

Chapitre VI

TRANSMISSION DES CARACTERES GENETIQUES CHEZ LES EUCARYOTES

Transmission héréditaire des caractères

- La transmission, au sein d'une espèce vivante ou d'une lignée de cellules, de **caractéristiques** d'une génération à la suivante
- Au cours de leur développement, les cellules agissent selon leur spécialisation. La cellule remplit deux missions essentielles : copier ses gènes en vue de la division cellulaire et utiliser ses gènes pour produire ses protéines responsables de l'expression des caractères héréditaires.

Loi de Ségrégation

- Chaque individu a deux facteurs (appelés gènes aujourd'hui) pour chaque trait.
- Les facteurs se séparent durant la gamétogenèse. (niveau Ploïdie de gamètes)
- La fécondation donne à nouveau à chaque nouvel individu deux facteurs.
 - Niveau Ploïdie après la fécondation

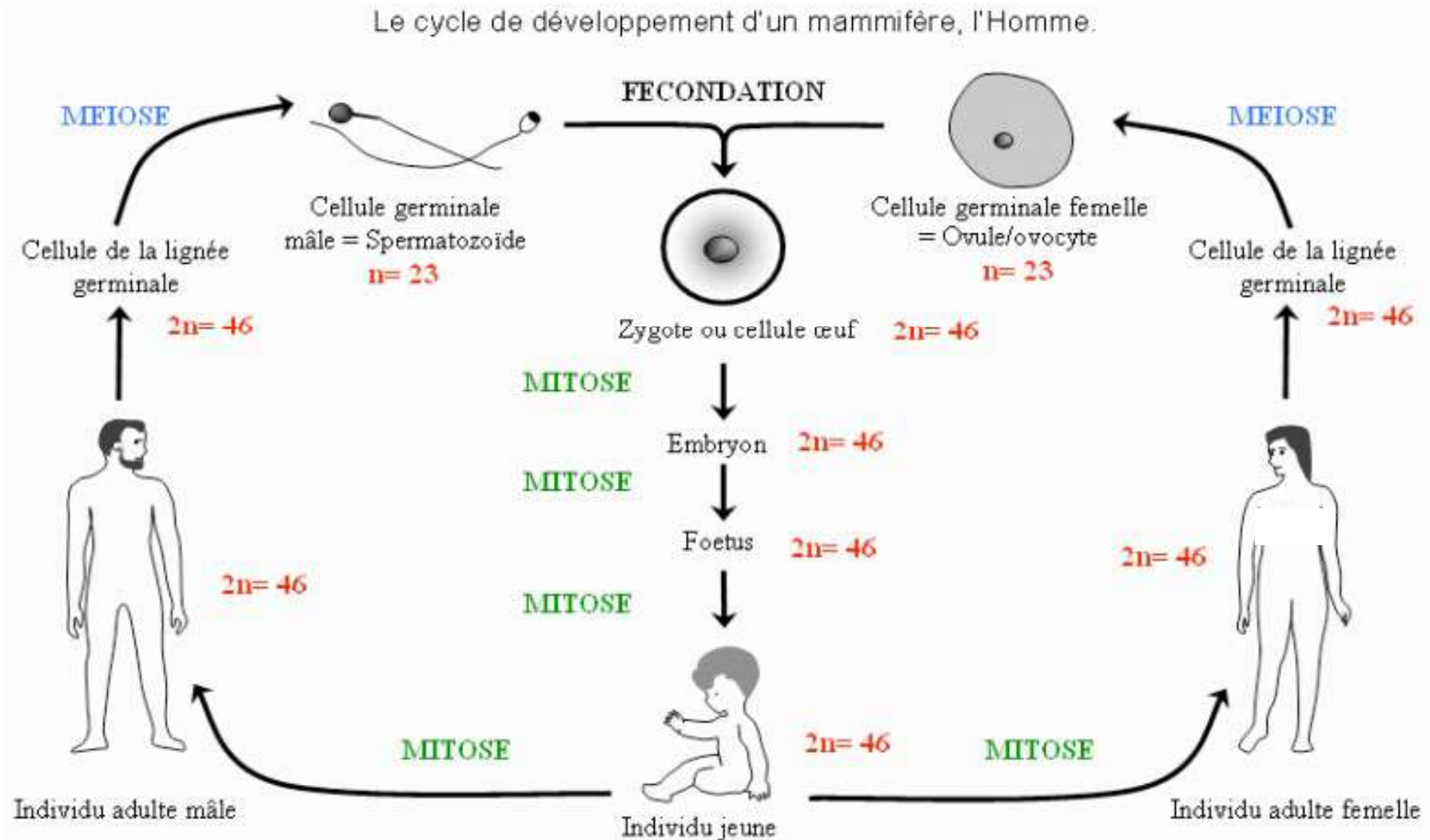
**Transmission des caractères d'une
génération d'individus à la suivante**

Division Cellulaire

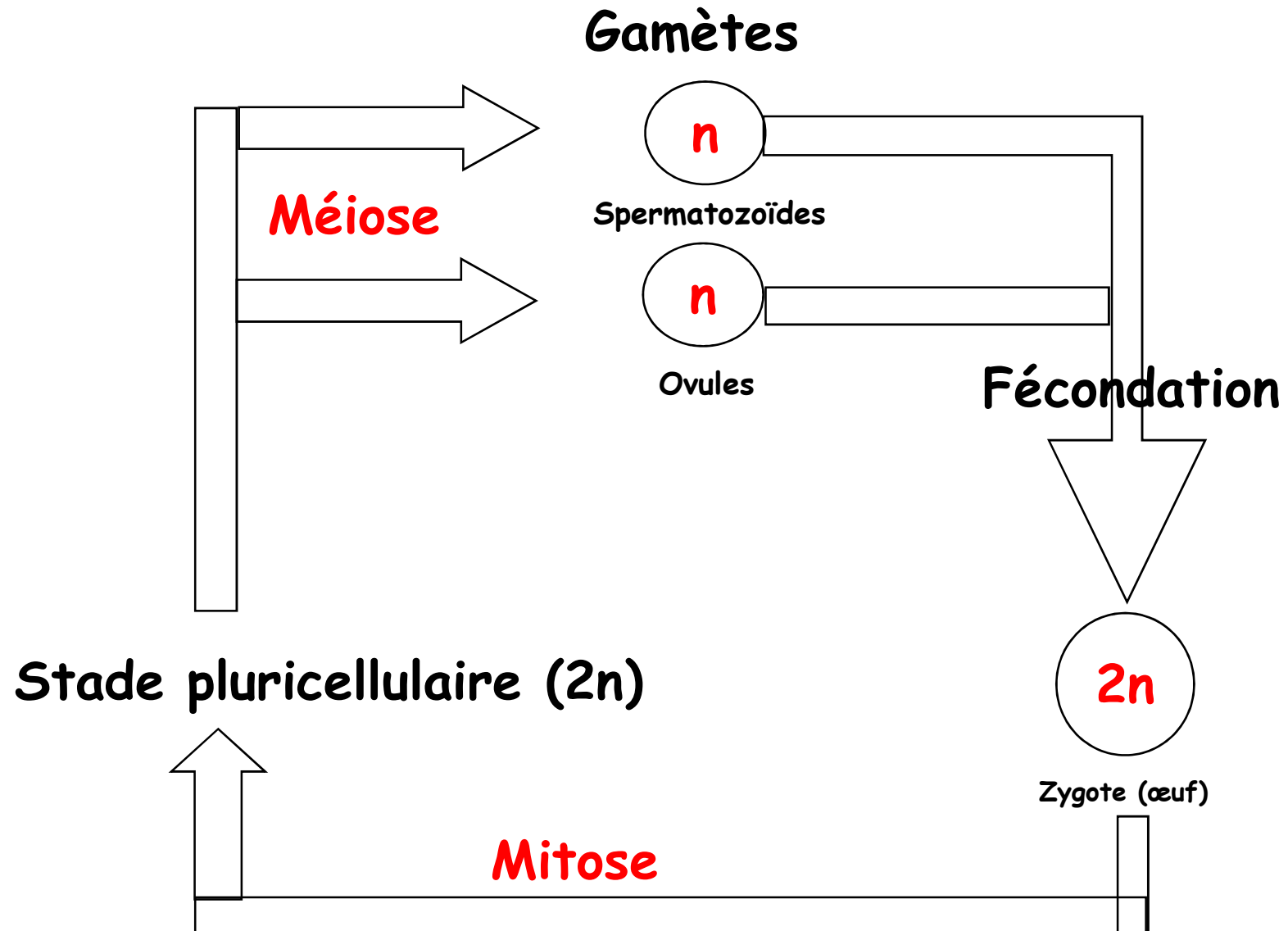
Division Cellulaire

- Une partie intégrante du cycle cellulaire
- En résulte deux cellules filles génétiquement identiques,
- Les cellules dupliquent leur matériel génétique
 - Avant qu'ils ne se divisent, en veillant à ce que chaque cellule fille reçoive une copie exacte du matériel génétique, l'ADN.

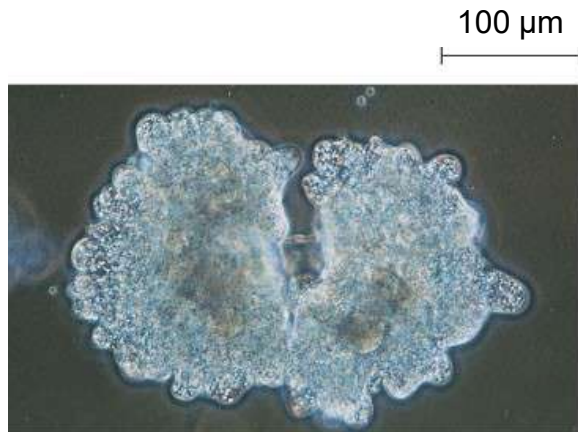
D'une génération d'individus à la suivante



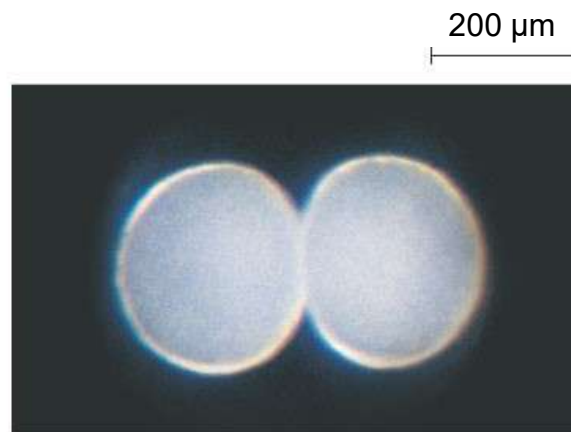
Division cellulaire



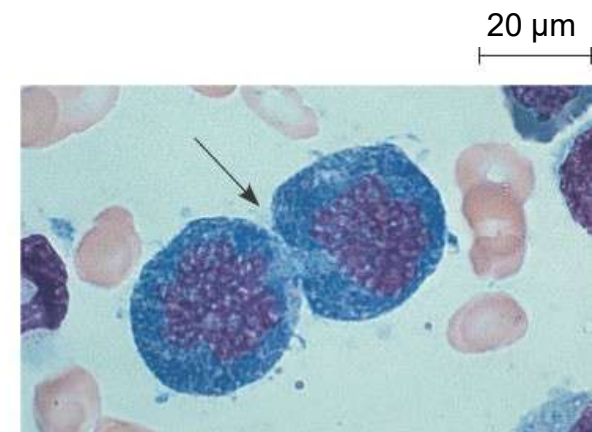
Objectifs de la Division Cellulaire



(a) Reproduction. Une amibe qui est un eucaryote unicellulaire, est divisée en deux cellules. Chaque nouvelle cellule sera une organisme entier .



(b) La croissance et le développement. Cette photographie montre un embryon peu après l'œuf fécondé divisée, formant deux cellules.

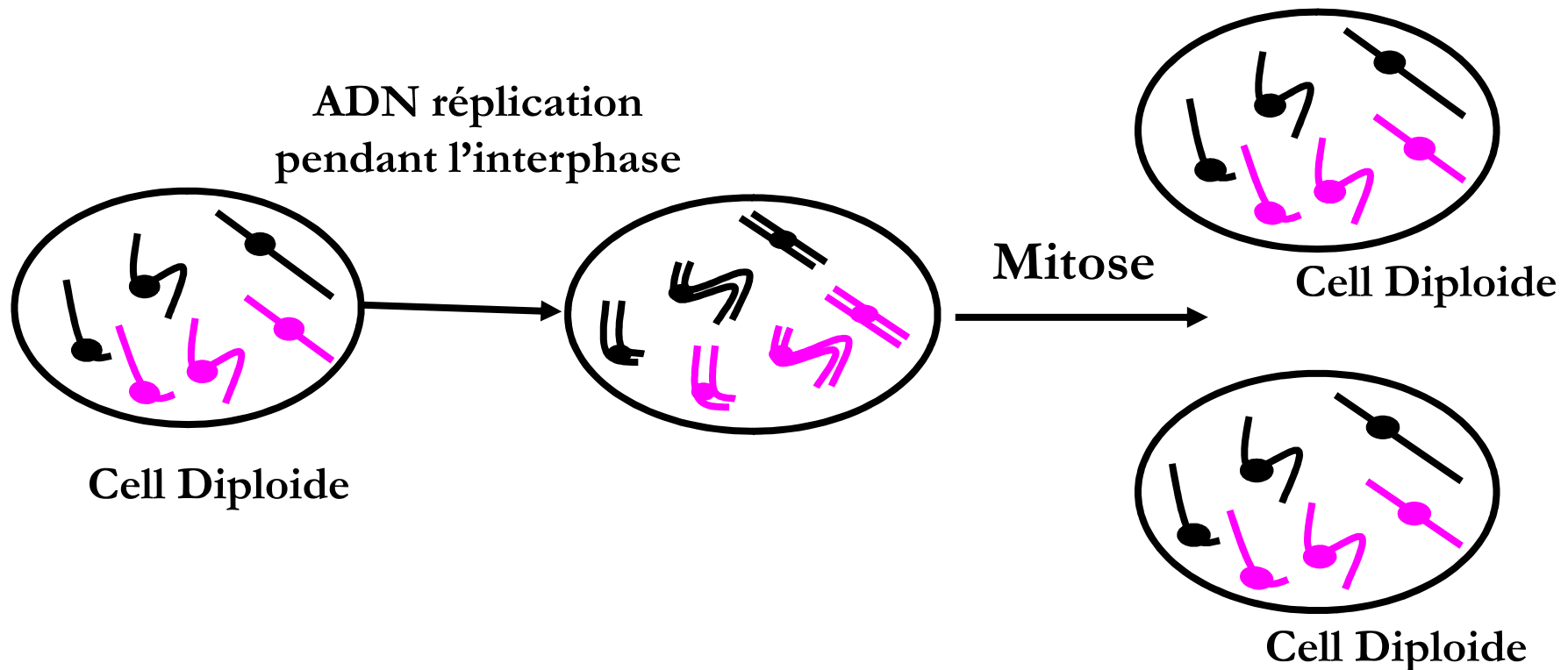


(c) Le renouvellement et la réparation des tissus. Ces division des cellules de la moelle osseuse donnent lieu à de nouvelles cellules sanguines.

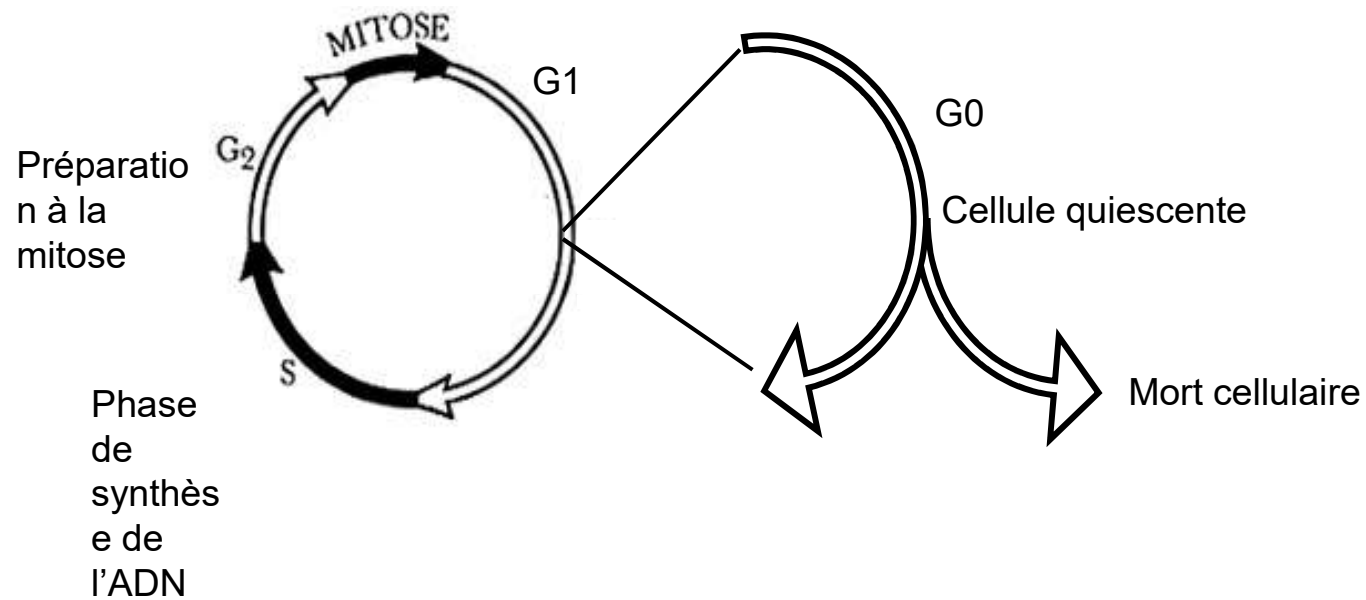
La mitose - division des cellules somatiques

La Mitose

- Lors de la mitose, la cellule se divise en deux cellules-filles.
- Chaque nouvelle cellule reçoit une copie de chaque chromosome qui était présent dans la cellule d'origine.
- Produit 2 nouvelles cellules qui sont génétiquement identiques à la cellule d'origine.

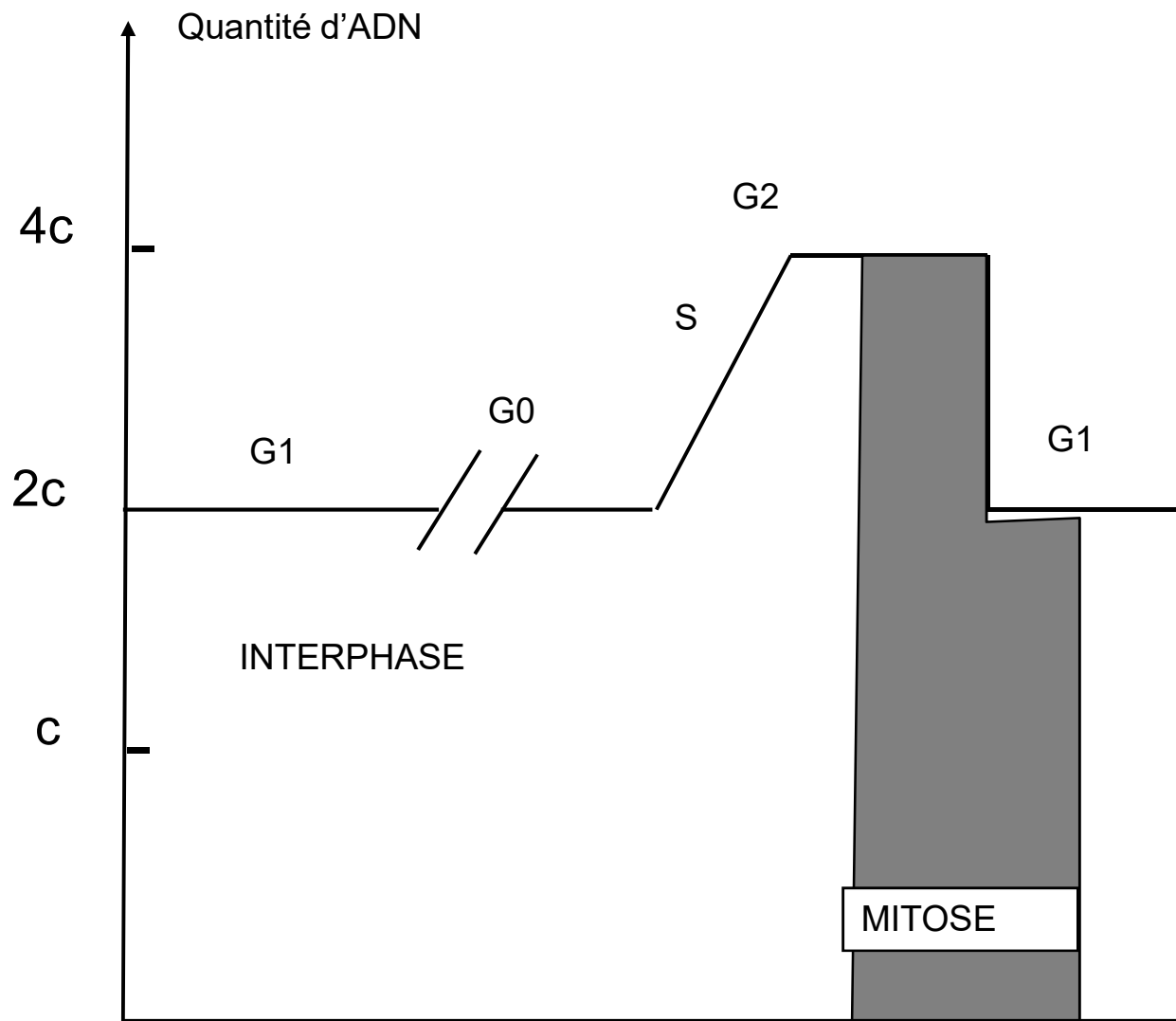


Le cycle cellulaire

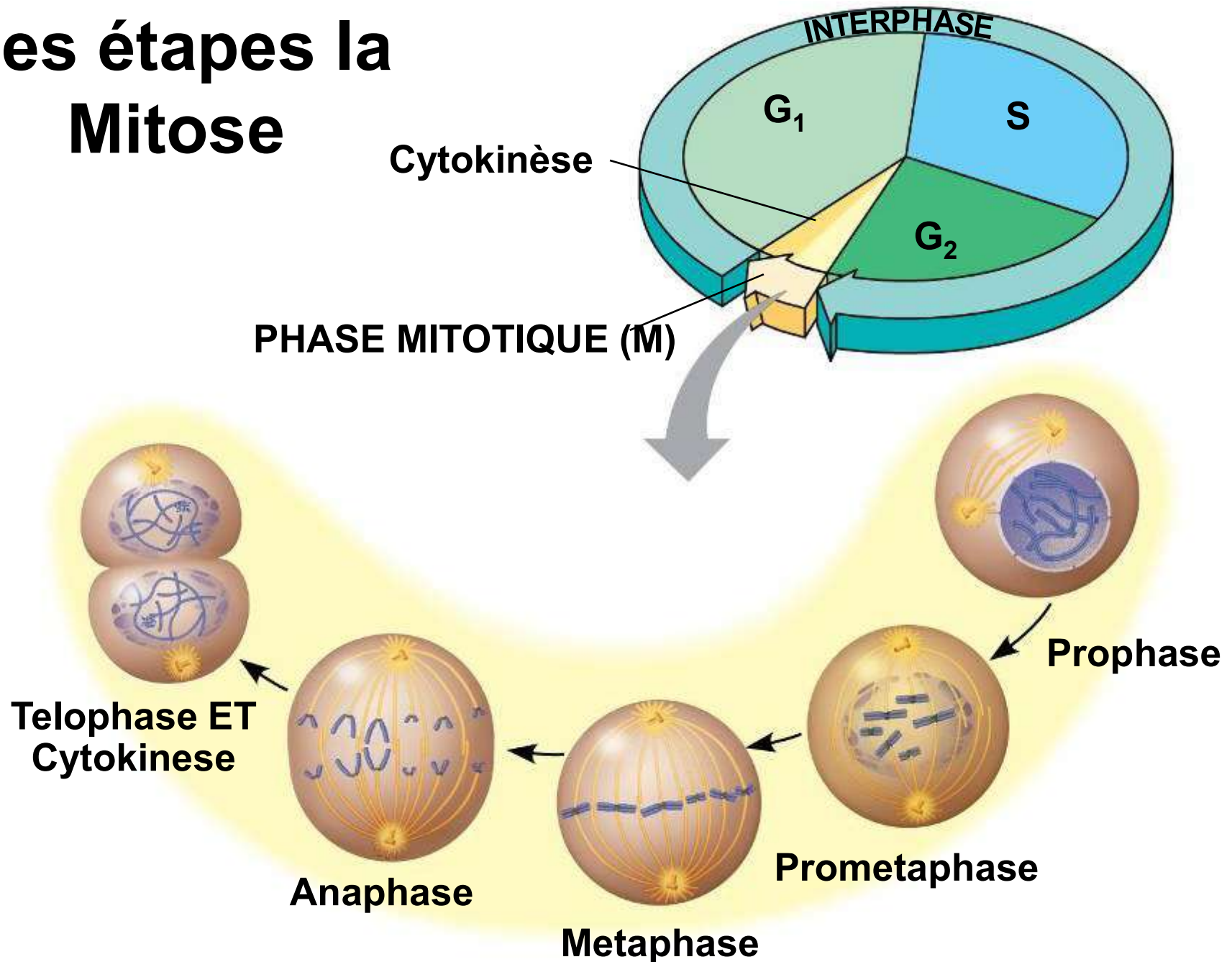


Phases G1-G2 = INTERPHASE activité fonctionnelle de la cellule.

L'AND pendant la Mitose



Les étapes la Mitose



Phases de Cycle Cellulaire

- Interphase
 - G_1 – première croissance
 - S - génome répliqué
 - G_2 – deuxième croissance
- M – mitose
 - Prophase
 - Prométaphase
 - Métaphase
 - Anaphase
 - Télophase
- C - cytokinèse

Phases de Cycle Cellulaire

- Interphase (environ 90% du cycle cellulaire) peut être divisée en sous-phases
 - **G₁ phase** (“first gap”)
 - **S phase** (“synthesis”)
 - **G₂ phase** (“second gap”)
- La cellule se développe au cours des trois phases, mais les chromosomes sont dupliqués seulement pendant la phase S

Interphase

- G_1 - Les cellules subissent une croissance majeure
- S - Chaque chromosome se réplique (Synthèse) pour produire deux chromatides sœurs
 - Attachées au centromère
 - Contient un site d'attachement (kinetochore)
- G_2 - Chromosomes se condensent -
Assemblage de la machines pour la division

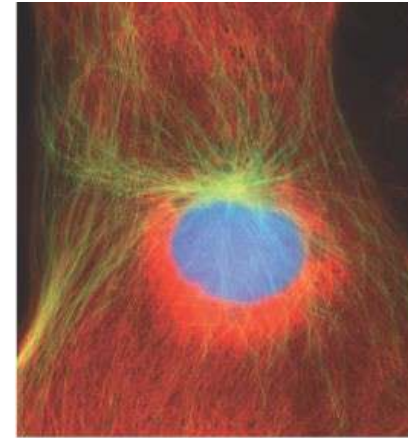
Les étapes la Mitose

- La mitose est divisé en cinq phases
 - **Prophase**
 - **Prometaphase**
 - **Metaphase**
 - **Anaphase**
 - **Telophase**
- Cytokinèse chevauche avec les derniers étapes de la mitose

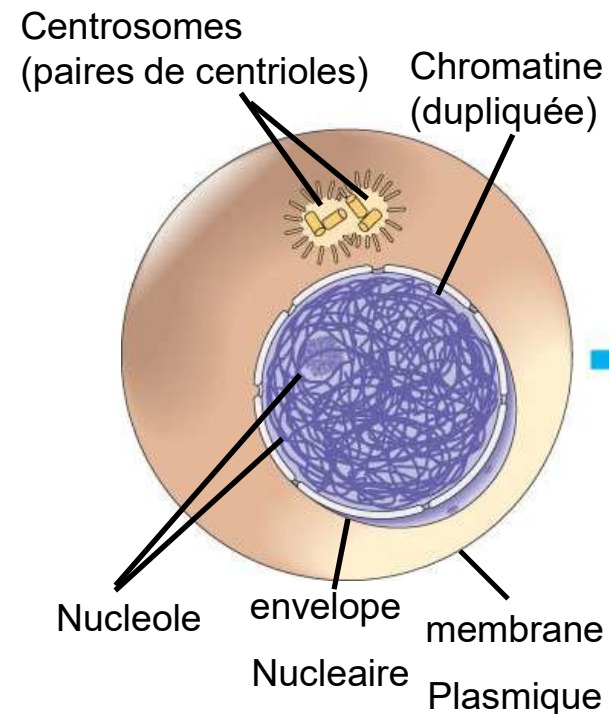
Fin de G₂ de L'Interphase

- Une enveloppe nucléaire délimite le noyau.
- Le noyau contient un ou Plusieurs nucléoles
- Deux centrosomes formés par la réplication d'un centrosome unique.
- Dans les cellules animales, chacune centrosome caractérise deux centrioles.
- Chromosomes, dupliqués pendant la phase S, ne peuvent pas être vus individuellement car ils ne sont pas encore condensés

Les microscopes de lumière montrent la division des cellules pulmonaires d'un triton, qui a 22 chromosomes dans ses cellules somatiques (chromosomes apparaissent bleu, vert, microtubules filaments intermédiaires rouges). Pour plus de simplicité, les dessins montrent que quatre chromosomes.

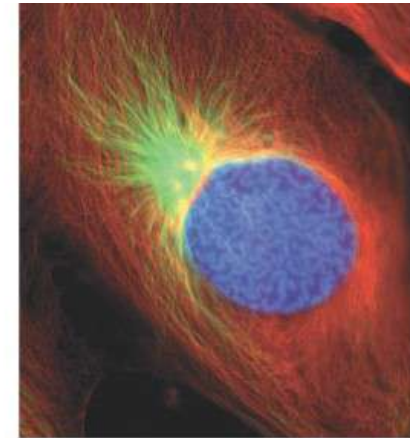


G₂ de L'INTERPHASE

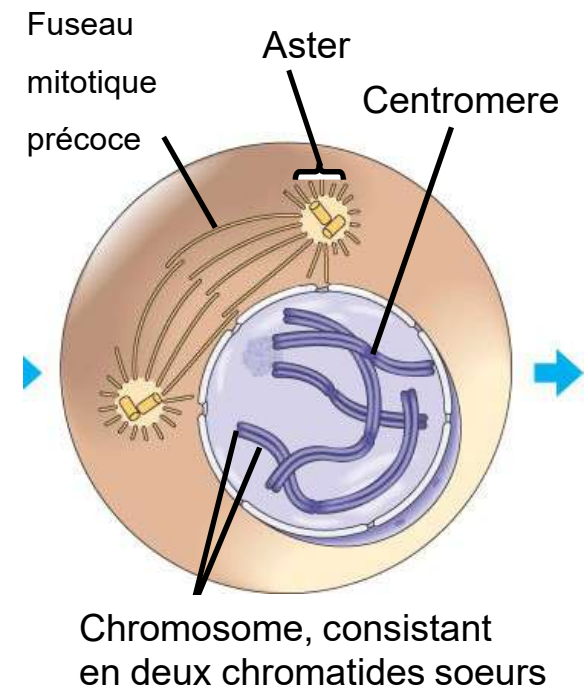


Prophase

- Les filaments de chromatine se condensent en chromatide pour former des chromosomes dans le noyau. Les centrioles de la cellule se répliquent en deux paires et se répartissent à chaque pôle du noyau. Des microtubules se développent en forme de fuseau, sortes de rails sur lesquels vont se déplacer les chromosomes. La membrane nucléaire se désagrège.

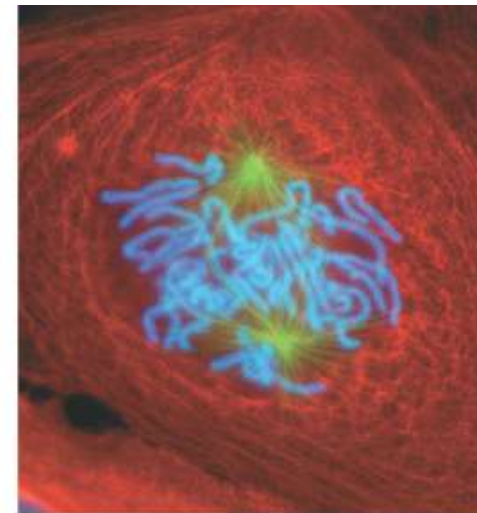


PROPHASE

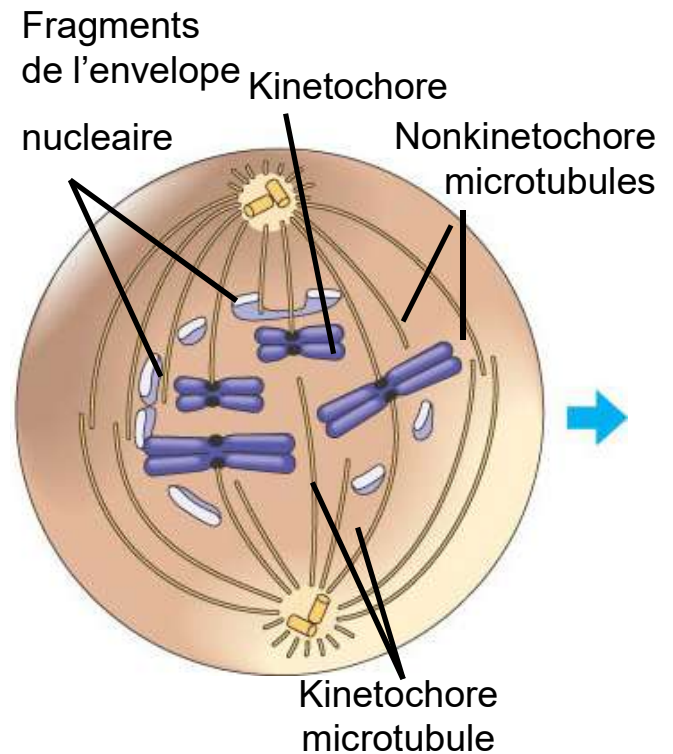


Prométaphase

- La membrane nucléaire se rompt en vésicules. Les chromosomes sont très condensés et se lient aux kinétochores (assemblage de protéines au niveau des centromères des chromosomes).

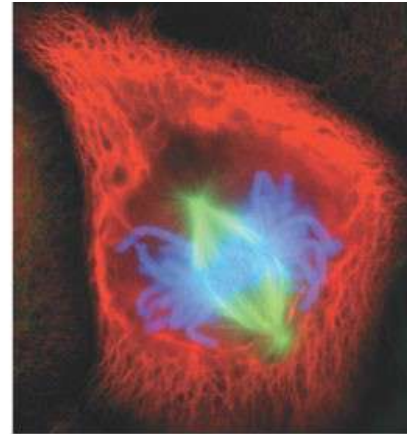


PROMETAPHASE



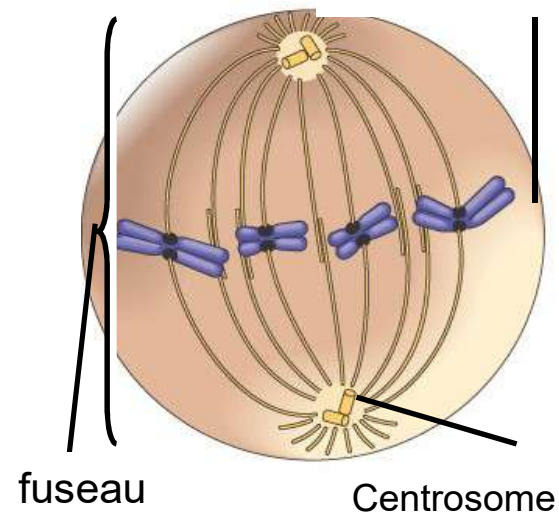
Metaphase

- la Metaphase est la plus longue étape de la mitose, d'une durée d'environ 20 minutes.
- Les microtubules capturent les chromosomes au niveau des kinétochores. Lorsque la capture est réalisée des deux côtés, le jeu coordonné des microtubules place les chromosomes à égale distance des pôles (à l'équateur), formant la plaque équatoriale. Tant que le dernier chromosome n'est pas en place, les autres chromosomes alignés attendent.



METAPHASE

plaque
Metaphasique

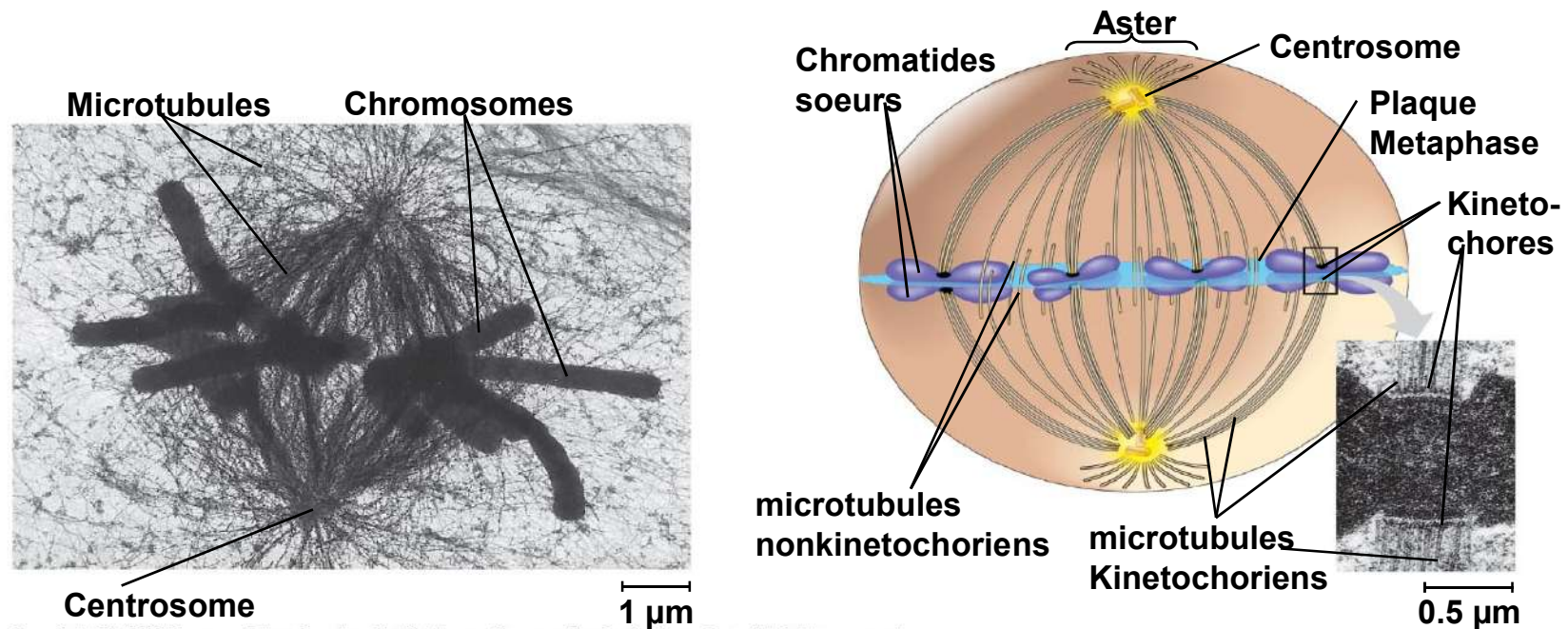


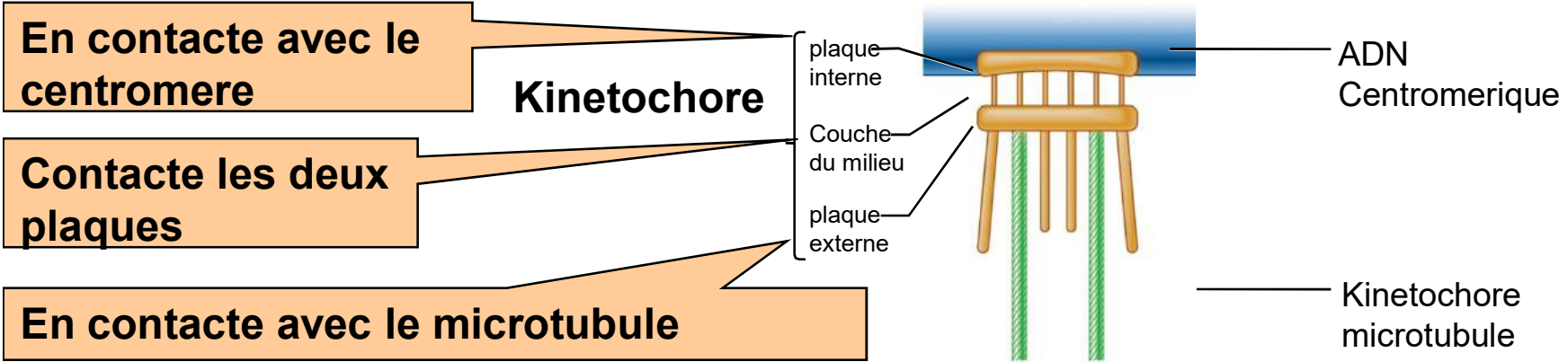
Le fuseau cellulaire mitotique

- Le fuseau comprend les centrosomes, les microtubules du fuseau, et les asters
- L'appareil de microtubules contrôle le mouvement des chromosomes lors de la mitose
- Les centrosomes répliquent, formant deux centrosomes qui migrent vers les extrémités opposées de la cellule
- Assemblage des microtubules du fuseau commence dans le centrosome, (le centre organisateur des microtubules)
- Un aster (un faisceau radial de microtubules courts) s'étendent de chaque centrosome

Le fuseau cellulaire mitotique

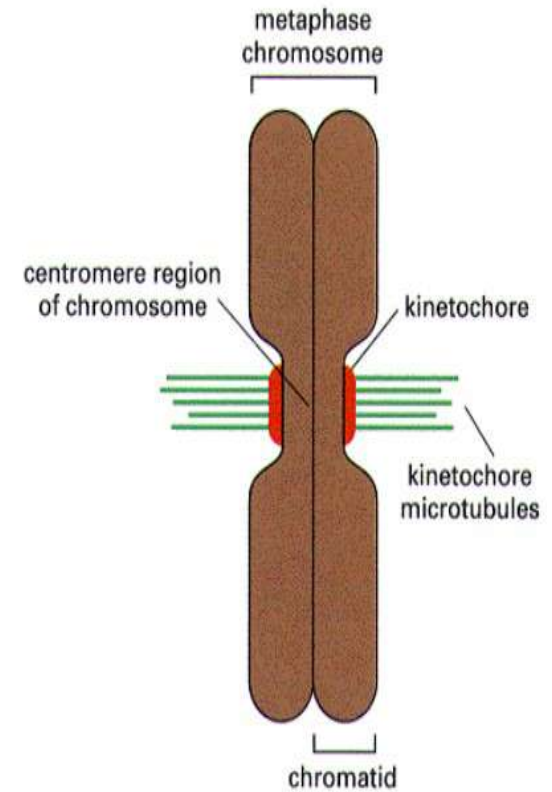
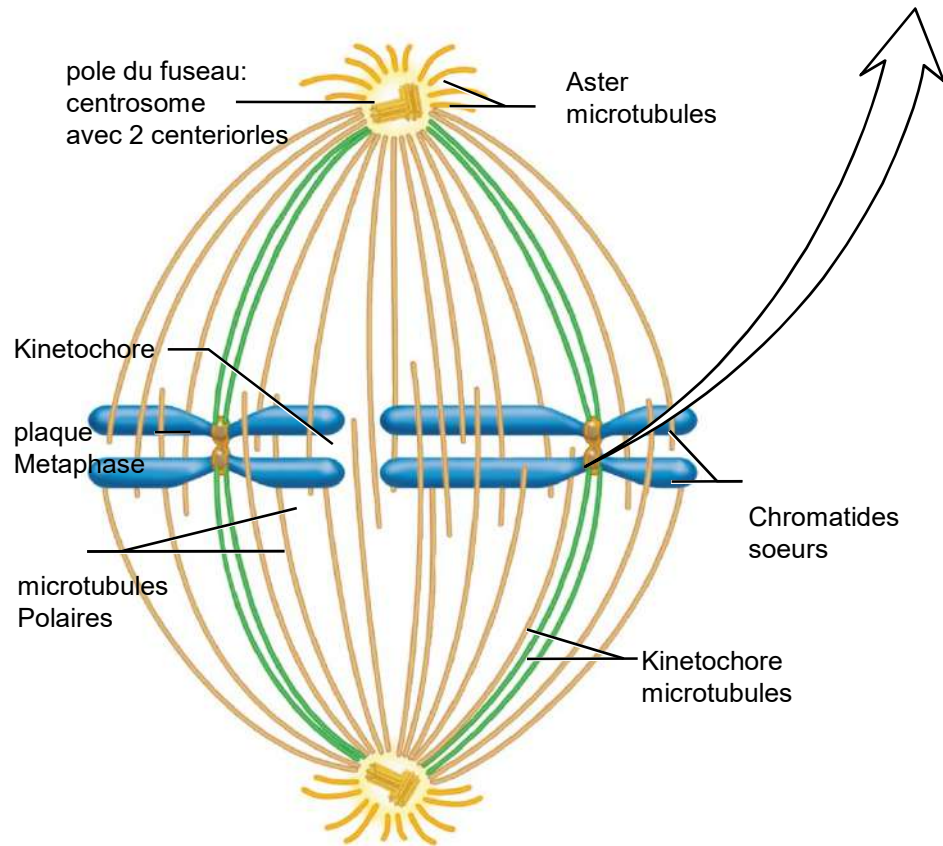
- Certains microtubules du fuseau se fixent sur les kinétochores des chromosomes et se déplacent les chromosomes à la plaque métaphasique
- En anaphase, les chromatides sœurs se séparent et se déplacent le long des microtubules kinétochoriens vers des extrémités opposées de la cellule

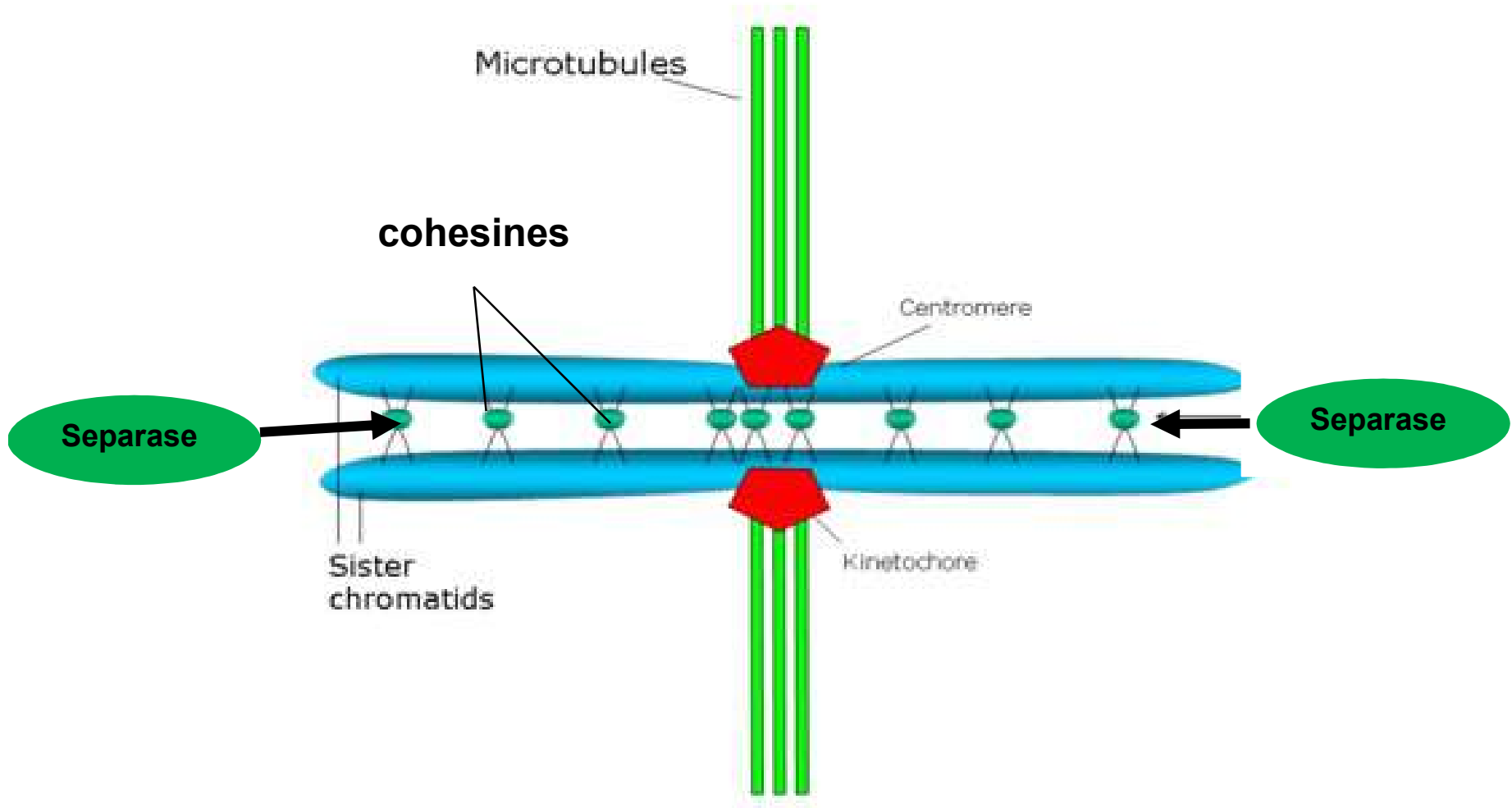




Contacte les deux plaques

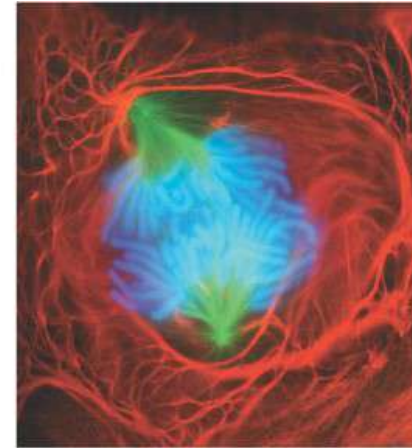
En contact avec le microtubule



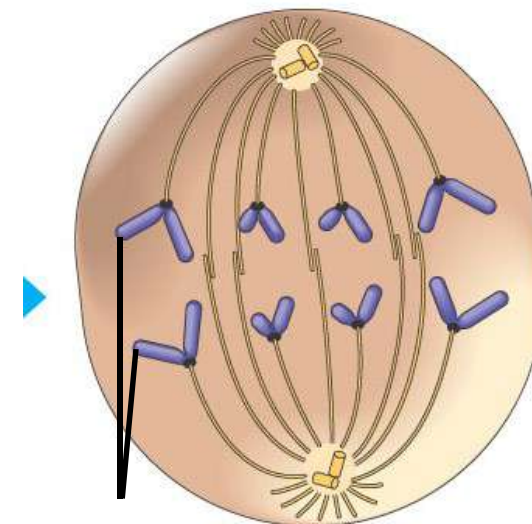


Anaphase

- Les chromosomes sont tous disposés à l'équateur de la cellule. Les chromatides de chaque chromosome se séparent par le centromère qui se clive. Les moteurs des kinétochores font monter les chromatides vers les pôles opposés de la cellule (un lot de 46 chromosomes avec une chromatide à chaque pôle).



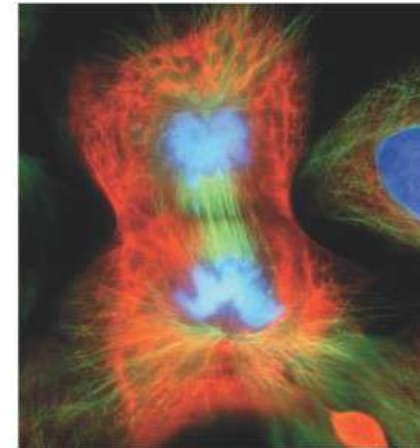
ANAPHASE



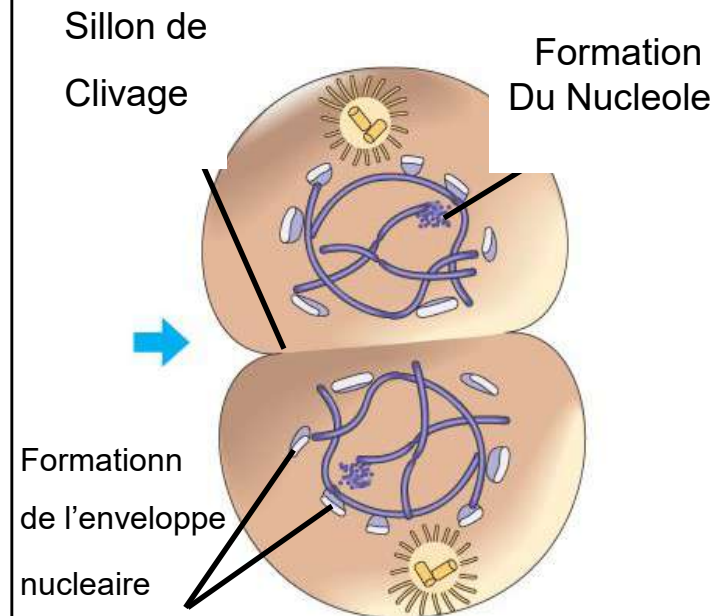
chromosomes

Télophase

- Une membrane nucléaire se forme, le fuseau s'estompe. Une cloison entre les cellules filles se crée. Tous les chromosomes fils sont aux pôles. Les microtubules kinétochoriens ont disparu.



TELOPHASE AND CYTOKINESIS



Cytokinèse (cytodiérèse)

- La mitose est terminée et la cellule entreprend son processus de clivage. La plus visible des modifications est l'invagination progressive de la membrane plasmique, autour du centre de la cellule et dans le plan équatorial. Un anneau contractile s'est formé et c'est lui qui est responsable de cette déformation. Le sillon de division ainsi créé se creuse de plus en plus, jusqu'à la séparation complète des deux cellules filles.



La méiose - Cycles de vie Sexuelle

(division des cellules germinales)

La méiose - Cycle de vie Sexuelle

- La reproduction sexuelle est la façon la plus courante pour les organismes eucaryotes pour produire la progéniture
 - Les parents font les gamètes contenant la moitié de la quantité de matériel génétique
 - Ces gamètes fusionnent les uns avec les autres lors de la **fécondation** pour commencer la vie d'un nouvel organisme
 - Le processus formant les gamètes est appelé **gamétogenèse**
 - La plupart des espèces eucaryotes sont **hétérogames** (produisent des gamètes qui sont morphologiquement différents)

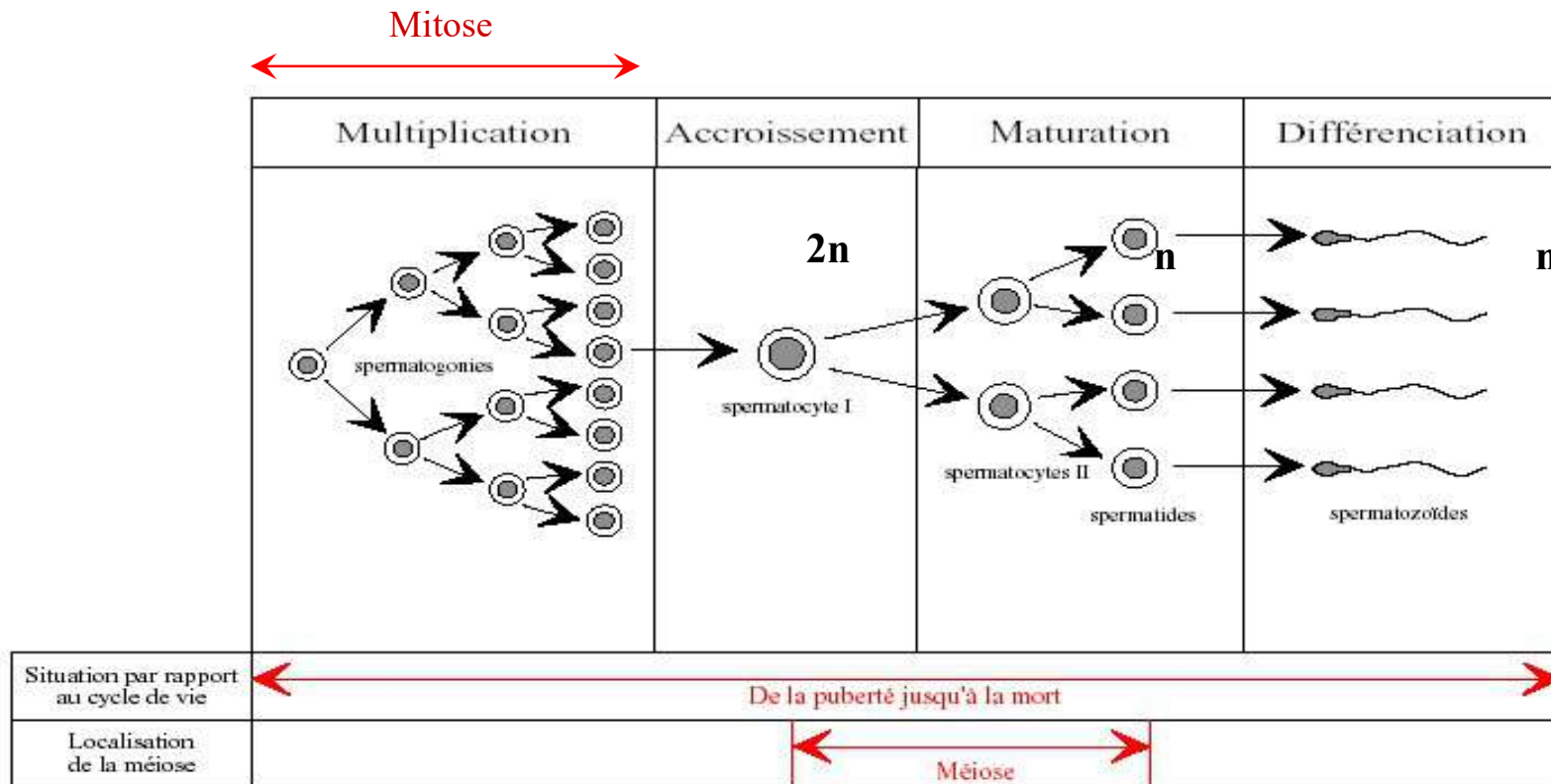
La méiose - Cycle de vie Sexuelle

- Gamètes sont généralement haploïdes
 - Ils contiennent un seul jeu unique de chromosomes
- Les gamètes sont $1n$, tandis que les cellules diploïdes sont $2n$
 - Une cellule humaine diploïde contient 46 chromosomes
 - Un gamète humain ne contient que 23 chromosomes
- Au cours de la méiose, les cellules haploïdes sont produites à partir de cellules diploïdes
 - Ainsi, les chromosomes doivent être correctement triés et distribués afin de réduire le nombre de chromosomes à la moitié de sa valeur d'origine
 - Chez l'être humain, par exemple, un gamète doit recevoir un chromosome provenant de chacune des 23 paires

Méiose - Définition

Transformation d'une cellule mère (via une double division) en quatre cellules filles qui ne contiennent que la moitié des chromosomes de la cellule mère.

Chaque cellule fille reçoit un homologue de chaque paire qui était, au départ, dans la cellule mère.

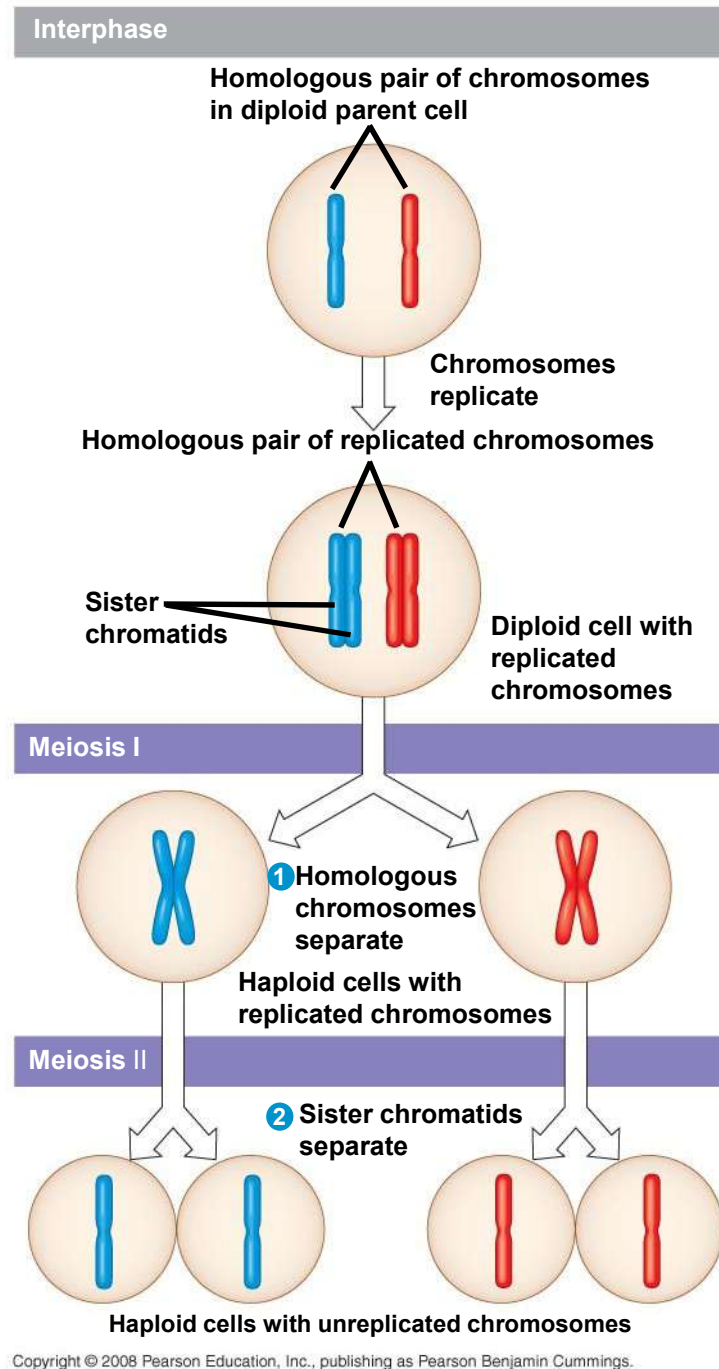


Exemple de la spermatogénèse

Les deux chromosomes homologues de chaque paire se répliquent et deviennent 2 chromosomes doubles.

La première division sépare chaque paire d'homologues.

La deuxième division sépare chaque chromosome double (le ramène à l'état simple).



Interphase

2 chromosomes

$$2n = 2$$

$$n = 1$$

Méiose I

Division

réductionnelle

1 chromosome

Le nombre de chromosome est réduit de moitié.

Méiose II

Division

équationnelle

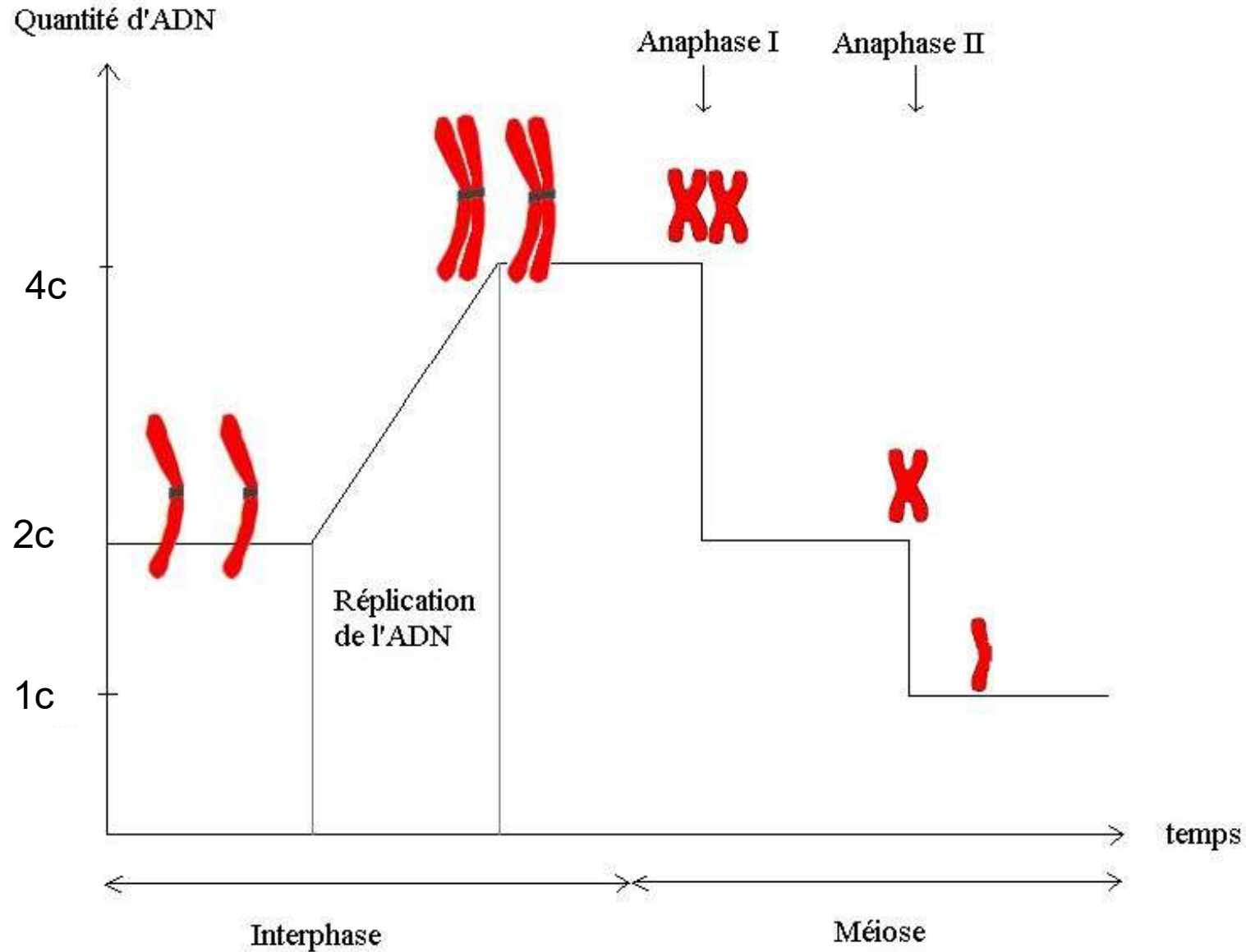
1 chromosome

On garde le même nombre de chromosomes.

MEIOSE

- Comme la mitose, la méiose commence après l'interphase du cycle cellulaire
- Contrairement à la mitose, méiose comporte deux divisions successives
- Ces divisions successives sont appelés méiose I (division **réductionnelle**) et méiose II (division **équationnelle**)
 - Chaque division méiotique est subdivisée en
 - Prophase
 - Prométaphase
 - Métaphase
 - Anaphase
 - Télophase

Evolution de la quantité d'ADN par cellule



MEIOSE I

- **Pour la méiose, assurez-vous que vous distinguez :**
 - **Bivalents**
 - **dyades**
 - **Tetrades**
 - **Chromosomes**
 - **Chromatides**

Notez à chaque étape le nombre de chromatides sœurs par chromosome.

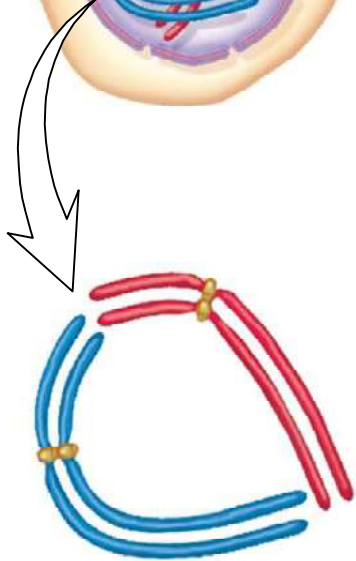
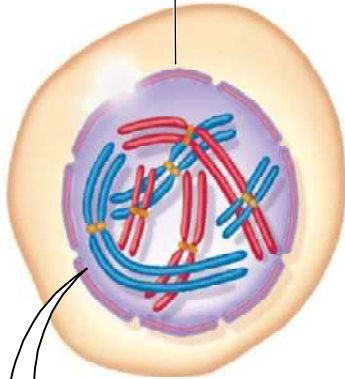
MEIOSE I

- La Prophase I est encore subdivisé en cinq étapes connues sous le nom
 - Leptotène
 - Zygotène
 - Pachytène
 - Diplotène
 - Diakinèse

STADES DE LA PROPHASE DE LA MEIOSE I

LEPTOTENE

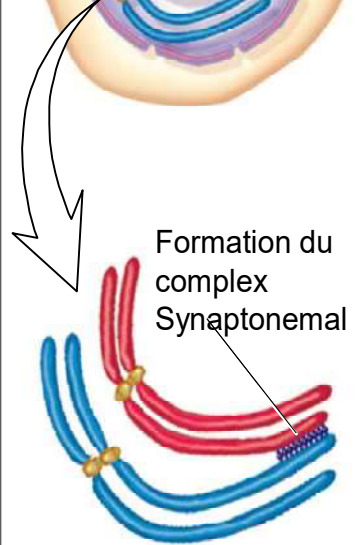
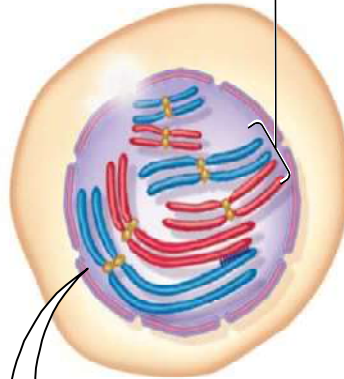
membrane
nucleaire



Les chromosomes
Repliés se condense.

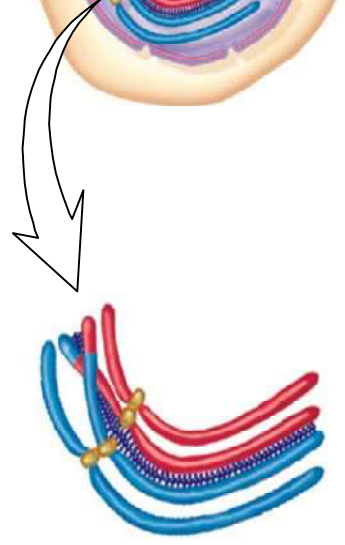
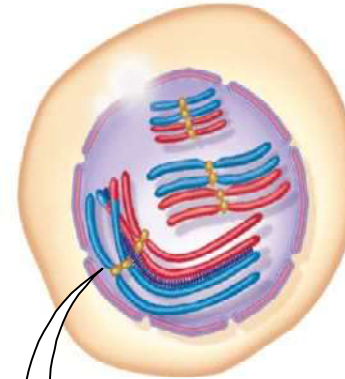
ZYGOTENE

Formation
des
Bivalents



Debut de Synapse.

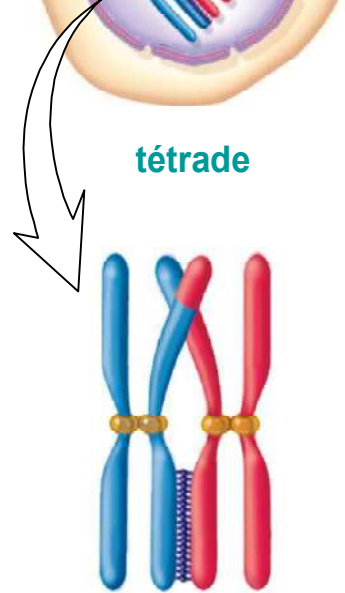
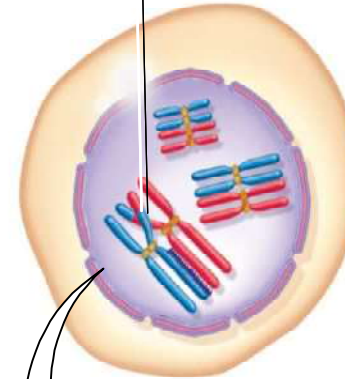
PACHYTENE



Les bivalents sont formés
et le crossing commence.

DIPLTENE

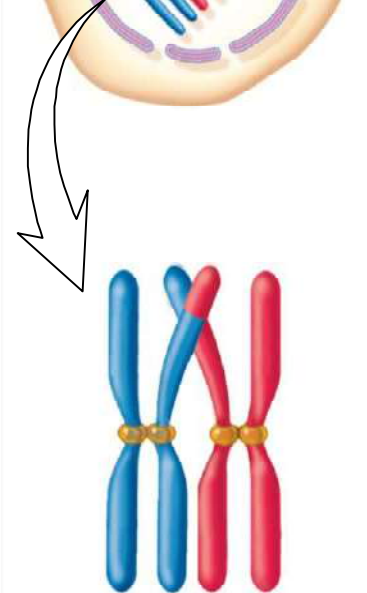
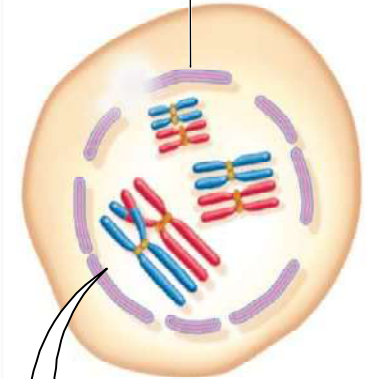
Chiasma



Dissociation du
Complex Synaptonemal

DIACINESE

Fragmentation de
membrane nucleaire



Fin de la prophase I

Prophase I méiotique :

Leptotène

Chromosomes commencent à se condenser, dyades (chromosomes répliqués) homologues d'abord deviennent visibles sous forme de chaînes linéaires d'ADN

Zygotène

Les chromosomes se condensent de plus. Les paires de chromosomes homologues et leurs chromatides commencent à former le synapse.

Pachytène

Synapse est complétée par les chromosomes formant tétrades. Le **Crossover** se déroule. Les chromosomes Synapsés s'épaissent.

Diploptère

Les chromosomes se condensent de plus. La dissociation de synapses commence. Les chromatides des chromosomes homologues restent connectées au **chiasmas** où le cross-over a pu se produire.

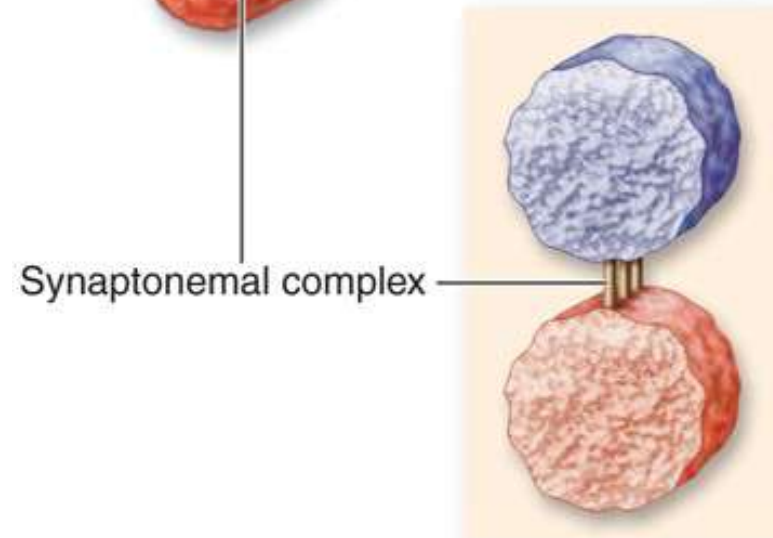
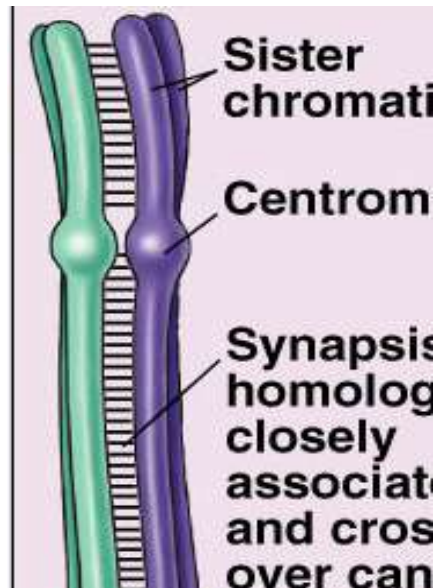
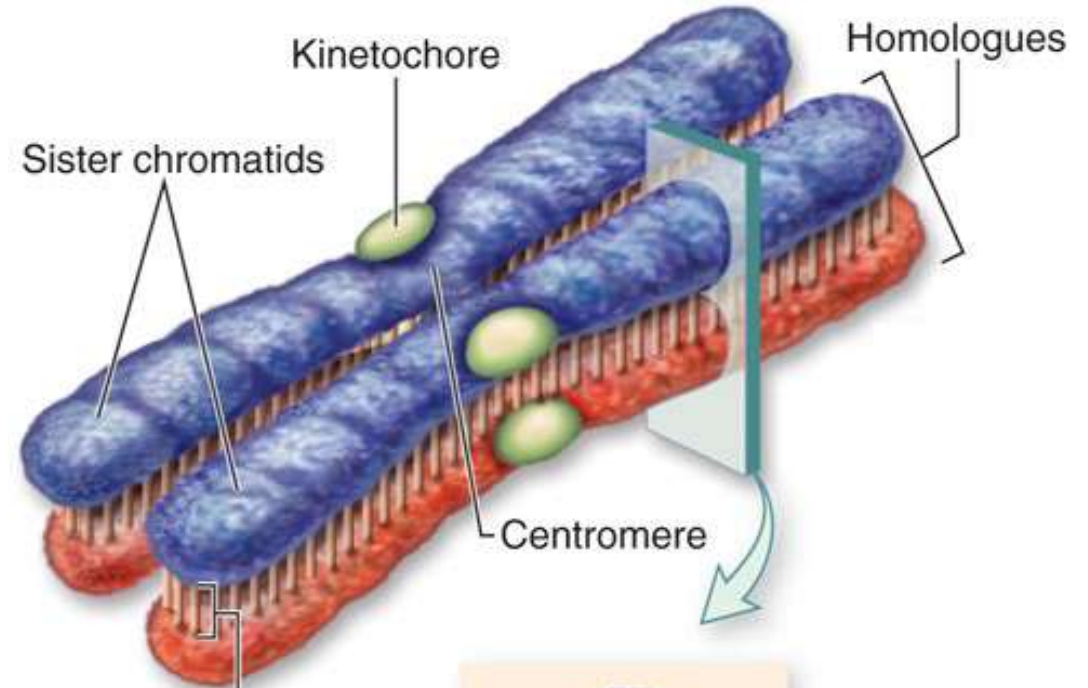
Diakinèse

Les chromosomes se condensent encore plus. Les tétrades forment des formes comme des croix. Les chiasmas se déplacent vers les extrémités des chromatides des chromosomes homologues (appelés terminalisation). Dissociation des synapses est finalement terminée et les homologues séparés les uns et les autres

Le Complexe synaptonémal:

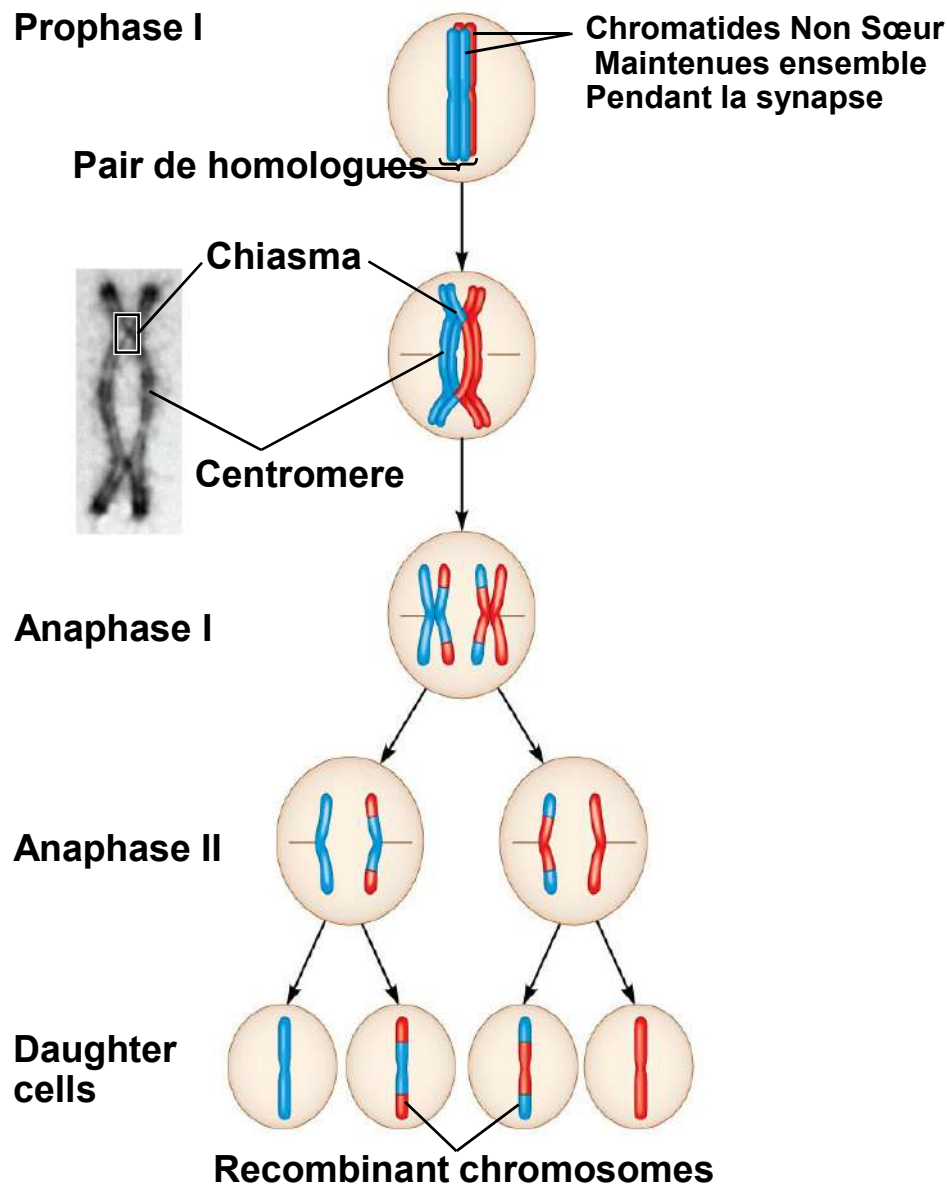
- Formé entre les chromosomes homologues
- Peut ne pas être nécessaire pour l'appariement
- Le rôle précis est mal connu

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



a.

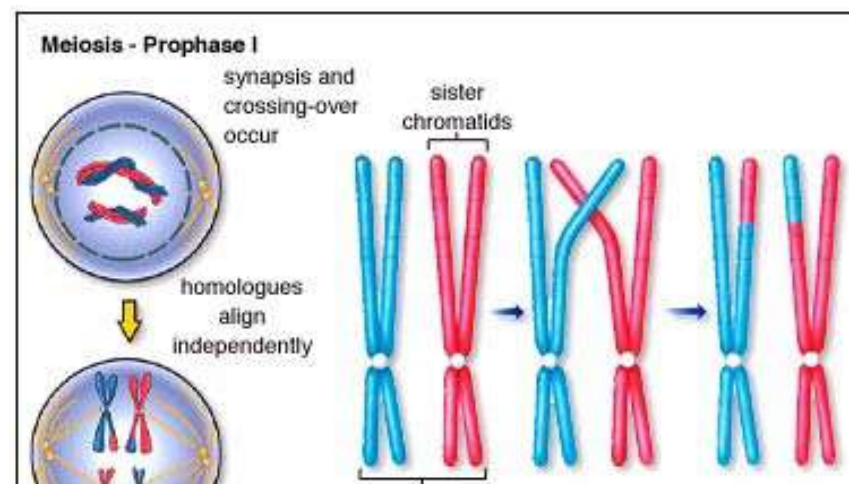
Crossing Over (recombinaison)



- Le crossing over produit des **chromosomes recombinants**, qui combinent l'ADN hérité de chaque parent
- Commence très tôt dans la prophase I, comme les chromosomes homologues s'apparient
 - Des portions homologues de deux chromatides non-sœurs sont échangées
- Contribue à la variation génétique en combinant l'ADN de deux parents dans un seul chromosome

Crossing Over (recombinaison)

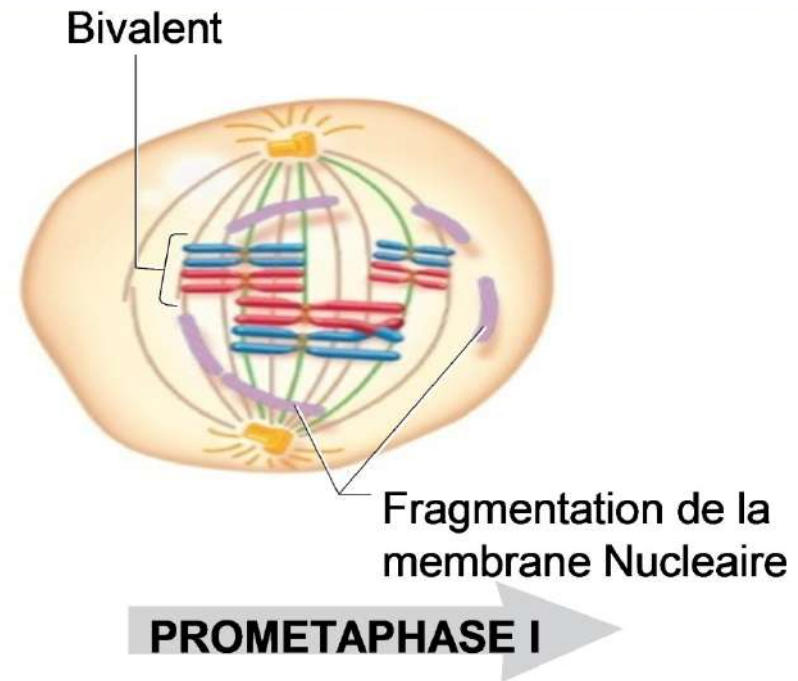
- Les segments qui sont échangés sont similaires en séquence et sont sur les mêmes emplacements de chaque chromosome
- La région croisée est appelée **chiasma** - région où les deux chromosomes sont reliés physiquement
 - chaque tétrade a généralement plus d'un chiasma
- Nécessite une enzyme appelée une **recombinase**
- Principale source de **variation génétique**



MEIOSE I

Prométaphase I

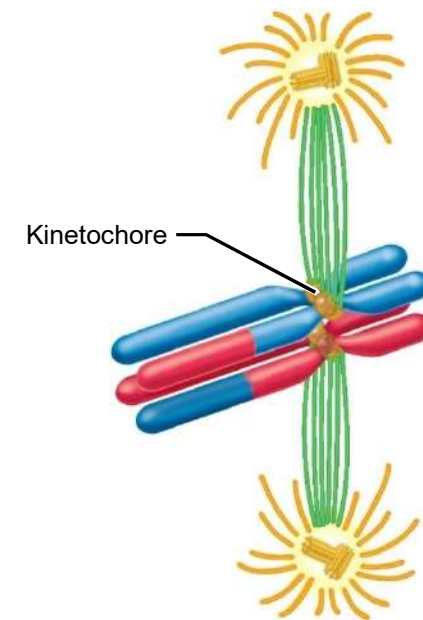
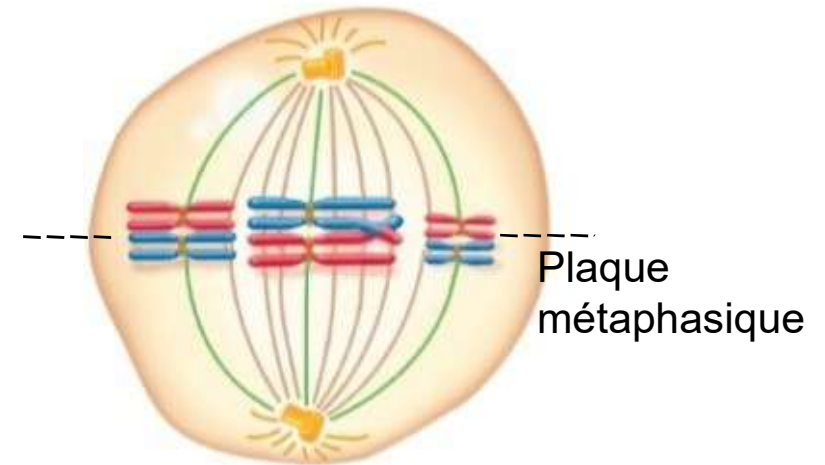
- Les microtubules kinétochoriens s'attachent aux chromosomes. Il y a deux kinétochores par chromosome, sur le centromère toujours, mais à la différence d'une mitose, ils ne sont pas diamétralement opposés, mais côte à côte (de manière à séparer uniquement les chromosomes homologues). Il faut savoir que chez les mammifères, il n'y a pas juste un seul microtubule par kinétochore mais entre 15 et 40.



MEIOSE I

Métaphase I

- Les bivalents sont organisés le long de la plaque métaphasique
 - Les paires de chromatides sœurs sont alignés dans une double rangée, plutôt que d'une seule ligne comme dans la mitose
 - L'arrangement est aléatoire par rapport aux homologues (bleu et rouge)
 - En outre
 - Une paire de chromatides sœurs est liée à l'un des pôles
 - Et la paire homologue est relié au pôle opposé

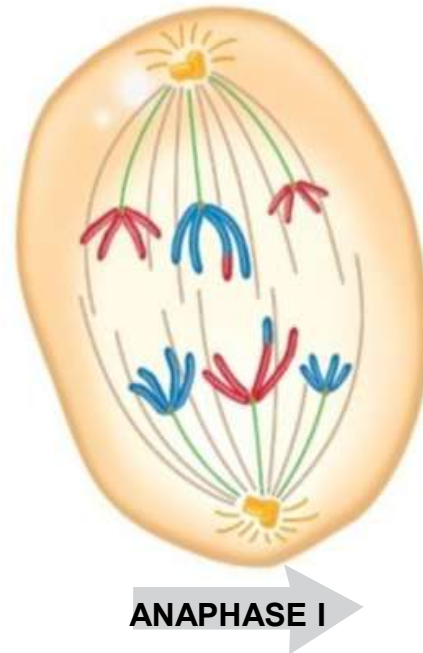


MEIOSE I

Anaphase I

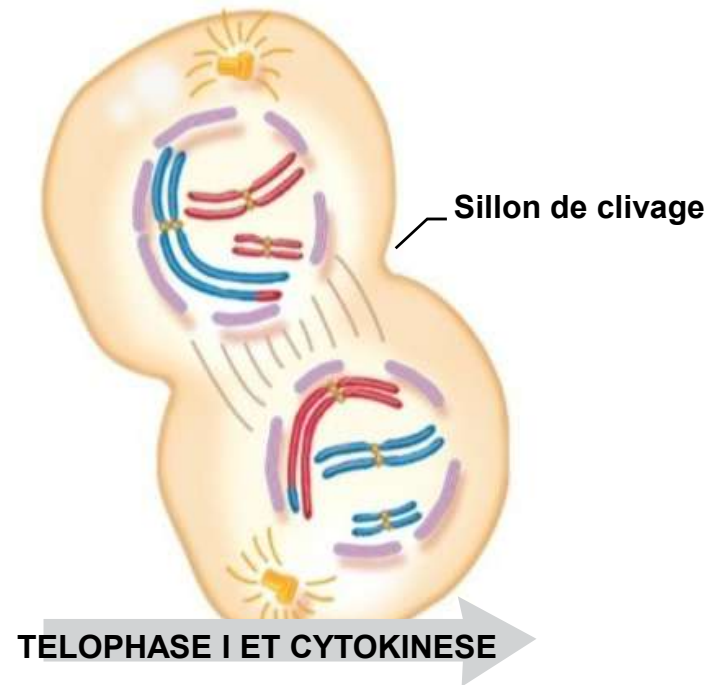
Les deux paires de chromatides sœurs se séparent les unes des autres.

Cependant, la connexion qui retient les chromatides sœurs ensemble ne casse pas.



Télophase I et cytokinèse

Les chromatides sœurs atteignent leurs pôles et decondense respectifs. réforme de l'enveloppe nucléaire pour produire deux noyaux distincts.



Méiose: Interkinèse (interphase 2)

- Méiose I est suivi par cytokinèse puis par méiose II
 - Interkinèse varie en longueur
 - Pas de phase S (pas de réplication de l'ADN)
 - généralement brève
- Les événements qui se produisent lors de la méiose II sont semblables à celles qui se produisent au cours de la mitose
- Toutefois, le point de départ est différent:
 - Pour un organisme diploïde avec 6 chromosomes
 - Mitose commence avec 12 chromatides comme six paires de chromatides sœurs
 - Méiose II commence avec 6 chromatides jointes comme trois paires de chromatides sœurs

MEIOSE II

Prophase II

Les deux centrioles de chacune des nouvelles cellules s'écartent l'un de l'autre et un nouveau fuseau de division se forme. Chaque chromosome se lie maintenant au fuseau et amorce son déplacement vers la plaque.

Prométaphase II

Le même que pour la mitose : les microtubules kinétochoriens s'attachent au kinétochores, à raison d'un kinétochore par chromatide, de part et d'autre du centromère

Métaphase II

Tout les chromosomes se trouvent maintenant à l'équateur du fuseau.

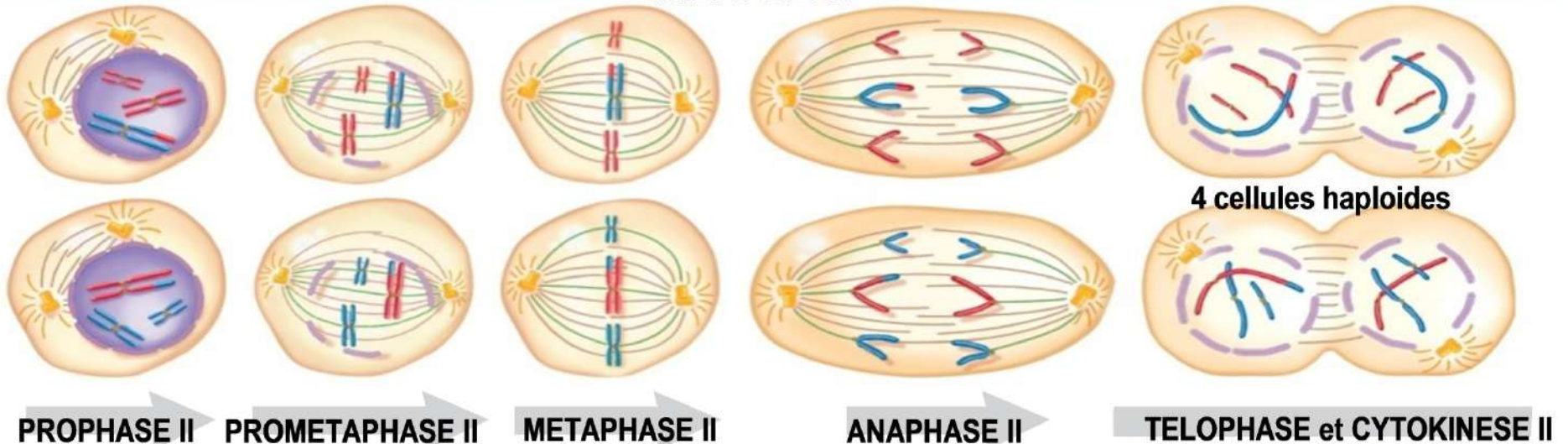
Anaphase II

Les chromatides sœurs de chaque chromosome double se séparent l'une de l'autre formant ainsi des chromosomes simples. Ceux-ci se déplacent vers l'un ou l'autre des pôles.

Télophase II et cytokinèse

Quatre noyaux fils se forment. Après la division du cytoplasme, chaque nouvelle cellule est haploïde (n) et le nombre de chromosomes a été réduit de moitié. Chacune de ces cellules peut devenir un gamète.

MEIOSE II



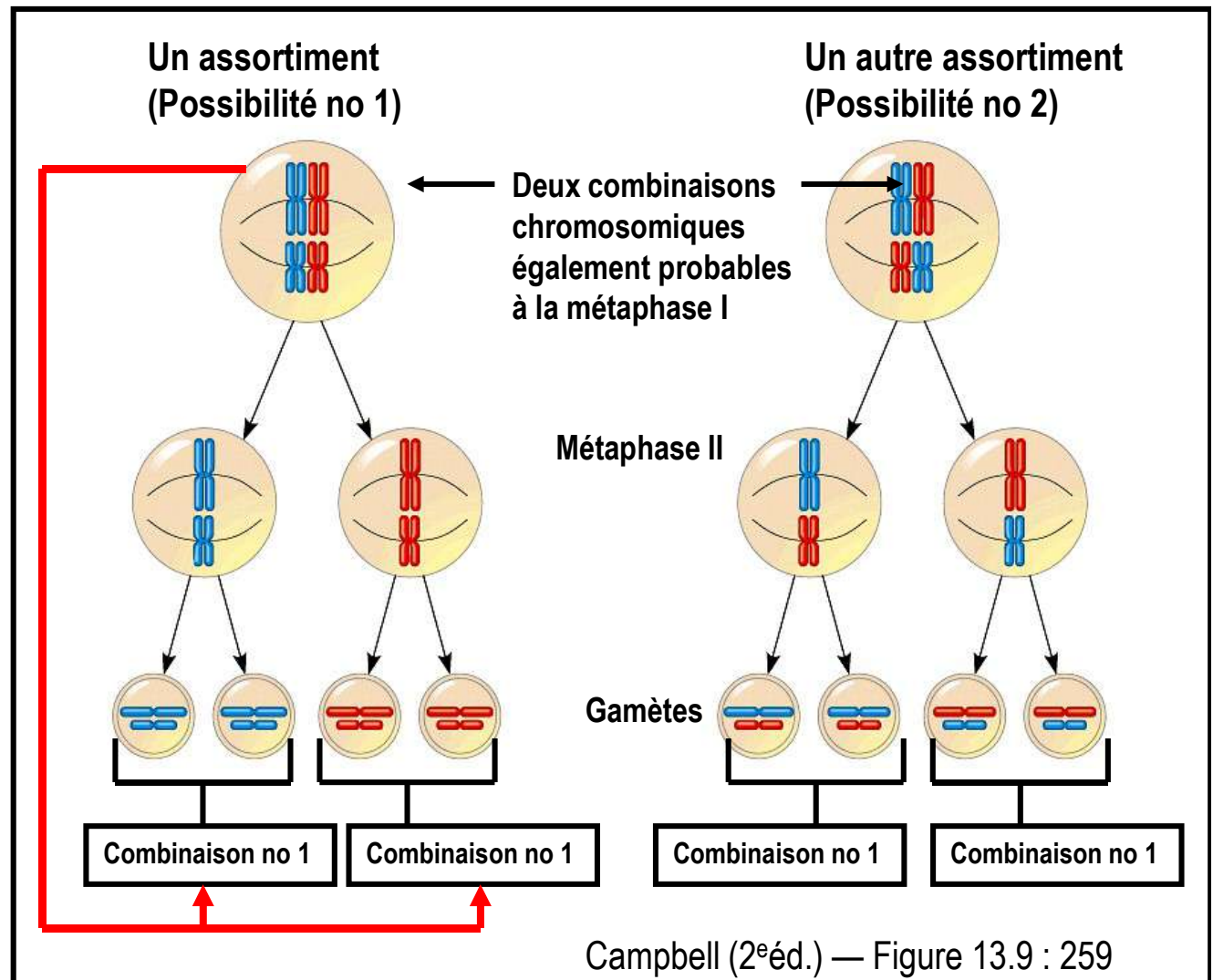
En métaphase 1, les assortiments indépendants mélangent les chromosomes

Les paires homologues se disposent de façon aléatoire de part et d'autre de la plaque équatoriale et ce, de façon indépendante des autres paires. Ainsi, l'un ou l'autre des (2) homologues peut se retrouver dans un gamète.

Chaque disposition équivaut à un assortiment et chaque assortiment produit deux sortes de gamètes.

On peut facilement calculer le nombre possible d'assortiments différents et le nombre de gamètes résultant.

2^{n-1} assortiments possibles produisent 2^n sortes de gamètes où n est le nombre de paires



- Pour AaBb: # gametes = $2^2 = 4$

AB

Ab

aB

Ab

- Pour AaBbCc: # gametes = $2^3 = 8$

ABC

ABc

AbC

Abc

aBC

aBc

abC

abc