



HBDD 3

Chapitre 1 : Reproduction et méiose

I. Modes de reproduction chez l'être vivant

1. Rappel : les six règnes du monde vivant

Ces règnes sont classés en 2 catégories selon la nature des cellules qui les composent :

Les eucaryotes

Possèdent un vrai noyau composé d'une chromatine et d'une enveloppe nucléaire.

Les eucaryotes sont présentés par 4 règnes :

- Les protistes, organismes unicellulaires
- Les champignons microscopiques et macroscopiques
- Les végétaux
- Les animaux (l'espèce humaine fait partie du règne animal).

Les procaryotes

Ne possède pas d'enveloppe nucléaire et la chromatine, généralement organisée sous forme d'une seule molécule d'ADN de forme circulaire, se retrouve dans le cytoplasme.

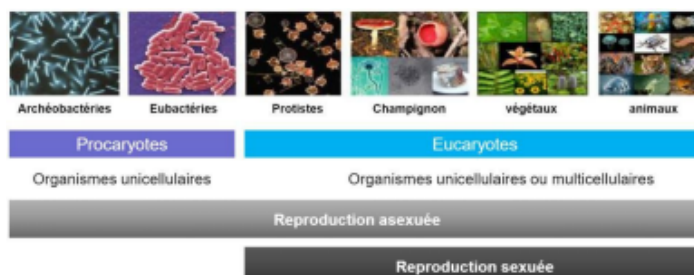
On distingue 2 types d'organismes procaryotes, qui sont unicellulaires :

- Les archéobactéries
- Les eubactéries

Reproduction = processus biologique par lequel les individus d'une espèce donnée engendrent de nouveaux membres. Il est essentiel à la perpétuité des espèces. → La biologie de la reproduction s'inscrit, avec la nutrition, au centre de la biologie.

Deux modes différents de reproduction se distinguent dans la nature :

- La reproduction asexuée : très largement représenté dans la nature et concerne plusieurs espèces dans les 6 règnes vivants. C'est le mode exclusif de reproduction chez les procaryotes.
- La reproduction sexuée.





2. La reproduction asexuée

Ne nécessite pas l'intervention de deux individus de sexes différents et n'implique qu'un seul individu. Elle concerne des organismes unicellulaires comme des organismes multicellulaires et permet la production de nouveaux individus génétiquement identiques.

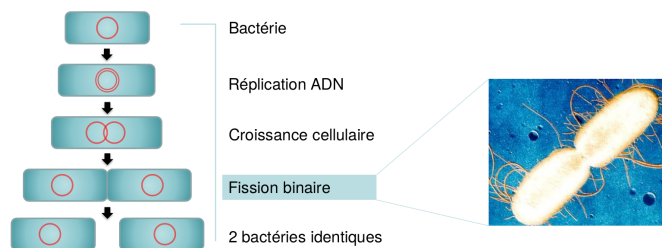
Chez les bactéries : la scissiparité ou fission binaire

1. Duplication de l'ADN chromosomique de la bactérie (le génome des bactéries n'est constitué en général que d'un seul chromosome de forme circulaire).
2. Clivage du cytoplasme de la cellule mère par « fission binaire »
3. Production de deux bactéries génétiquement identiques.
4. Evolution par mutations ponctuelles sous l'effet de l'environnement et par l'acquisition de nouveaux gènes vectorisés dans des plasmides provenant d'autres bactéries (« transmission horizontale »).

→ Mode de permettant aux bactéries de se multiplier très rapidement.

La reproduction asexuée La scissiparité (ou fission binaire)

Bactéries, organismes unicellulaires : 1 seul chromosome



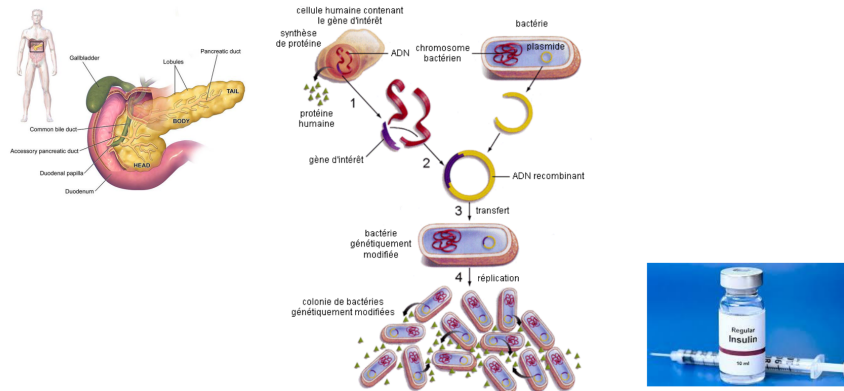
Exemple : les bactéries *Escherichia coli* sont souvent responsables d'infections urinaires chez l'Homme et se divisent toutes les 20 minutes. Cette croissance exponentielle aboutit à la production de millions de bactéries après quelques heures de division.

Cette propriété de reproduction très rapide a été exploitée par l'industrie pharmaceutique afin de produire des protéines thérapeutiques à large échelle.

Exemple de la production de l'insuline : il s'agit d'un polypeptide, hormone hypoglycémiante après les repas. Les patients atteints de diabète de type I et certains patients atteints de diabète de type II ont une insuffisance de synthèse et de sécrétion de l'insuline. Le recours aux injections quotidiennes s'avère nécessaire pour le traitement. L'administration du gène humain codant pour l'insuline dans une bactérie permet la réplication de ce gène en même temps que celle du génome bactérien. A l'issue des divisions successives de cette bactérie, l'insuline est produite en grande quantité. Sa purification et son conditionnement permet de la proposer aux patients diabétique insulino dépendants.



Génie génétique et production de biothérapeutiques



Chez les organismes vivants multicellulaires : la sporulation

Les mécanismes sont très variés, mais on ne va citer que l'exemple de la sporulation.

1. Détachement et dispersion d'une cellule ou d'un amas de cellules à partir d'un organisme multicellulaire.
2. Multiplication par mitose de ces cellules.
3. Production d'un nouvel organisme génétiquement identique à l'organisme primaire qui l'a engendré.

Exemple de l'*Aspergillus fumigatus* : champignon filamenteux microscopique responsable d'infections broncho-pulmonaires chez des patients immunodéprimés. Multiplication grâce au détachement des cellules de sa coiffe et leur dispersion dans l'environnement.

3. La reproduction sexuée

Mécanisme essentiel par lequel les espèces s'adaptent à leur environnement au fur et à mesure des générations, ce qui conditionne la survie de l'espèce.

Un des phénomènes les plus complexes de la vie et principal mode de reproduction des organismes pluricellulaires.

Chez l'être humain et de nombreuses autres espèces animales, la génération d'un nouvel individu implique :

- 2 individus parents de sexe différent (homme et femme)
- Une série de processus biologiques, physiologiques et comportementaux : production de gamète, rapport sexuel et fécondation.

Aboutit à la génération d'un individu génétiquement et phénotypiquement unique. Le terme de « procréation » est donc plus adapté que le terme de « reproduction ».



II. Lignée germinale

Cellules germinales

Uniquement présentes dans les gonades (contrairement aux cellules somatiques du grec *sôma*, corps) :

- Testicules chez l'homme
- Ovaires chez la femme

Cellules germinales primordiales

Au cours de l'embryogenèse, certaines cellules s'individualisent en cellules germinales primordiales → différenciation en :

- Spermatogonies chez l'homme
- Ovogonies chez la femme

Gamètes

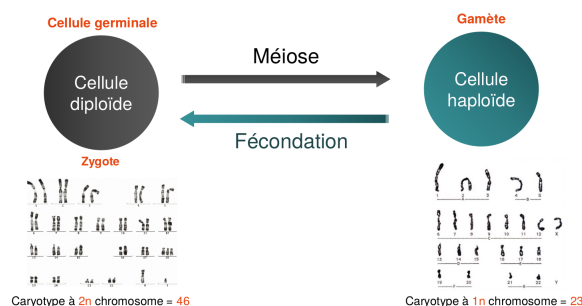
Les cellules germinales ont la particularité d'entamer la méiose à un moment précis du cycle de vie. Elle participe à la maturation de ces cellules pour donner naissance à des gamètes :

- Spermatozoïde chez l'homme
- Ovocyte chez la femme

Ce sont des cellules haploïdes (elles ne renferment au sein de leurs noyaux que la moitié du matériel génétique parental). Leur chromatine est subdivisée en 23 chromosomes dont un chromosome sexuel :

- X ou Y chez l'homme
- Toujours X chez la femme

Les gamètes sont des cellules haploïdes



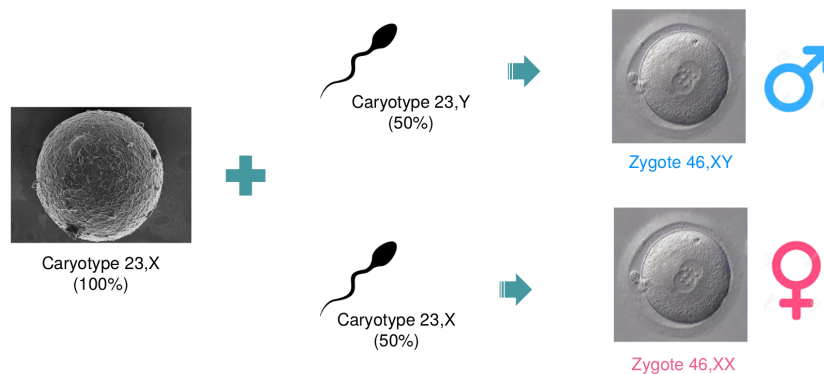
Elles représentent le vecteur de l'information génétique parentale. La rencontre des deux gamètes et leur fusion lors de la fécondation aboutit à la génération d'un nouvel individu qui a hérité la moitié de son génome de son père et l'autre moitié de sa mère.



Le génome du spz définit le sexe génétique (car l'ovocyte ne peut avoir que le chr X) :

- Spz porteur d'un chr Y → embryon de sexe génétique ♂(XY)
- Spz véhiculant un chr X → embryon de sexe génétique ♀ (XX)

Les gamètes sont des vecteurs génétiques



III. Méiose : vue d'ensemble

Méiose = processus de division cellulaire essentiel pour la reproduction sexuée.

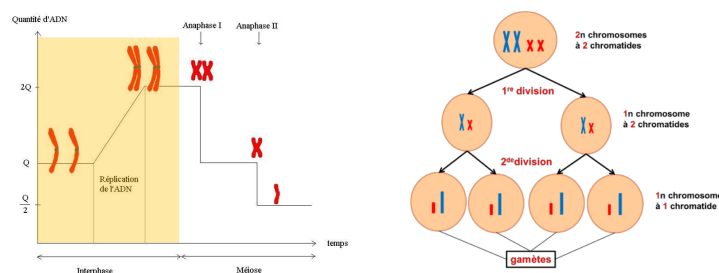
Les mécanismes cellulaires impliqués sont remarquablement conservés à travers les espèces ayant recours à ce mode de reproduction.

Elle se déroule en 2 phases de divisions cellulaires précédées par une seule étape de réplication de l'ADN (interphase). La quantité d'ADN est réduite de moitié après chaque cycle de division.

A l'issue de la méiose → maturation des gamètes (processus différent chez l'homme et la femme) → acquisition d'un pouvoir fécond et d'une compétence pour le développement embryonnaire précoce.

Déroulement général de la méiose

- Deux divisions cellulaires précédées par une seule interphase (réplication ADN)





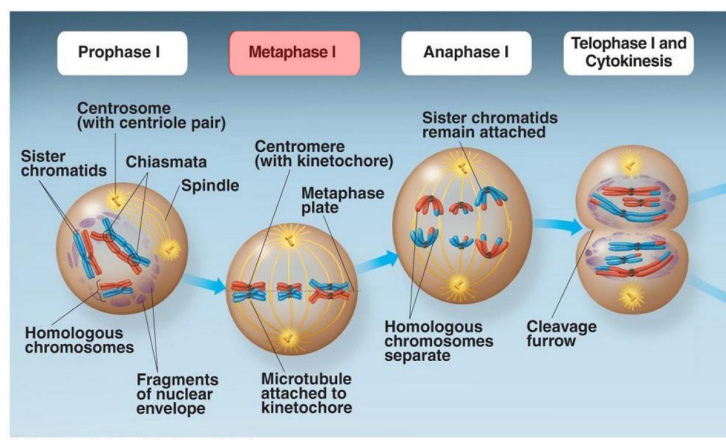
IV. Méiose I = 1^{ère} division méiotique

Etape de division réductionnelle : réduit le nombre de chromosomes de moitié.

Cellules pré-méiotiques diploïdes (à $2n$ chromosomes) → cellules haploïdes (à n chromosomes).

Répartition aléatoire des chr homologues paternels et maternels entre les cellules filles → ↑ diversité génétique au sein de l'espèce

Recombinaison d'ADN entre les chr homologues → nouvelles combinaisons génétiques faisant de chaque gamète une cellule génétiquement unique.



Chronologie et aspects cytologiques de la prophase I de méiose

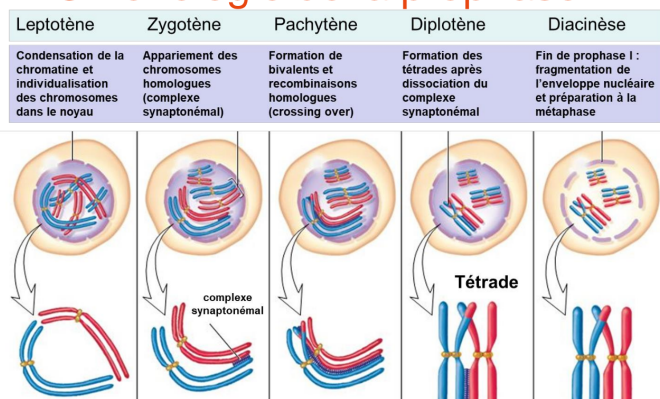
Elle est très spécifique à la méiose et représente l'étape la plus longue du processus méiotique.

Des liens physiques transitoires formés par les complexes synaptonémaux s'établissent entre les chromosomes homologues → échange de fragments d'ADN via le processus de recombinaison homologue.

Méiose I Chronologie de la prophase I

On peut subdiviser cette étape en plusieurs stades : le leptotène, le zygotène, le pachytène, le diplotène et la diacinèse.

Moyen mnémo des familles : **Le** Zizi du **Pachy**derme a des **Di**mensions **Di**aboliques





Leptotène
= *leptos*
(mince) et
tænia (ruban)
en grec

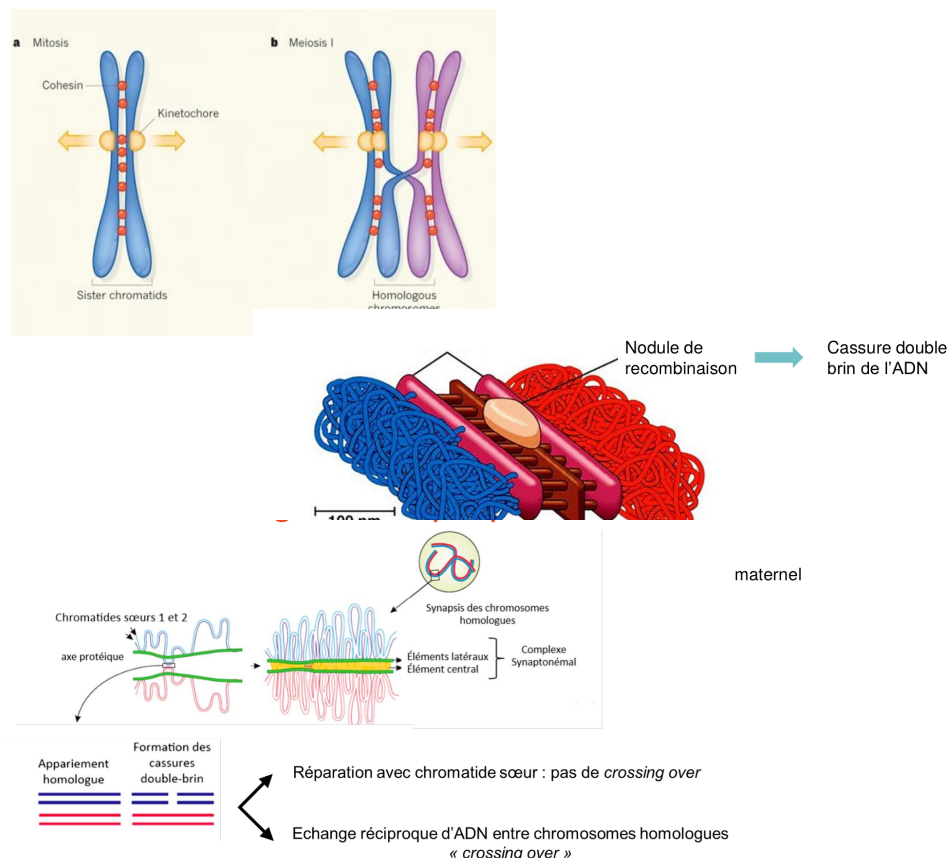
Intervient après l'interphase = stade pré-leptotène, où l'ADN de la cellule pré-méiotique est répliqué en 2 exemplaires identiques.

Est marqué par le début de condensation de la chromatine sous forme de chr formé chacun de 2 chromatides sœurs → s'associent entre elles par des complexes protéiques transitoires (association physique) = cohésines → les chromatides sœurs restent liées pendant l'anaphase I et se ségrègent dans la même cellule.

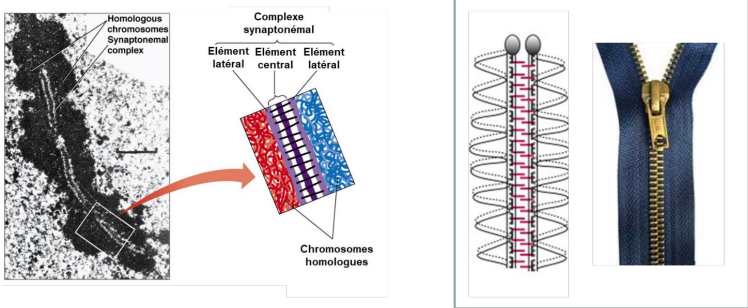
Des nodules de chromatine apparaissent le long des chr et s'ancrent sur un seul axe protéique = élément axial. Ils contiennent les protéines de la machinerie de recombinaison où est initié le processus : des cassures double-brin (CDB) se forment le long des chr au niveau des nodules.

On distingue deux types de nodule :

- Nodules précoces : qui restent en majorité à ce stade, et les CDB seront réparées en prenant comme copie la chromatide sœur ; c'est la conversion génique. Seuls quelques uns vont maturer jusqu'au stade tardif.
- Nodules tardifs : siège de *crossing-over* (CO) entre chr homologues (échange réciproque d'ADN).





Zygotène = zygon, joug en grec	Marqué par le début d'appariement des chr homologues et l'initiation de la polymérisation du complexe synaptonémal : structure tripartite composée : ▸ de 2 éléments axiaux = latéraux ▸ de filaments transverses formant une structure centrale qui associent les deux chr homologues via les éléments latéraux → Il existe plusieurs points préférentiels d'ancrage de ces filaments transverses sur la chromatine = centres d'appariements. L'appariement entre chr homologues commence à s'établir par le rapprochement des extrémités télomériques attachées au niveau l'enveloppe nucléaire, puis progresse comme une fermeture éclair jusqu'à les aligner complètement. ▪ Stade zygotène : le complexe synaptonémal 
Pachytène = pachys, épais en grec	Les chr homologues sont appariés (ou synapsés) sur toute leur longueur → structure en « bivalent » ou « tétrade » (si on considère que l'appariement est formé de 4 chromatides). Les nodules tardifs de recombinaison sont mis en évidence. Ils sont le siège d'une maturation de l'activité de recombinaison homologue interchromatidienne → <i>crossing-overs</i> qui s'achèvent à ce stade.
Diplotène = diplos, double en grec	Dépolymérisation du complexe synaptonémal et dissociation des chromosomes homologues, qui ne sont plus retenus ensemble qu'au niveau des chiasmas (sites de <i>crossing-over</i>) et apparaissent alors doubles.
Diacinèse = kinesis, mouvement en grec	La transition entre ce stade et le diplotène est légèrement perceptible. Fait aussi la transition entre la prophase I et la métaphase I. Les chromosomes continuent à se condenser et se mobilisent pour se localiser près de l'enveloppe nucléaire.



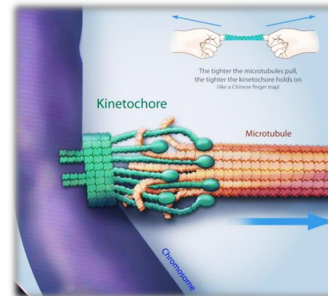
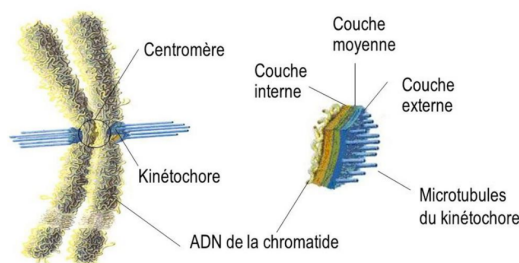
Métaphase I

Condensation maximale des chromosomes, l'enveloppe nucléaire est rompue laissant les fibres du fuseau capturer les bivalents via les kinétochores (= complexes protéiques localisés au niveau des centromères.)

- Associés aux chromatides sœurs, ils interagissent avec les filaments de microtubules émanant du même pôle cellulaire.
- Les chromatides sœurs du chromosome homologue interagissent avec les filaments émanant du pôle cellulaire opposé.

A la fin de la métaphase I, les bivalents s'alignent sur la plaque équatoriale, au centre de la cellule.

■ Métaphase I : les kinétochores



Anaphase I

Les chr homologues se séparent sous l'effet de traction des filaments du fuseau sur les kinétochores → les chr homologues se dirigent vers un pôle cellulaire opposé. Au cours de leur ségrégation, les chromatides sœurs restent associées au niveau centromérique grâce aux complexes de cohésines.

Télophase I

Mise en place d'une enveloppe nucléaire autour de chaque lot de chromosome d'un pôle cellulaire. Les chr entament une décondensation partielle.

Cytocinèse I

Un sillon de division se forme dans un plan perpendiculaire à l'axe du fuseau et sépare la cellule en 2 → ces cellules issues de la première division méiotique sont haploïdes et génétiquement différentes.



V. Méiose II

Après la méiose I, les cellules haploïdes produites contiennent 23 chr à 2 chromatides sœurs. Cette deuxième division ne nécessite donc pas une réplication d'ADN.

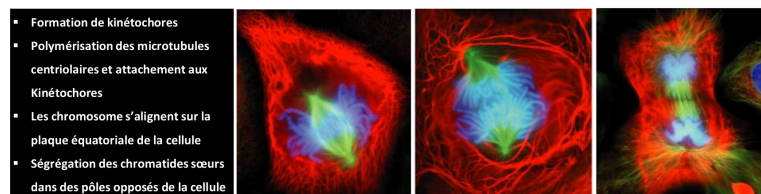
Cette étape de division peut être assimilée à une mitose, car elle doit réduire encore de moitié la quantité d'ADN de la cellule.

Les centrioles polymérisent les microtubules et forment les fuseaux mitotiques qui s'attachent au kinétochore formé au niveau des centromères de chaque chr et positionne les ch sur la plaque équatoriale.

La cohésine centromérique qui maintient les chromatides sœurs se relâche → les chromatides sœurs se dissocient et migrent chacune vers un pôle de la cellule.

Clivage de la cellule entre les 2 pôles → cellules toujours haploïdes à 23 chromatides.

Méiose II Etape de division équationnelle



VI. Messages essentiels du cours

Il y a 2 modes de reproduction dans la nature :

▸ La reproduction asexuée

▸ La reproduction sexuée

→ la méiose (processus spécialisé de division cellulaire) est essentielle. Chez les organismes diploïdes, elle abouti à la production de gamètes haploïdes et au brassage de l'information, et donc de la diversité génétique. Cette diversité est secondaire à deux événements

→ Recombinaison homologue

→ Ségrégation aléatoire des chr homologues

Elle se fait en deux étapes : Avec une seule phase de réplication de l'ADN.

1. Méiose I : division réductionnelle.

2. Méiose II : division équationnelle, assimilée à la mitose.