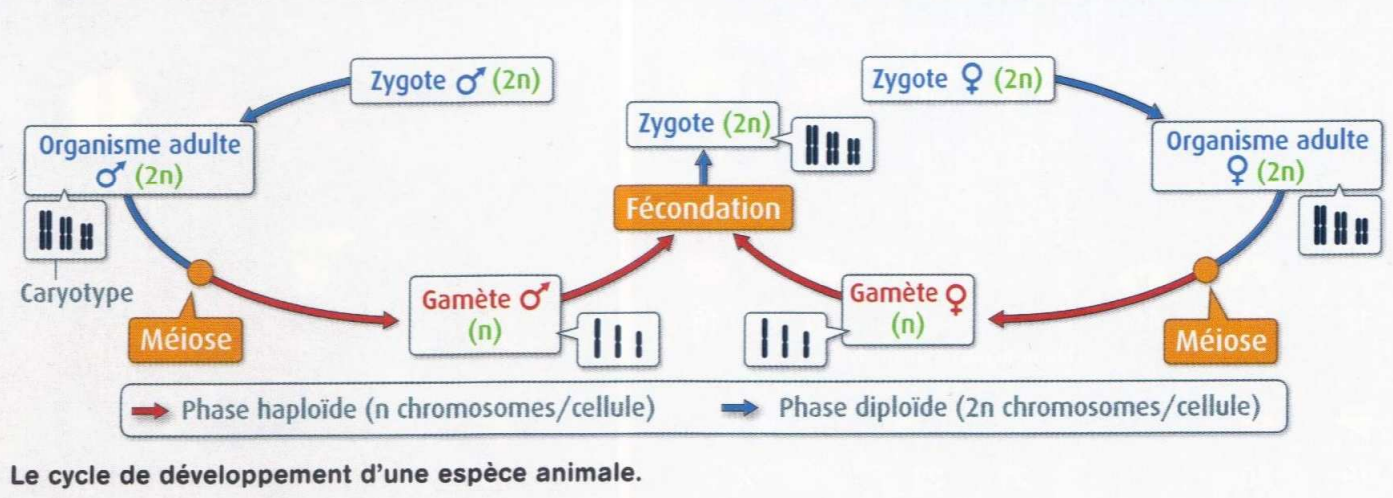


# Brassage génétique et diversification des génomes

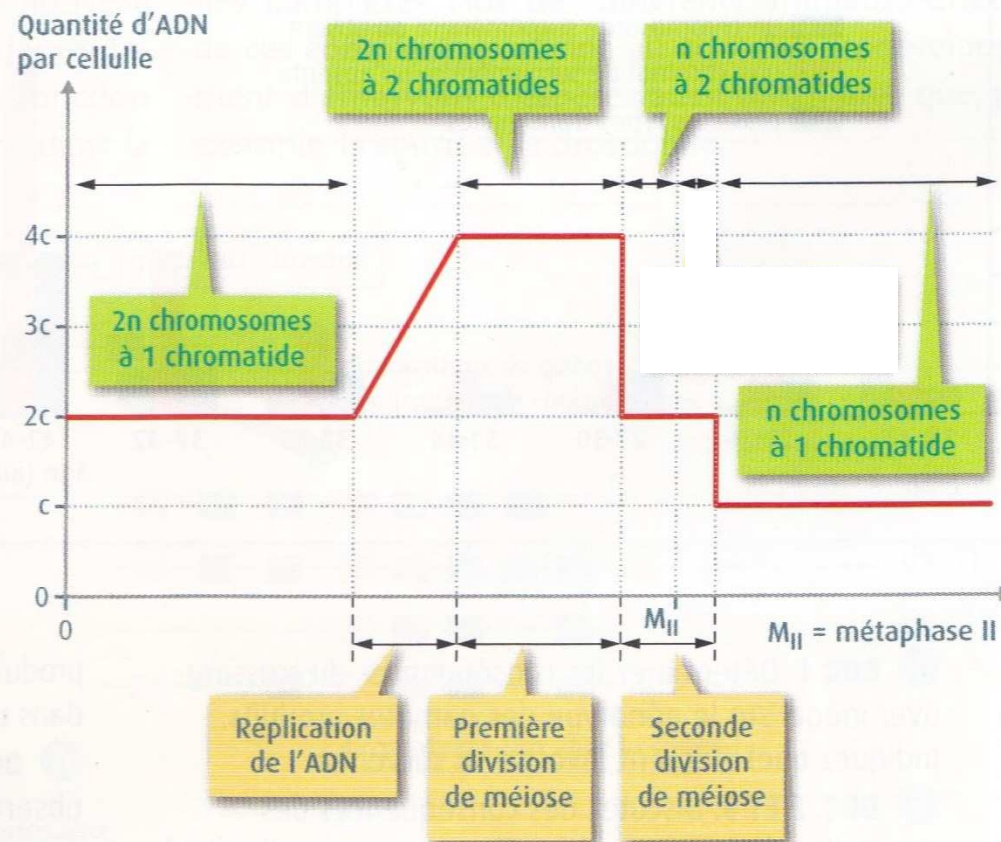
## 1) Reproduction sexuée et stabilité de l'espèce

- Chez les animaux, les **cellules somatiques** possèdent des paires de chromosomes homologues (=  $2n$  chromosomes): elles sont dites diploïdes. Les cellules reproductrices, ou gamètes (qui font partie des **cellules germinales**), possèdent un seul lot de chromosomes (=  $n$  chromosomes): elles sont dites haploïdes. Au sein d'une espèce, le nombre  $n$  est identique chez tous les individus.
- Le **cycle de développement** décrit l'enchaînement des phases de la vie des individus d'une espèce donnée depuis leur naissance jusqu'à leur reproduction. L'étude du cycle de développement de différentes espèces animales à **reproduction sexuée** montre que le caryotype des gamètes et des cellules somatiques des représentants de l'espèce est maintenu d'une génération à l'autre.
- Cette stabilité du caryotype au fil des générations est assurée par l'alternance, au cours du cycle de développement, de deux processus biologiques complémentaires: la méiose permet de passer de la phase diploïde à la phase haploïde, alors que la fécondation permet de passer de la phase haploïde à la phase diploïde.



## 2) Les mécanismes de la méiose

- La **méiose** est une succession de deux divisions cellulaires particulières, permettant d'obtenir 4 cellules filles haploïdes à partir d'une cellule mère diploïde.
- Au cours de la première division de méiose, qui est précédée d'une phase de réplication de l'ADN, les **chromosomes homologues** de chaque paire s'associent étroitement, puis sont séparés et répartis dans deux cellules filles.
- La seconde division de méiose s'engage sans réplication préalable de l'ADN. Elle assure la séparation des chromatides de chaque chromosome et leur répartition dans les quatre cellules filles. Ces dernières seront à l'origine des gamètes.

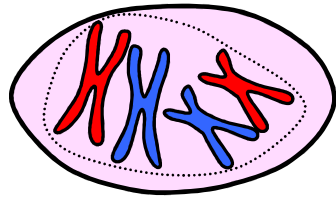


Évolution de la quantité d'ADN et des caractéristiques des chromosomes dans une cellule au cours de la méiose.

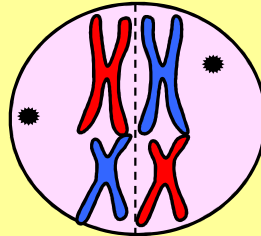
Tableau récapitulatif des évènements cytologiques de la méiose.

|   |  |   |   |  |   |   |   |   |
|---|--|---|---|--|---|---|---|---|
| <p><b>Diagramme de variation de la quantité d'ADN</b></p> |  |   |   |  |   |   |   |   |
| <p><b>Schémas</b></p>                                     |  |   |   |  |   |   |   |   |
| <p><b>Description rapide</b></p>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Condensation des chromosomes</li> <li>• Disparition de l'enveloppe nucléaire</li> <li>• Appariement des chromosomes homologues</li> </ul> | <p>Les paires de chromosomes se placent sur le plan équatorial qui définit la plaque métaphasique</p> | <p>Les chromosomes homologues de chaque paire se séparent et migrent à un pôle. Le hasard entraîne un brassage interchromosomique</p> | <p>Le cytoplasme commence sa division et donne naissance à 2 cellules filles haploïdes à chromosomes bichromatidiens</p> | <p>Chaque chromosome se place perpendiculairement à la 1<sup>ère</sup> division</p> | <p>Chaque chromosome bichromatidien se place sur le nouveau plan équatorial</p> | <p>Dans chaque cellule fille, les chromatides de chaque chromosome se séparent et migrent à un pôle</p> | <p>Dans chaque cellule fille apparaît une cloison médiane qui donne naissance à 4 cellules filles haploïdes à chromosomes monochromatidiens</p> |
| <p><b>Etape</b></p>                                       | <p><b>Prophase 1</b></p>   | <p><b>Métaphase 1</b></p>   | <p><b>Anaphase 1</b></p>  | <p><b>Téléphase 1</b></p>  | <p><b>Prophase 2</b></p>  | <p><b>Métaphase 2</b></p>   | <p><b>Anaphase 2</b></p>  | <p><b>Téléphase 2</b></p>   |

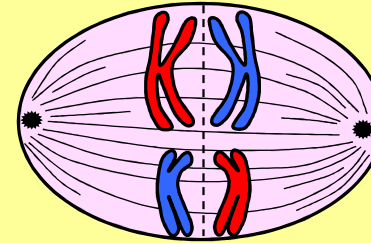
# Les transformations cytologiques lors de la méiose



Cellule après mitose  
1 cellule  $2n = 4$ , bichromatidiens

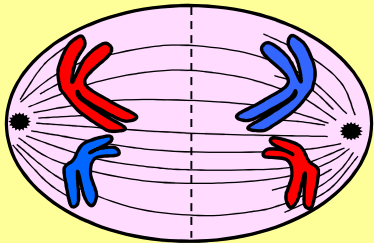


Prophase 1

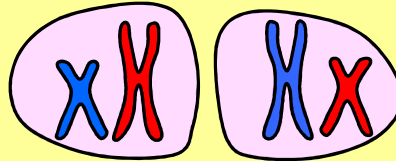


Métaphase 1

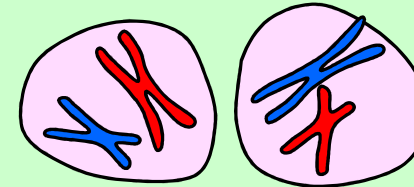
1<sup>ère</sup>  
division de  
méiose



Anaphase 1

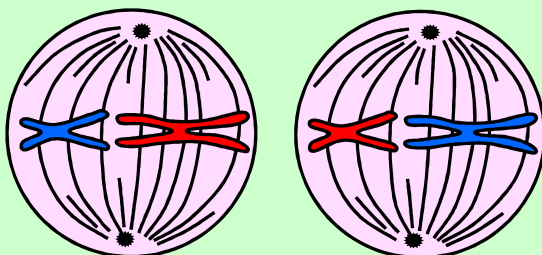


Télophase 1  
2 cellules  $n = 2$ , bichromatidiens

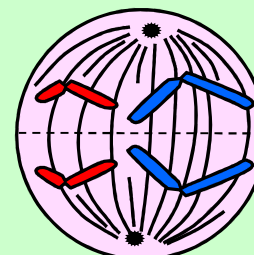


Prophase 2

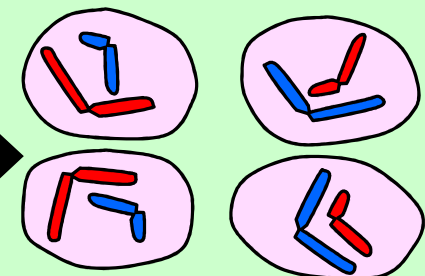
2<sup>nde</sup>  
division de  
méiose



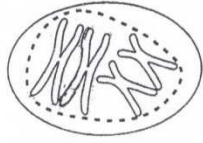
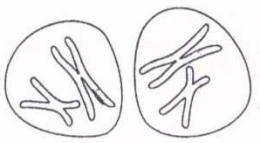
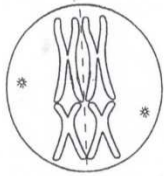
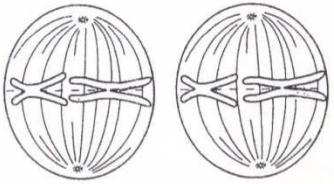
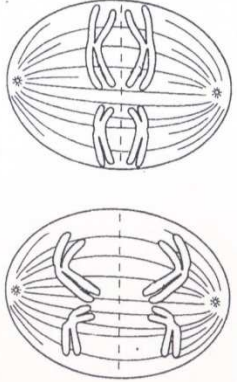
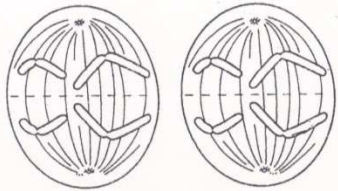
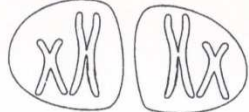
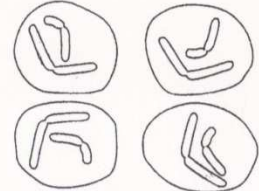
Métaphase 2


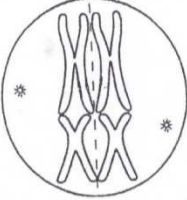
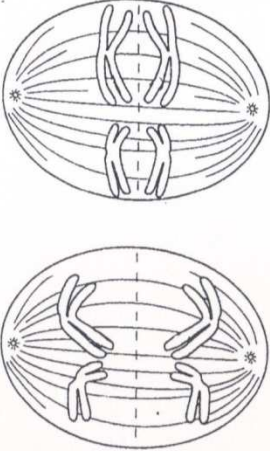
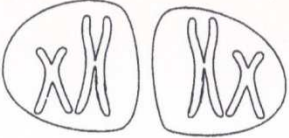


Anaphase 2

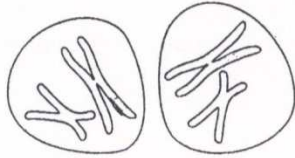


Télophase 2  
4 cellules  $n = 2$ , monochromatidiens

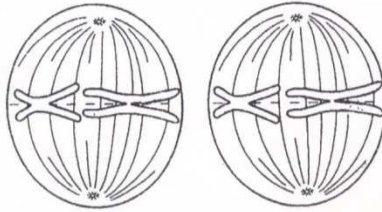
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| <p>PROPHASE</p>     |  | <p>PROPHASE</p>     |  |
| <p>METAPHASE</p>    |  | <p>META-PHASE</p>   |  |
| <p>ANAPHASE</p>    |  | <p>ANA-PHASE</p>    |  |
| <p>TELOPHASE</p>  |  | <p>TELOPHASE</p>  |  |

|   |  |
|---|--|
| <p>PROPHASE</p>     |  |
| <p>METAPHASE</p>    |  |
| <p>ANAPHASE</p>    |  |
| <p>TELOPHASE</p>  |  |

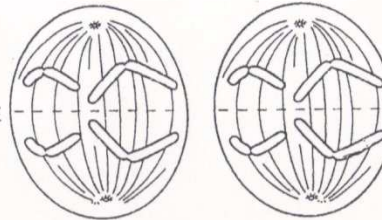
PROPHASE



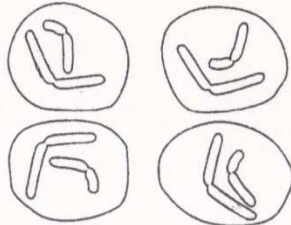
META-  
PHASE



ANA-  
PHASE



TELOPHASE

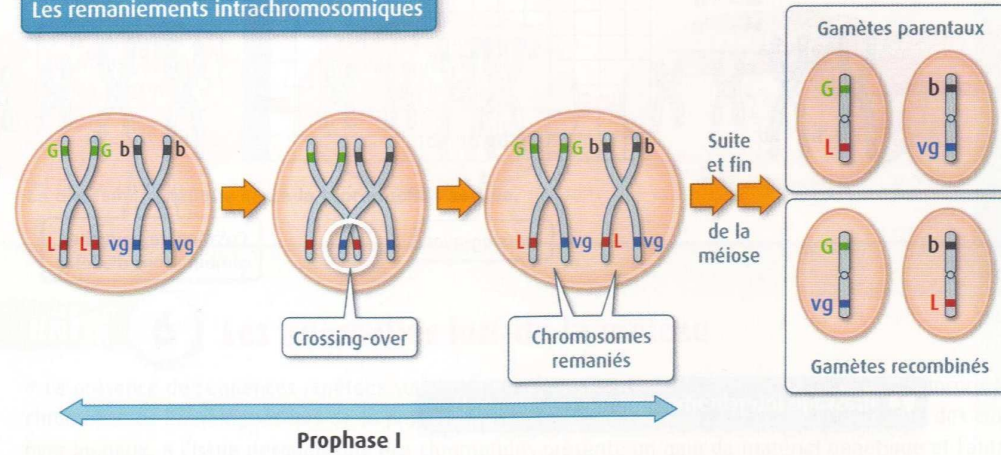


### 3) Des remaniements intrachromosomiques au cours de la méiose

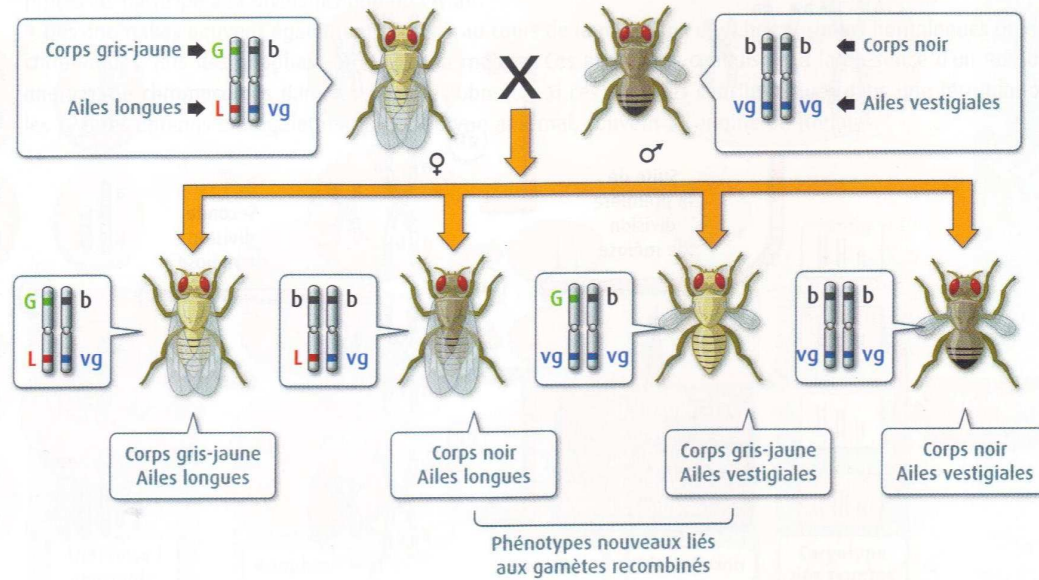
- Dans des cellules en prophase I de méiose, on observe les chromosomes homologues étroitement appariés : leurs chromatides s'enchevêtrent et forment des figures appelées **chiasmata**.
- Au niveau des chiasmata, des échanges de fragments de chromatides peuvent se produire entre chromosomes homologues : c'est le phénomène de **crossing-over** (ou **enjambement**). De nouvelles combinaisons d'allèles apparaissent alors sur les chromatides remaniés : on parle de **remaniements intrachromosomiques**.
- Chez un individu **hétérozygote** pour deux gènes portés par un même chromosome, les crossing-over sont à l'origine de l'apparition de gamètes dits recombinés. Ces gamètes sont mis en évidence grâce à un croisement-test (croisement entre l'individu étudié et un individu **homozygote** pour les allèles **récessifs** des deux gènes). Les gamètes recombinés, en proportion minoritaire, sont à l'origine des descendants ayant un phénotype différent de leurs parents dans le croisement-test.



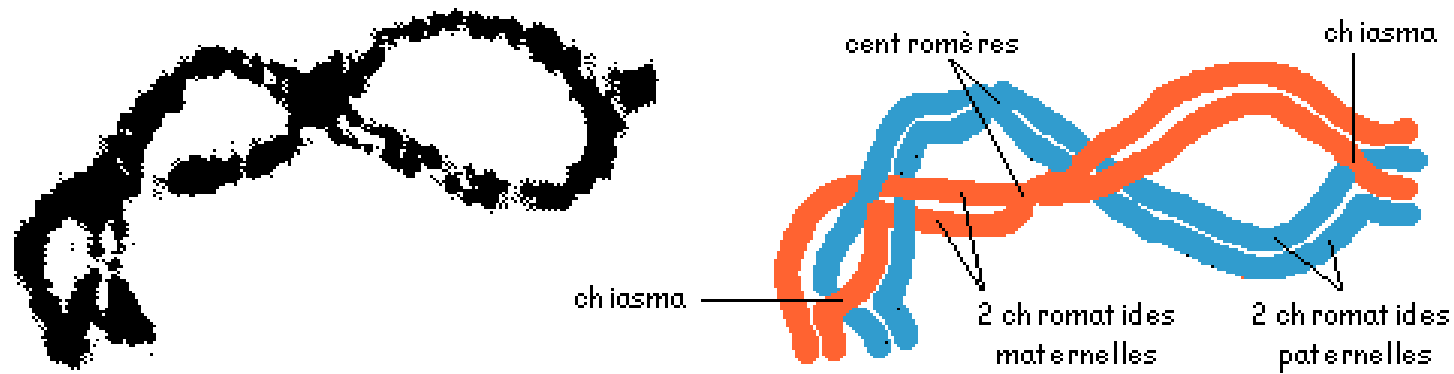
### Les remaniements intrachromosomiques



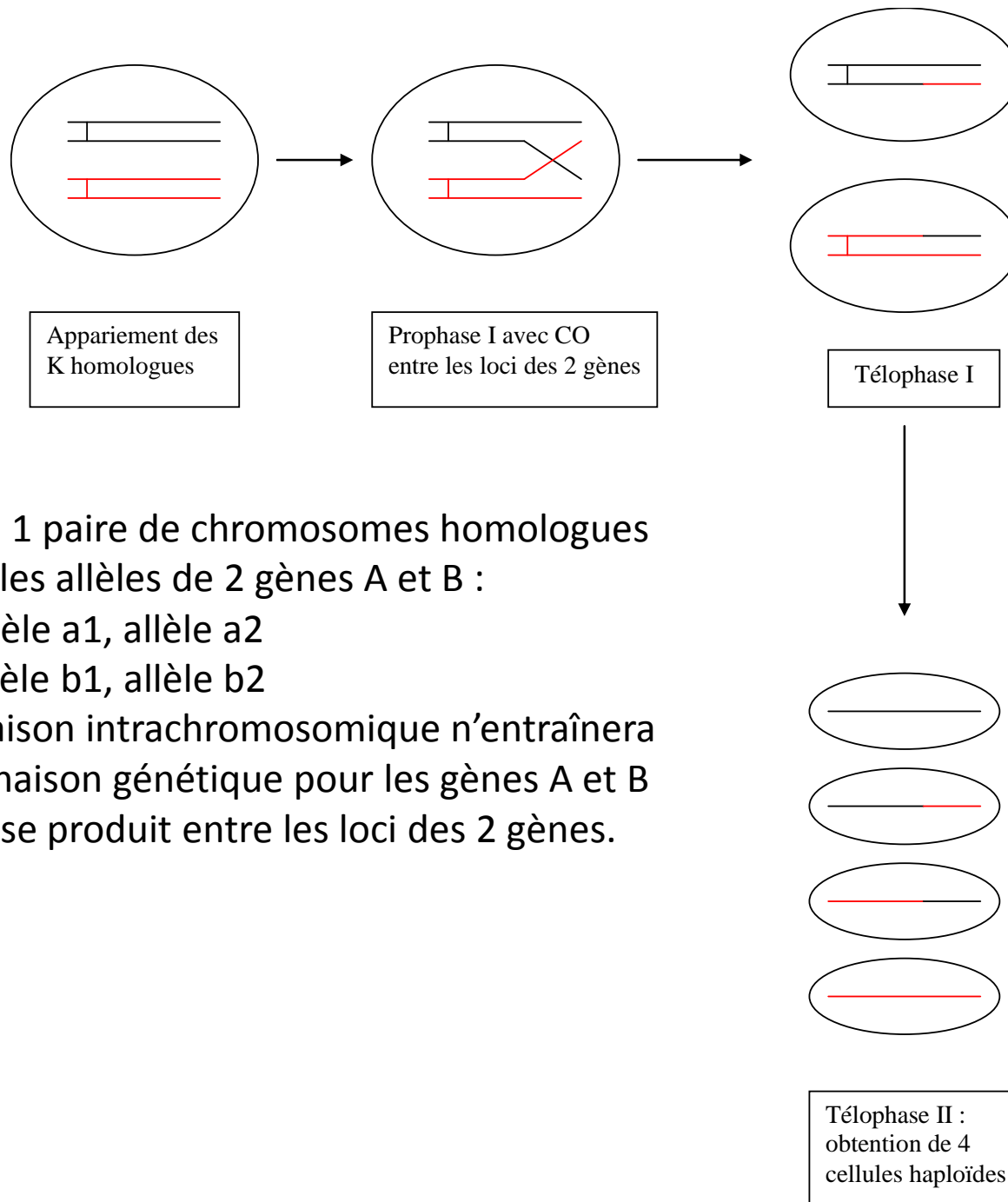
### Mise en évidence des remaniements par croisement-test



**Les remaniements intrachromosomiques lors de la méiose et leur mise en évidence par un croisement-test.** On considère les deux gènes étudiés p. 22: « couleur du corps » (allèles *G* ou *g*) et « taille des ailes » (allèles *L* ou *l*).



CHIASMES VISIBLES ENTRE DEUX CHROMOSOMES HOMOLOGUES D'UN BIVALENT  
EN PROPHASE I DE MEIOSE



On considère 1 paire de chromosomes homologues différent par les allèles de 2 gènes A et B :

Gène A → allèle a1, allèle a2

Gène B → allèle b1, allèle b2

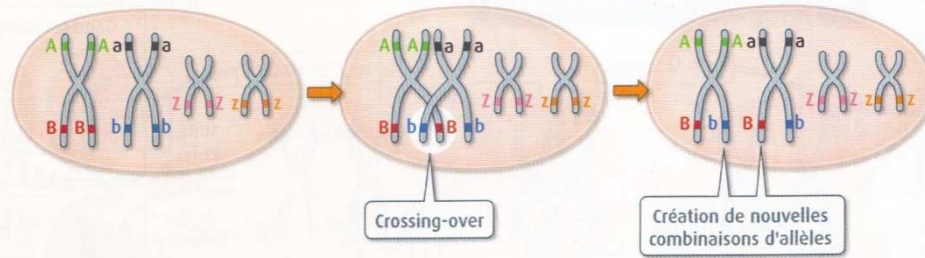
La recombinaison intrachromosomique n'entraînera une recombinaison génétique pour les gènes A et B que si un CO se produit entre les loci des 2 gènes.

- Un gamète produit par un individu est dit parental lorsqu'il possède l'association d'allèles des gènes considérés identique à celle du gamète que l'individu a reçu de l'un de ses parents.
- Il est dit recombiné s'il possède une association d'allèles différente de celle du gamète que l'individu a reçu de chacun de ses parents.
- Les gamètes obtenus par brassage intrachromosomique sont produits en quantités inégales. Les gamètes parentaux sont beaucoup plus nombreux que les gamètes recombinés.

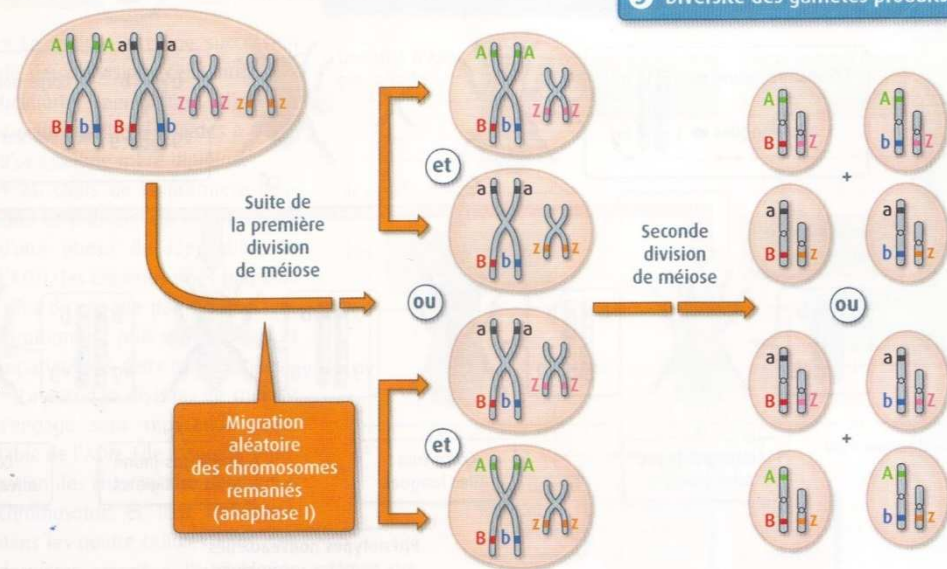
## 4) Le brassage génétique lors de la méiose

- Lors de l'anaphase I de méiose, chaque chromosome d'une paire de chromosomes homologues peut migrer aléatoirement, et de façon indépendante pour chaque paire, vers l'un ou l'autre des pôles de la cellule. Il y a ainsi un brassage des chromosomes homologues dans les cellules filles: on parle de **brassage interchromosomique**.
- Le brassage interchromosomique est mis en évidence par un croisement-test entre un parent hétérozygote pour deux gènes situés sur des chromosomes différents et un parent homozygote pour les allèles récessifs de ces gènes. Dans la descendance, des combinaisons phénotypiques qui n'étaient pas présentes chez les parents apparaissent. Le dénombrement des descendants montre que les différents phénotypes sont obtenus en proportions équivalentes, ce qui atteste bien du caractère aléatoire de la migration des chromosomes homologues.
- Les effets du brassage interchromosomique se combinent avec ceux des remaniements intrachromosomiques. Ils sont à l'origine de la formation de gamètes d'une diversité potentiellement infinie.

### 1 Remaniements intrachromosomiques (prophase I)



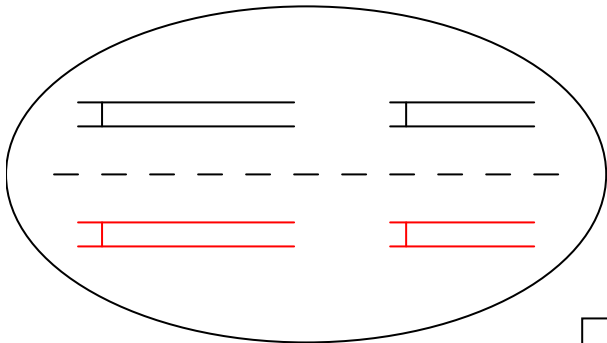
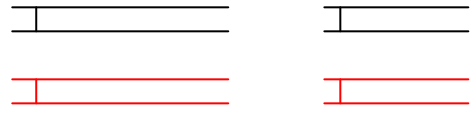
### 2 Brassage interchromosomique (anaphase I)



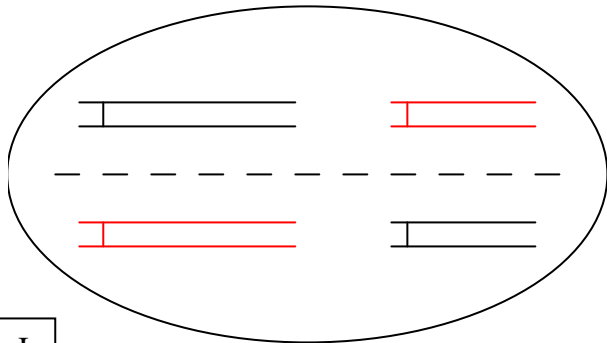
### 3 Diversité des gamètes produits

La combinaison des remaniements intrachromosomiques et du brassage interchromosomique lors de la méiose.

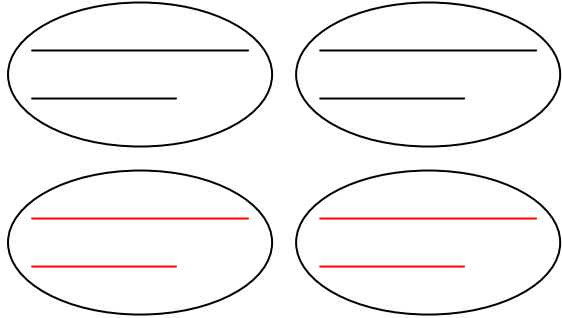
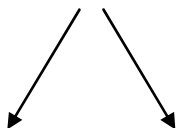
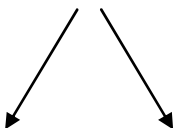
Soient 2 gènes A et B indépendants  
gène A : allèle a1, allèle a2  
gène B : allèle b1, allèle b2



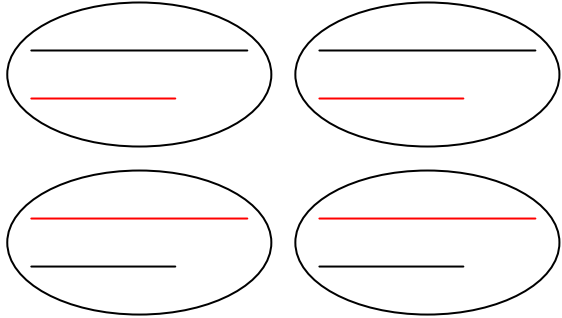
ou



Anaphase I



ou



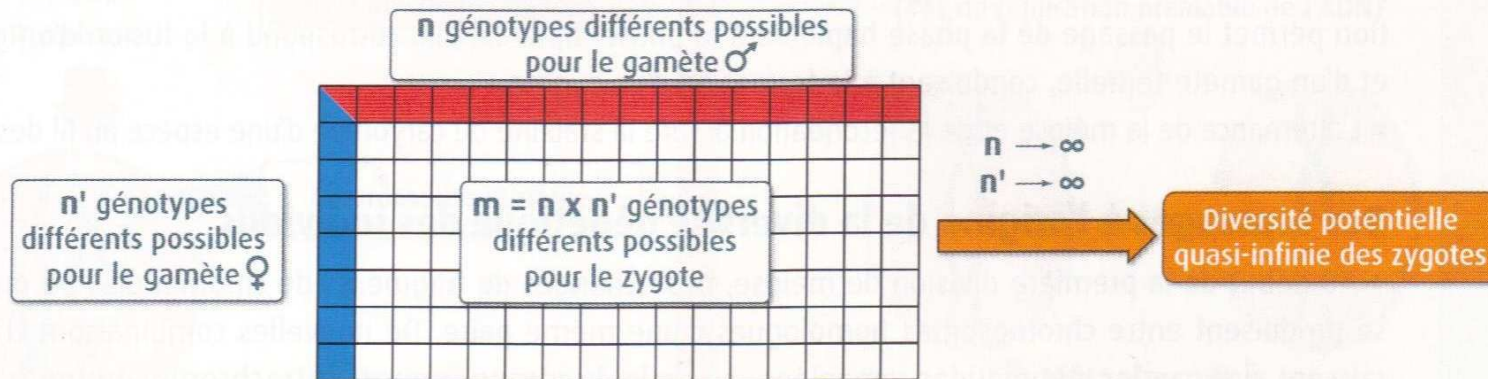
Télophase II

- Le brassage interchromosomique s'exerce sur des chromosomes toujours remaniés au préalable par le brassage intrachromosomique.
- Le comportement indépendant des paires de chromosomes homologues au cours de la méiose assure un brassage génétique (interchromosomique) qui amplifie considérablement le brassage intrachromosomique dû au crossing-over.



## 5) Le brassage génétique lors de la fécondation

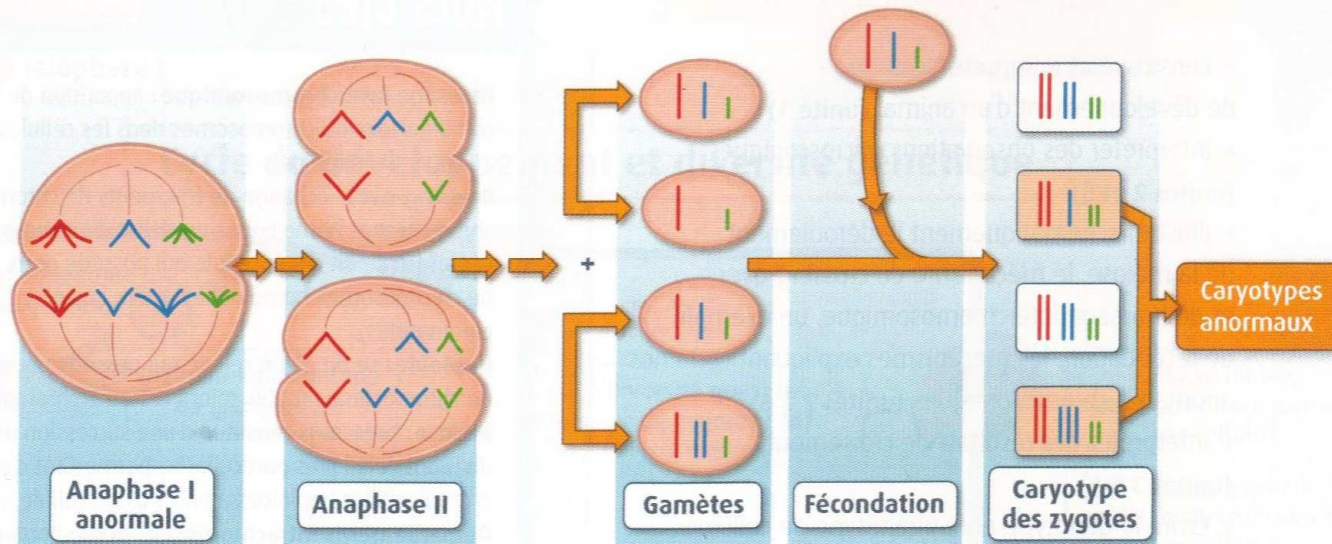
- L'observation microscopique d'une fécondation, chez la drosophile par exemple, montre l'union d'un gamète mâle et d'un gamète femelle. Une fois la méiose du gamète femelle achevée, les **pronuclei** (noyaux haploïdes) mâles et femelles se rejoignent et fusionnent, constituant ainsi un **zygote**. Celui-ci entre immédiatement en mitose et, une fois cette division cellulaire achevée, constitue l'embryon.
- La rencontre entre les gamètes mâle et femelle étant aléatoire, le matériel génétique du zygote est issu de l'union des matériels génétiques de deux gamètes tirés au sort parmi une quasi-infinité de gamètes possibles possédant chacun une combinaison d'allèles inédite pour les différents gènes du génome. Le zygote possède donc également une combinaison d'allèles inédite, ce qui participe à la diversité génétique des individus au sein de l'espèce.
- Seul un faible pourcentage des zygotes conduit à la naissance d'un individu, car le taux d'échec à chacune des étapes du développement de l'embryon est important.



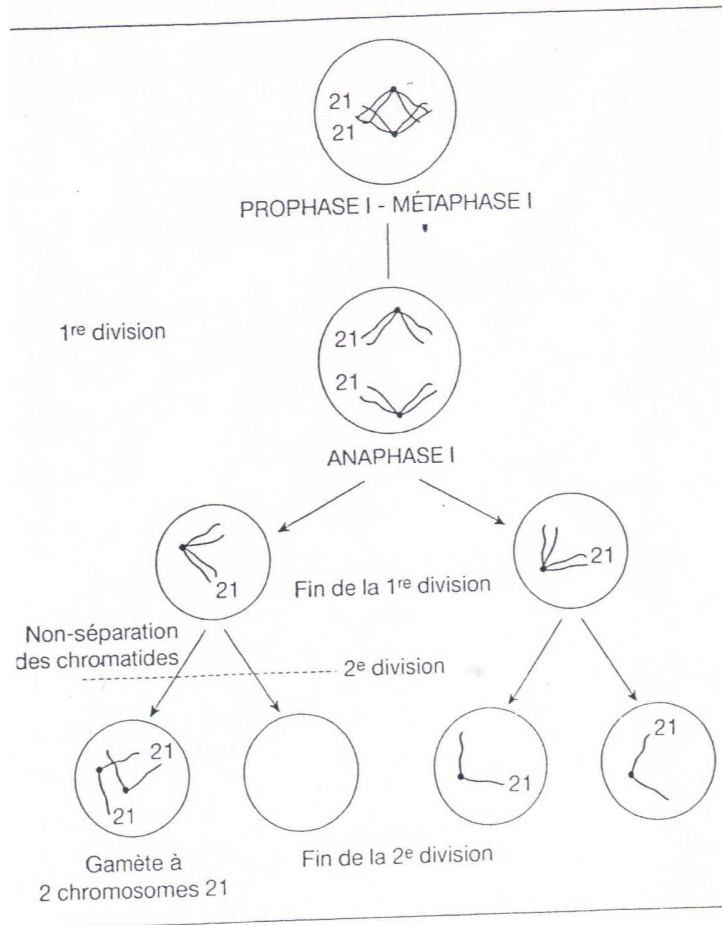
La diversité génétique liée à la reproduction sexuée.

## 6) Les anomalies lors de la méiose

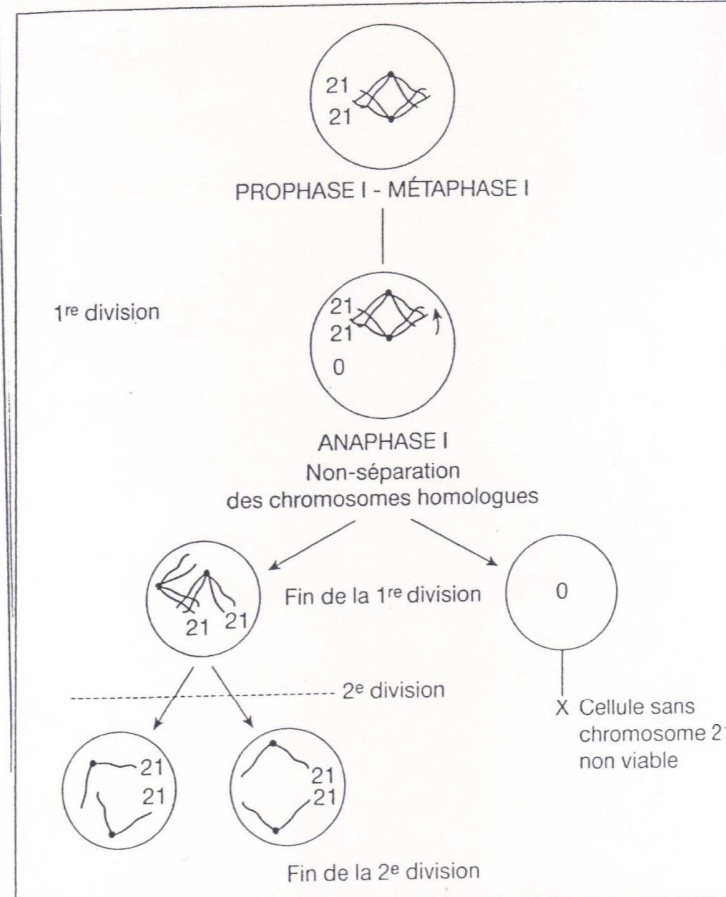
- La présence de séquences répétées sur un chromosome peut conduire à des appariements incorrects des chromosomes homologues lors de la prophase I de méiose. Ces chromosomes subissent alors des **crossing-over inégaux**, à l'issue desquels une des chromatides présente un gain de matériel génétique et l'autre une perte de matériel génétique. Ce mécanisme est à l'origine des duplications de gènes. Les différentes copies peuvent accumuler des mutations au cours de l'évolution et constituer ainsi des **familles multigéniques**. Ce processus participe à la diversification du vivant.
- Des anomalies peuvent également survenir au cours de la migration des chromosomes homologues ou des chromatides, lors des anaphases I et II de la méiose. Ces anomalies conduisent à la présence d'un nombre anormal de chromosomes dans les gamètes obtenus. Si ces gamètes sont impliqués dans une fécondation, les zygotes obtenus ont également un caryotype anormal, souvent à l'origine de troubles.



L'origine de quelques anomalies du caryotype.

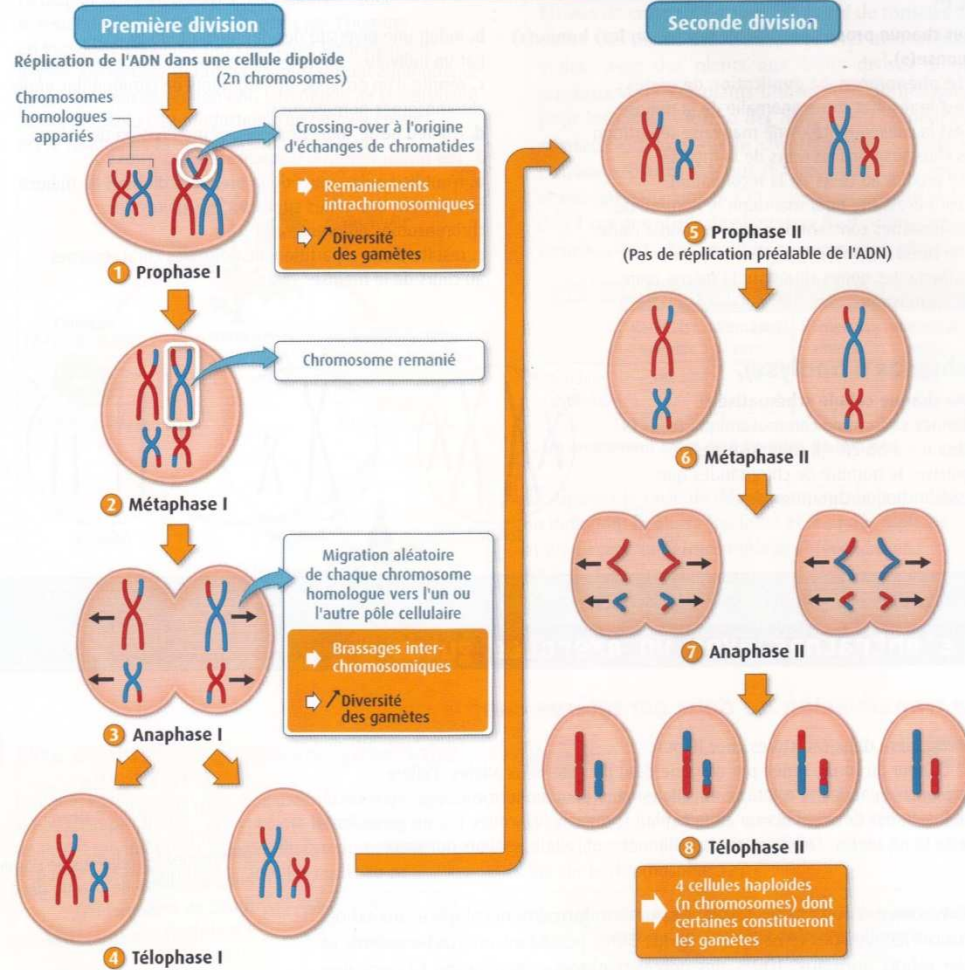


Anomalie durant la 2<sup>ème</sup> division de méiose : non disjonction des chromatides



Anomalie durant la 1<sup>ère</sup> division de méiose : non séparation des chromosomes homologues

## Méiose et diversité des gamètes



## Cycle de développement et diversité génétique

