

Chapitre 1 : La transmission du patrimoine génétique chez les eucaryotes

Avant de commencer :

- Ce que tu sais déjà : Au collège, tu as découvert la molécule d'ADN et la division cellulaire (mitose) et la notion de chromosomes.
Pour retrouver ces acquis, **regarde la page 20 de ton livre** puis lis attentivement l'encadré suivant.

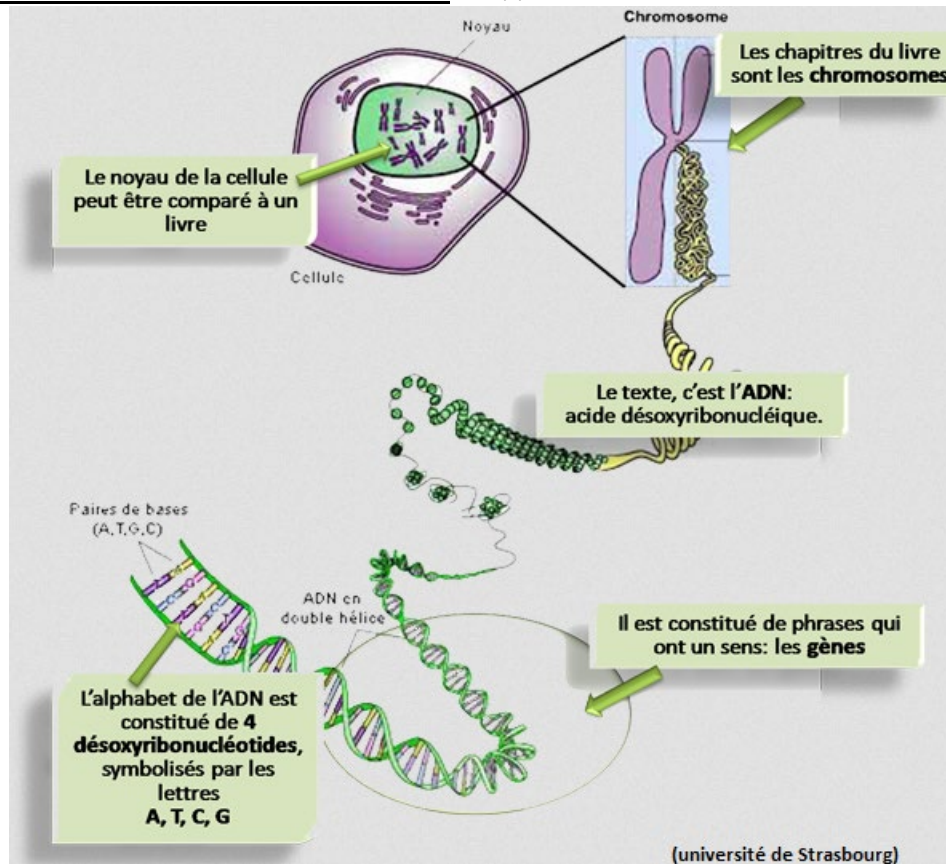
⚠ Ces rappels doivent être absolument maîtrisés avant de débiter le chapitre.



Rappels :

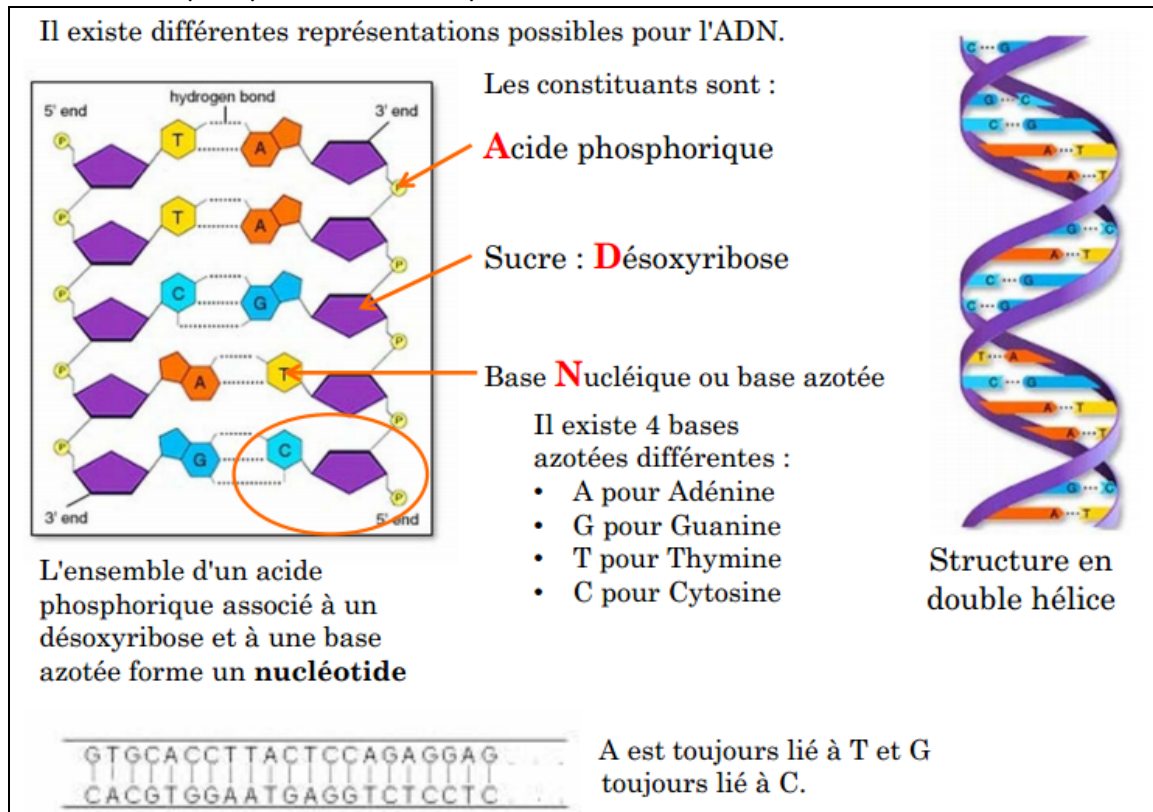
- L'ADN est le support de l'information génétique dans la cellule. Cet ADN est contenu dans le noyau de la cellule sous forme de chromatine lors de l'interphase, qui prend la forme de chromosomes lorsque les cellules se divisent.
La chromatine contient toute l'information des cellules ; elle est transmise de génération en génération.

Voici un schéma de la structure cet ADN à différentes échelles :



L'ADN est constitué d'un enchaînement de nucléotides (nucléotides à Adénine A, à Guanine G, à Cytosine C et à Thymines T), complémentaires deux à deux (A/T ; C/G).

L'ADN est organisé en double hélice ; hélice composée de deux brins ou chaînes.
Voici un schéma plus précis de la composition de l'ADN :



-La mitose assure au niveau cellulaire une répartition à l'identique de l'information génétique dans les cellules filles. Les deux cellules filles issues d'une division possèdent le même nombre de chromosomes que la cellule mère : elles portent la même information génétique contenue dans l'ADN des chromosomes.

La méiose permet de fabriquer les cellules reproductrices ou gamètes, contenant la moitié des chromosomes de l'espèce.

Observe les photographies pages 22 et 23 :

Nous observons des cellules en train de se diviser, certaines sont des organismes entiers, d'autres des cellules germinales et d'autres encore des cellules somatiques.

La croissance d'un organisme, et donc le renouvellement de ses cellules, est assuré par des divisions cellulaires.

➤ Ce que nous allons chercher à comprendre :

Comment se transmet le matériel génétique lors des divisions cellulaires chez les eucaryotes ?

I- La division cellulaire ou mitose : une reproduction conforme

Lors de la division cellulaire, la cellule mère se divise en deux cellules filles possédant le même nombre de chromosomes qu'elle.

Nous allons donc chercher à comprendre comment la division cellulaire permet la conservation du nombre de chromosomes.

Regarde la vidéo indiquée ci-dessous ainsi que les documents pages 28-29 : A partir de la vidéo et des documents, montrons en quoi la mitose permet la conservation du nombre de chromosomes. Puis illustrons ce texte par des schémas légendés indiquant le comportement des chromosomes au cours de la mitose (on prendra une cellule mère comportant 2 paires de chromosomes homologues).

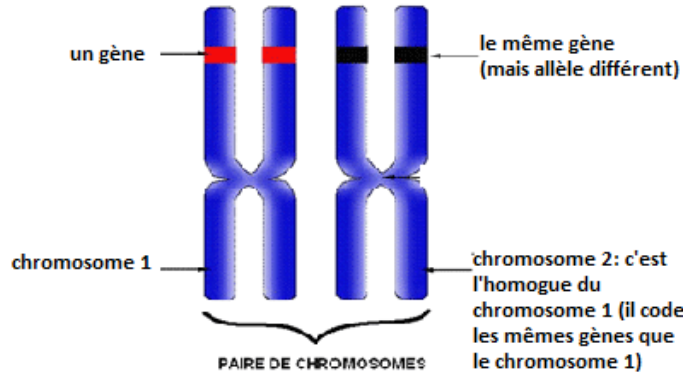
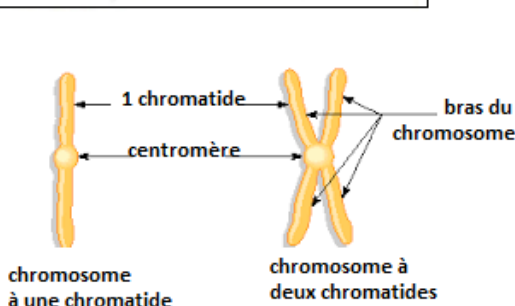
Lien pour regarder la vidéo : <https://www.youtube.com/watch?v=6COxMt9gMdQ>

-Avant de commencer, il est important de connaître certains termes :

Un chromosome vu de plus près

Avant la multiplication d'une cellule, ses molécules d'ADN se condensent, ce qui forme les chromosomes. Ils apparaissent alors dédoublés en deux chromatides : ce sont des « chromosomes doubles ». Les chromatides sont identiques et accolés en un point appelé centromère.

Après la multiplication cellulaire, les chromosomes présents dans les deux cellules obtenues ne comportent plus qu'une seule chromatide.

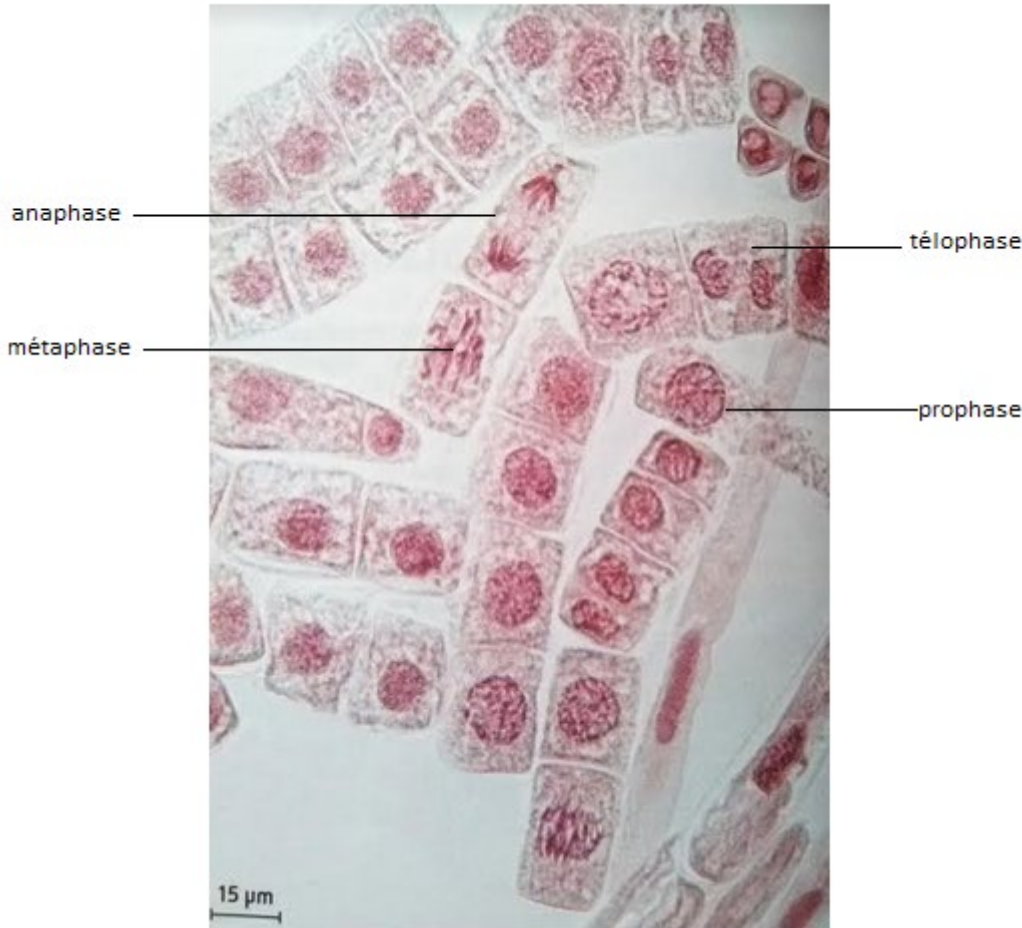


-L'observation de la vidéo, couplée à l'étude des photographies des documents du livre nous permet de reconstituer l'enchaînement des phases de la mitose :

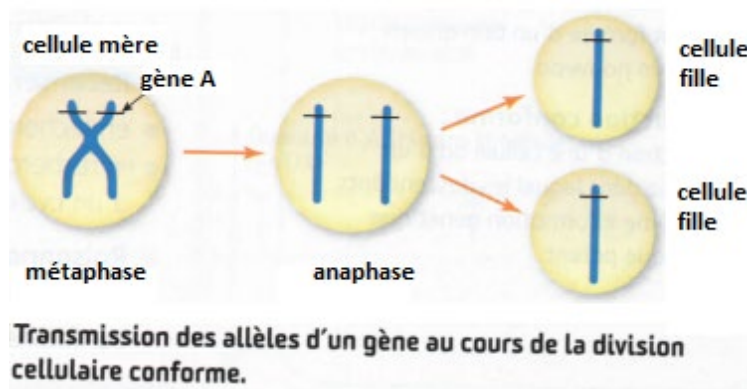
- Nous pouvons observer une première étape : la **prophase**. Dans cette phase, nous observons des chromosomes (à deux chromatides) qui se condensent c'est-à-dire qui s'individualisent et deviennent bien visibles (colorés en bleu). Nous pouvons noter que l'enveloppe nucléaire disparaît.
- L'étape suivante est la **métaphase** : les chromosomes s'alignent en se disposant sur un plan équatorial de la cellule. Le document 2 nous montre qu'ils sont fixés aux fibres du fuseau de division (coloré en vert).
- La troisième phase est l'**anaphase** : les chromatides de chaque chromosome se séparent au niveau de leur centre (appelé le centromère) puis vont aller vers les pôles opposés de la cellule grâce aux fibres du fuseau de division.

- L'étape finale est la **télophase** : les chromosomes (désormais avec une seule chromatide chacun) se décondensent, l'enveloppe nucléaire se reforme et la cellule « s'étrangle » au niveau du plan équatorial pour se diviser en deux cellules distinctes.

- Sur l'observation microscopique de cellules de racine de Jacinthe ci-dessous, nous pouvons reconnaître et donc légender les différentes étapes citées :



- Nous pouvons ainsi schématiser le devenir d'un chromosome depuis la cellule-mère jusqu'aux cellules filles :

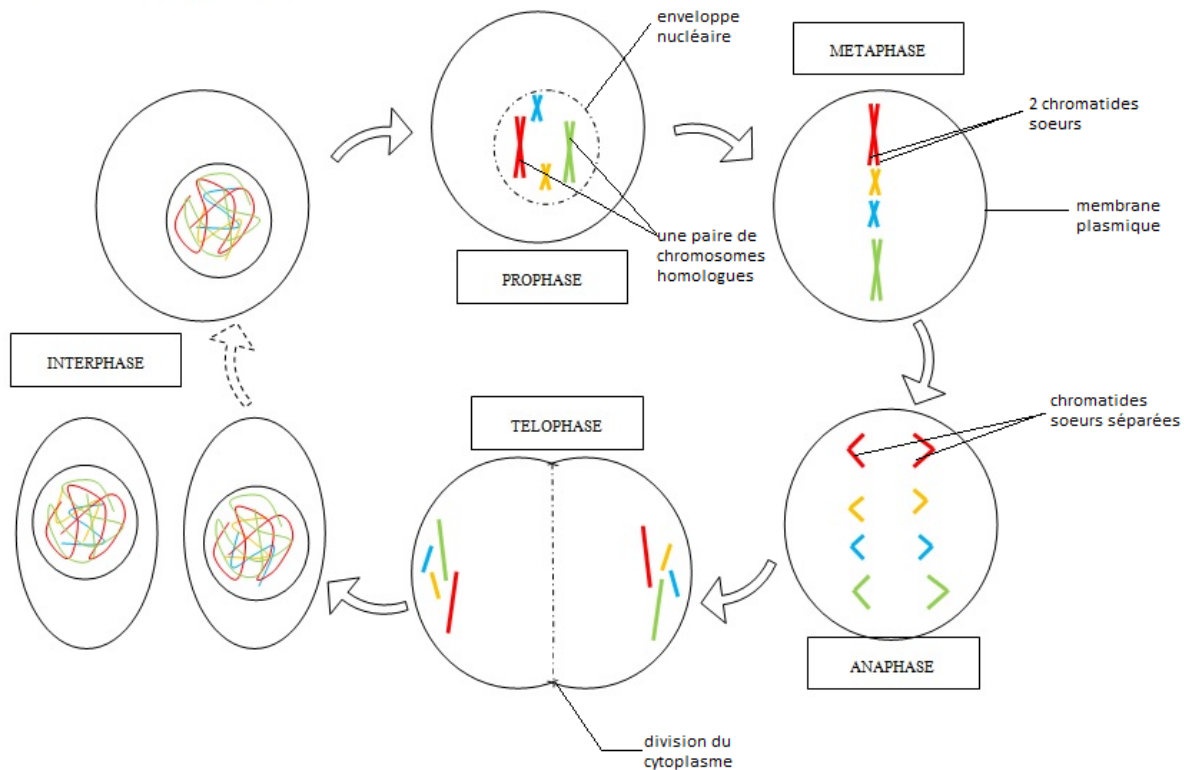


(livre Nathan, éd.2011)

- Pour conclure, la mitose assure que **chaque cellule fille possèdera une seule des deux chromatides pour chaque chromosome de la cellule mère**. Or, ces deux chromatides sont, grâce à la réplication, identiques entre elles. Ainsi, l'information génétique est identique entre les deux cellules filles, mais aussi avec la cellule mère. La production de deux cellules identiques à

partir d'une cellule mère peut être qualifiée de **reproduction conforme** : la mitose permet donc bien la conservation du nombre de chromosomes dans une cellule.

Le schéma suivant présente les différentes étapes de la mitose, explicitées plus haut : On représente une cellule mère à 2 paires de chromosomes homologues (normalement il y a 23 paires !)

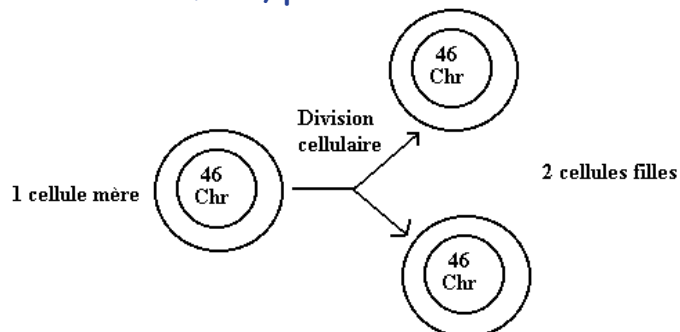


Les étapes de la mitose dans une cellule contenant 2 paires de chromosomes homologues



A retenir :

-La division cellulaire, appelée aussi **mitose**, est un processus par lequel une cellule mère donne naissance à deux cellules filles, possédant le même nombre de chromosomes qu'elle.

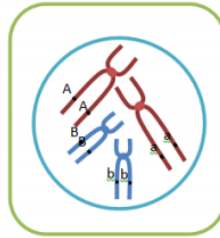
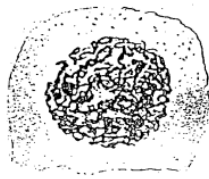


-La mitose est divisée en plusieurs phases, durant lesquelles l'organisation des chromosomes est modifiée :

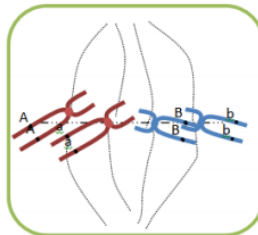
- **La prophase** : les chromosomes sont doubles, formés de deux chromatides accolés (=chromatides sœurs). Ils commencent à se condenser jusqu'à devenir individuellement observables en fin de prophase. Pendant cette étape, l'enveloppe nucléaire se désorganise et disparaît : les chromosomes bien individualisés sont alors dispersés dans l'espace cellulaire.

- La métaphase : les chromosomes, condensés, à deux chromatides s'alignent dans un même plan au centre de la cellule (=plan équatorial). L'ensemble des chromosomes ainsi disposés forme une figure caractéristique appelée « plaque équatoriale ».
- L'anaphase : les chromatides sœurs de chaque chromosome se séparent par rupture du centromère. Chaque chromatide sœur est tirée vers un pôle opposé de la cellule par des câbles protéiques. Ainsi, deux lots identiques de chromatides migrent en sens opposé vers chaque pôle cellulaire.
- La télophase : les chromosomes simples (= à 1 seule chromatide) se décondensent à chaque pôle cellulaire et l'enveloppe nucléaire se reforme. Le cytoplasme se divise en deux pour donner les deux cellules filles.

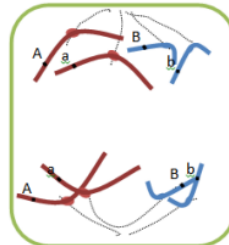
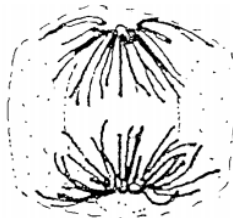
Voici un schéma qui reprend les étapes de la mitose :



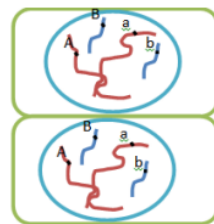
Prophase :
Condensation des
molécules d'ADN
sous forme de
chromosomes à 2
chromatides



Métaphase :
alignement des
chromosomes à 2
chromatides sur le
plan équatorial de
la cellule



Anaphase : Cassure
du centromère et
migration des
chromatides de
chaque chromosome
à un pôle opposé de la
cellule



Télophase : Séparation
de la cellule mère en 2
cellules filles au même
programme génétique
($2n=4$).
Décondensation du
programme génétique

-Au début de la mitose, une cellule mère possède n paires de chromosomes homologues à deux chromatides (chromosomes doubles). A la fin de la mitose, elle donnera deux cellules filles possédant également n paires de chromosomes homologues mais à une seule chromatide (chromosomes simples).

La mitose permet donc le partage égal des chromatides sœurs entre les deux cellules filles : c'est une reproduction dite conforme car elle conserve le caryotype.

II- Le cycle cellulaire :

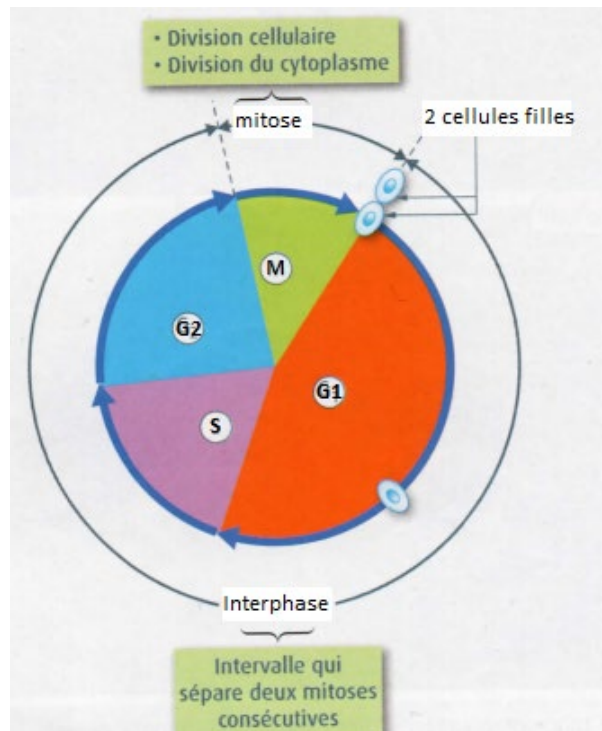
Nous venons de voir que, lors de la première partie de la mitose, les chromosomes comportent deux chromatides qui sont ensuite réparties également entre les deux cellules filles. La mitose est l'une des étapes d'un cycle que suit la cellule au cours de sa vie : le cycle cellulaire. Découvrons **quelles sont les différentes étapes du cycle cellulaire**.

Observe les documents ci-dessous et les documents 1a et 1b page 28 : A partir de l'ensemble des documents, construisons un bilan du cycle cellulaire en indiquant chaque phase, l'état des chromosomes, la quantité d'ADN par cellule et les processus observés.

Les phases du cycle cellulaire : (livre Belin éd.2011)

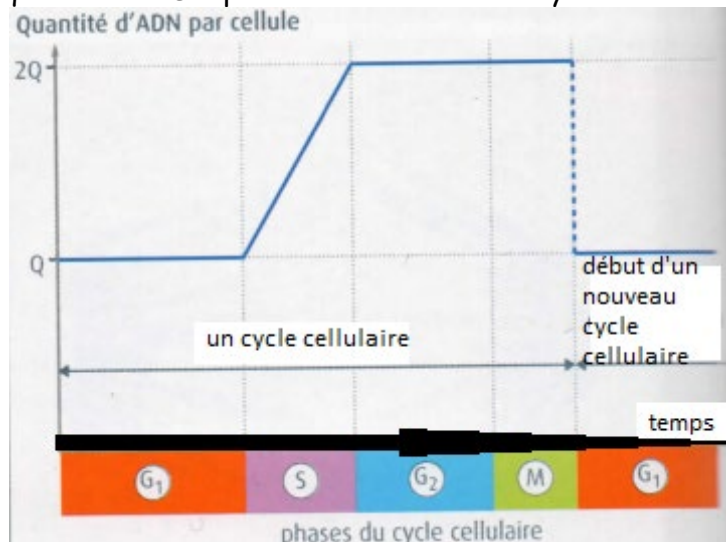
-Document A :

Les quatre phases du cycle cellulaire :

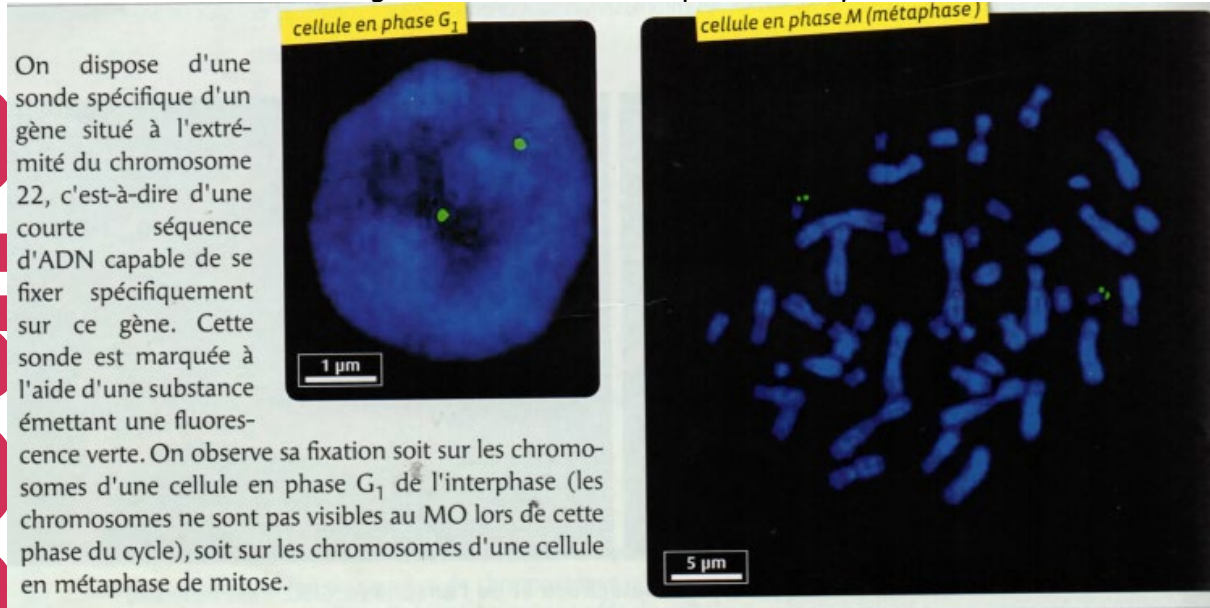


-Document B :

Evolution de la quantité d'ADN par cellule au cours du cycle cellulaire



-Document C : le suivi d'un gène au cours de deux phases du cycle cellulaire



Les modifications des chromosomes au cours du cycle cellulaire : (livre)

- document 1a- photo gauche : les chromosomes en mitose
- document 1a- photo droite : les chromosomes en interphase

-Le document A nous indique les différentes phases du cycle cellulaire ainsi que leur durée : il y a l'interphase (composée d'une phase G_1 très longue, S puis G_2) et la mitose, notée M que nous venons de découvrir. A la fin de la mitose, nous observons deux cellules filles.

-Le document B montre l'évolution de la quantité d'ADN par cellule au cours de ce cycle cellulaire. Le document C nous présente le suivi d'un gène par sonde fluorescente lors de la phase G_1 et lors de mitose.

Le document 1a sur la photo de droite nous précise à quoi ressemblent les chromosomes en phase G_1 et S de l'interphase : nous remarquons que l'ADN forme un fil en collier de perle, car il est associé à des **nucléosomes** (petites structures protéiques). Chaque chromosome a alors une seule chromatide. Remarque : en phase G_2 , l'ADN se présente sous le même état de condensation mais le chromosome possède deux chromatides reliées entre elles par un centromère.

Le document 1a sur la photo de gauche présente des chromosomes métaphasiques : nous pouvons voir qu'ils sont condensés, bien visibles et présentent deux chromatides.

-En mettant en corrélation l'ensemble de ces documents, nous pouvons montrer l'état de condensation, la quantité d'ADN ainsi que le nombre de chromatides des chromosomes lors de chaque phase du cycle cellulaire :

- Nous observons qu'en phase G_1 , la quantité d'ADN est mesurée à une valeur Q. Sur le document C, nous remarquons la présence de deux copies d'un gène, situé sur la paire de chromosomes 22, soit une copie par chromosome. Nous pouvons supposer que les deux chromosomes d'une même paire ne sont constitués chacun que d'une seule chromatide. De plus, ils sont condensés.
- En phase G_2 , la quantité d'ADN est passée à $2Q$, soit le double de celle relevée lors de la phase G_1 . D'après le document C, il y a alors 4 copies du gène, soit deux copies par

chromosomes. Les deux chromosomes d'une même paire sont constitués de deux chromatides, dans un état toujours décondensé.

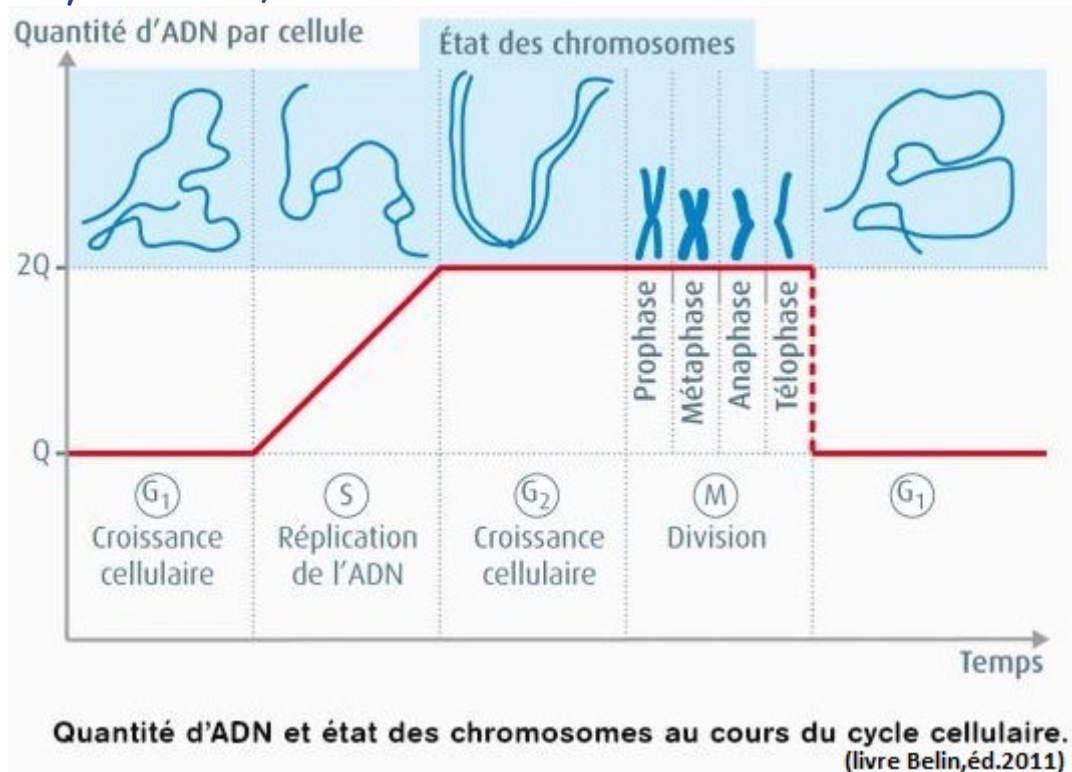
- En phase M, la quantité d'ADN par cellule est la même que celle mesurée en G₂ (2Q). A la fin de la mitose, nous observons que la quantité d'ADN par cellule a brutalement été divisé par 2 : elle est de Q. Ceci concorde avec la séparation des 2 chromatides de chaque chromosome et leur migration vers les 2 pôles de la cellule (comme nous l'avons vu dans l'activité du I-).

Le doublement de la quantité d'ADN (document B) ainsi que le doublement du nombre de copies du gène situé sur la paire de chromosomes 22 (document C) entre les phases G₁ et G₂ indiquent qu'une copie de l'ADN contenu dans le noyau est réalisée lors de la phase S (phase se trouvant entre les phases G₁ et G₂).

A retenir :

-L'une des propriétés fondamentales d'une cellule vivante est sa capacité à se diviser. On appelle cycle cellulaire la période qui s'étend depuis la formation d'une cellule, par division d'une cellule mère, jusqu'au moment où cette cellule finit elle-même de se diviser en deux cellules filles.

-La durée d'un cycle cellulaire est variable suivant le type cellulaire (division très active des cellules embryonnaires par exemple) mais on retrouve toujours les mêmes phases caractéristiques. De plus, l'organisation et la condensation des chromosomes varient durant le cycle cellulaire, comme le montre le schéma suivant.



-Les phases du cycle cellulaire :

- L'interphase : pendant cette phase, l'ADN est décondensé, c'est-à-dire qu'il est diffus dans le volume nucléaire. L'interphase est elle-même découpée en trois phases :
 - La phase G1, pendant laquelle la quantité d'ADN de la cellule reste constante, et peut être qualifiée de simple (quantité=q). Pendant cette phase, la cellule grandit et exerce ses fonctions.
 - La phase S, marquée par un doublement progressif de la quantité d'ADN. C'est au cours de cette phase qu'a lieu la réplication de l'ADN.
 - La phase G2 où la cellule se prépare à la mitose. La quantité d'ADN pendant cette phase est stable : elle est le double de celle de la phase G1 (quantité=2q).

Après la phase S, chaque gène se trouve donc dupliqué en deux copies présentes chacune sur une chromatide sœur. Cela permet le passage des chromosomes d'une chromatide à deux chromatides sœurs constituées chacune d'une molécule d'ADN comprenant la même information génétique.
- La mitose : période pendant laquelle les chromosomes, bien visibles (l'ADN est condensé), sont équitablement répartis entre les deux cellules filles.



Voici une animation sur le cycle cellulaire qui regroupe à la fois l'état de condensation, la quantité d'ADN et les différentes phases :

<http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0010-2>

III- La réplication de l'ADN :

Durant la phase S, la molécule d'ADN constituant les chromosomes est recopiée : cette réplication de l'ADN aboutit à la formation de chromosomes à deux chromatides, portant chacun la même information génétique. Nous allons chercher à comprendre **quels sont les mécanismes assurant cette réplication de l'ADN**.

Regarde les documents pages 44-45 et ceux des pages 46-47 : A partir de l'analyse et de l'interprétation de chaque document, rédigeons une synthèse décrivant les mécanismes qui assurent la réplication de l'ADN.

- Afin de déterminer le mode de réplication de l'ADN au cours de la phase S, nous allons commencer tout d'abord par rappeler la structure de l'ADN et la complémentarité des nucléotides grâce au document 1a page 44. Le document nous rappelle que l'ADN est une double hélice au niveau de laquelle les nucléotides sont complémentaires deux à deux. C'est le modèle proposé par Watson et Crick.

Sur la base de la complémentarité des nucléotides, ces deux scientifiques ont proposé un modèle de séparation des deux brins d'ADN sur lesquels les nucléotides libres viennent se fixer pour recréer un brin d'ADN complémentaire : c'est le début de l'hypothèse de la réplication semi-conservative.

En réalité deux autres hypothèses ont été évoquées. On cherche à comprendre le principe des 3 modèles hypothétiques proposés sur le mode de répllication de l'ADN :

- La répllication est **conservative** : les deux hélices de l'ADN restent ensemble après la répllication.
- La répllication est **semi-conservative** : chaque molécule fille d'ADN contient un brin de la molécule mère d'ADN et un brin nouvellement synthétisé.
- La répllication est **dispersive** : les deux molécules d'ADN comportent des fragments d'ADN parental et d'ADN nouvellement synthétisé.

Le document 1b page 44 présente l'ADN de première génération issu donc d'une première duplication selon chacune des 3 hypothèses.

Schématisons les molécules d'ADN attendues à la seconde génération selon les 3 hypothèses :

	Répllication conservative	Répllication semi-conservative	Répllication dispersive
Molécule d'ADN parental			
Molécules d'ADN de la 1ere génération			
Molécules d'ADN de la 2de génération			

-Le document 2 page 45 nous présente les expériences historiques de Meselson et Stahl, scientifiques ayant mis au point un protocole pour différencier l'ADN nouvellement synthétisé de l'ADN de la molécule mère. Leur expérience a permis de valider l'une des 3 hypothèses citées plus haut.

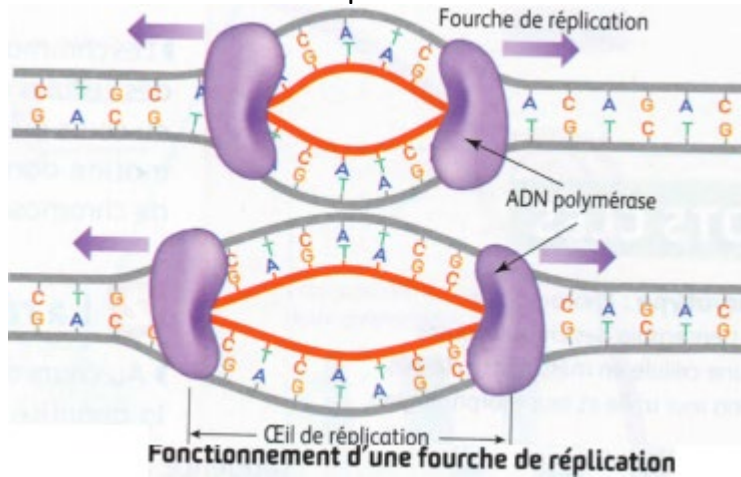
En effet, nous observons, après un cycle cellulaire, que les résultats expérimentaux montrent l'existence d'une bande d'ADN de densité intermédiaire. Ce résultat n'est conforme qu'aux hypothèses de répllication semi-conservative et dispersive. Le mode de répllication conservatif aurait abouti à la présence de deux bandes : une bande d'ADN de densité faible correspondant à la molécule néo-synthétisée, et une bande d'ADN de densité élevée correspondant à la molécule matrice.

Après un deuxième cycle cellulaire, la bande de densité intermédiaire est toujours présente et s'accompagne d'une bande de densité faible. Nous observons que seul le modèle de répllication semi-conservatif est compatible avec une telle observation.

Le modèle dispersif devant conduire à une bande de densité intermédiaire. L'hypothèse d'une **répllication semi-conservative est donc validée**.

-Le document 1 de la page 46 montre les mécanismes de répllication au niveau moléculaire (à l'échelle du chromosome) : si nous observons une molécule d'ADN en phase S au microscope, nous pouvons voir plusieurs « oeil de répllication ». Ce sont des zones où l'ADN est répliqué : les deux brins d'ADN parentaux se séparent (entre deux fourches de répllication) et les nucléotides libres viennent s'y fixer par complémentarité grâce à l'ADN polymérase, enzyme qui progresse dans le même sens que l'ouverture de la molécule d'ADN. L'ADN situé entre deux yeux de répllication correspond à de l'ADN qui n'a pas encore été répliqué.

Réalisons un schéma d'une fourche de réplication :



-Pour conclure, le modèle de réplication semi-conservatif, associé à la règle de complémentarité des nucléotides, permet, à partir d'une molécule d'ADN, d'obtenir en fin de phase S deux molécules d'ADN identiques. D'après les données du document 3, nous pouvons dire que les deux chromatides sont associées entre elles au niveau du centromère. En fin de phase S, chaque chromosome possède donc deux chromatides de même séquence nucléotidique : elles ont donc bien la même information génétique.



A retenir :

-Une étape préalable à la division cellulaire :

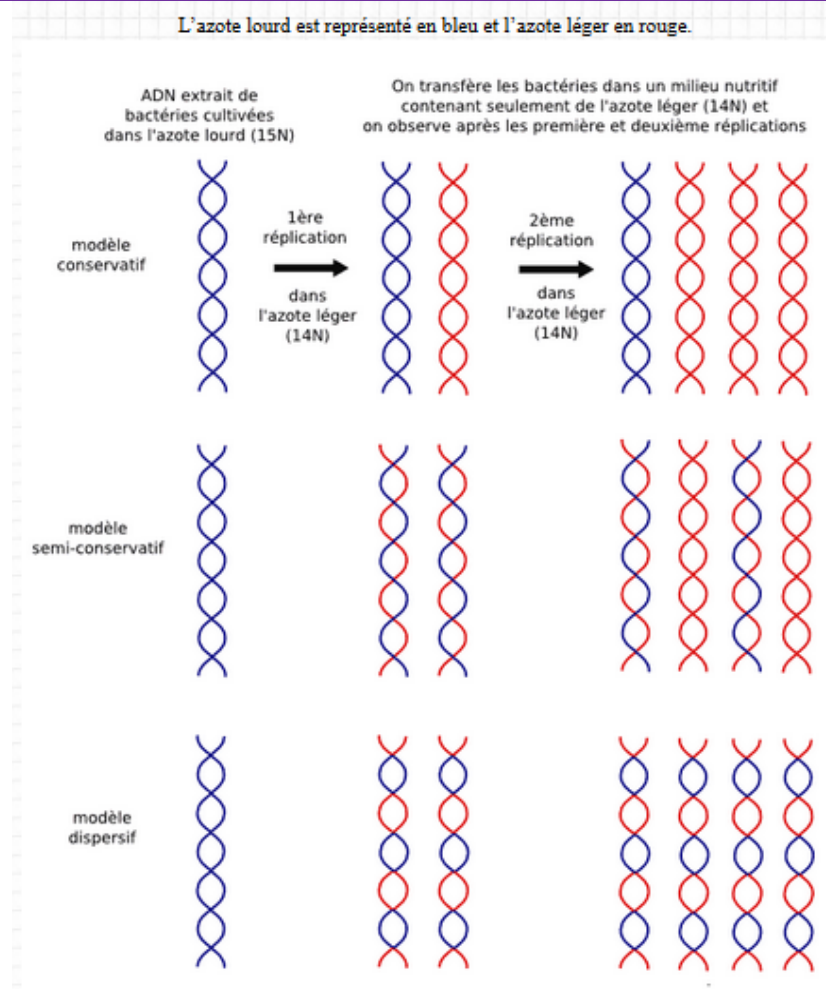
Puisque, au cours de sa division, une cellule transmet son information génétique à deux cellules-filles, il est indispensable que la mitose soit préparée par une étape au cours de laquelle l'ensemble des chromosomes sont copiés : c'est la phase de réplication de l'ADN (pendant la phase S du cycle cellulaire) étape qui se déroule pendant l'interphase, et précédant toute mitose.

-Un mécanisme semi-conservatif :

- L'expérience de M. Meselson et F. Stahl (1958) a permis d'élucider le mode de réplication de l'ADN.

Dans les conditions de l'expérience, si la réplication est conservatrice, on attend uniquement de l'ADN « lourd » et de l'ADN « léger » après transfert des bactéries dans un milieu contenant de l'azote « léger » (^{14}N). Si la réplication est dispersive, on attend uniquement de l'ADN intermédiaire. Si la réplication est semi-conservative, on attend de l'ADN intermédiaire puis une proportion croissante de l'ADN léger. Les résultats obtenus prouvent que la réplication est semi-conservative.

Le schéma suivant reprend ces données :



- Lors de la réplication de l'ADN, les deux brins de la double hélice sont séparés. Chaque brin sert de modèle pour la synthèse d'un nouveau brin d'ADN. Cette synthèse est effectuée par l'ADN polymérase, qui associe en face de chaque nucléotide du brin parental le nucléotide complémentaire.

Une molécule mère d'ADN est ainsi recopiée en deux molécules filles de séquence nucléotidique identique à celle de la molécule mère.

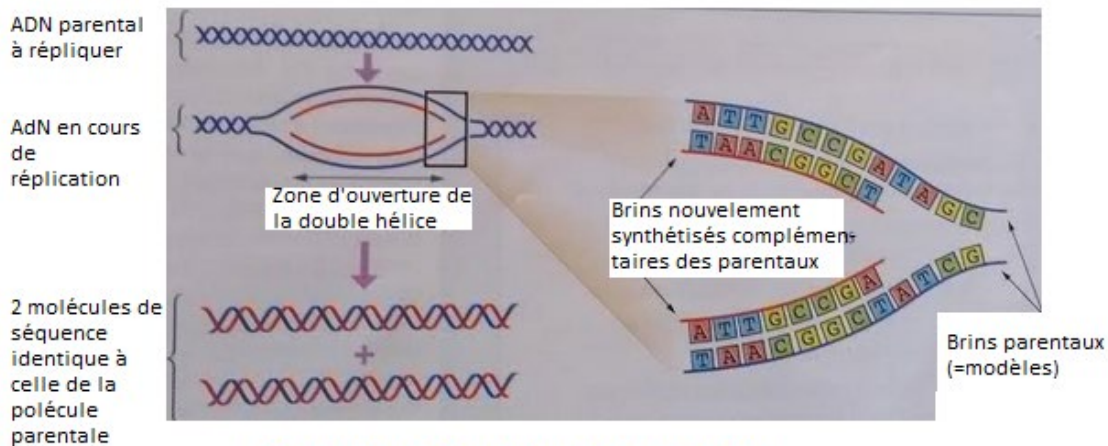


Schéma de la réplication de l'ADN (livre Belin, éd.2011)

Lis les documents 1 à 3 pages 48-49 : Découvrons quelles sont les conséquences génétiques de la mitose.

- À travers de l'exemple de l'étoile de mer, nous pouvons voir que le fonctionnement de l'ADN polymérase lors de la réplication permet d'obtenir deux chromatides contenant une molécule d'ADN dont les séquences nucléotidiques sont identiques. Ainsi, les deux cellules provenant par mitose d'une cellule initiale posséderont exactement la même information génétique.

Chaque fois qu'une nouvelle mitose a lieu, le nombre de cellules augmente.

La succession de mitoses produit donc un ensemble de cellules, toutes génétiquement identiques, qui constituent un clone.

- Cette propriété de clonage a donc des applications dans divers domaines, comme les biotechnologies ou encore l'agronomie avec les OGM.

Pour cela, on utilise une technique qui permet de cloner l'ADN très rapidement et en grande quantité : la PCR (Polymérase Chain Reaction)



L'animation suivante présente le principe de cette méthode : <http://www.ens-lyon.fr/RELIE/PCR/principe/anim/presentation.htm>



A retenir :

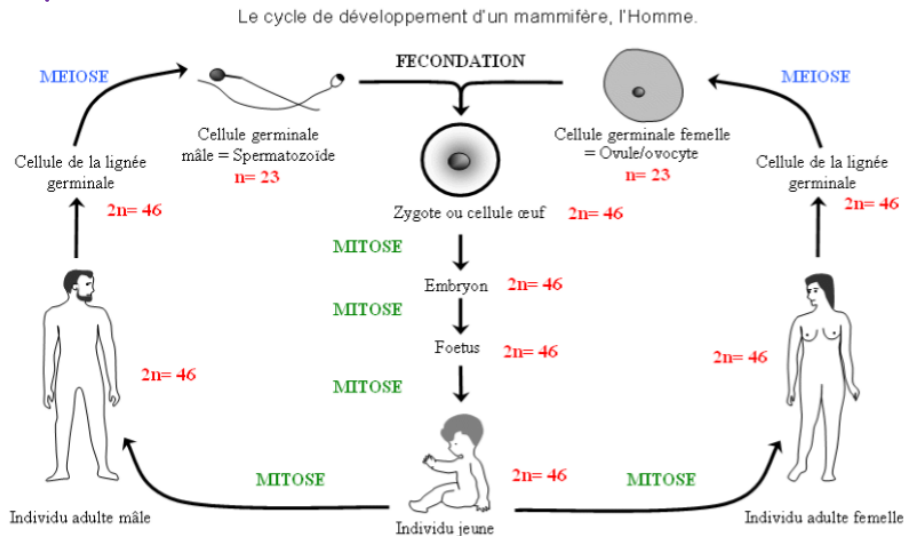
À l'issue de la réplication, chaque chromosome contient deux exemplaires de son information génétique attachés par leur centromère. Ils seront par la suite répartis dans les deux cellules-filles.

Ainsi, toutes les cellules qui dérivent d'une même cellule initiale sont génétiquement identiques et constituent un clone cellulaire.

- Certaines biotechnologies s'appuyant sur les mécanismes moléculaires de la réplication, comme la PCR, sont des outils efficaces en génie génétique.

IV- La méiose, division non conforme :

Rappels du cycle 4 :



-Haploïdie et diploïdie :

Chez les animaux, les cellules somatiques possèdent leur jeu de chromosomes en deux exemplaires : on a donc $2n$ chromosomes (soit $2 \times 23 = 46$ chez l'Homme) : elles sont dites diploïdes.

Les cellules reproductrices (ou germinales ou gamètes) possèdent un seul lot de chromosomes soit n chromosomes (soit 23 chez l'Homme) : elles sont dites haploïdes.

- La méiose : (passage de $2n$ à n)

Dans les gonades, le passage de cellules diploïdes aux gamètes haploïdes à n chromosomes se fait grâce à une double division cellulaire appelée méiose. Ainsi la formule chromosomique des ovules nés par méiose au sein des ovaires est $n=22+X$. La formule chromosomique des spermatozoïdes nés par méiose au sein des testicules est $n=22+X$ ou $n=22+Y$.

- La fécondation : (passage de n à $2n$)

La rencontre des gamètes au moment de la fécondation permet la formation d'une cellule-œuf (ou zygote) à nouveau diploïde c'est-à-dire avec $2n$ chromosomes.

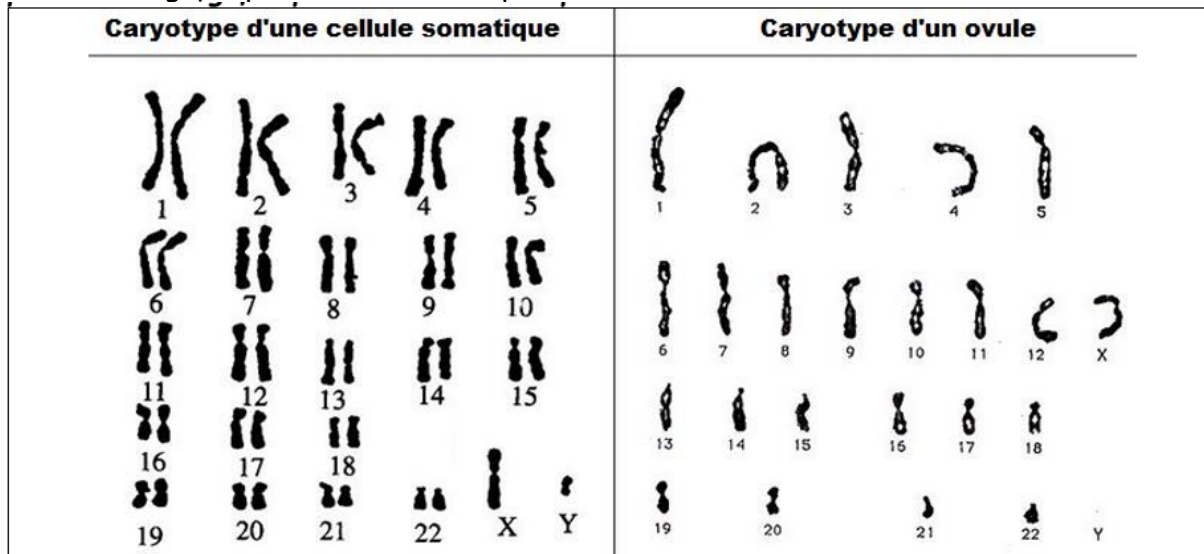
-Cette stabilité est assurée par l'alternance au cours du cycle de reproduction de deux processus biologiques complémentaires :

- La méiose qui permet de passer de la phase diploïde à la phase haploïde. Elle ne conserve donc que la moitié du nombre de chromosomes. On parle de division non conforme.
- La fécondation qui permet de revenir à la phase diploïde.

Nous venons de voir que l'alternance de la fécondation et de la méiose lors du cycle de reproduction permet d'assurer la stabilité du caryotype. Découvrons maintenant en quoi

consiste la méiose, mécanisme qui permet l'obtention de cellules reproductrices haploïdes à partir d'une cellule mère diploïde.

Observons des caryotypes de cellules somatiques et sexuelles (germinales) humaines : Quel problème biologique pouvons-nous nous poser ?



Nous constatons qu'une cellule somatique possède 46 chromosomes (donc 2 lots de chromosomes soit 23 paires de chromosomes dit homologues : $2n$ donc diploïde). Un gamète a seulement 23 chromosomes (donc un seul lot de chromosomes : n soit haploïde). Nous pouvons donc nous poser le problème suivant : Par quels mécanismes la méiose permet-elle la production de cellules haploïdes à partir de cellules diploïdes ?

Imaginons maintenant un protocole expérimental qui permettrait de répondre au problème posé.

Nous pouvons par exemple observer au microscope des cellules en méiose d'un être vivant : nous colorons les chromosomes présents dans le noyau puis nous repérons les différentes étapes lors de cette division en observant l'évolution des chromosomes au cours du temps.

Commençons par observer des photographies de cellules végétales en méiose, observées au microscope, à partir du document 2 page 27 : les microphotographies suivantes montrent les principales étapes de la méiose chez le Lis.

A partir de l'analyse de ces microphotographies, nous pouvons observer qu'il existe deux divisions lors de la méiose : la méiose I et la méiose II.

- La première division de méiose :

La première étape est la prophase I : Il y a une cellule à $2n$ chromosomes à 2 chromatides. Les chromosomes se condensent et les chromosomes homologues s'apparient.

Nous observons ensuite la métaphase I : Les chromosomes s'alignent au niveau du plan équatorial de la cellule.

La troisième phase est l'anaphase I : Les chromosomes homologues se séparent vers les pôles opposés de la cellule.

Enfin, la dernière phase correspond à la télophase I : Nous observons deux cellules ayant chacune n chromosomes à 2 chromatides.

C'est aussi le moment où les chromosomes se décondensent.

- La deuxième division de méiose :

Cette deuxième division débute par la prophase II : ce qui correspond à la condensation des chromosomes.

Nous observons ensuite la métaphase II : avec le placement des chromosomes à deux chromatides au niveau du plan équatorial de la cellule.

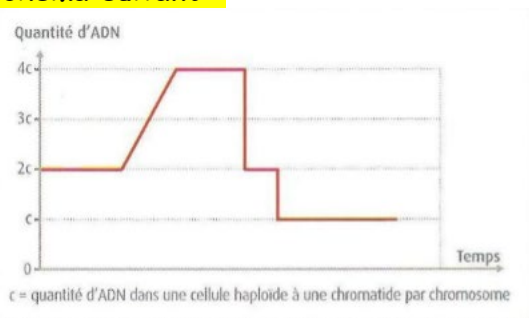
La phase suivante est l'anaphase II : il s'agit de la séparation des chromatides de chaque chromosome

La dernière phase est la télophase II : nous observons 2 cellules mais nous avons en réalité 4 cellules ayant chacune n chromosomes à 1 chromatide (+ décondensation des chromosomes).



Afin de voir si tu as bien compris, observe l'animation suivante montrant le déroulement de la Méiose : <http://www.biologieenflash.net/animation.php?ref=bio-0051-2>

A partir de ce que nous venons de voir et du document 2d page 25 du livre, complétons le schéma suivant :

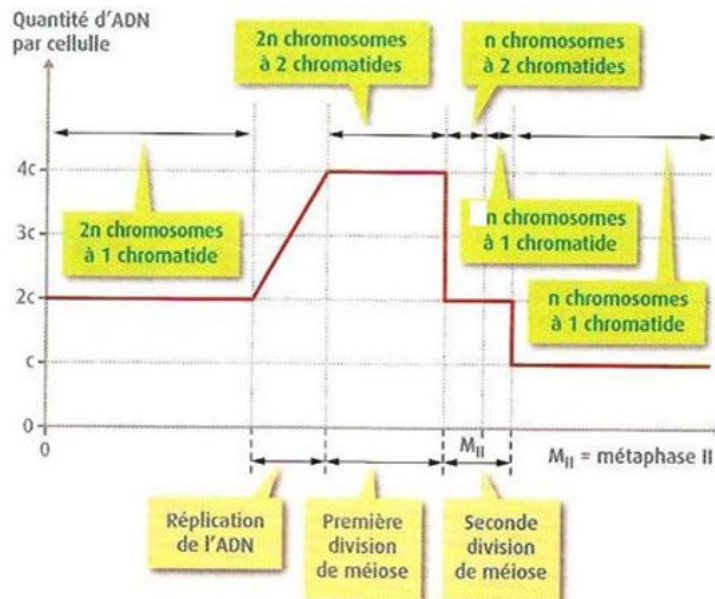


Évolution de la quantité d'ADN dans une cellule au cours de la méiose. Toute division de méiose est précédée d'une phase de **réplication de l'ADN**, au cours de laquelle le nombre de chromatides des chromosomes passe de 1 à 2.

Pour cela, indiquons sur chaque partie de la courbe, la quantité de chromosomes présents dans la cellule (n ou $2n$) et le nombre de chromatides par chromosome.

Puis plaçons les termes : réplication de l'ADN, 1e division de méiose, 2e division de méiose.

Voici ce que nous obtenons, à la page suivante :



(Belin Tle S, éd 2012)

A retenir :

- La méiose est la succession de deux divisions cellulaires. Elle précédée comme toute division d'un doublement de la quantité d'ADN (réplication : passage d'un chromosome à 1 chromatide à un chromosome à deux chromatides).

- Remarque : Au début de la méiose, chaque chromosome est double c'est-à-dire composé de deux chromatides.

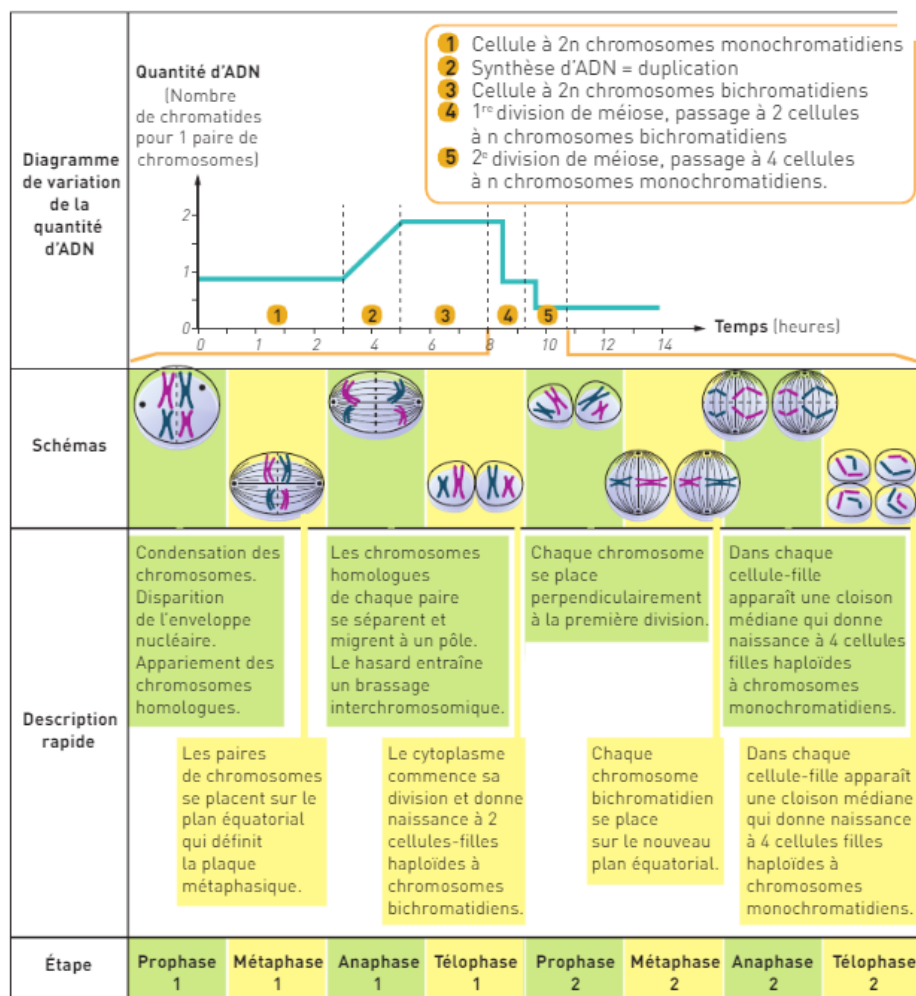
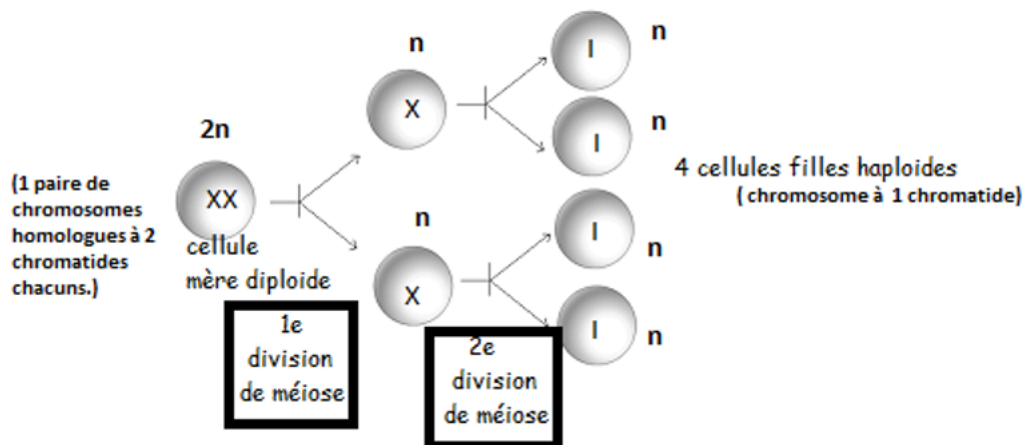
- La première division de méiose : Elle est composée de quatre phases : prophase, métaphase, anaphase et télophase. Elle diminue de moitié le nombre de chromosomes : elle est dite réductionnelle. L'étape fondamentale assurant la réduction du nombre de chromosome est l'anaphase 1.

- La deuxième division de méiose : Elle se déroule immédiatement à la suite (il n'y a pas de réplication de l'ADN, car chaque chromosome est resté dupliqué). Elle est dite équationnelle : elle produit pour chaque cellule à n chromosomes à deux chromatides (chromosome double), 2 cellules à n chromosomes à 1 chromatide (chromosome simple).

La méiose produit donc quatre cellules haploïdes à partir d'une cellule diploïde. C'est donc une division non conforme ;

La réduction du nombre de chromosomes a lieu dès la première division, en anaphase 1.

Voici deux schémas à savoir reproduire et expliquer.

(Magnard, 1^{re} Spé, éd 2019)



Pour t'aider à réviser, voici un tableau qui t'indique ce que tu dois savoir, définir et savoir-faire ainsi qu'un schéma bilan.

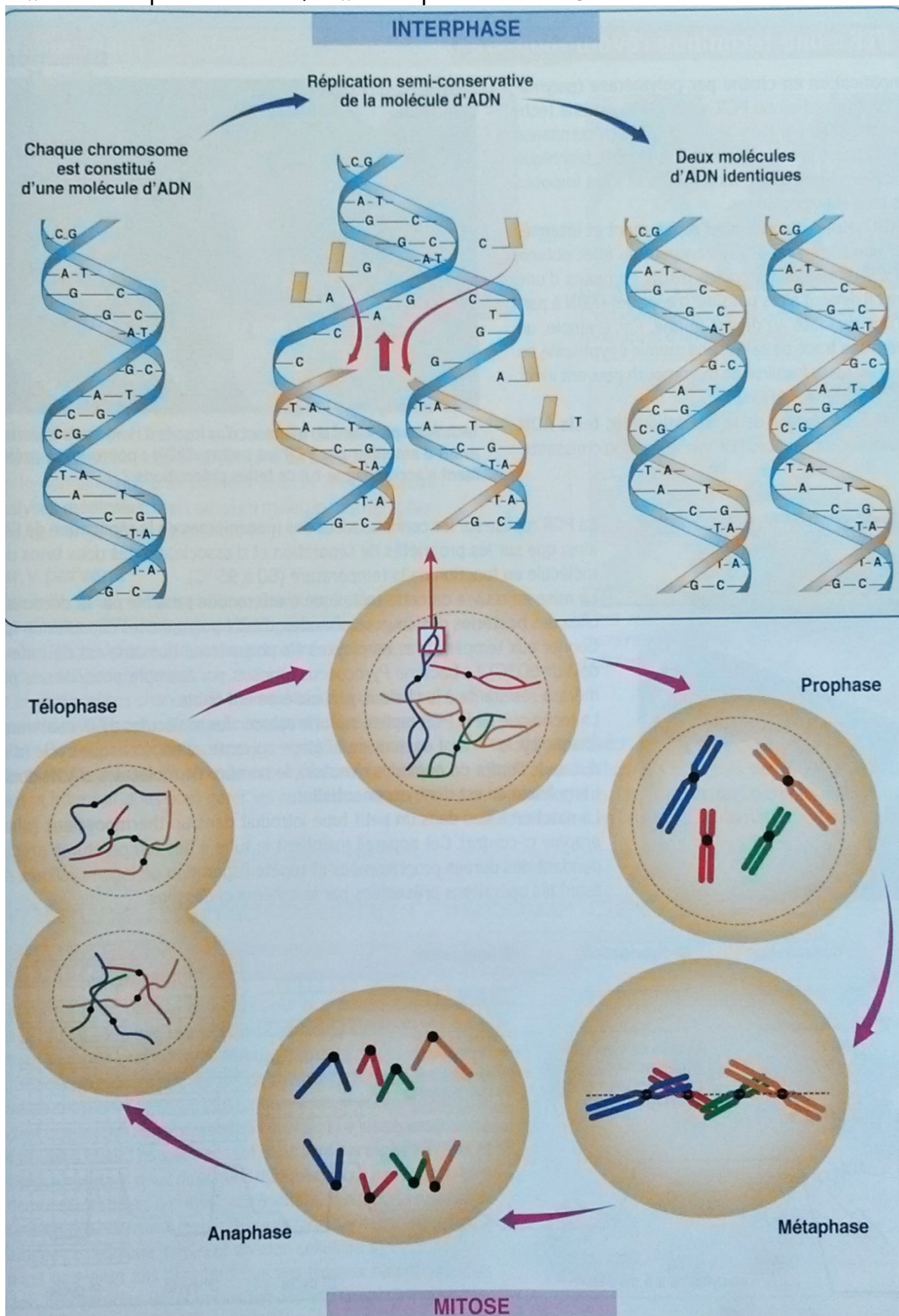
Connaissances	Capacités et attitudes
-Les chromosomes sont des structures universelles des cellules eucaryotes (organismes dont les cellules ont un noyau). -A chaque cycle de division cellulaire, chaque chromosome est dupliqué et donne un chromosome à deux chromatides, chacune transmise à une des deux cellules filles obtenues. C'est la base de la reproduction conforme. -Chez les eucaryotes, les chromosomes subissent une alternance condensation-décondensation au cours du cycle cellulaire. -La mitose est une reproduction conforme : toutes les caractéristiques de la cellule parentale sont conservées dans les deux cellules filles. -La méiose conduit à 4 cellules filles qui ont chacune la moitié des chromosomes de la cellule diploïde initiale. -Chaque chromatide est constituée d'une longue molécule d'ADN associée à des protéines. -Au cours de la phase S, l'ADN subit une réplication semi-conservative. Il s'agit de la formation de deux copies qui, en observant les règles d'appariement des bases, conservent chacune la séquence des nucléotides de la molécule initiale. -Les deux cellules provenant par mitose d'une cellule initiale possèdent exactement la même information génétique. -La succession des mitoses produit un ensemble de cellules, toutes génétiquement identiques : un clone.	-recenser, extraire et exploiter des informations permettant de caractériser les phases d'un cycle cellulaire eucaryote. -observer des photos de préparations microscopiques de cellules eucaryotes en cours de division. -Exploiter des caryotypes. Mots clés : Phases du cycle cellulaire (interphase, G1, S, G), mitose, fuseau mitotique ou méiotique, diploïde, haploïde, méiose. -Présenter ou exploiter des expériences historiques pour démontrer le mécanisme de réplication semi-conservatif. -Analyser des images montrant la réplication semi-conservative. -Comprendre et analyser une réaction de PCR Mots clés : réplication semi-conservative, ADN polymérase, clone



Pour aller plus loin !

Regarde les vidéos des « bons profs » afin de voir si tu maîtrises bien le cours : <https://www.youtube.com/watch?v=hUMbbXW2q0w>, <https://www.youtube.com/watch?v=-P6hJcf5NE8>

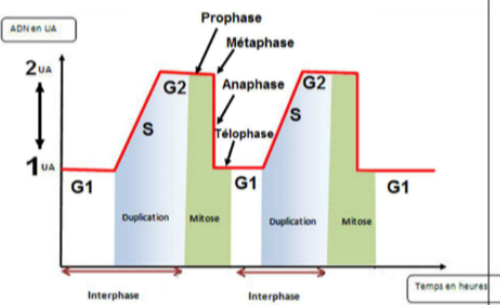
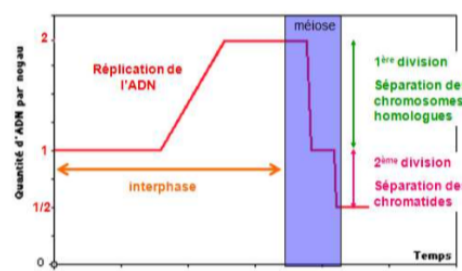
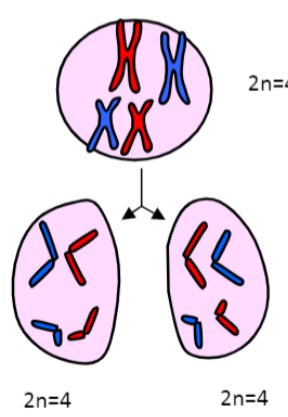
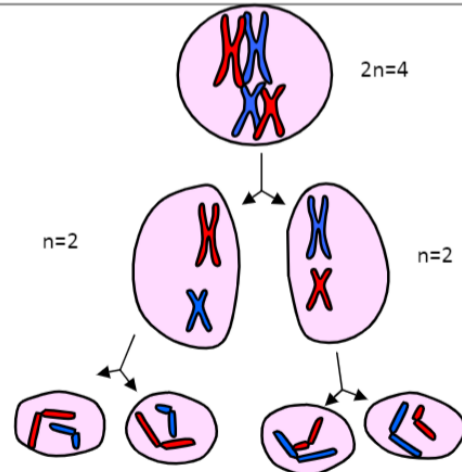
Schéma-bilan : reproduction conforme et réplique de l'ADN



(livre Bordas, éd.2011)

Schéma-bilan : Comparaison mitose/ méiose

Tableau comparatif de la mitose et de la méiose

	Mitose	Méiose
Cellules concernées	Cellules somatiques <i>Chez l'homme : cellules diploïdes (23 paires de chromosomes homologues)</i>	Cellules germinales (cellules susceptibles de former les gamètes) <i>Chez l'homme : cellules diploïdes (23 paires de chromosomes homologues)</i>
Déroulement	1 division cellulaire : 4 étapes (prophase, métaphase, anaphase, télophase) Séparation des chromatides de chaque chromosome double	2 divisions cellulaires successives : 4 étapes par division (prophase, métaphase, anaphase et télophase) 1^{ère} division : séparation des chromosomes homologues <i>NB : en prophase 1, on observe l'appariement des chromosomes homologues et la formation de tétrades (groupes de quatre chromatides).</i> 2^{ème} division : séparation de chromatides de chaque chromosome double
Cellules filles	2 cellules filles possédant le même caryotype que la cellule mère : reproduction conforme <i>Chez l'homme, chaque cellule fille est diploïde et possède 23 paires de chromosomes simples.</i>	4 cellules filles possédant la moitié du nombre de chromosomes de la cellule mère. Les quatre cellules filles possèdent une combinaison allélique unique. <i>Chez l'homme, chaque cellule fille est haploïde et possède 23 chromosomes simples.</i>
Place dans l'organisme vivant	Concerne de très nombreuses cellules de l'organisme. Permet l' augmentation du nombre de cellules lors du développement du zygote. Assure la croissance et la régénération des tissus . Reproduction conforme	Permet la fabrication des gamètes . Est source de variabilité (brassage inter et intra chromosomique)
Evolution de la quantité d'ADN par cellule avant et pendant la division		
Schéma avec cellule mère à 2n=4		

QCM

Souligne la ou les bonne(s) réponse(s).

1- La réplication de l'ADN :

- A lieu pendant la mitose
- Implique une ouverture de la double hélice
- Contribue à la reproduction conforme de la cellule

2- La mitose :

- Comporte 4 phases : G1, G2, S et M
- Contribue à la reproduction cellulaire conforme
- Aboutit à des cellules filles dont les chromosomes ont deux chromatides

3- Chaque chromosome :

- Disparaît à la fin de la mitose
- Comprend une ou deux chromatides
- Comprend un ou deux brins d'ADN

4- L'interphase du cycle cellulaire est située :

- Avant la mitose
- Après la mitose
- Entre deux mitoses

5- Au cours de la réplication :

- Le nombre de chromosomes double
- La quantité de cellules double
- La quantité d'ADN double

6- La réplication de l'ADN est semi-conservative, ce qui signifie que les cellules-filles héritent :

- D'un des deux brins d'ADN de chaque chromosome de la cellule mère
- D'une des deux chromatides de chaque chromosome de la cellule mère
- De la moitié des chromosomes de la cellule mère.

7- La méiose :

- Permet le passage de l'état diploïde à l'état haploïde.
- N'est pas précédé par une réplication.
- Comporte deux divisions.
- Produit des gamètes.

Exercices autocorrectifs

Exercice 1 :

Construis une (ou deux phrases au maximum) en utilisant les termes proposés :

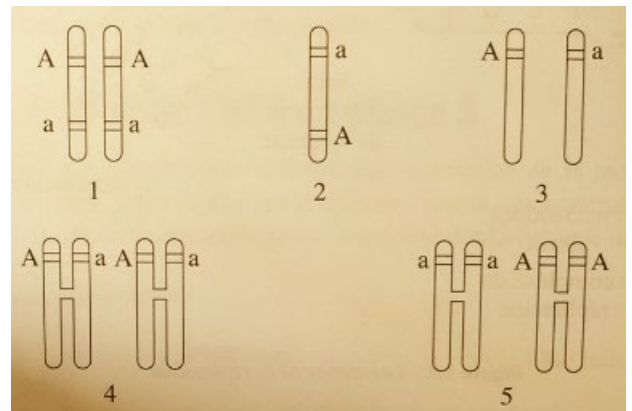
- a- Mitose, reproduction conforme, cellules filles génétiquement identiques, cellule mère
- b- Anaphase, pôles cellulaires, ascension, chromosomes, chromatide.
- c- Cellules haploïdes, méiose, quatre, obtention.

Exercice 2 :

On cherche à représenter les deux allèles A et a d'un gène sur les chromosomes hérités par un individu de ses deux parents.

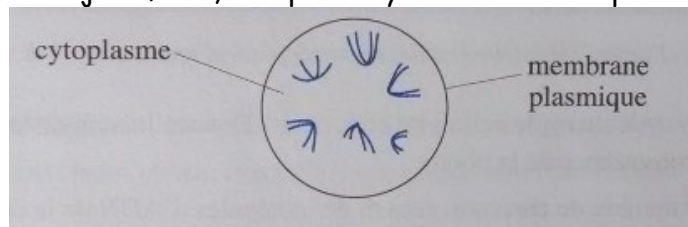
Parmi les schémas ci-contre, **sélectionne les représentations qui te semblent exactes** en précisant à quel moment du cycle cellulaire elles correspondent.

Justifie ta réponse.



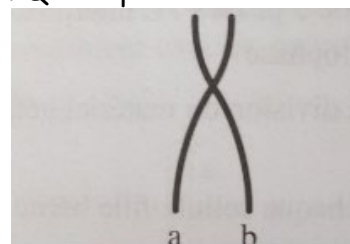
Exercice 3 :

- 1) Reconnais, en la justifiant, l'étape du cycle cellulaire représentée sur cette figure :



Observation d'une cellule en division à un moment précis de son cycle cellulaire

- 2) Quelle est l'origine de cette cellule ? Quel est son devenir ?
- 3) Le caryotype de cette cellule est synthétisé par $2n$. Que représente n ? 2 ? $2n$?
- 4) Que représentent a et b dans la figure ci-contre ?
De quoi a et b sont composés ?
- 5) Quelle est l'origine de ce chromosome ?
Quel est son devenir ?



Observation d'un chromosome

QCM - Correction

Extrait de cours

1- La réplication de l'ADN :

- A lieu pendant la mitose
- Implique une ouverture de la double hélice
- Contribue à la reproduction conforme de la cellule

2- La mitose :

- Comporte 4 phases : G1, G2, S et M
- Contribue à la reproduction cellulaire conforme
- Aboutit à des cellules filles dont les chromosomes ont deux chromatides

3- Chaque chromosome :

- Disparaît à la fin de la mitose
- Comprend une ou deux chromatides
- Comprend un ou deux brins d'ADN

4- L'interphase du cycle cellulaire est située :

- Avant la mitose
- Après la mitose
- Entre deux mitoses

5- Au cours de la réplication :

- Le nombre de chromosomes double
- La quantité de cellules double
- La quantité d'ADN double

6- La réplication de l'ADN est semi-conservative, ce qui signifie que les cellules-filles héritent :

- D'un des deux brins d'ADN de chaque chromosome de la cellule mère
- D'une des deux chromatides de chaque chromosome de la cellule mère
- De la moitié des chromosomes de la cellule mère.

7- La méiose :

- Permet le passage de l'état diploïde à l'état haploïde.
- N'est pas précédé par une réplication.
- Comporte deux divisions.
- Produit des gamètes.

Exercices autocorrectifs - Correction

Exercice 1 :

- a- Mitose, reproduction conforme, cellules filles génétiquement identiques, cellule mère
= La mitose est un mode de reproduction conforme des cellules, qui, à partir d'une cellule mère, donne deux cellules-filles génétiquement identiques entre elles et à la cellule mère.
- b- Anaphase, pôles cellulaires, ascension, chromosomes, chromatide.
= En anaphase de mitose, les chromosomes se clivent et chacune de leur chromatide subit une ascension vers l'un des deux pôles cellulaires.
- c- Cellules haploïdes, méiose, quatre, obtention.
= La méiose permet l'obtention de 4 cellules haploïdes.

Exercice 2 :

Les seules représentations correctes sont :

- la 3 pour une cellule en phase G1 d'interphase, en anaphase ou en télophase de mitose.
- la 5 pour une cellule en phase G2, en prophase ou métaphase de mitose.

Exercice 3 :

- 1) On observe des chromosomes condensés, situés tous dans un même plan, et une cellule sans noyau. La cellule est donc en mitose (à cause de l'absence d'enveloppe nucléaire et de la présence des chromosomes) et plus précisément en début de métaphase (à cause de la localisation dans un plan).
- 2) Cette cellule provient d'une cellule en interphase après réplication de l'ADN. La cellule est entrée en mitose, en prophase d'abord, puis en métaphase. Cette cellule va se diviser et donner deux cellules.
- 3) n est le nombre de chromosomes non homologues que possède la cellule. 2 traduit le fait que les chromosomes sont présents en deux exemplaires. $2n$ montre que la cellule a n paires de chromosomes homologues.
- 4) Ce chromosome possède 2 chromatides, a et b sont donc les deux chromatides. Elles sont constituées chacune d'une molécule d'ADN et de protéines (rappels de seconde).
- 5) Ce chromosome est issu de la condensation de l'ADN après réplication de celui-ci. Les deux chromatides vont se séparer et se retrouver chacune dans une cellule fille.

DEVOIR 1

Exercice 1 : 10 points (durée : 1 heure)

En considérant un individu hétérozygote de génotype A/a (c'est-à-dire porteur des allèles A et a d'un gène), expliquez les mécanismes qui, en interphase et en mitose, permettent la reproduction génétiquement conforme d'une cellule.

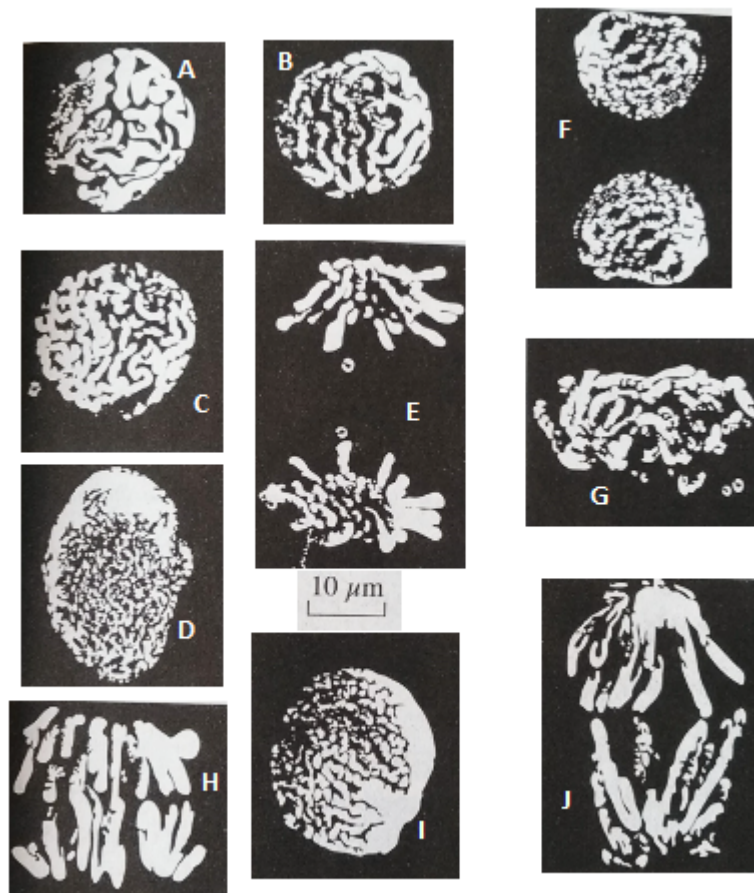
Des schémas des mécanismes moléculaires se déroulant en phase S et des phénomènes affectant les chromosomes en mitose sont attendus.

Votre réponse devra être structurée : introduction avec problématique apparente, développement en plusieurs parties avec titres, conclusion avec ouverture)

Exercice 2 : 10 points (durée : 1 heure)

A- Les stades de la mitose.

Par une technique appropriée, on a éliminé, dans des cellules en mitose, tout le cytoplasme ainsi que l'enveloppe nucléaire quand elle existait encore. Les schémas ci-dessous, faits à partir de photographies en microscopie électronique à balayage, représentent l'évolution de l'ADN au cours de la mitose.



Observations microscopiques de l'ADN pendant une mitose

- 1) Classez ces différents clichés dans l'ordre chronologique. Justifiez votre réponse.

- 2) A partir des observations, **donnez en une phrase une définition de la mitose.**

B- Réplication.

Des cellules isolées peuvent vivre et se multiplier dans un milieu de culture approprié contenant, entre autres, des bases azotées utilisables pour les synthèses d'ADN. Au début d'une interphase, on ajoute dans le milieu de la thymine rendue radioactive grâce au tritium ^3H . Les brins d'ADN ayant incorporé la thymine radioactive peuvent imprimer une plaque photographique et y former des tâches à l'endroit où se trouvent les atomes radioactifs.

Après une interphase dans ce milieu radioactif, les cellules sont replacées dans un milieu normal, non radioactif. On constate à la fin de la mitose, que toutes les cellules filles contiennent des molécules d'ADN radioactives.

- 1) En utilisant une représentation simplifiée d'un fragment de molécule d'ADN, **représentez ce fragment en début d'interphase, en cours d'interphase et en fin d'interphase.**
- 2) **Retrouvez l'explication au fait qu'à la fin de la mitose suivant cette interphase, toutes les cellules filles contiennent des molécules d'ADN radioactives.**
- 3) **Que se passera-t-il à l'interphase suivante si le milieu est non radioactif ? À la fin de la mitose suivante ?**

Extrait de cours