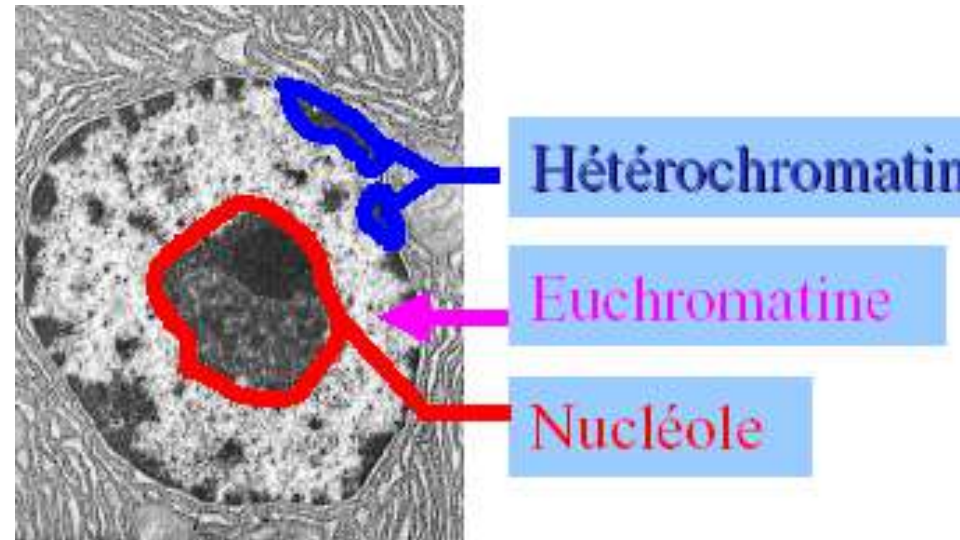
g. Biogénèse de l'enveloppe nucléaire (2)

- Les complexes de pores nucléaires restent intacts
- Ils seront réassociés lors de la formation de l'enveloppe nucléaire

2. Le nucléole

En MET, comporte 2 zones:

- Une zone centrale fibrillaire
- Une zone périphérique granulaire



- La Z. Fibrillaire: ADN_r (ribosomal) ou **organisateur nucléolaire** + ARN_r
- La Z. Granulaire: ADN_r + ARN_r + RiboNucléoProtéines (RNP)

Transcription des ADN_r (5,8s / 18s / 28s) à l'exception de l'ADN_r 5s

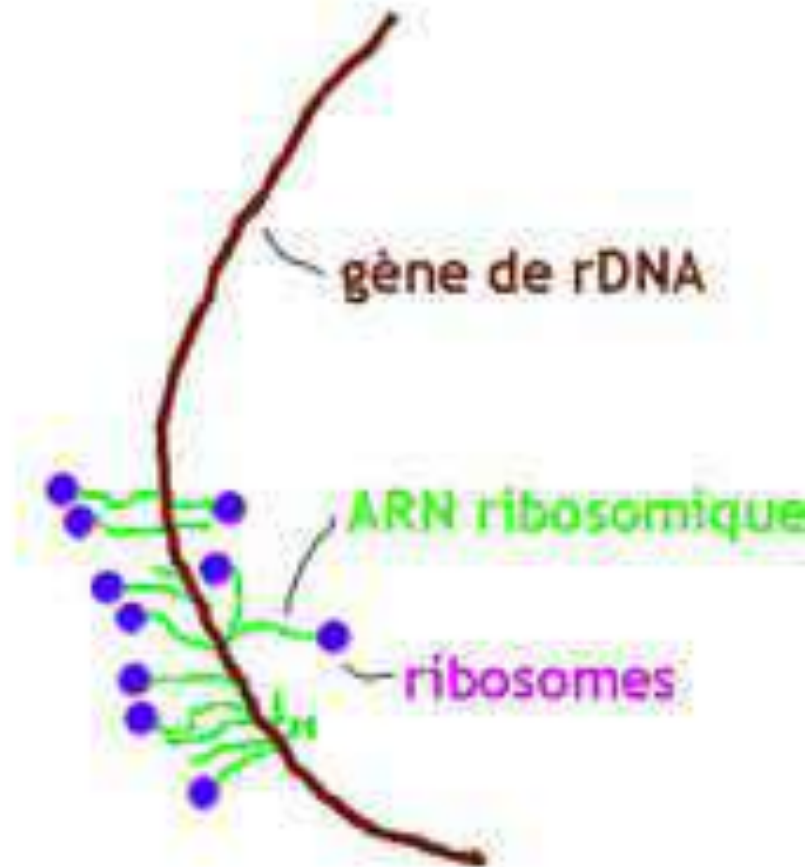
→ Siège de la production des ribosomes

2. Le nucléole

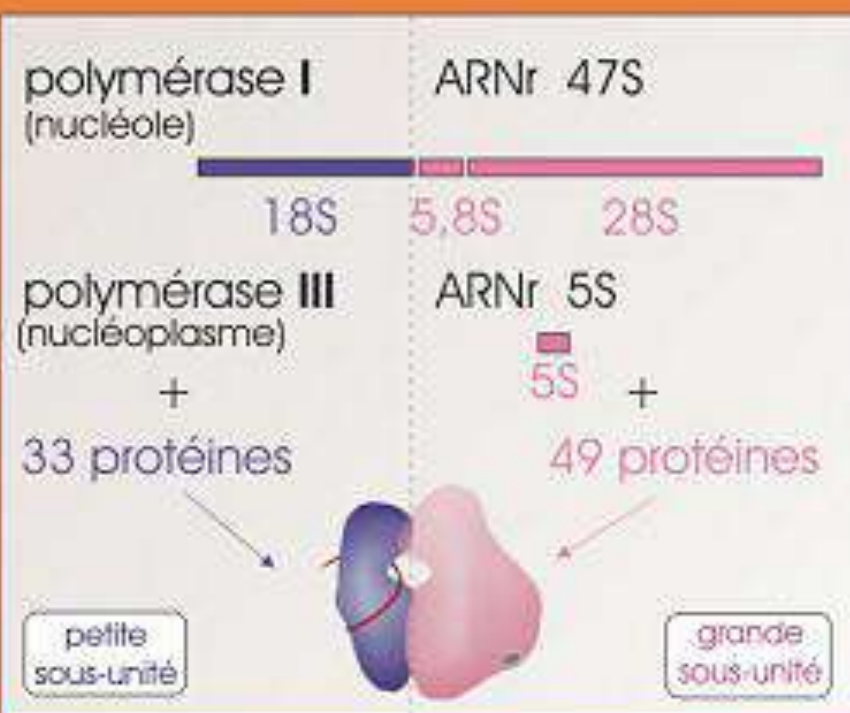
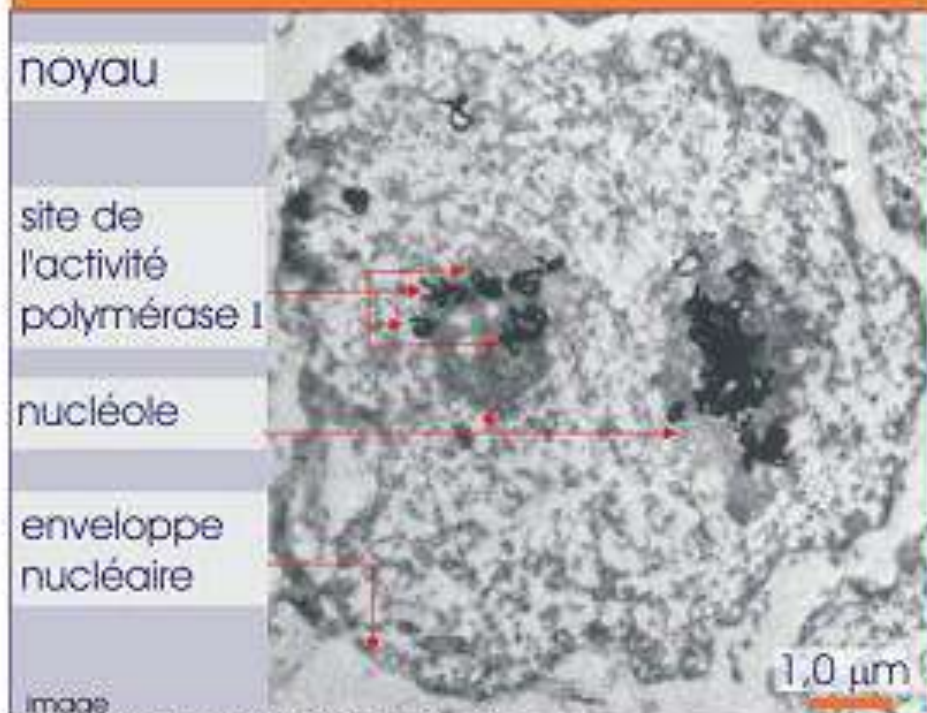
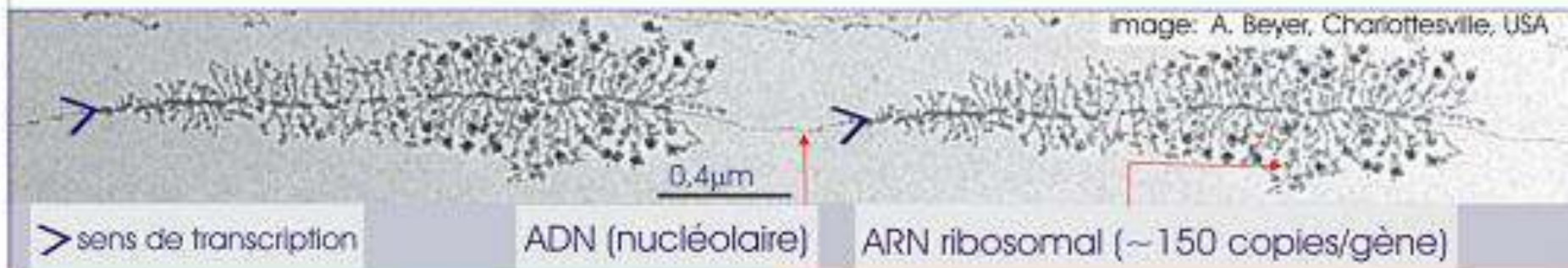
Transcription de l'ADNr en ARNr

L'ADNr ou organisateur nucléolaire :

- boucles situées sur les CHS 13,14,15,21,22



transcription de l'ARN ribosomal dans le nucléole



2. Le nucléole

Etapes de la production des sous unités ribosomiques

- 1/ transcription de l'ADNr en ARNr 47S
- 2/ clivage de l'ARNr 47S en: ARNr 28S, 18S , 5,8S
- 3/ ARN 5S transcrit à partir du CHS 1
- 4/ début d'association avec des protéines provenant du cytosol
- 5/ **Assemblage** des protéines cytosoliques et des ARNr en **deux sous-unités pré-ribosomiques**
- 6/ Passage des pré-ribosomes à travers les pores nucléaires.

2. Le nucléole

Siège de la production des ribosomes :

- cellule au repos → diminution du nombre des nucléoles
- Synthèse protéique → augmentation du nombre des nucléoles
- Disparition du nucléole pendant la mitose
- A la fin de la mitose, ces boucles constituent 10 petits nucléoles qui fusionneront en 1 nucléole unique

3. Nucléoplasme (1)

- **Gel** renfermant :
 - nucléoles
 - chromatine
 - nucléocytosquelette
- **Composition biochimique** proche de celle du **hyaloplasme**

3. Nucléoplasme (2)

- **Nucléocytosquelette** constitué de **protéines fibreuses** dont l'actine
- **Siège** du métabolisme nucléaire :
Réplication de l'ADN, **transcription** de l'ARN....

4. Chromatine (1)

- correspond à la **forme décondensée** des **chromosomes**
- structure complexe constituée :
 - d'**ADN**
 - de **protéines**
- ~ 2 **mètres** d'**ADN** doivent être contenus dans un **noyau** de quelques **microns**

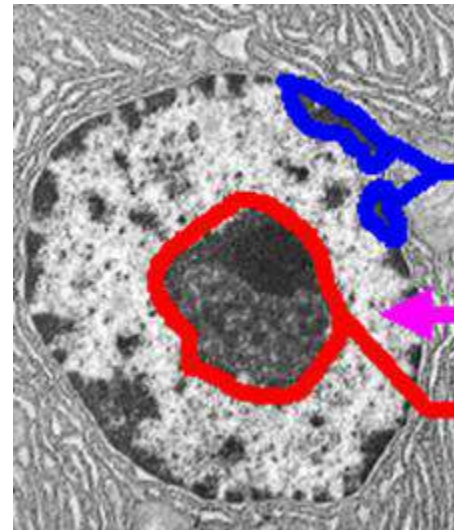
4. Chromatine (2)

On distingue 2 types de chromatine :

- **Euchromatine**
ou chromatine **diffuse**

- **Hétérochromatine**
ou chromatine **condensée**

et la Chromatine sexuelle ou Corpuscule de Barr



Hétérochromatine

Euchromatine

Nucléole

4. Chromatine (3)

L'euchromatine :

- totalement décondensée pendant l'interphase
- répartie dans le nucléoplasme
- active sur le plan transcriptionnel
- 10% de la chromatine totale

4. Chromatine (4)

L'hétérochromatine :

- plus ou moins condensée tout au long du cycle cellulaire
- localisée :
 - * principalement en périphérie
 - du noyau (contre la lamina nucléaire)
 - du nucléole
 - * dispersée en mottes dans le nucléoplasme

4. Chromatine (5)

L'hétérochromatine constitutive:

- 90% de la chromatine totale
- inactive sur le plan transcriptionnel
- située à proximité des centromères et des télomères

- L'hétérochromatine facultative:

Régions d'ADN qui, au stade final de la différenciation cellulaire, ont cessé de s'exprimer.

Exemple:

Chromatine Sexuelle ou Corpuscule de Barr

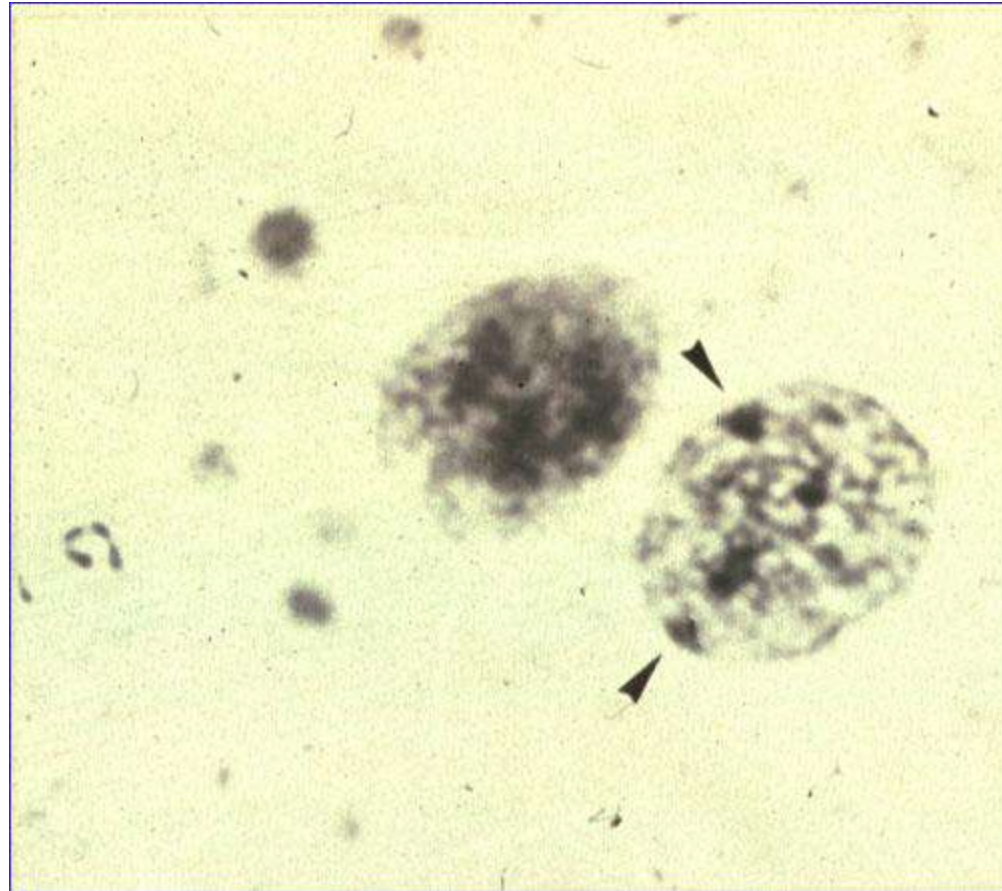
Chromatine Sexuelle ou Corpuscule de Barr

- petite masse
d'hétérochromatine située
contre l'enveloppe
nucléaire

- résulte de l'inactivation
au hasard de l'un des CHS

X chez la FEMME

- Corpuscule de Barr
n'existe pas chez l'homme
normal



Le Compactage de l'ADN

Activité +++

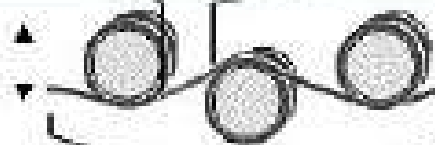
4 nm



ADN Double Helice

Activité +

10 nm



Fibre nucléosomique:
Euchromatine

Activité -

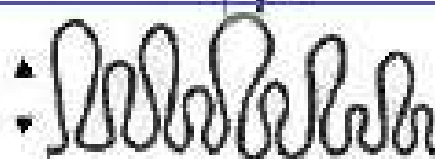
30 nm



Solénoïde:
Hétérochromatine

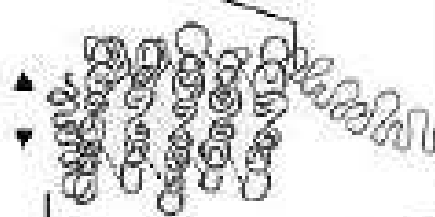
Activité -

300 nm



Activité -

700 nm



Activité -

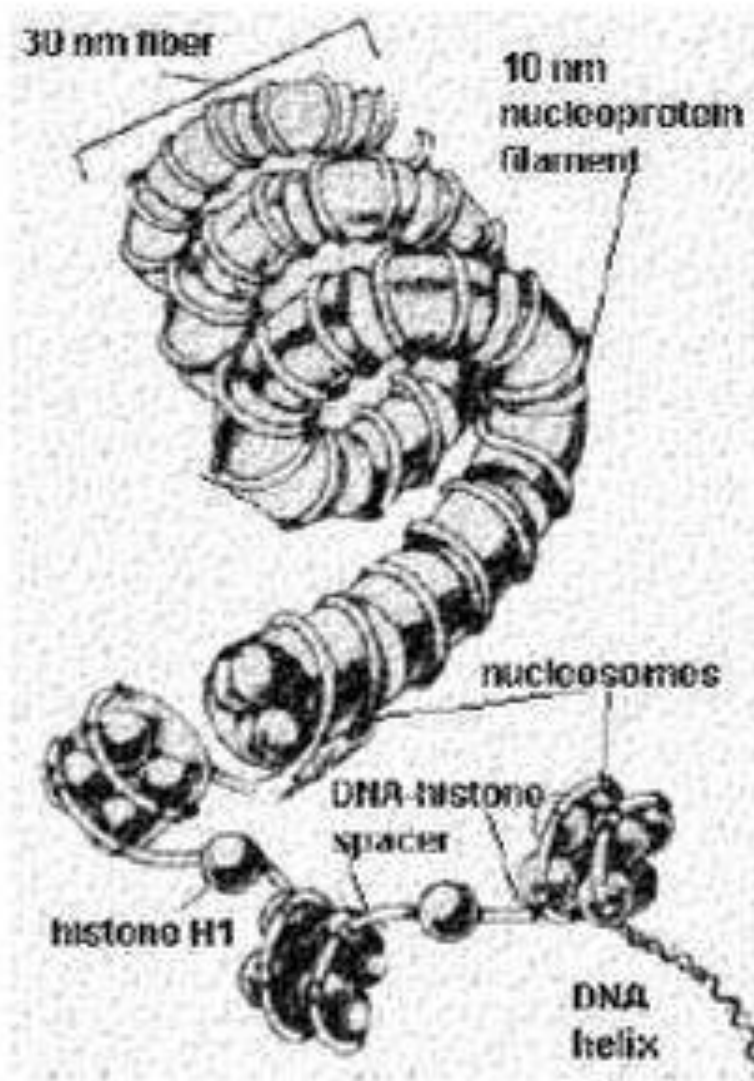
1400 nm

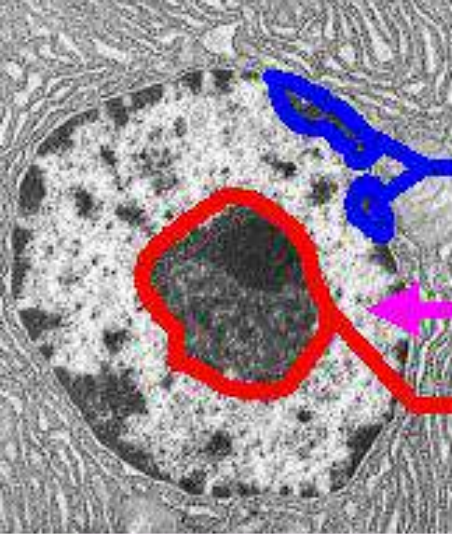


Chromosome Métaphasiq

Compactage (P51)

- 5 histones (basiques):
H1, H2A, H2B, H3, H4
- 1 nucléosome
= 140 pb + 4x2 Histones
(H2A)₂(H2B)₂(H3)₂(H4)₂
- 1 tour de solénoïde
= 6 nucléosomes + 6H1





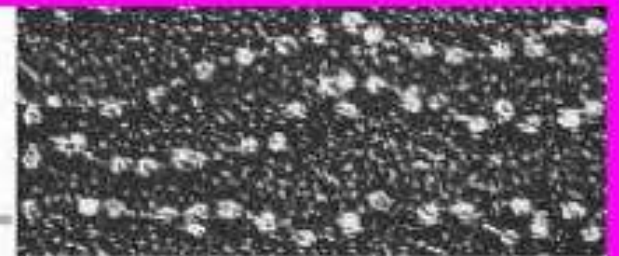
Hétérochromatine

Euchromatine

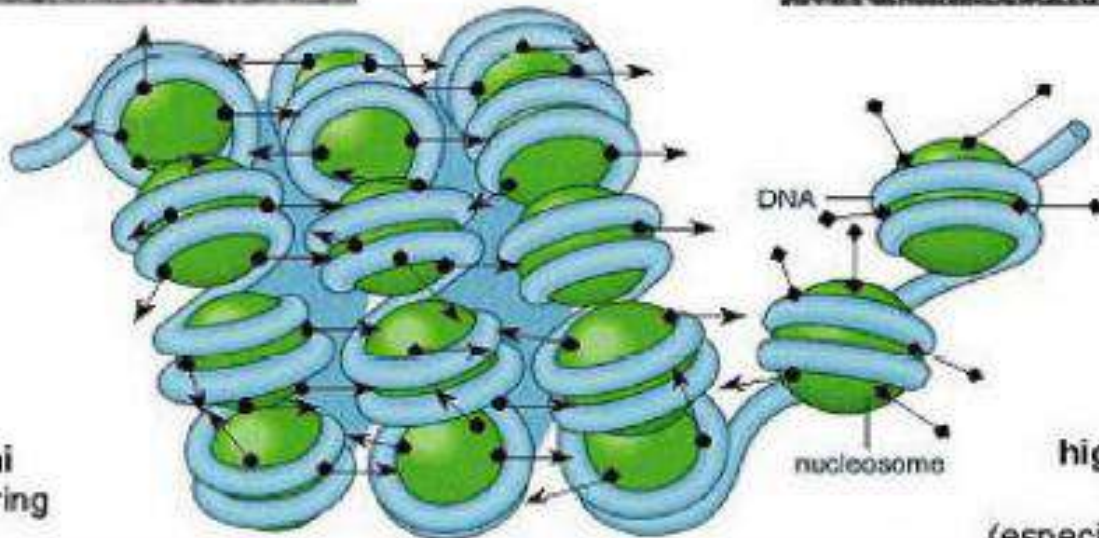
Nucléole



Chromatin fibers



30 nm chromatin fiber



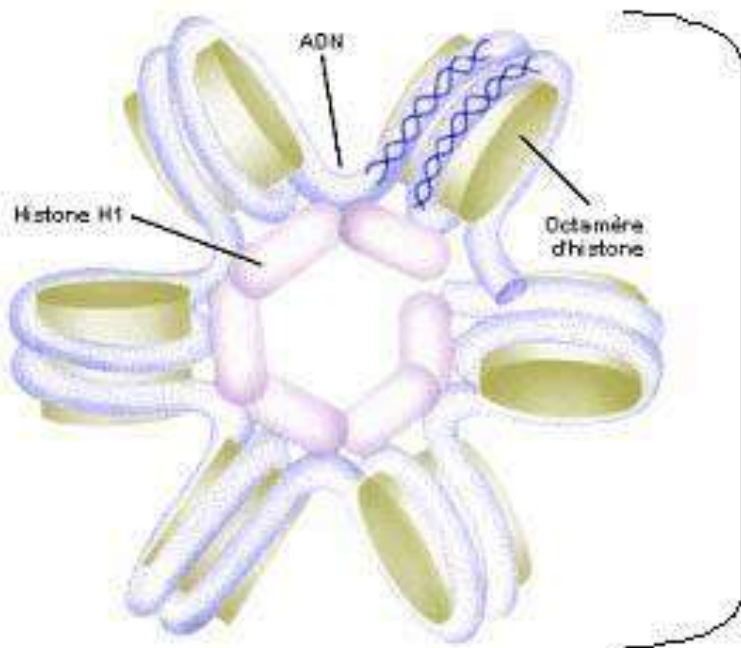
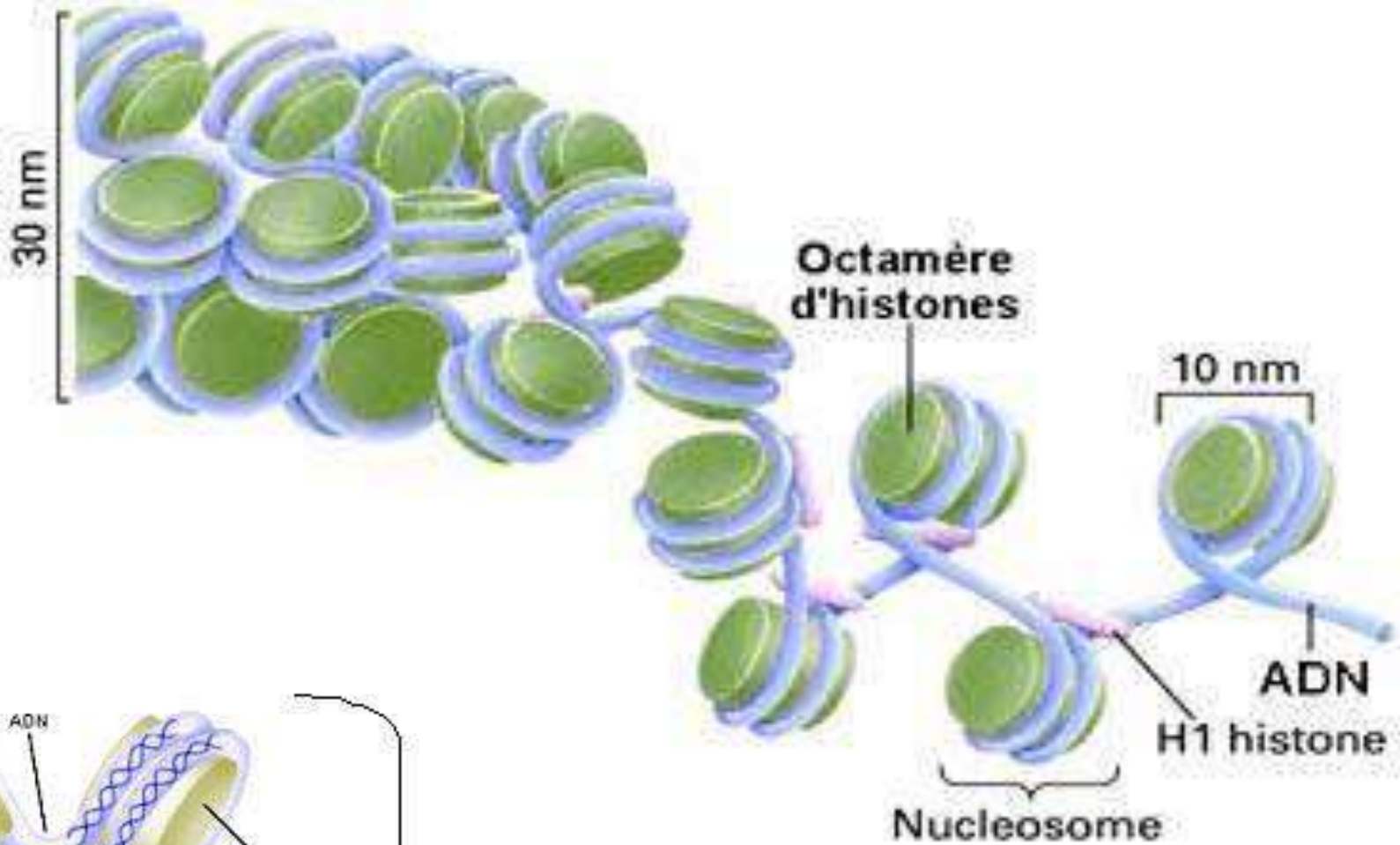
11 nm (beads)



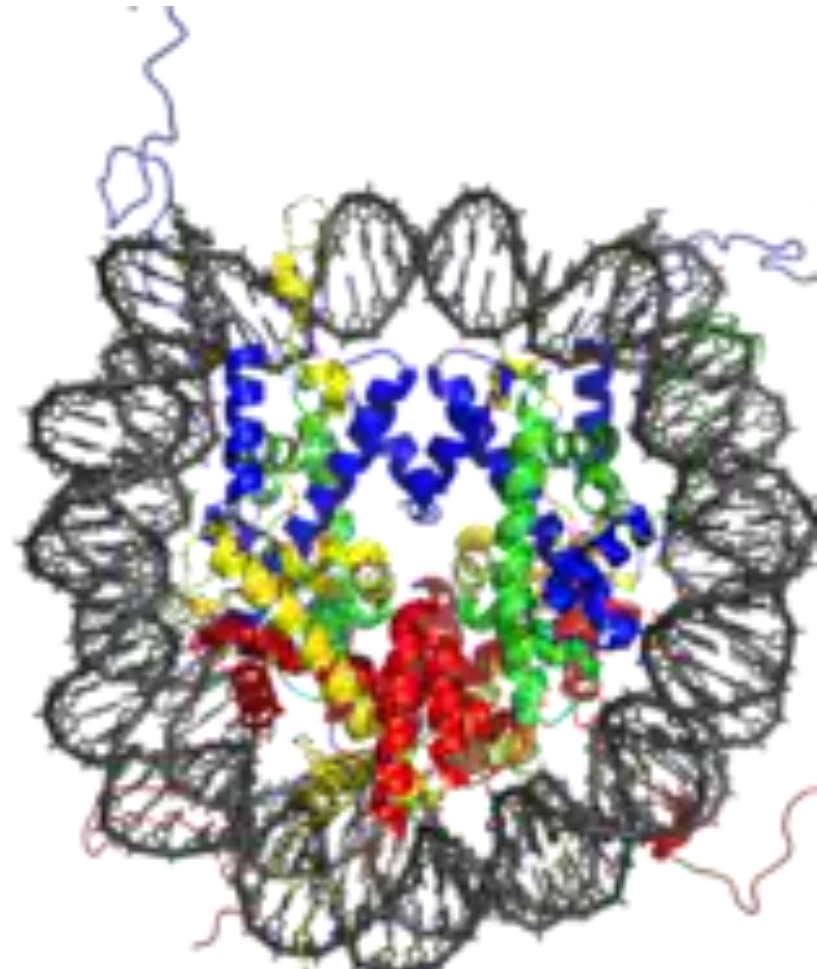
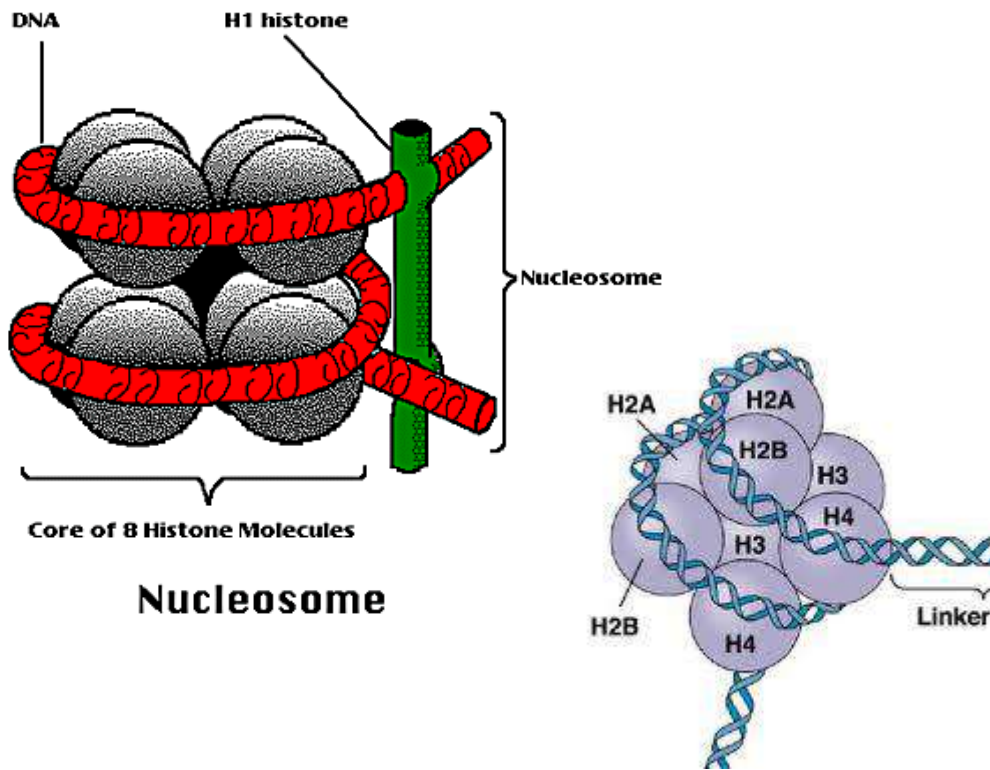
⊕ charged N termini (bind DNA on neighboring nucleosomes)



highly acetylated core histones (especially H3 and H4)

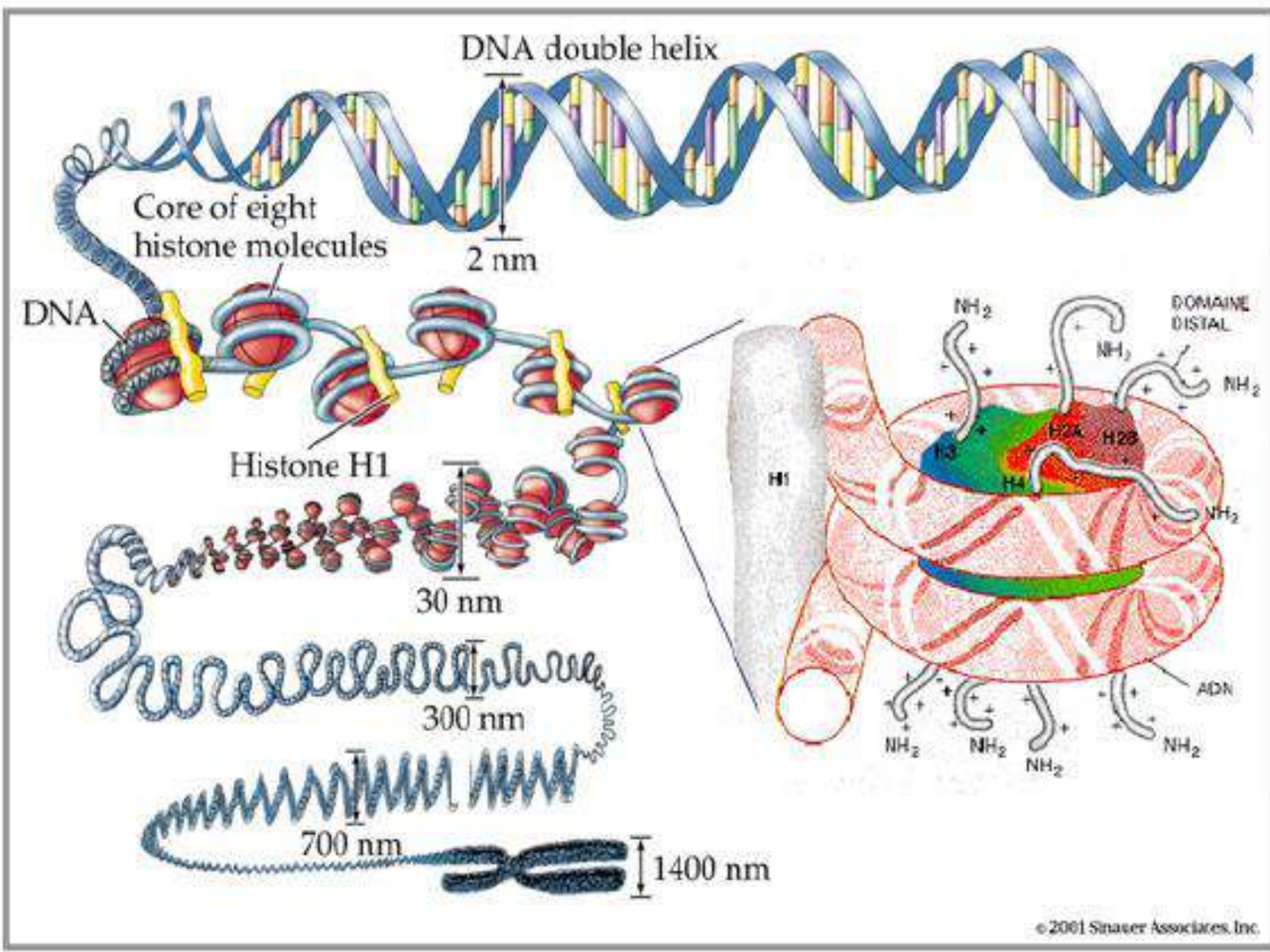


Fibre de chromatine = 30nm de ø

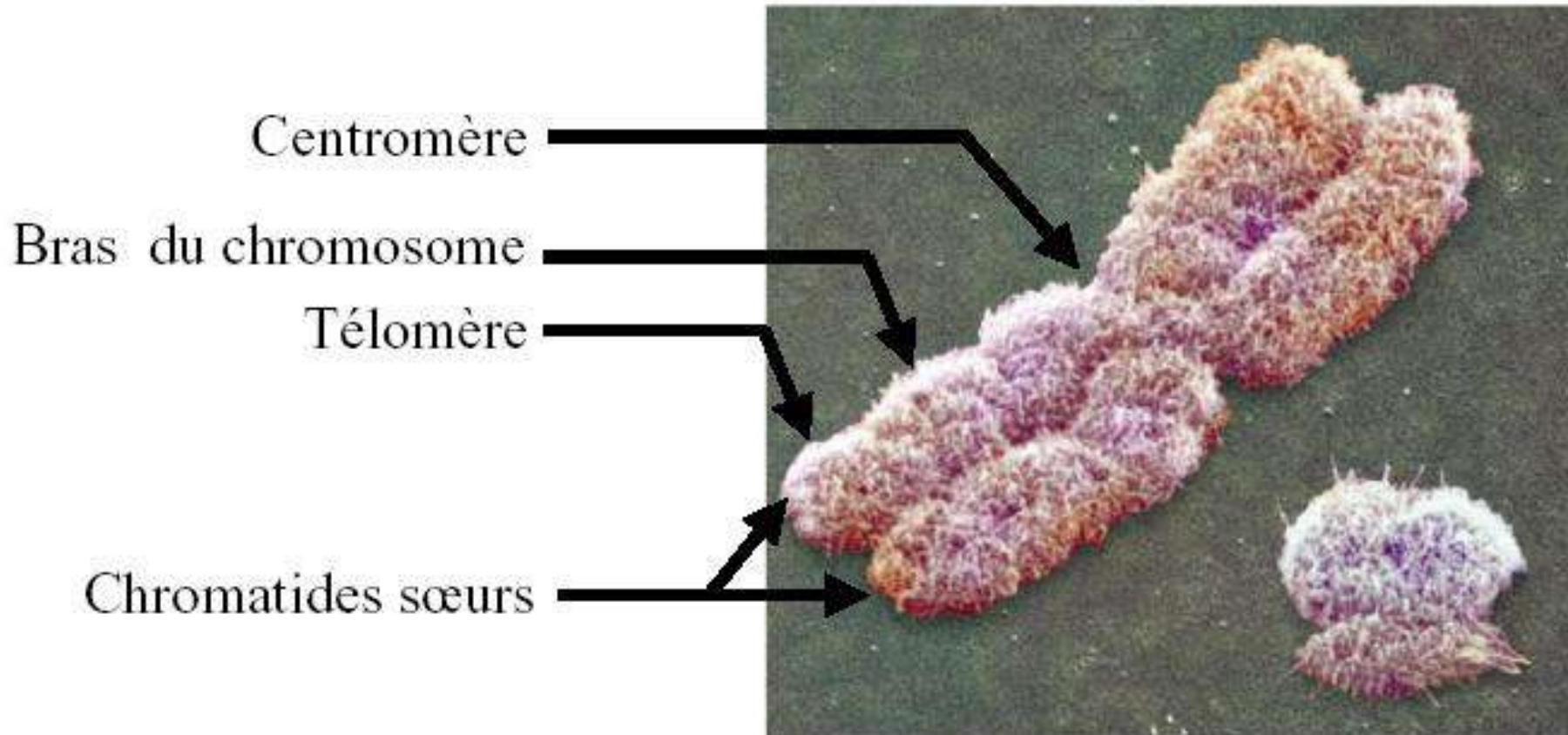


- Un Nucléosome est formé d'un segment de 146 pd d'ADN enroulé sur un core protéique constitué de 8 protéines histones (bleu: 2 H3; vert: 2 H4; jaune: 2 H2A; rouge: 2H2B)

1.80 m
36 cm
3.6 cm
184 μ m



- ✓ Chromosome = plus haut niveau de condensation de l'ADN
- ✓ Les 46 chromosomes humains représentent en tout près de 2m d'ADN.
- ✓ L'ADN est compacté avec un facteur 10^4 : une molécule d'ADN de 4-5 cm de long devient un chromosome de 4-5 μm de long

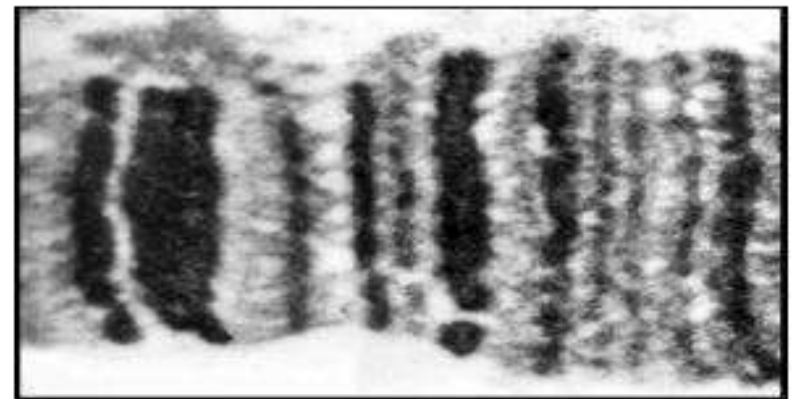
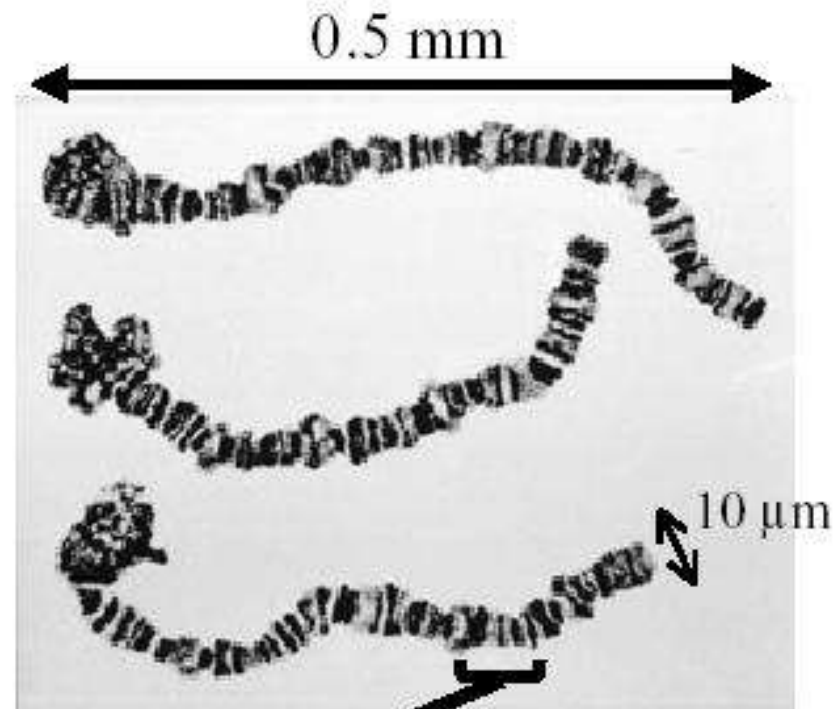


4. Cas particulier des chromosomes géants

4.1. Chromosomes polyténiques

- Découvert par Balbiani en 1881 chez la larve de Chironome (vers de vase).
- Observé dans des cellules elles mêmes géantes 200 à 250 μm
- Organisation particulière due à la présence d'un très grand nombre de chromatides, partiellement condensés et accolés points par points sur toute leur longueur.

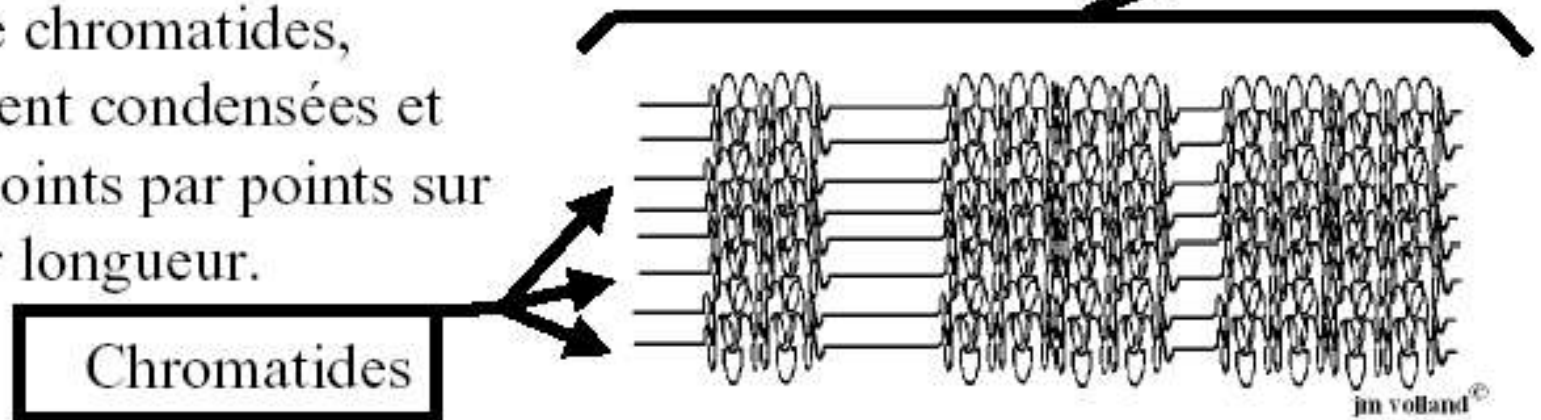
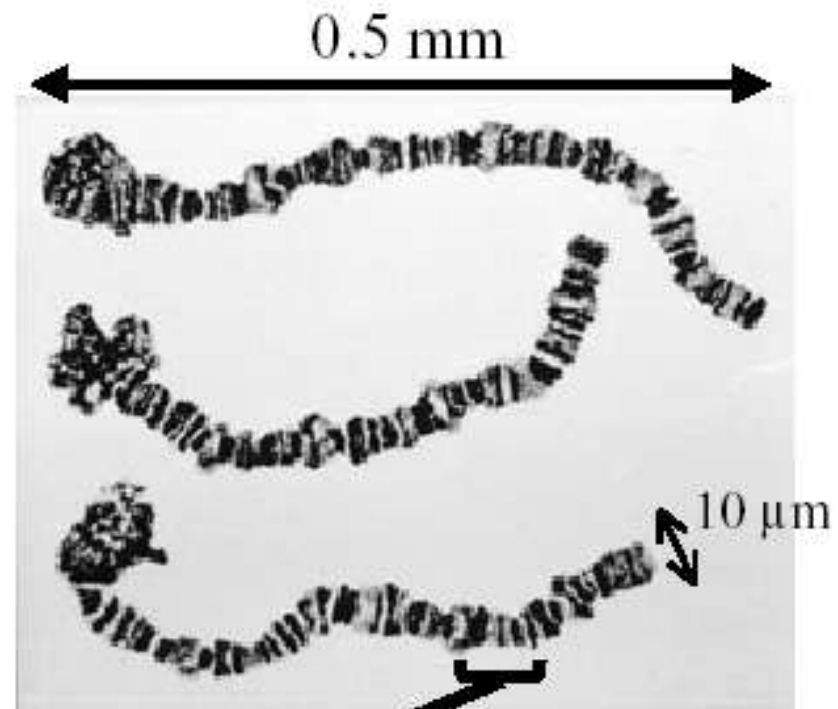
Chromatides



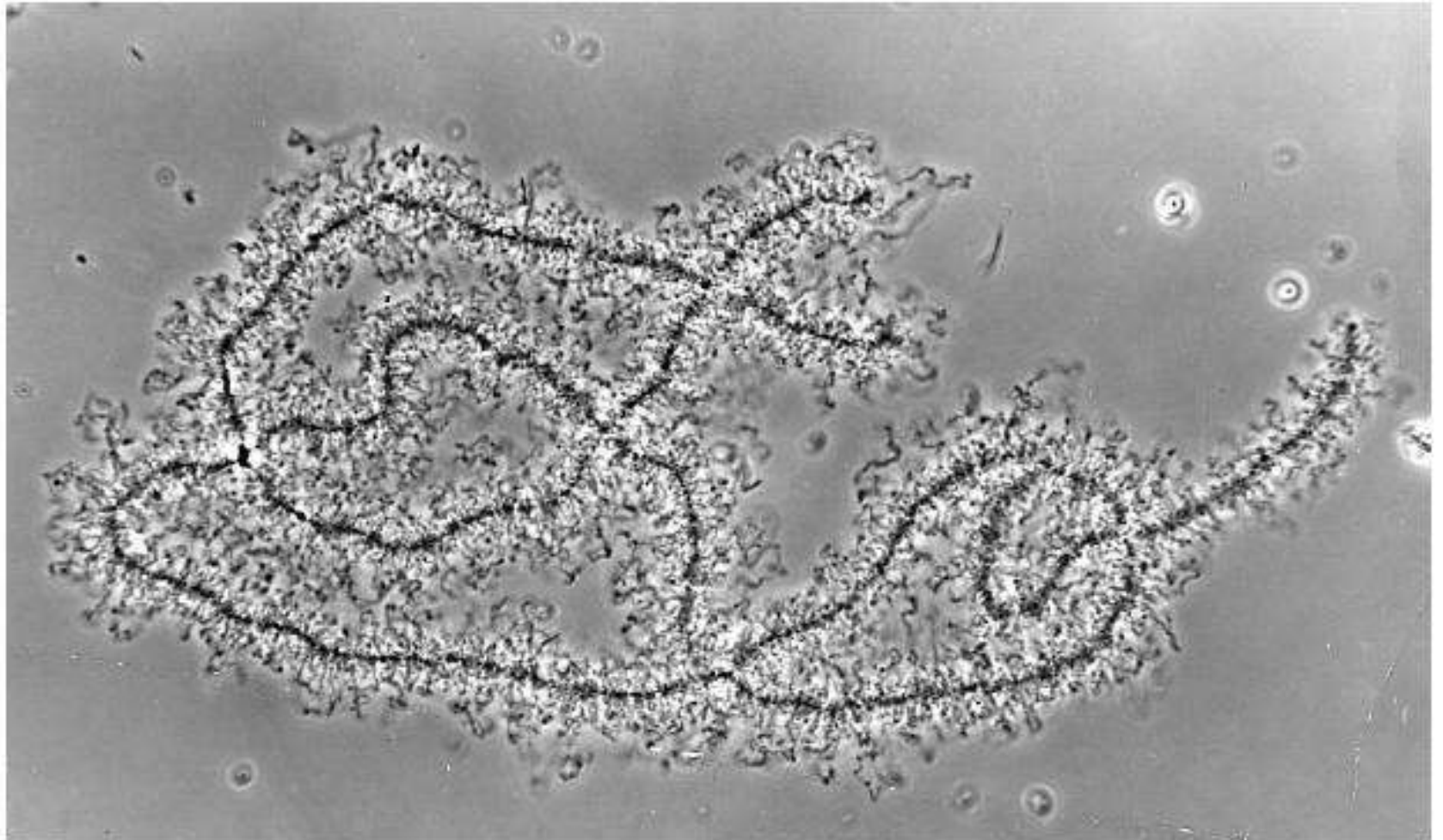
4. Cas particulier des chromosomes géants

4.1. Chromosomes polyténiques

- Découvert par Balbiani en 1881 chez la larve de Chironome (vers de vase).
- Observé dans des cellules elle-même géantes 200 à 250 μm
- Organisation particulière due à la présence d'un très grand nombre de chromatides, partiellement condensés et accolés points par points sur toute leur longueur.

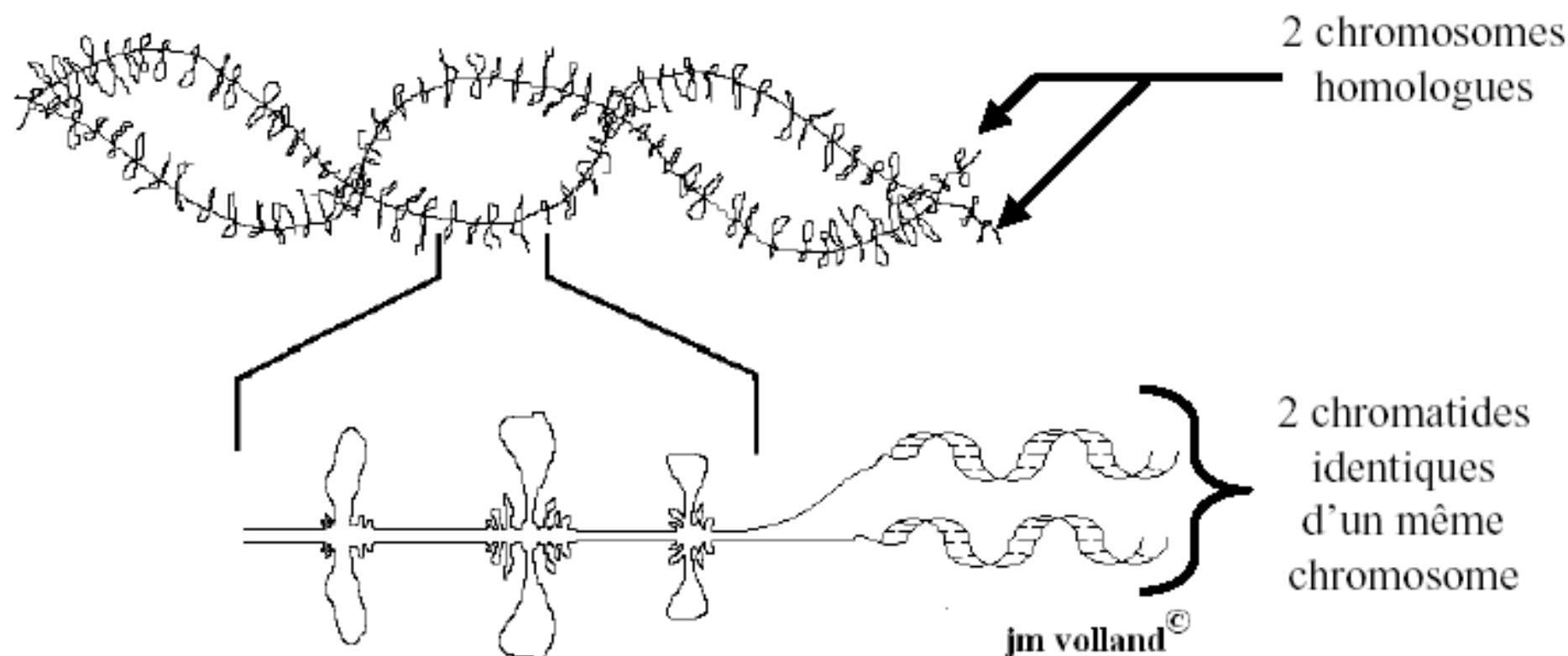


4.2. Chromosomes en écouvillons



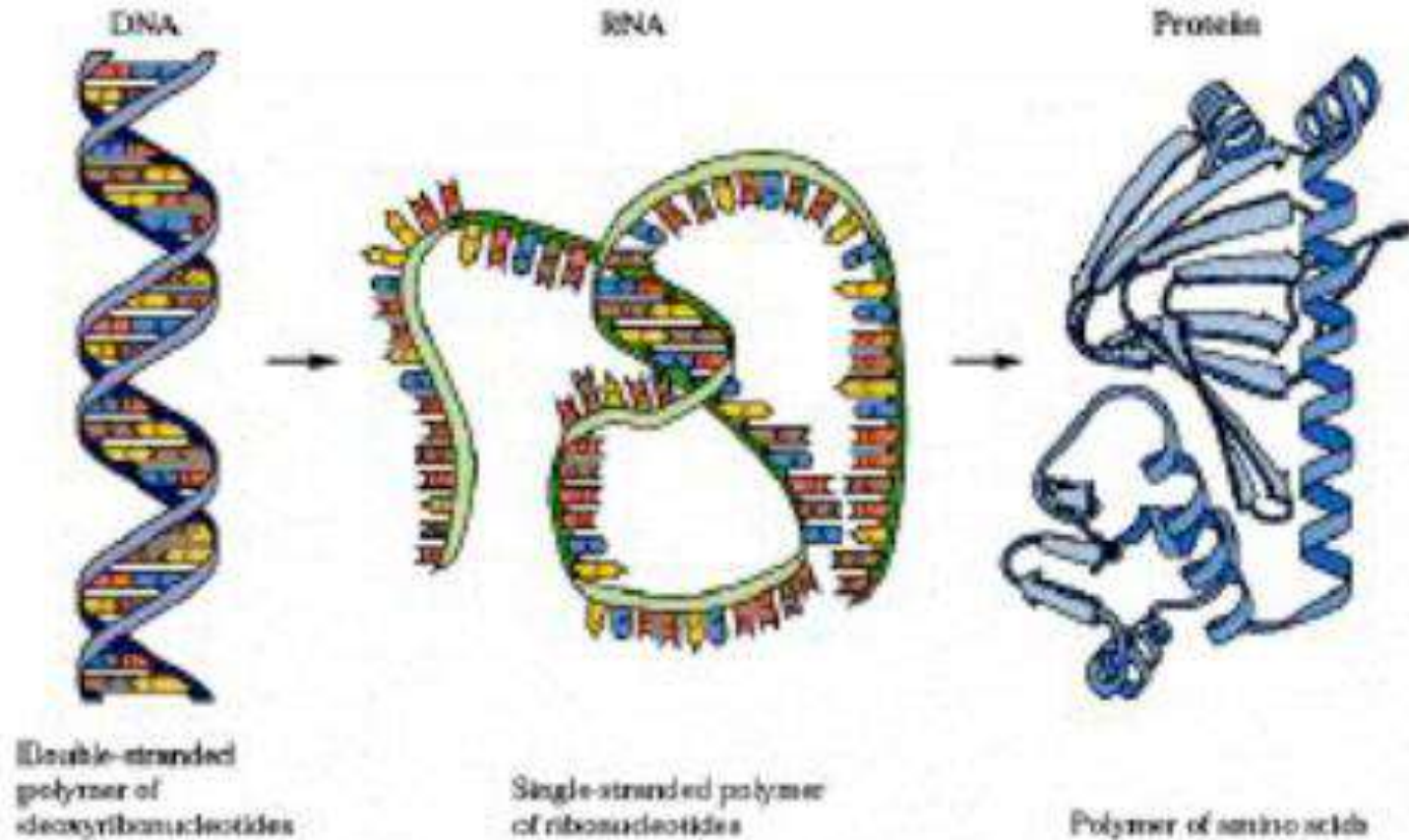
Structures particulières observées en début de méiose dans les ovocytes de la plus part des métazoaires découvert par Flemming en 1882(jusqu'à 1.5mm)

4.2. Chromosomes en écouvillon



Structures particulières observées en début de méiose dans les ovocytes de la plus part des métazoaires découvert par Flemming en 1882(jusqu'à 1.5mm)

III. Expression de l'information génétique



Mécanismes de la traduction – traduction
Du gène à la protéine

- Transcription des gènes et synthèse protéique

- + Généralités
- + ARN polymérase et ARNr/ARNt/ARNm
- + Régulation de l'expression des gènes / facteurs de transcription
- + Phénomène d'épissage des ARNm
- + Devenir des ARN dans la cellule
- + ARNt / Ribosomes / ARNm matures => Synthèse protéique
- + Traductions dans le cytoplasme et le REG

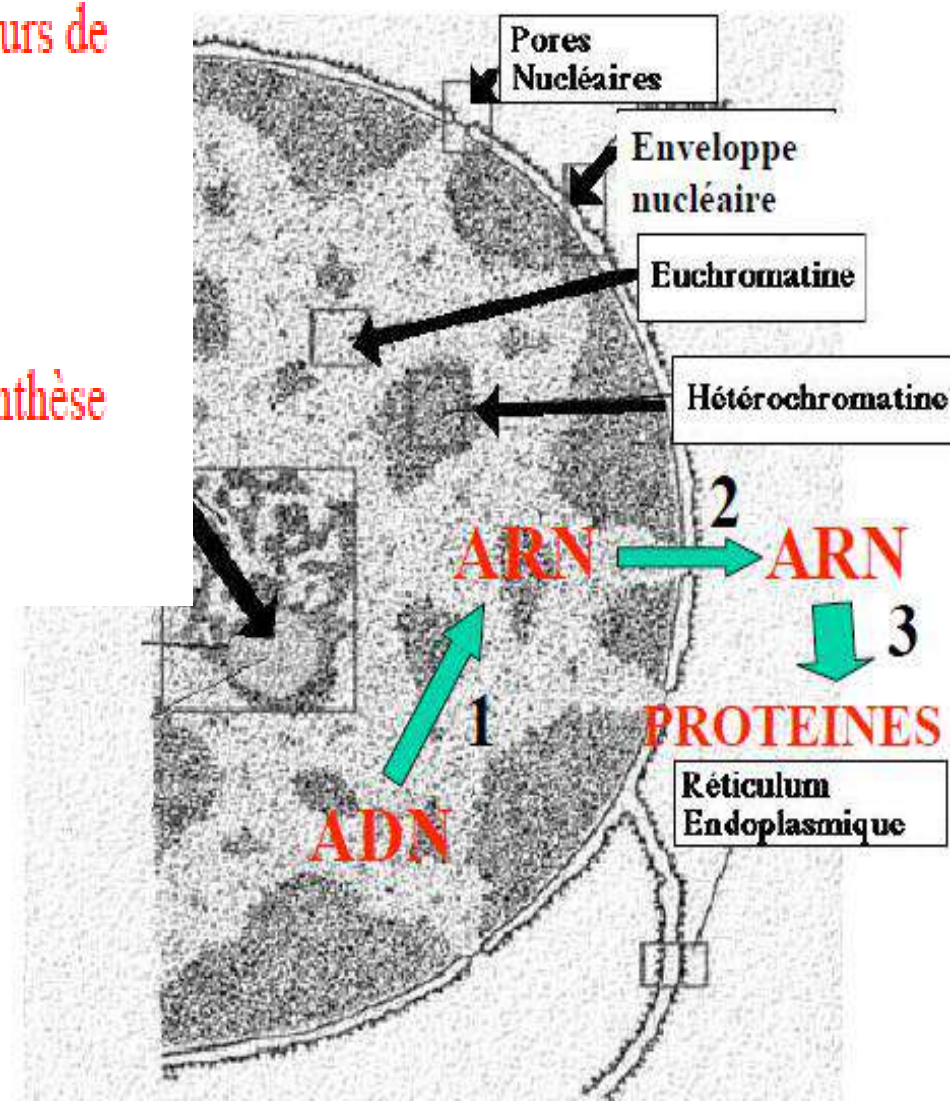
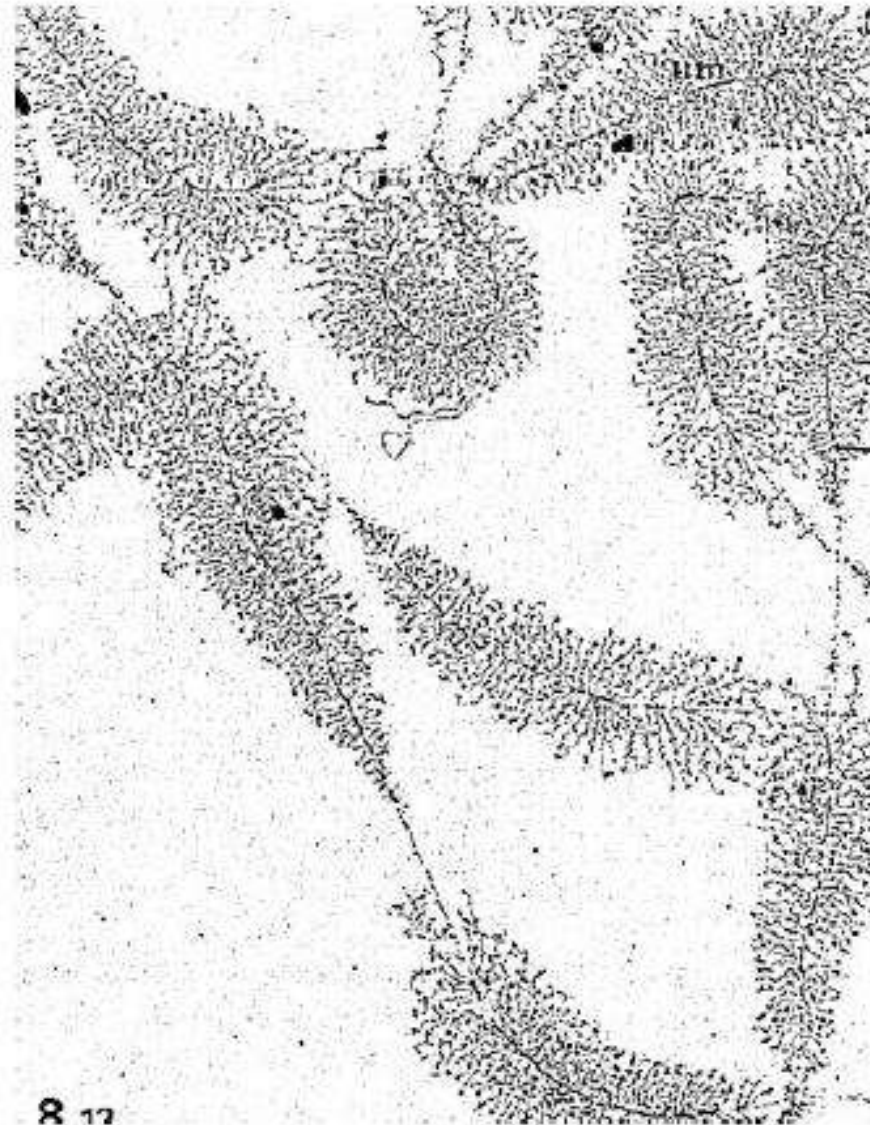
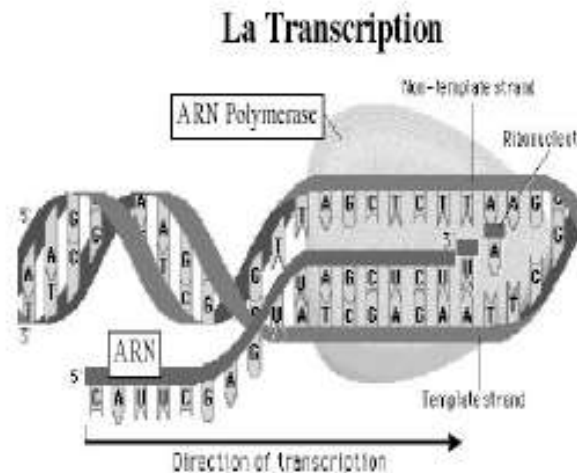


Photo de transcription

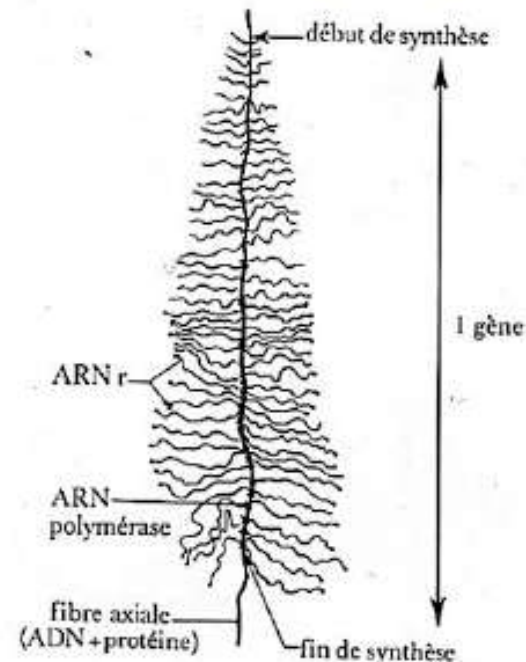


Transcription – Généralités (P52)

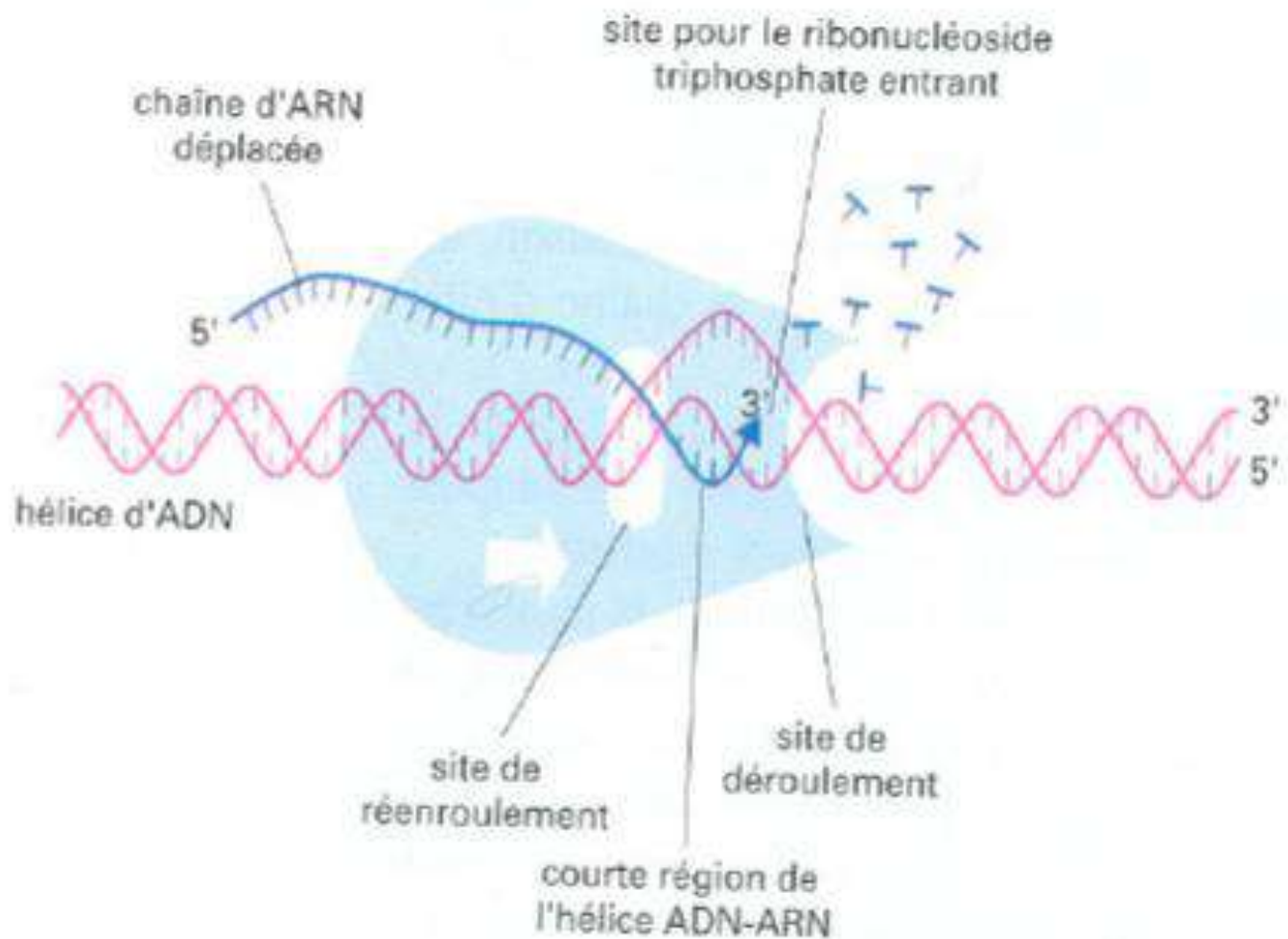


L'ARN est produit à partir de l'ADN au cours d'un processus que l'on appelle transcrit

L'ARN est synthétisé grâce à une enzyme, l'ARN polymérase



- L'ARN Polymérase **polymérise** / **sens 5'-3'**
- Un seul brin est codé (gène)!
- Les **ARN sont monocaténaire**s (1 seul brin)
- La transcription d'un gène commence au niveau d'une séquence d'ADN promotrice:
Le **Promoteur**
- Plusieurs ARN Polymérase transcrivent en série **1 même gène = nombreux ARN**

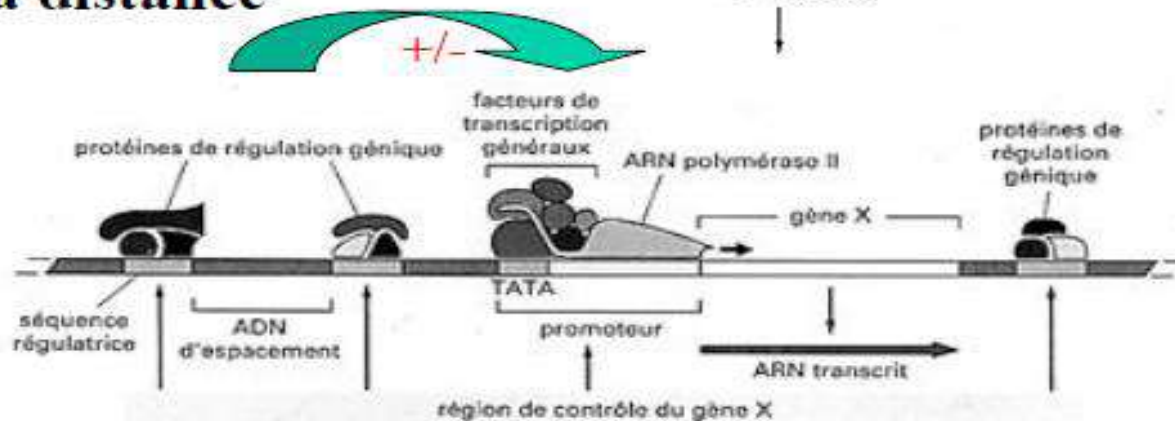
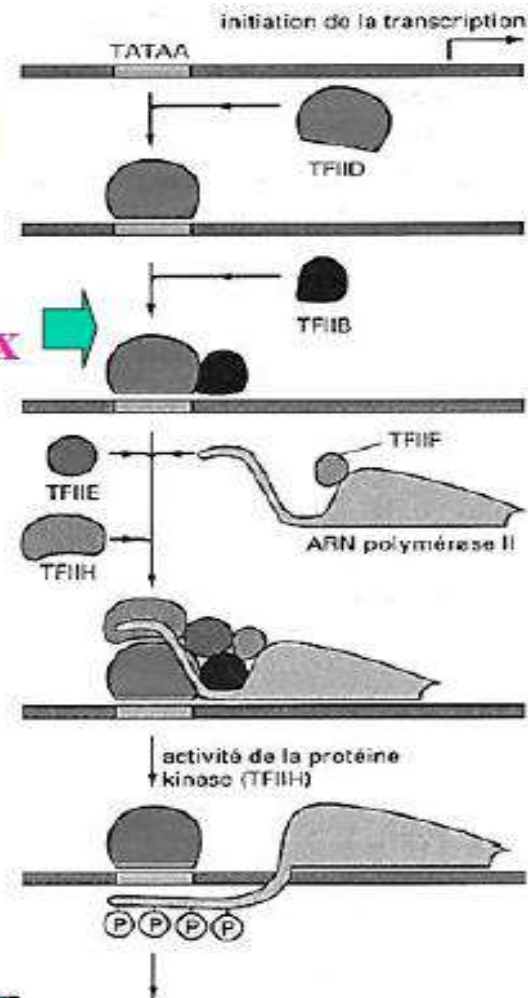


Dérroulement et ré-enroulement de l'ADN dirigés par l'ARN polymérase qui se déplace par oscillation (avant-arrière) le long de l'ADN double brin lors de la transcription.

Régulation de la transcription (P54)

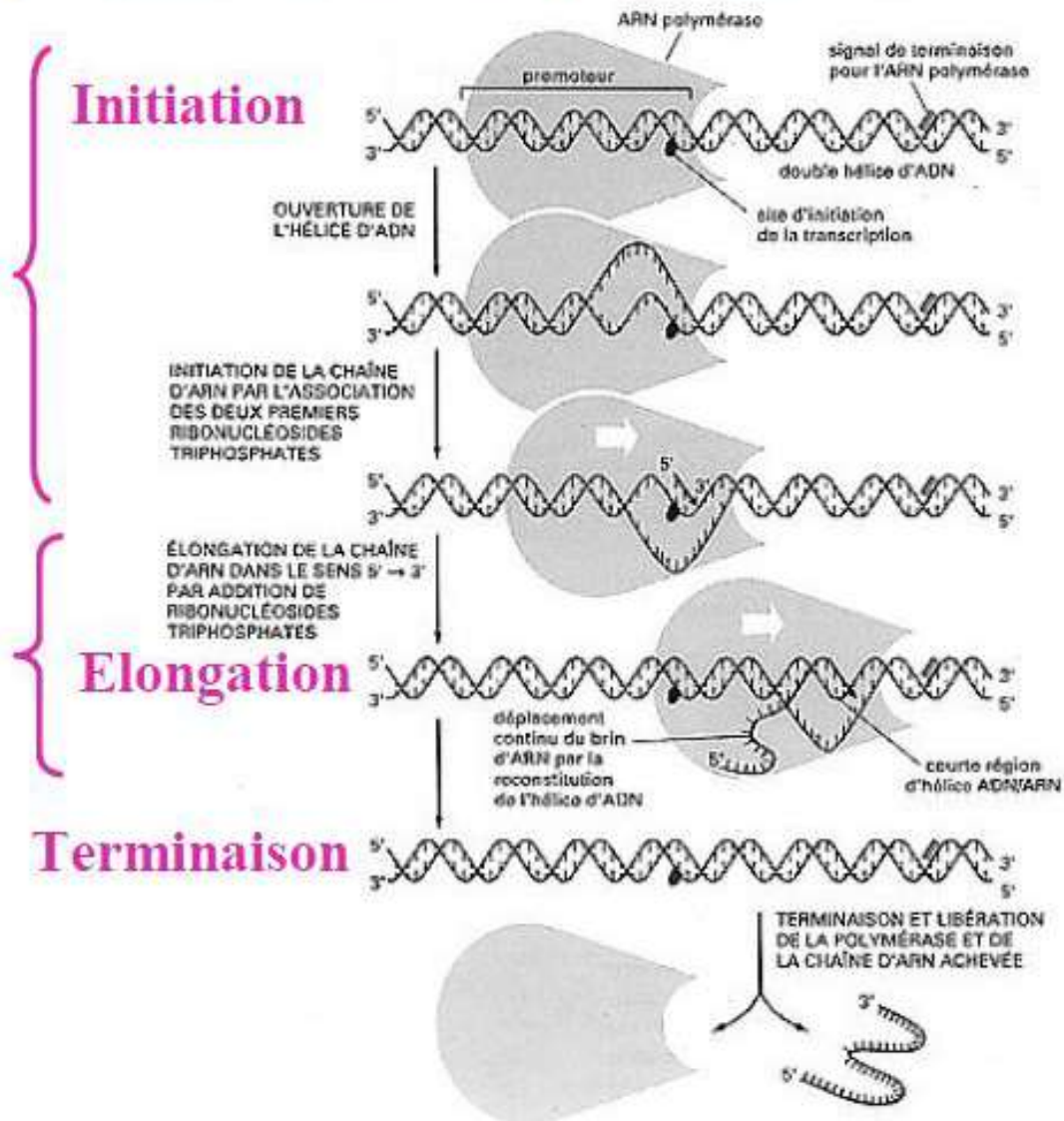
Les **Facteurs de Transcription Généraux (FTG)** initient:

Les **Facteurs de Régulation** activent ou inhibent à distance

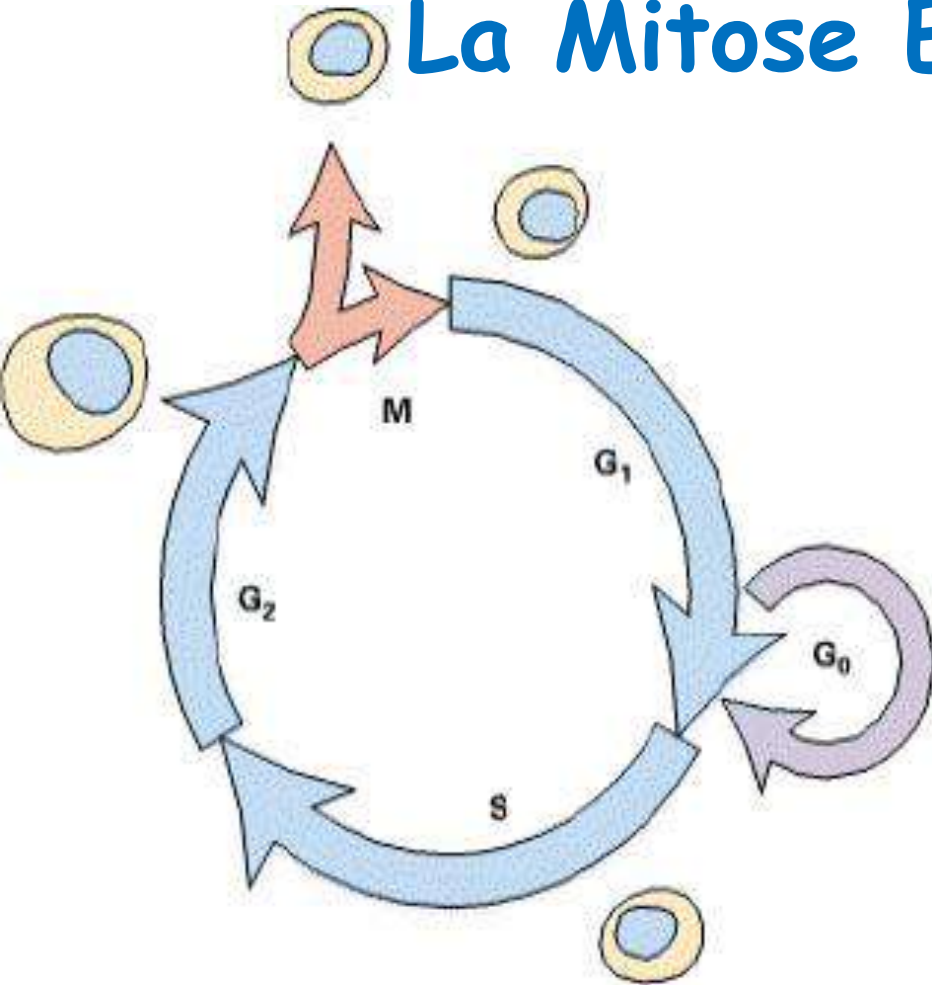


3 ARN Polymérases, 3 étapes (P53)

RNAPol I: ARNr (sauf 5S); RNAPol II: **ARNm** + petits ARN nucléaires; RNAPol III: **ARNt** + 5S et 7S



IV. Le Cycle Cellulaire, La Mitose Et La Méiose



- Toute cellule se reproduit par scission en deux descendants
- Chaque cellule doit posséder sa propre copie du matériel héréditaire
- Un oeuf fécondé va donner par divisions successives les 10^{13} cellules qui composent le corps humain
- Un dérèglement du cycle cellulaire conduit à une tumeur

L'information génétique de la cellule-mère doit être dupliquée et une copie complète doit être attribuée à chacune des deux cellules-filles

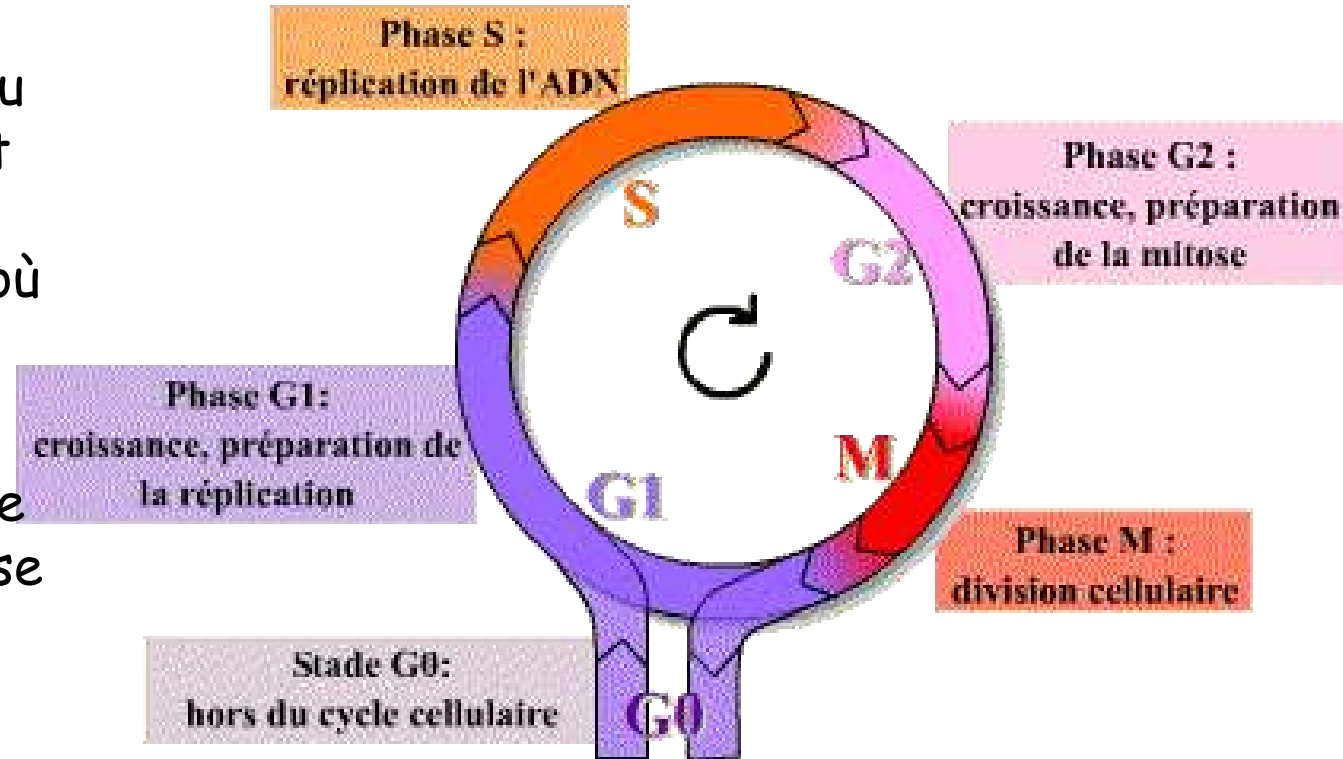
Le cycle cellulaire regroupe les différentes phases qui permettent à une cellule de générer deux cellules filles :

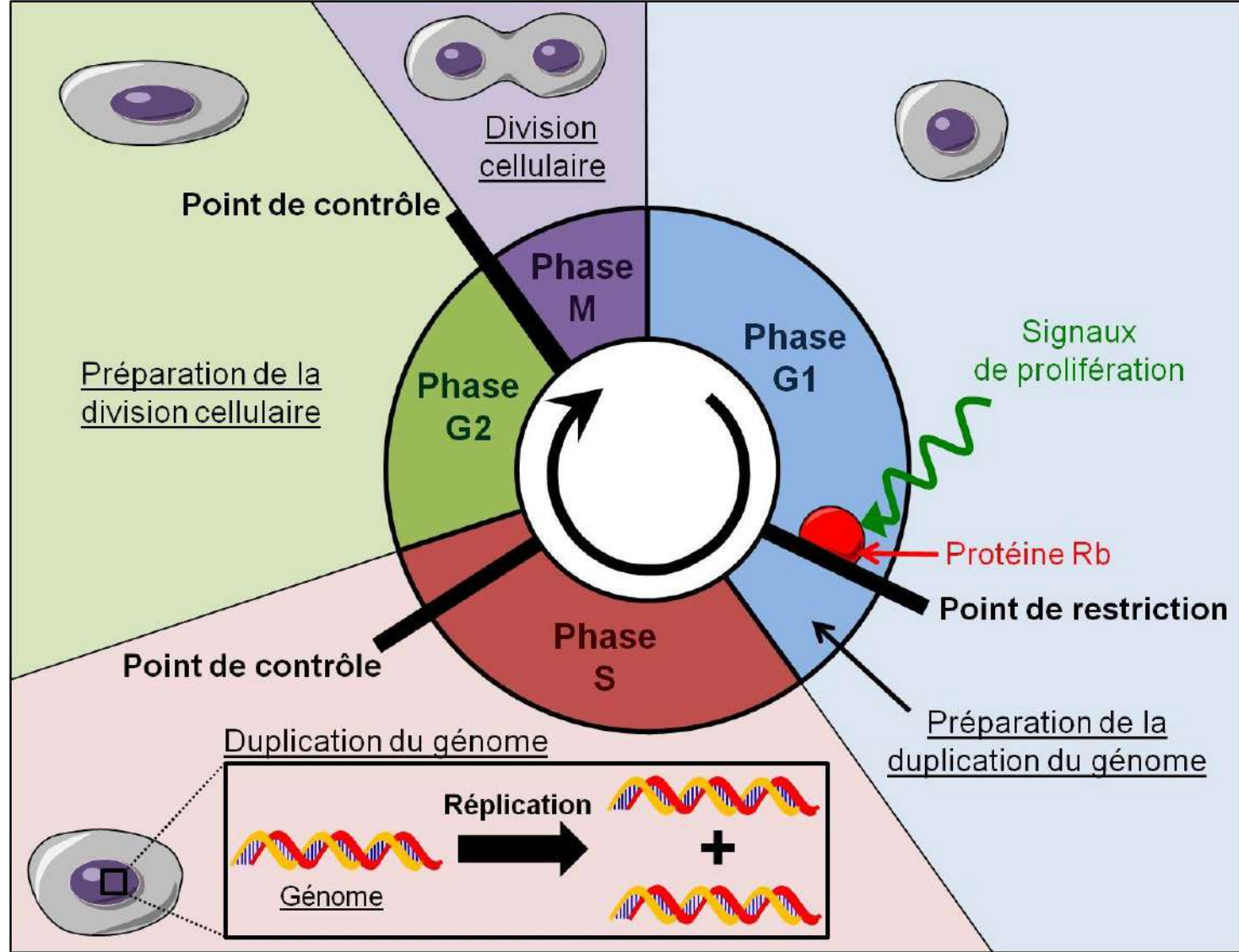
➤ la première phase du cycle, la **phase G1**, est une phase de croissance cellulaire où la cellule accroît sa taille ;

➤ ensuite une phase de duplication de l'**ADN** se met en place, c'est la **phase S** ;

➤ la cellule finalise la duplication de l'ADN ainsi que la croissance cellulaire en **phase G2** ;

➤ elle entre alors dans la dernière phase du cycle cellulaire, la **phase M**, qui correspond à la division cellulaire qui génère deux cellules filles.





Le déroulement du cycle cellulaire est vérifié au niveau de points de contrôle placés pendant les phases du cycle cellulaire. Ils déterminent si le cycle cellulaire peut progresser au sein d'une phase ou s'il peut passer à la phase suivante.

La Mitose

« En biologie,

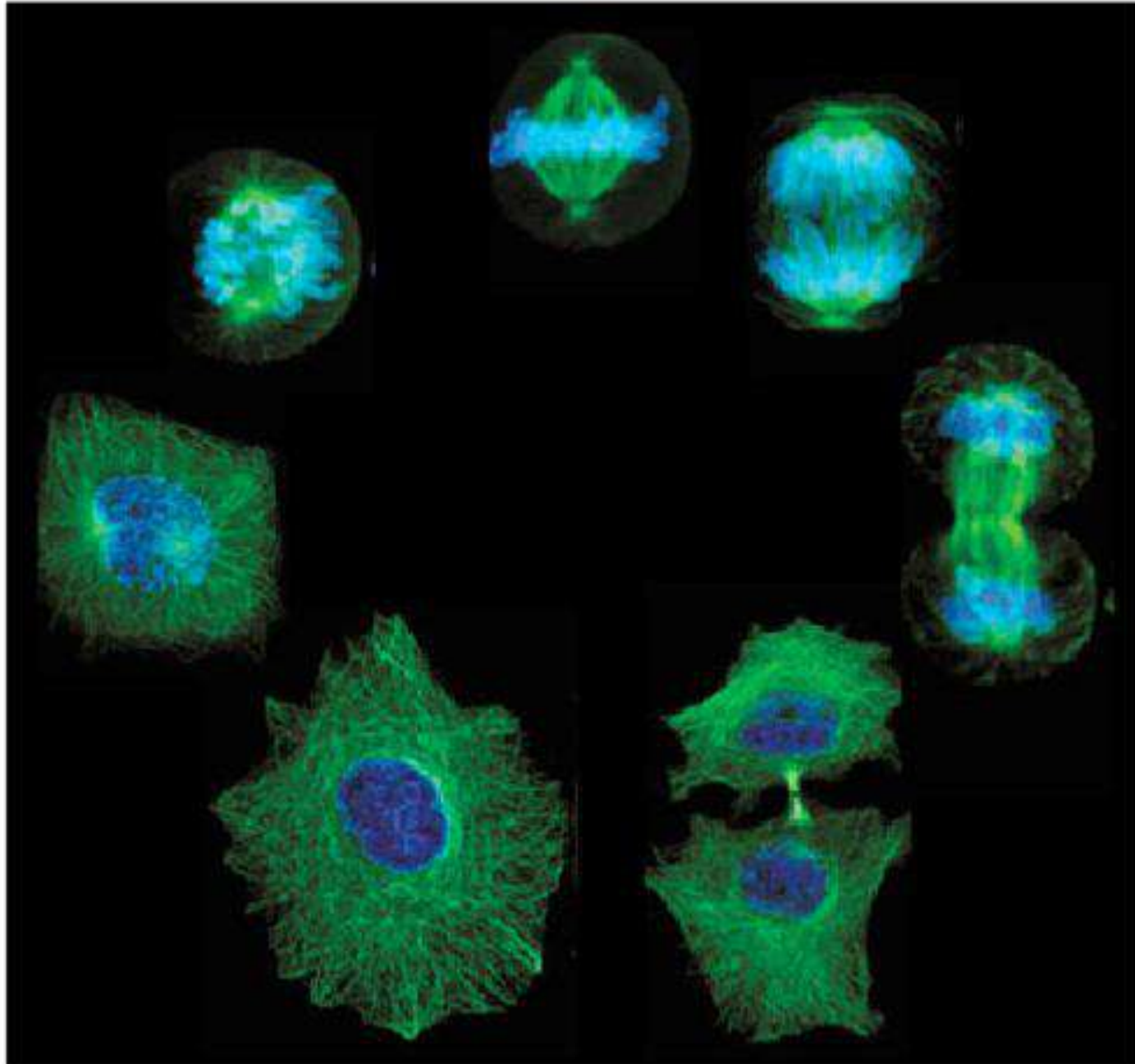
la multiplication c'est la même chose que la division! »

La mitose est un processus continu dans le temps et qui a une durée courte (généralement 1h) par rapport à l'interphase. On peut toutefois identifier 4 étapes différentes selon l'état et la localisation des chromosomes dans la cellule:

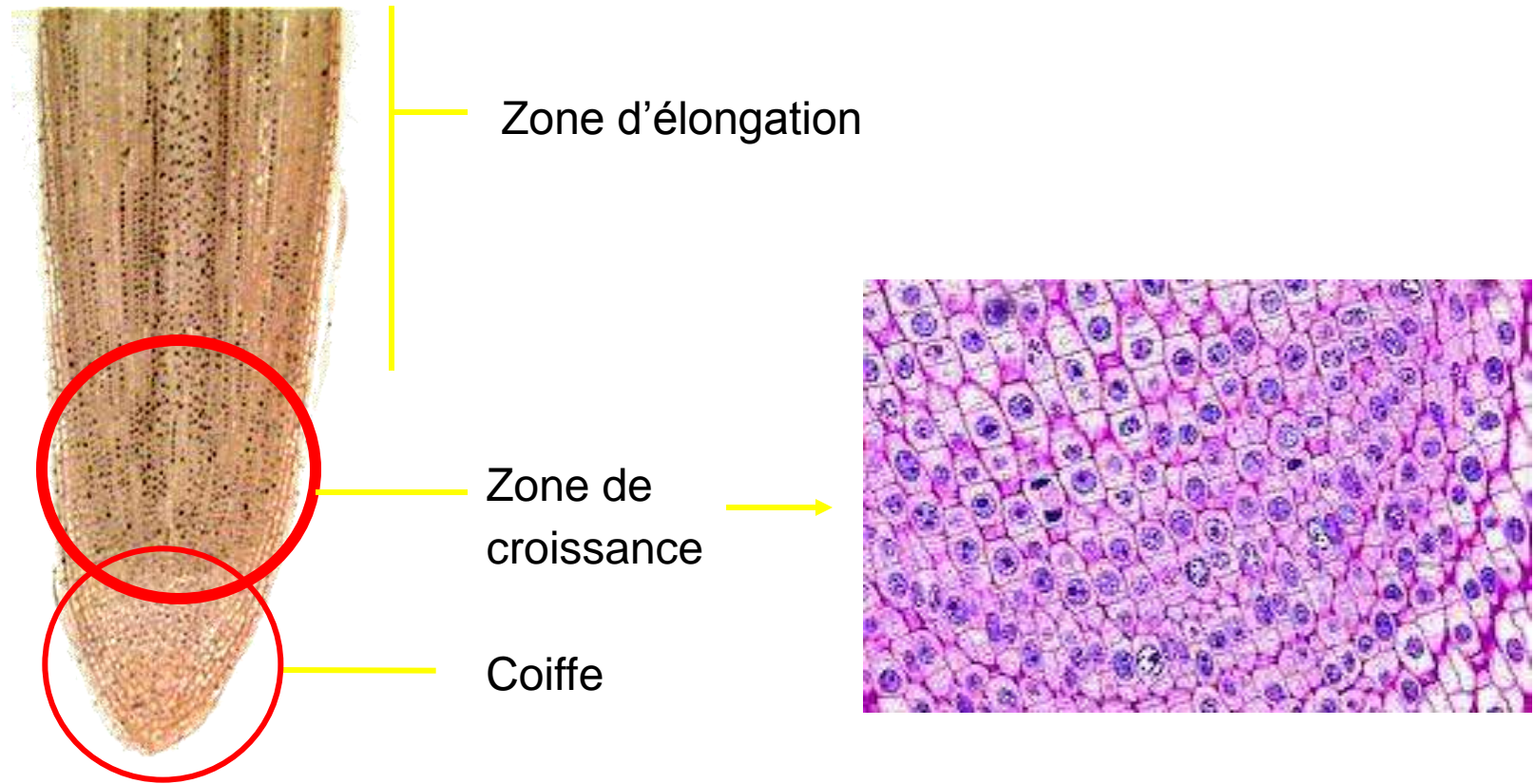
- Prophase;
- Métaphase;
- Anaphase;

➤ Télophase

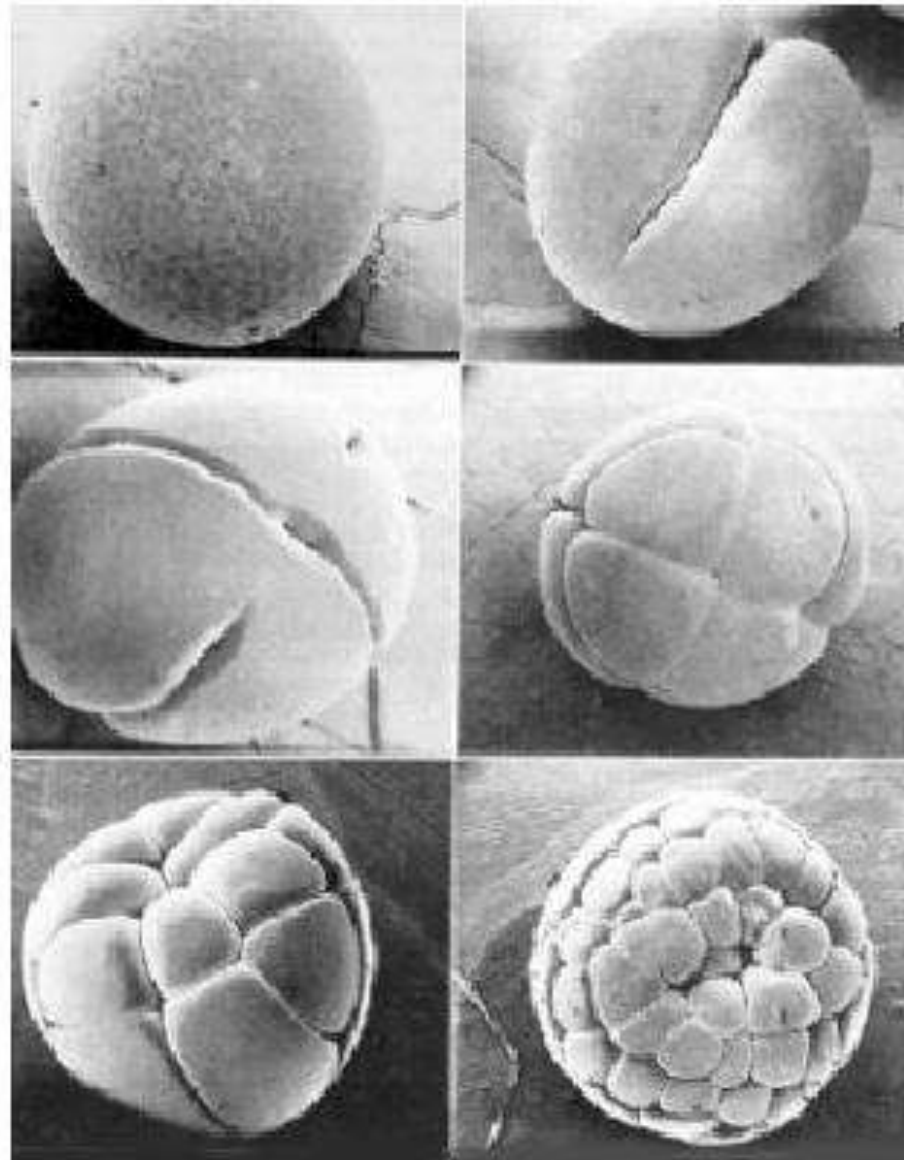
2. Les étapes de la mitose



Observation de la mitose des cellules de la racine d'oignon

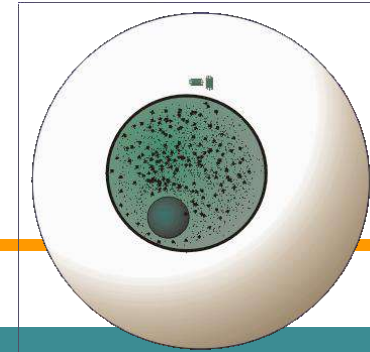


Exemple de lieux de divisions cellulaires intenses:



✓ Développement embryonnaire

Interphase



- Interphase
- Prophase
- Métaphase
- Anaphase
- Télaphase

•Phase G₁

Croissance

•Phase S

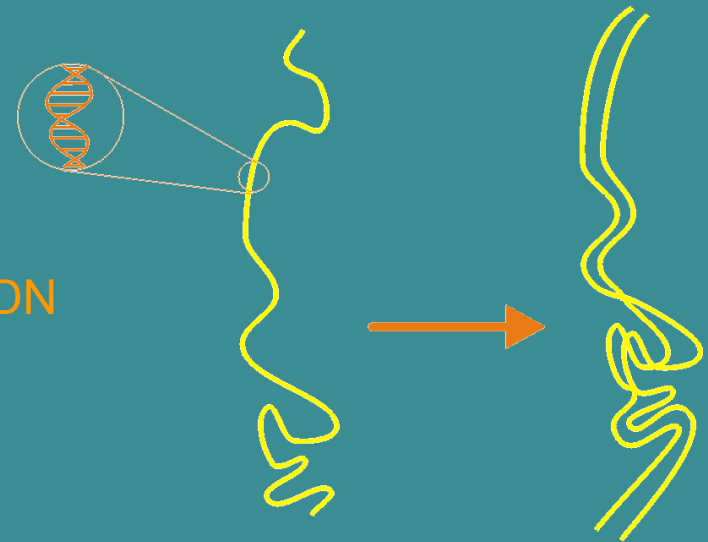
Croissance

Réplication de l'ADN

•Phase G₂

Croissance

Derniers préparatifs avant la division



Prophase

- Interphase
- Prophase
- Métaphase
- Anaphase
- Télaphase

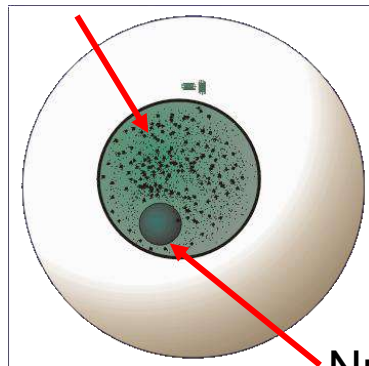
Formation du fuseau

Condensation de la chromatine en chromosomes

Fragmentation de la membrane du noyau

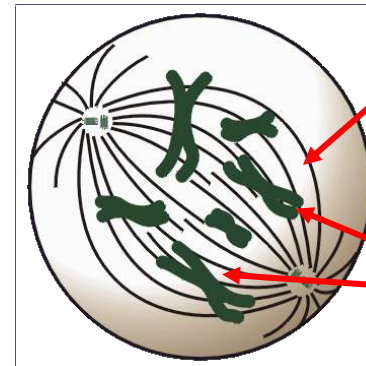
Disparition du ou des nucléoles

Chromatine



Nucléole

Interphase

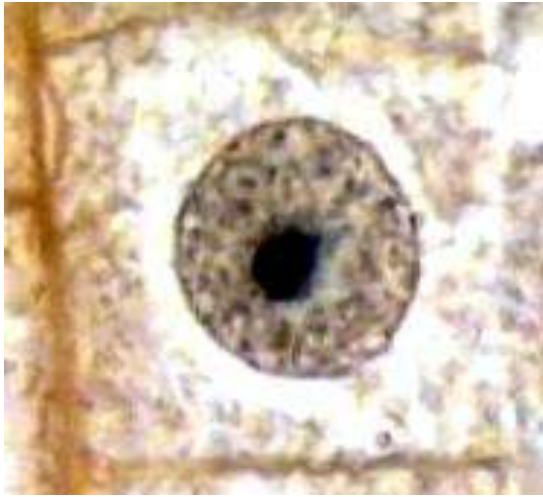


Fibres du fuseau

Chromosomes spiralisés

Prophase

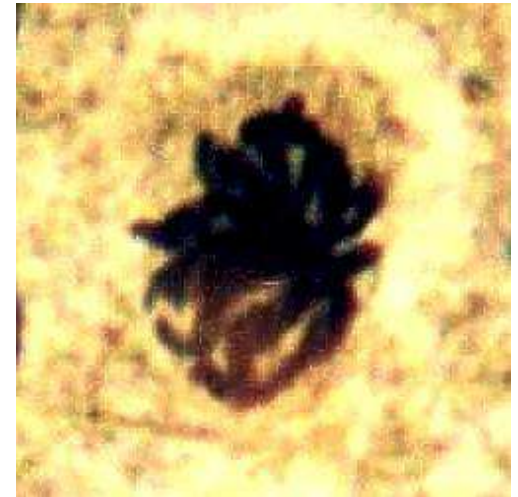
Interphase et prophase d'une cellule d'oignon



Interphase

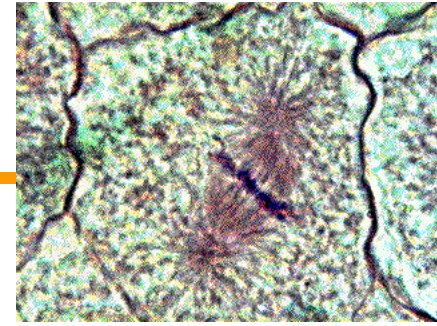


Prophase
(début)



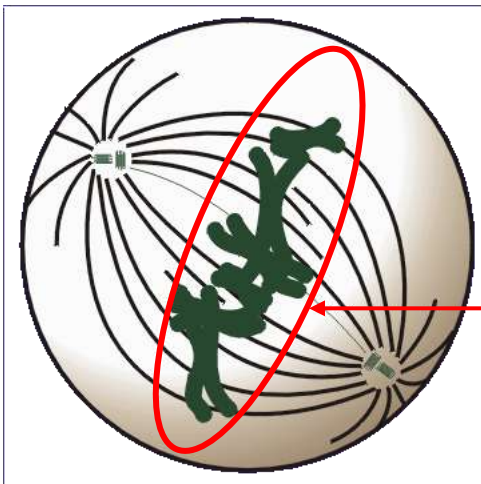
Prophase
(fin)

Métaphase



- Interphase
- Prophase
- Métaphase
- Anaphase
- Télaphase

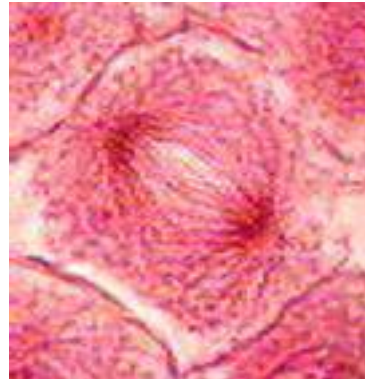
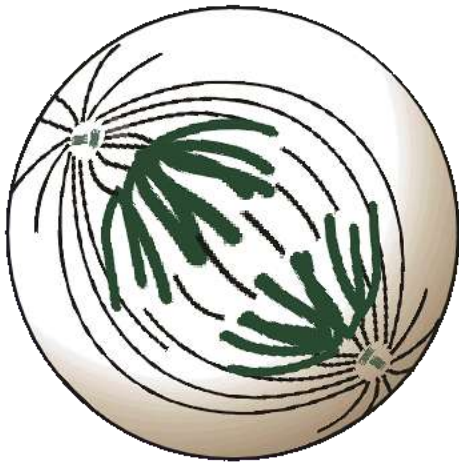
- Les **chromatides** (copies de chromosomes) se fixent aux fibres du fuseau.
- Les chromosomes se rassemblent au centre de la cellule et forment la **plaque équatoriale**.



Anaphase

- Interphase
- Prophase
- Métaphase
- Anaphase
- Télaphase

- Les chromatides sœurs (copies de chromosomes) se séparent.
- Les copies sont tirées par les fibres du fuseau et migrent aux extrémités de la cellule.



Métaphase et anaphase d'une cellule d'oignon



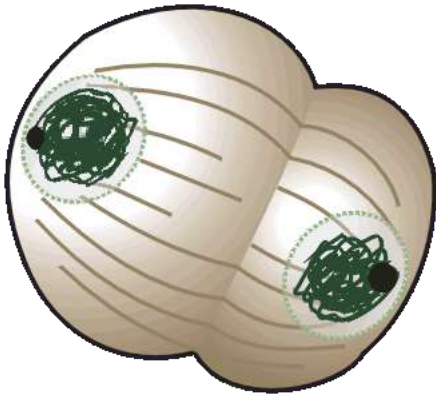
Métaphase



Anaphase

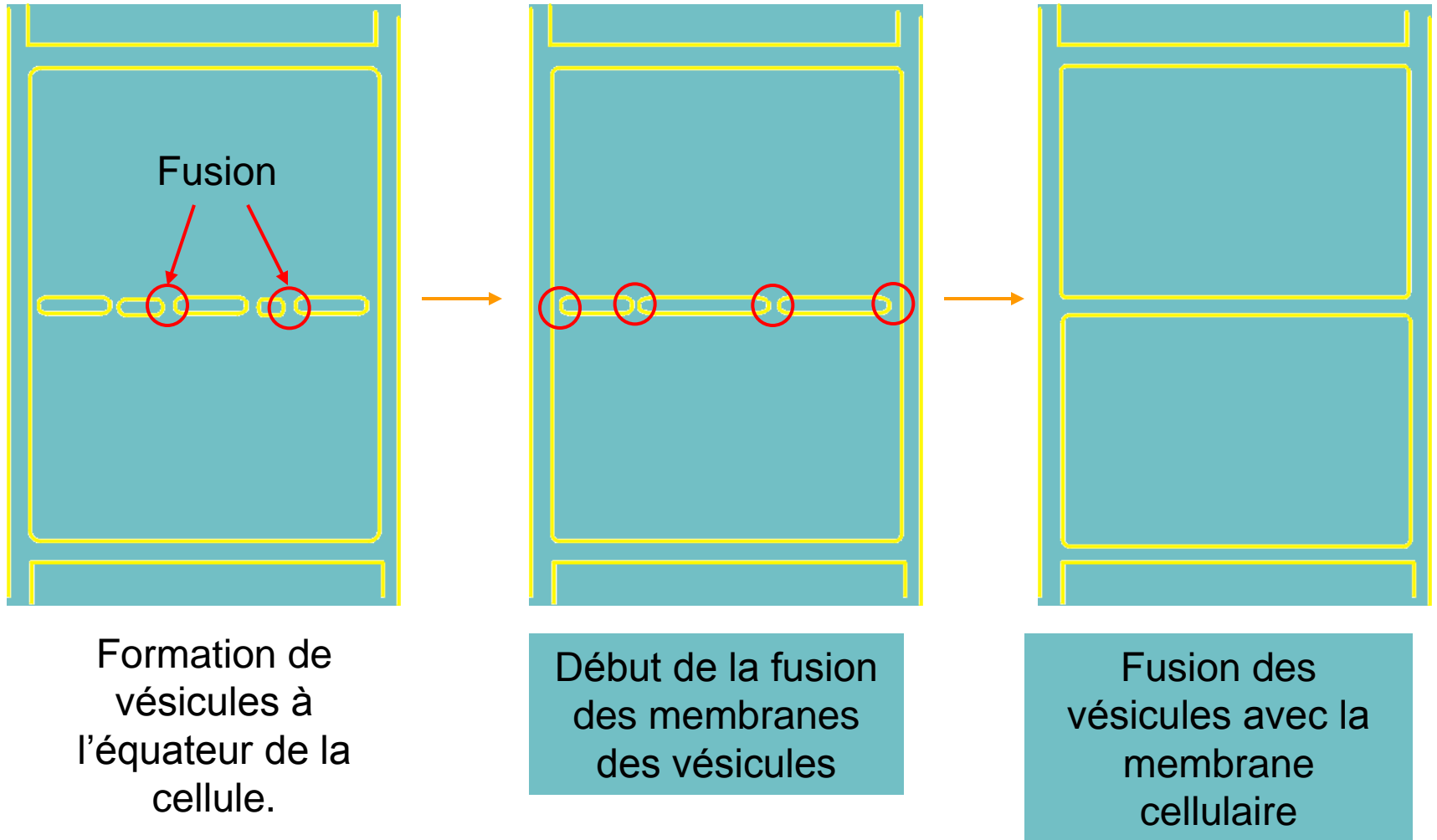
Télophase

- Interphase
- Prophase
- Métaphase
- Anaphase
- Télophase



- Les chromosomes se « déroulent » et forment à nouveau de la chromatine.
- La membrane du noyau et le nucléole se reforment.
- Cytocinèse:
 - La membrane cellulaire se contracte à l'équateur de la cellule pour diviser la cellule en deux (cellules animales).
 - Il se forme une membrane cellulaire et une nouvelle paroi à l'équateur de la cellule (cellules végétales).

Étapes de la cytokinèse de la cellule végétale



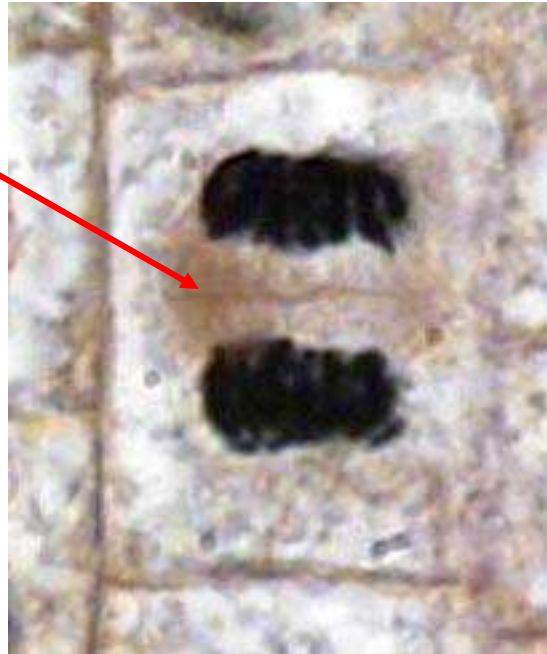
Formation de vésicules à l'équateur de la cellule.

Début de la fusion des membranes des vésicules

Fusion des vésicules avec la membrane cellulaire

Télophase d'une cellule d'oignon

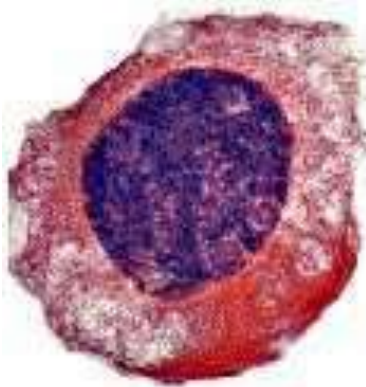
Paroi cellulaire en formation



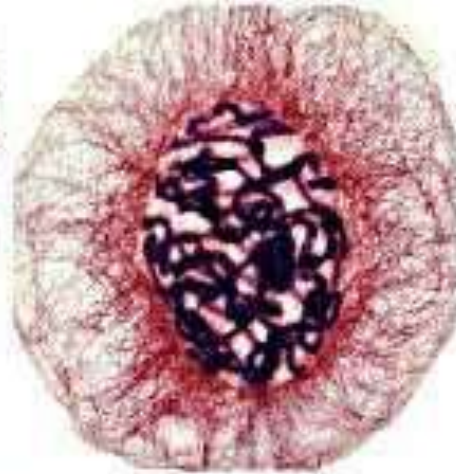
Télophase

Mitose de la cellule animale

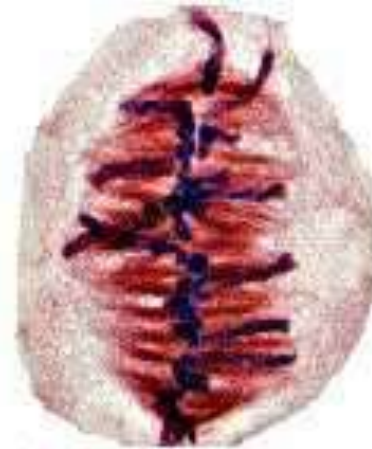
Inter



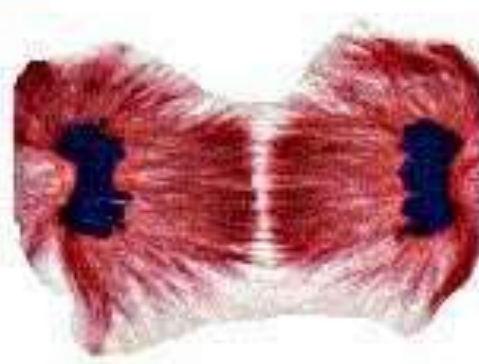
Pro



Méta

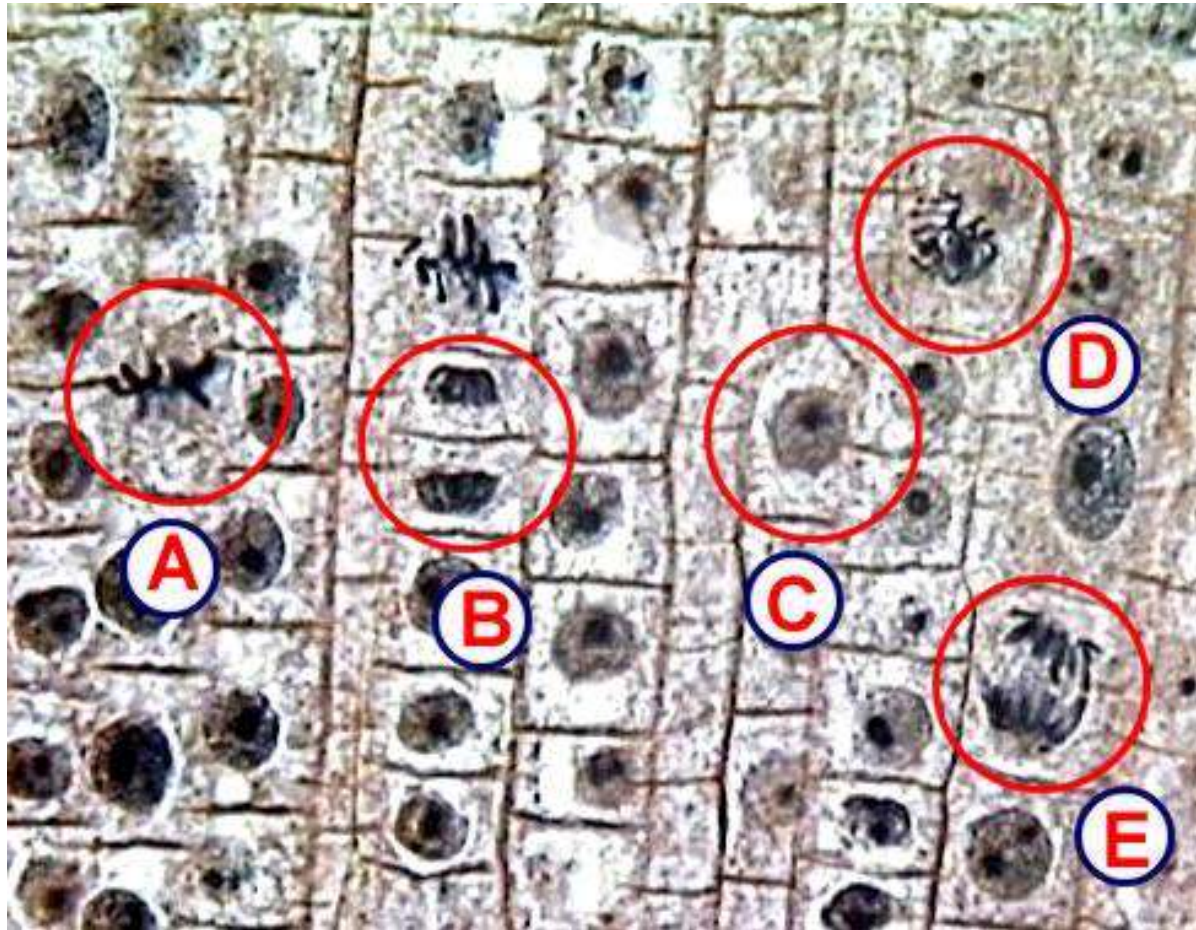


Ana



Télo

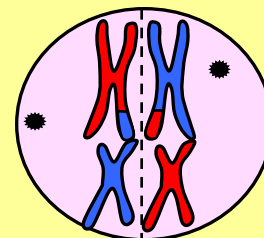
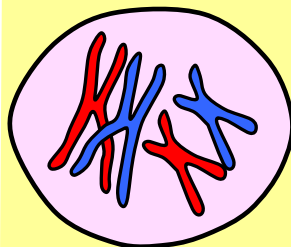
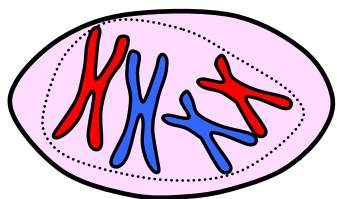
Observation de la mitose des cellules de la racine d'oignon



La Méiose

- Une cellule germinale parentale va donner naissance à 4 gamètes haploïdes
- La fusion de 2 gamètes haploïdes redonne naissance à un organisme diploïde

Les transformations cytologiques lors de la méiose



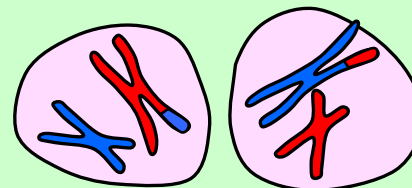
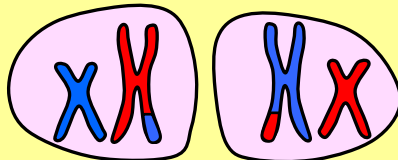
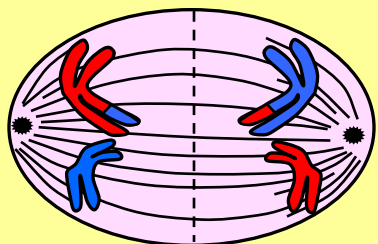
1^{ère}
division de
méiose

Cellule après mitose

1 cellule $2n = 4$, bichromatidiens

Prophase 1

Métaphase 1



2^{de}
division de
méiose

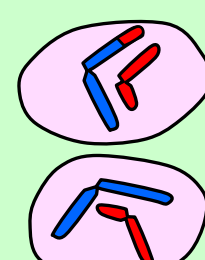
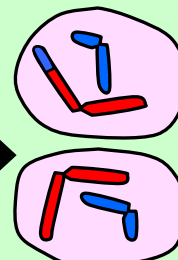
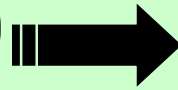
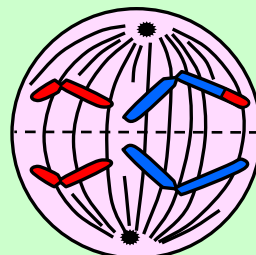
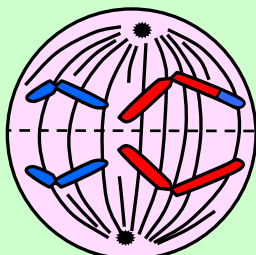
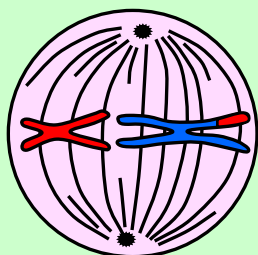
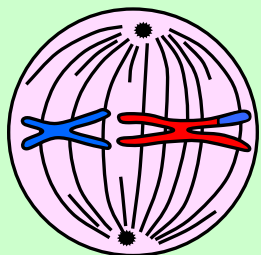
Anaphase 1

Télophase 1

2 cellules $n = 2$, bichromatidiens

Prophase 2

2^{de}
division de
méiose



Métaphase 2

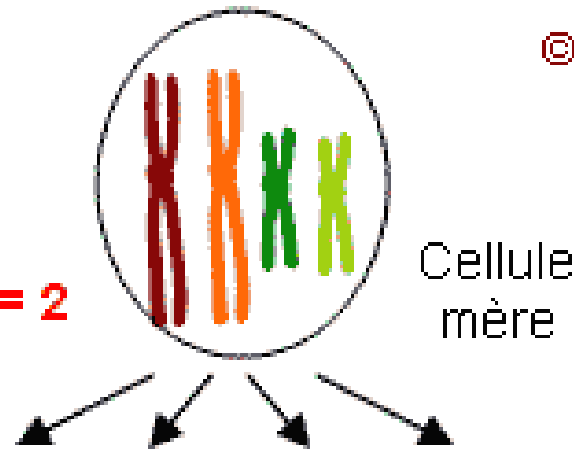
Anaphase 2

Télophase 2

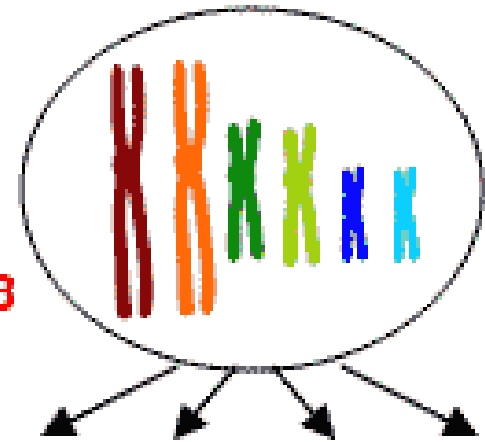
4 cellules $n = 2$, monochromatidiens

© Georges Dolisi

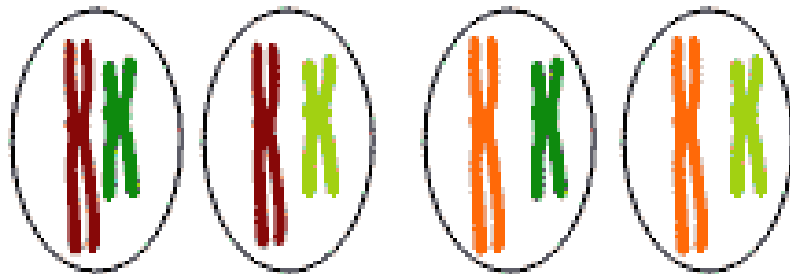
Si $n = 2$



Si $n = 3$

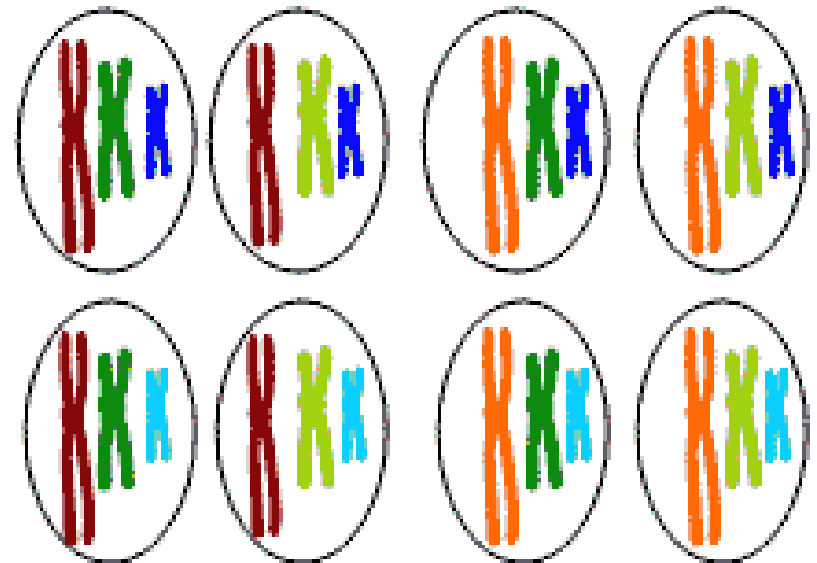


Brassage indépendant des chromosomes non homologues



4 combinaisons possibles pour les cellules filles, futurs gamètes, soit 2^2

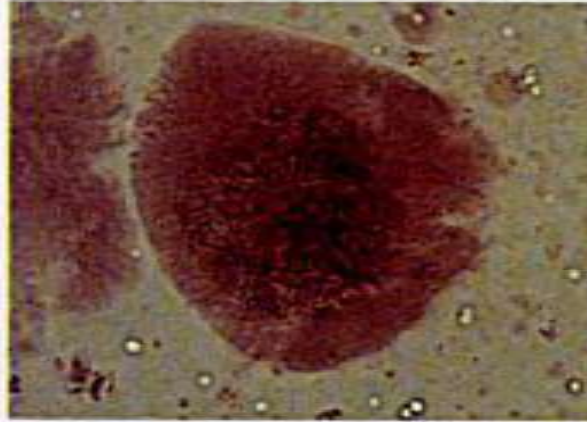
Brassage des chromosomes en division I de méiose



8 combinaisons possibles, soit 2^3

La Prophase de La Première Division de la Méiose

Leptotène



Zygotène



Pachytène

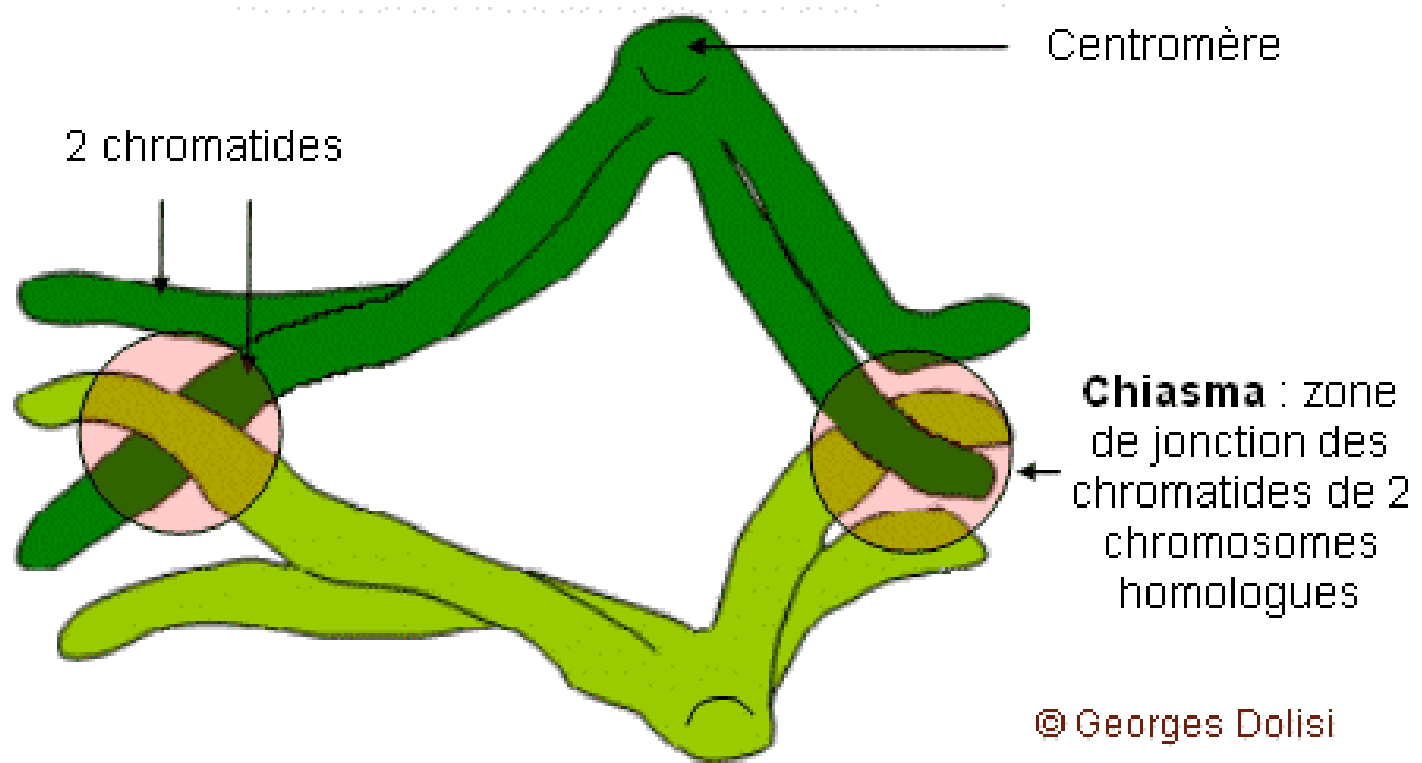


Diplotène



Diacinèse





**Un bivalent (ou tétrade) –
Prophase de 1^{ère} division de méiose**

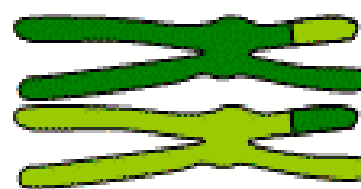
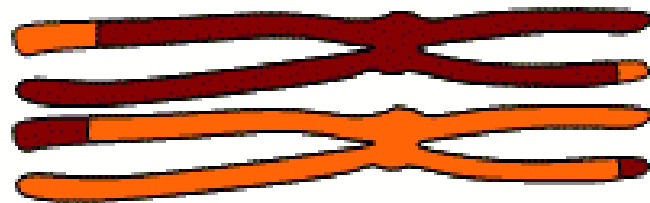
© Georges Dolisi



Les chromosomes homologues sont totalement appariés et forment des bivalents



Par crossing-over et formation de chiasmata, les chromosomes homologues échangent des fragments d'ADN

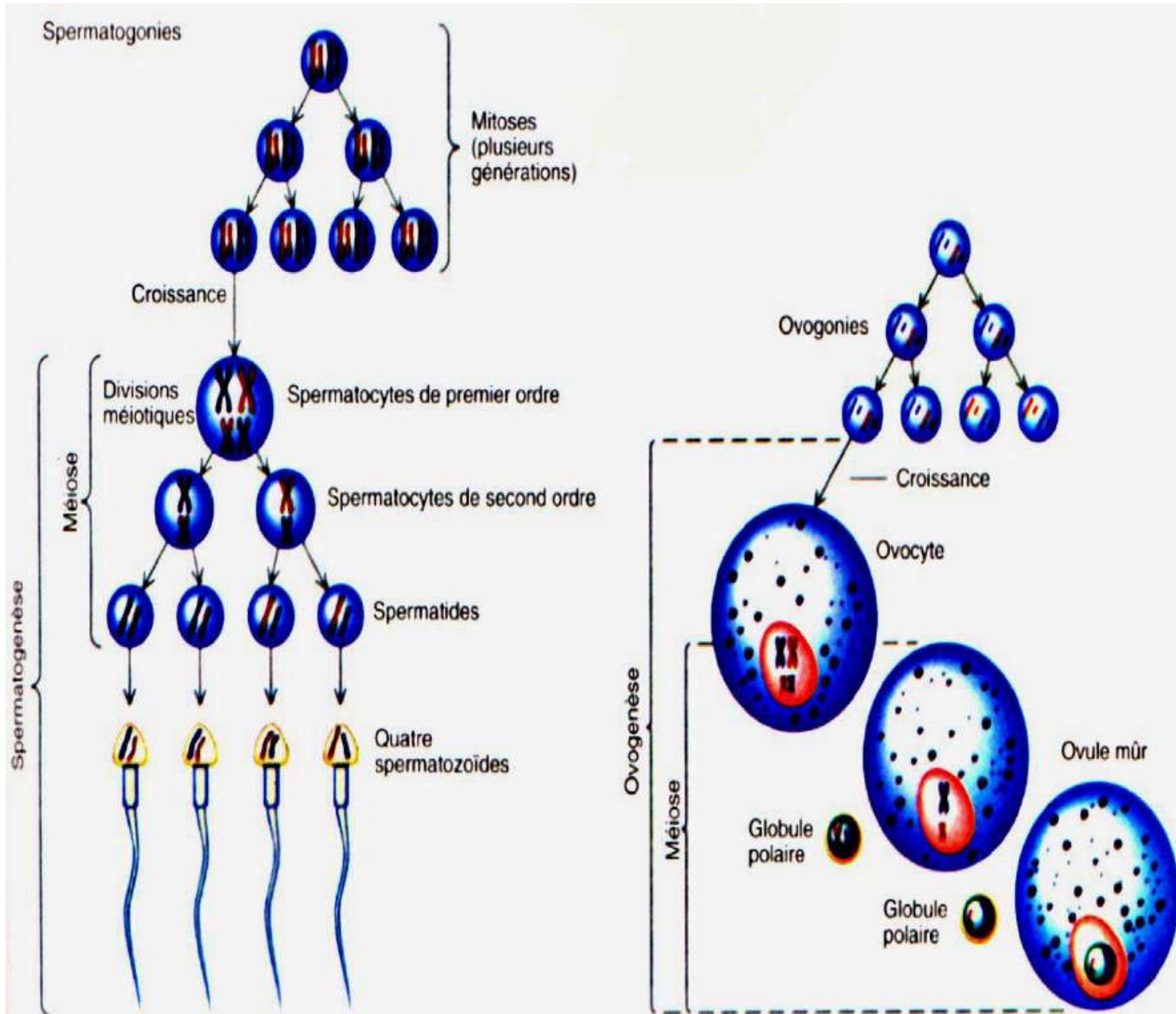


Chaque chromatide possède les mêmes gènes que son homologue, mais des allèles différents, ce qui permet le brassage génétique

Les crossing-over sur les bivalents en prophase I de méiose assurent le brassage génétique

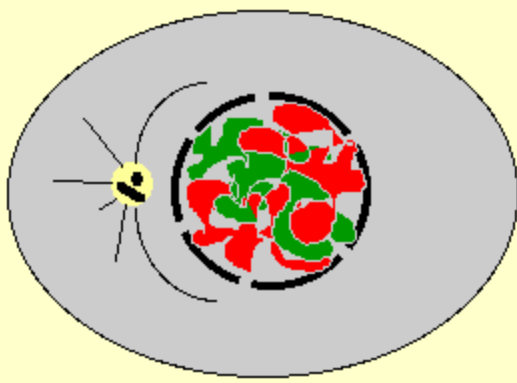
© Georges Dolisi

Méioses Mâles et Femelles



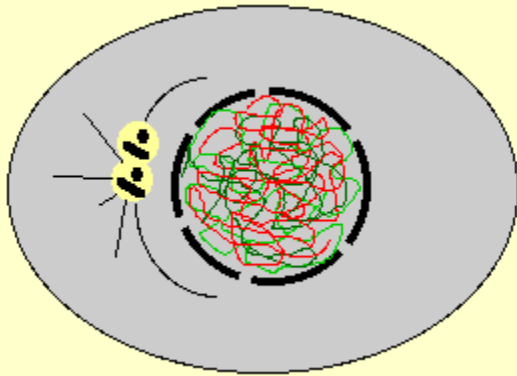
ANNEXE

Descriptif détaillé du déroulement de la
mitose



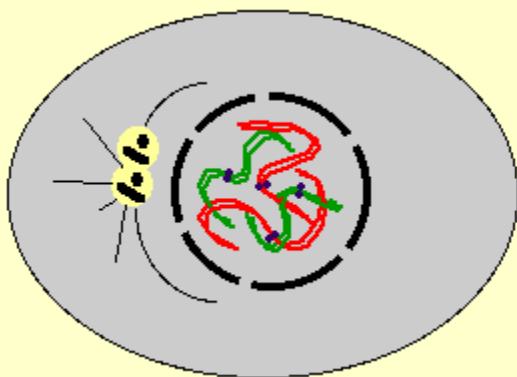
0 - INTERPHASE

Les chromosomes ne sont pas individualisés. Le matériel génétique est sous la forme de chromatine. Le centrosome (MTOC, Centre Organisateur de Microtubules) est composé de deux centrioles perpendiculaires entourés de matériel péricentriolaire.



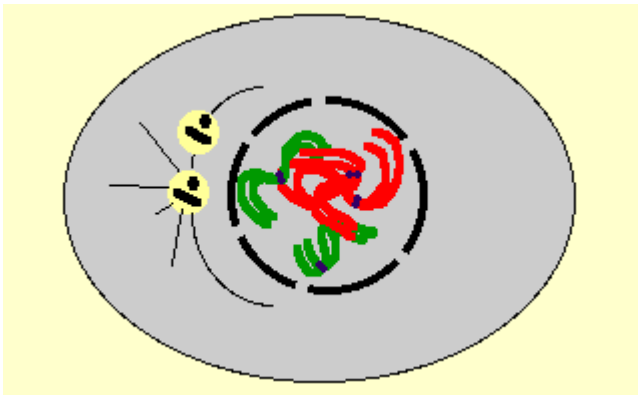
1 - PROPHASE début

Les chromosomes s'individualisent (les couleurs rouge et vert symbolisent l'origine paternelle ou maternelle des chromosomes). Le centrosome a été dupliqué en fin d'interphase.



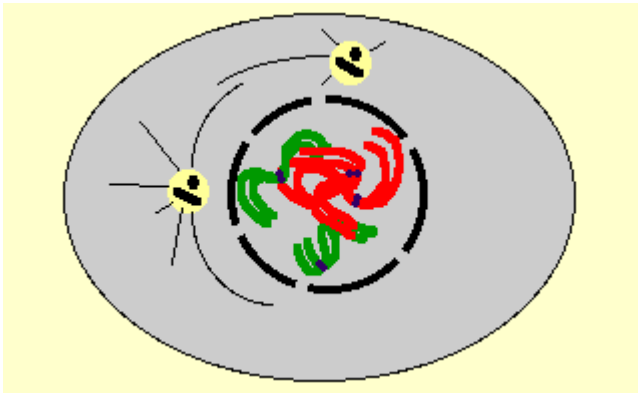
2 - PROPHASE suite

Les chromosomes s'épaississent et se raccourcissent. Nous avons choisi un nombre de chromosomes : $2N=4$. Deux sont d'origine maternelle et deux d'origine paternelle. Chaque chromosome est constitué de deux chromatides qui restent liées entre elles au niveau des centomères kinétochores (en violet).



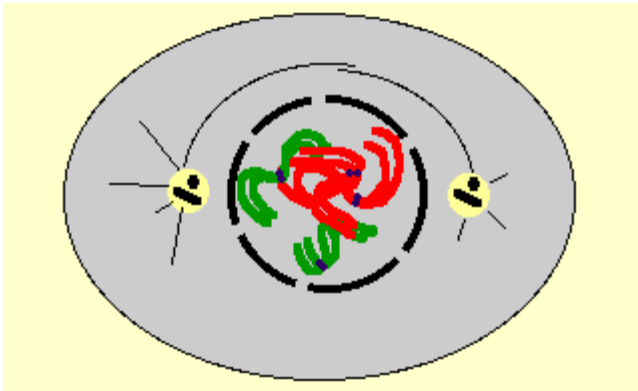
3 - PROPHASE suite

Les chromosomes sont maintenant très courts et épais. Les deux centrosomes vont se séparer.



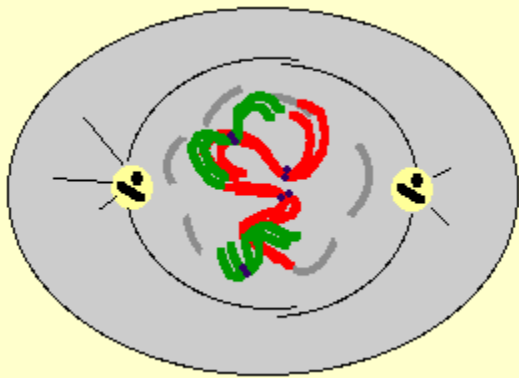
4 - PROPHASE suite

Les deux centrosomes accompagnés de microtubules rayonnants constituent des asters qui migrent vers les deux pôles de la cellule en se repoussant l'un l'autre grâce à des moteurs agissant sur les microtubules chevauchants.



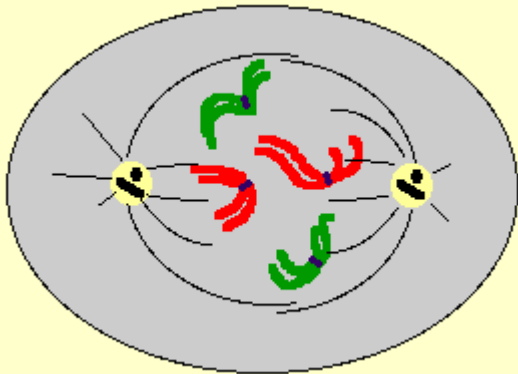
5 - PROPHASE suite

Les deux asters sont aux deux pôles opposés. Les microtubules émis par chacun d'eux les maintiennent en place et constituent le fuseau (des microtubules de même type existent évidemment dans les autres plans de l'espace).



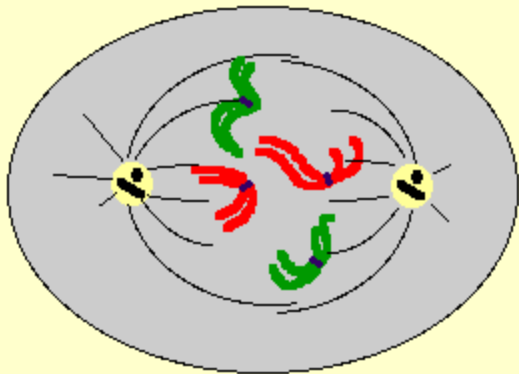
6 - PROPHASE fin

La membrane nucléaire disparaît. Les chromosomes ne sont plus dans un noyau, mais sont emprisonnés dans la cage constituée par les fibres tutoriales.



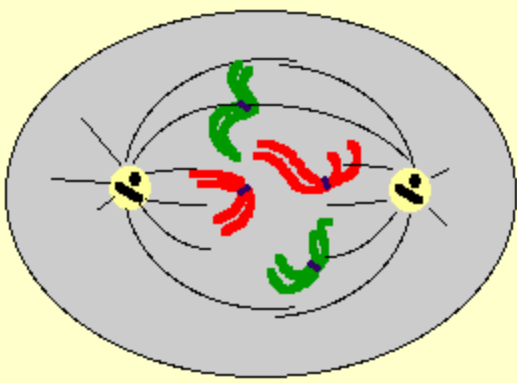
7 - PROMETAPHASE début

La membrane nucléaire a complètement disparu. De nombreux microtubules dynamiques sont polymérisés à partir des deux pôles.



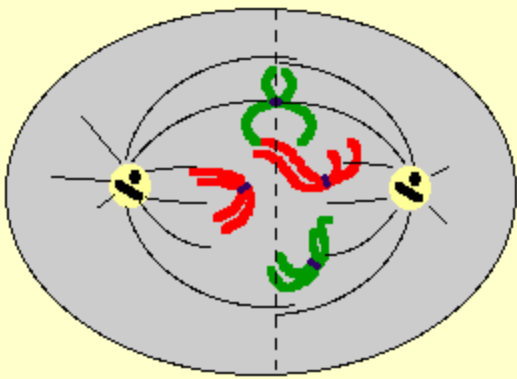
8 - PROMETAPHASE suite

Ces microtubules s'allongent en direction des chromosomes. Lorsque l'un d'entre eux rencontre un centromère kinétochore d'un chromosome, il le capture (attachement unipolaire). Les autres microtubules continuent à "chercher".



9 - PROMETAPHASE suite

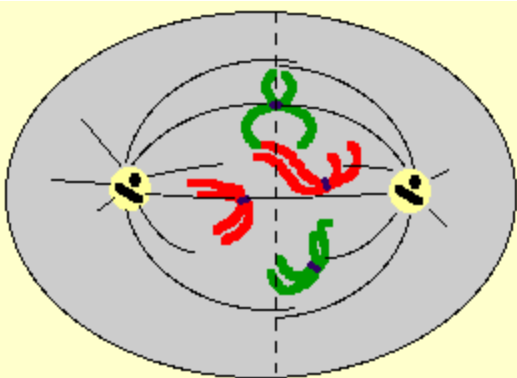
Le chromosome est capturé par un autre microtubule venant de l'autre aster. L'attachement du chromosome au fuseau est maintenant bipolaire.



10 - PROMETAPHASE suite

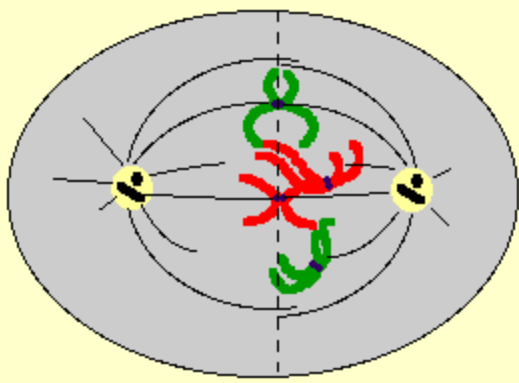
Par le jeu de la polymérisation et de la dépolymérisation des microtubules et grâce à des moteurs, le chromosome capturé est placé à l'équateur du fuseau.

Pour simplifier, un seul microtubule a été utilisé pour capturer un chromosome. En réalité 15 à 40 microtubules s'attachent au kinétochore d'un chromosome de mammifère.



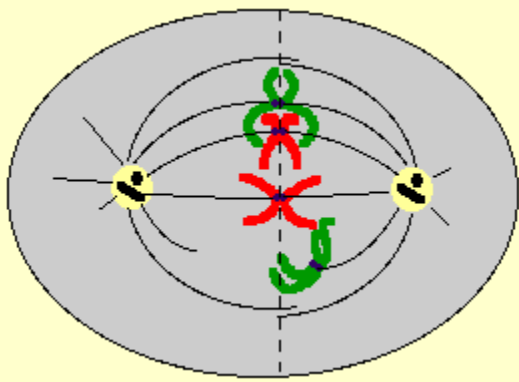
11 - PROMETAPHASE suite

Un autre chromosome est capturé.



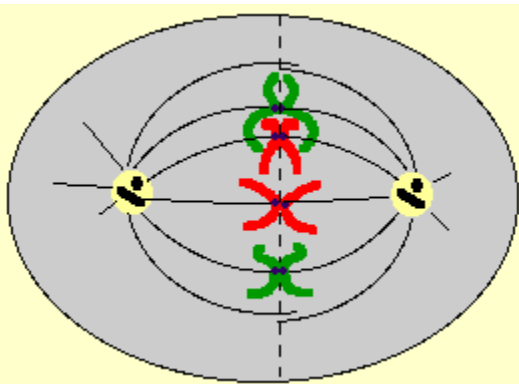
12 - PROMETAPHASE suite

Il est à son tour placé à l'équateur du fuseau.



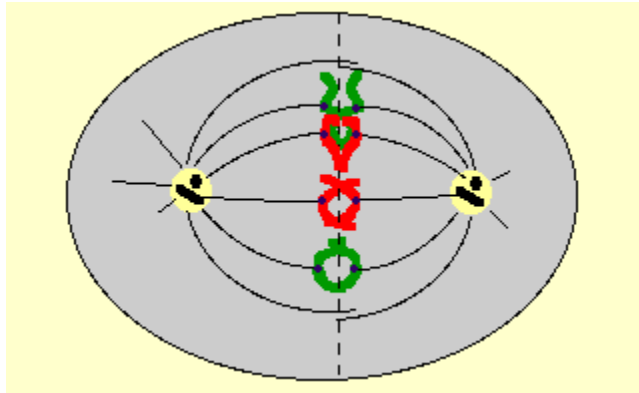
13 - PROMETAPHASE suite

Le dernier chromosome vient d'être capturé de manière unipolaire. Les autres chromosomes positionnés à l'équateur vont l'attendre. La séparation des chromatides (anaphase) est bloquée tant que TOUS les chromosomes ne sont pas alignés et reliés aux deux pôles. Tout chromosome mal attaché envoie un signal inhibiteur.



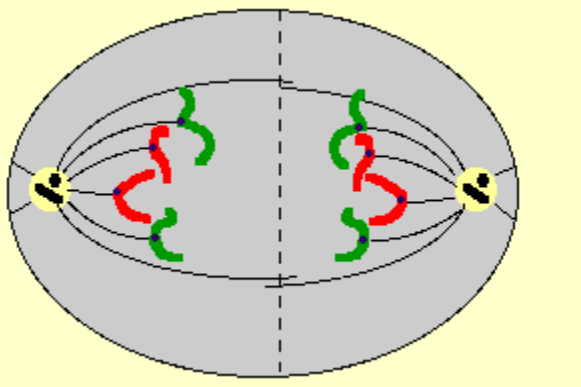
14 - METAPHASE

Tous les chromosomes sont maintenant placés à l'équateur du fuseau et constituent la plaque équatoriale. Les signaux inhibiteurs venant des chromosomes n'existent plus. L'ensemble du système est vérifié par un "checkpoint" et attend le feu vert pour déclencher l'anaphase.



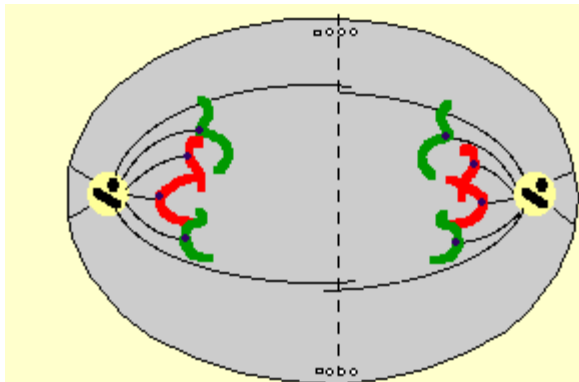
15 - ANAPHASE début

D'un seul coup, tous les kinétochores se séparent. Les microtubules attachés aux kinétochores se dépolymérisent et les chromosomes montent vers les pôles grâce à leurs moteurs.



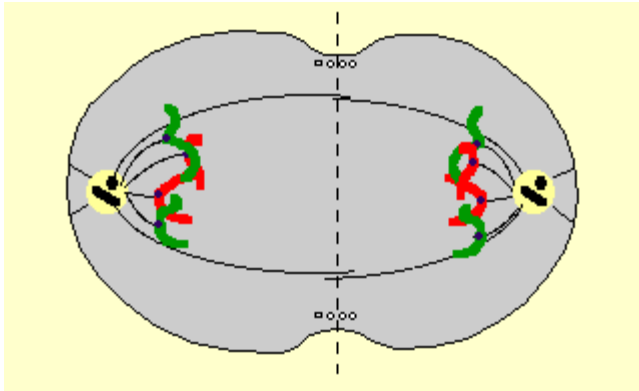
16 - ANAPHASE suite

Les deux lots de chromatides, qui, maintenant individualisées, sont des chromosomes, gagnent les pôles du fuseau en remontant le long des microtubules.



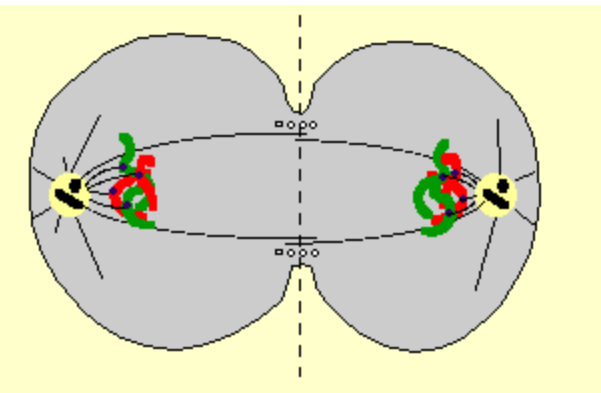
17 - ANAPHASE suite

Les deux lots de chromosomes sont rassemblés aux pôles car ils sont guidés par la cage formée par le fuseau lui-même. Un cercle de fibres contractiles (acto-myosine) apparaît autour de la cellule dans le plan de l'équateur.



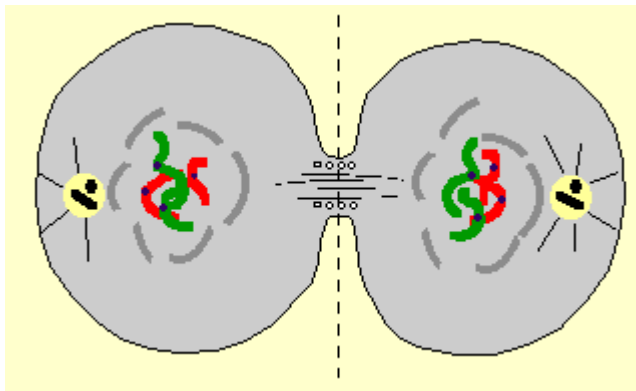
18 - TELOPHASE début

Ces fibres se contractent. Elles réalisent un sphincter qui resserre le diamètre de la cellule au niveau de l'équateur.



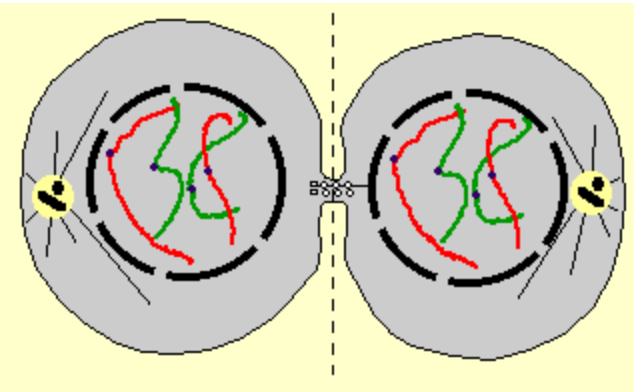
19 - TELOPHASE suite

Le processus se poursuit. La cellule se partage en deux progressivement.



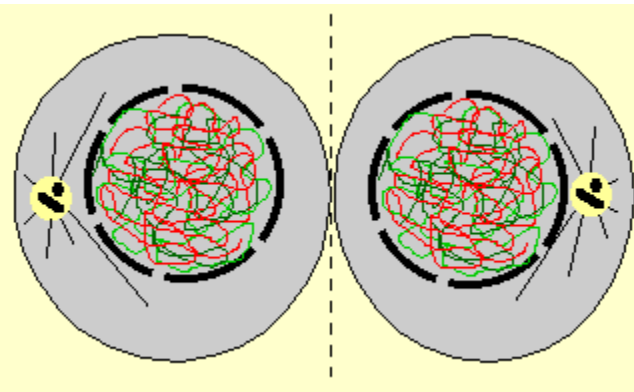
20 - TELOPHASE suite

La cellule est presque entièrement partagée. La membrane nucléaire se reconstitue autour de chaque lot de chromosomes.



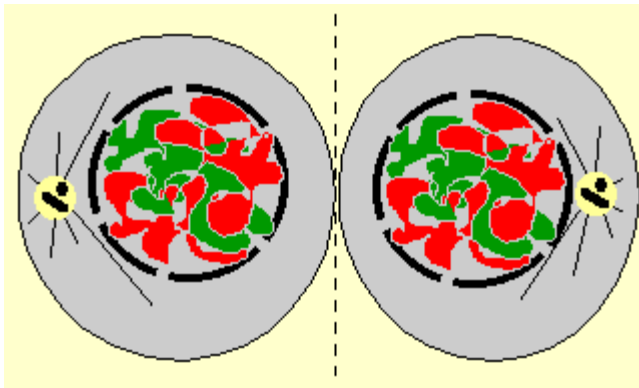
21 -TELOPHASE fin

les chromosomes se décondensent progressivement.



22 - DEUX CELLULES

Les chromosomes poursuivent leur décondensation. Remarquons que chaque chromosome fils est constitué d'une seule chromatide alors qu'au début de la mitose chaque chromosome était constitué de deux chromatides.



23 - DEUX CELLULES

Ces cellules vont poursuivre leur cycle et éventuellement, après la duplication de leur ADN, entrer à leur tour dans un phase mitotique suivante.

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

